

П.Г. ШИЩЕНКО, О.П. ГАВРИЛЕНКО

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ



Підручник

**Київ
2015**

УДК 557.4(075.8)
ББК 28.08.я73
Ш 65

Рецензенти:

І.П. Ковальчук, доктор географічних наук, професор Київського національного університету біоресурсів і природокористування;

В.М. Самойленко, доктор географічних наук, професор Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

С.А. Лісовський, доктор географічних наук, завідувач відділу природокористування та збалансованого розвитку Інституту географії НАН України.

Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. Основи екології: підручник. 2-ге вид., випр. і доп. Київ : ДП «Прінт Сервіс», 2015. 517 с.

ISBN 978-617-7069-52-5

У підручнику розглянуто теоретико-методологічні основи загальної екології, етапи розвитку екології як науки, проаналізовано структуру сучасної екології та її місце в системі наук. Детально розкрито екосистемну організацію біосфери, а також головні положення вчення Вернадського про біосферу і ноосферу. Проаналізовано проблеми, що супроводжують сучасне використання природних ресурсів і природно-ресурсного потенціалу біосфери. Використано найновіші наукові й фактичні матеріали, наведено численні приклади кризових екологічних ситуацій в усьому світі. Зокрема, викладено причини виникнення сучасної енергетичної кризи та обґрунтовано її екологічні наслідки. Окремий розділ присвячений екології людини, що особливо актуально з огляду на сучасну антропогенну трансформацію біосфери.

Підручник розрахований передусім на студентів природничих спеціальностей навчальних закладів, а також буде корисний викладачам, науковцям, фахівцям багатьох інших спеціальностей – усім, хто не байдужий до майбутнього нашої планети.

*Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка.
Протокол № 5 від 26 травня 2015 року.*

ISBN 978-617-7069-25-5

© Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. 2015
© ДП «Прінт Сервіс», 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
1 СУЧАСНА ЕКОЛОГІЯ ЯК СИСТЕМА ЗНАНЬ ПРО ВЗАЄМОДІЮ ПРИРОДИ ТА СУСПІЛЬСТВА	7
1.1 ЕТАПИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЇ ЯК НАУКИ	8
1.2 СТРУКТУРА СУЧАСНОЇ ЕКОЛОГІЇ	15
1.3 НОВІТНІ ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЇ	21
1.4 ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, МЕТОДИ Й ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЕКОЛОГІЇ	33
2 ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХНЄ МІСЦЕ В ОРГАНІЗАЦІЇ БІОСФЕРИ	39
2.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОСИСТЕМ ТА ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ	40
2.2 СТРУКТУРА ЕКОСИСТЕМ	43
2.2.1 Харчові взаємовідносини в екосистемах	46
2.2.2 Нехарчові взаємовідносини в екосистемах	53
2.3 ЕКОСИСТЕМНІ РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ	63
2.4 СТАБІЛЬНІСТЬ ТА ДИНАМІЧНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ	69
3 ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ	79
3.1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ	80
3.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ	87
3.2.1 Абіотичні екологічні фактори	88
3.2.2 Біотичні екологічні фактори	95
3.3 АНТРОПОГЕННІ ФАКТОРИ	103
4 БІОСФЕРА ЯК ГЛОБАЛЬНА ЕКОСИСТЕМА	115
4.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОСФЕРИ	119
4.2 ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ Й ГЛОБАЛЬНІ ФУНКЦІЇ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ	124
4.3 ЕВОЛЮЦІЯ СУЧАСНОЇ БІОСФЕРИ	129
4.4 КРУГООБІГИ РЕЧОВИНИ ТА ЕНЕРГІЇ У БІОСФЕРІ	146
4.4.1 Біогеохімічні цикли у біосфері	153
4.5 АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІОСФЕРИ	161
4.6 ОСНОВНІ ІДЕЇ ВЧЕННЯ ПРО НООСФЕРУ	166
4.7 ОСНОВНІ ЗАКОНИ БІОСФЕРНОГО РОЗВИТКУ	177
4.7.1 Закони екології Коммонера	184
5 ПРИРОДНІ РЕСУРСИ І ПРИРОДНО-РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БІОСФЕРИ	193
5.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ПОДІЛ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ	195
5.2 ПРИРОДНО-РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ	200
5.2.1 Поняття екологічного потенціалу	208
5.3 МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ	210
5.3.1 Гірничопромислові ландшафти і рекультивація земель	214
5.3.2 Відходи як вторинні ресурси	222
5.4 ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ	227
5.4.1 Ґрунти та їхнє значення для агроєкосистем	229
5.4.2 Основні причини погіршення якості земельних ресурсів	232
5.5 ВОДНІ РЕСУРСИ	247
5.5.1 Забруднення Світового океану	255
5.5.2 Водоспоживання та відновлення ресурсів прісної води	261
5.5.3 Міжнародне співробітництво у галузі охорони водних ресурсів	269
5.6 РЕСУРСИ АТМОСФЕРИ	277
5.6.1 Атмосферне забруднення та його екологічні наслідки	280
5.6.2 Посилення парникового ефекту і глобальні зміни клімату	285
5.6.3 Руйнування озонового шару атмосфери	294
5.6.4 Кислотні опади та їхні екологічні наслідки	303
5.7 БІОТИЧНІ РЕСУРСИ	313
5.7.1 Рослинні ресурси	314

5.7.2 Тваринні ресурси	320
5.7.3 Заходи з охорони і відновлення біотичних ресурсів	322
6 ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЛЮДСТВА	337
6.1 СВІТОВА ЕНЕРГЕТИЧНА КРИЗА ТА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ	343
6.2 Шляхи подолання енергетичної кризи	349
6.2.1 Сонячна енергія	353
6.2.2 Енергія вітру	368
6.2.3 Біологічні джерела енергії	378
6.2.4 Геотермальна енергія	394
6.2.5 Інші ВДЕ	403
6.3 ДЕМОГРАФІЧНІ ПРОБЛЕМИ	427
6.4 Шляхи розв'язання проблем	437
6.4.1 Зростання населення – першопричина глобальної екологічної кризи	441
6.4.2 Демографічна політика в різних країнах світу	444
7 ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ	460
7.1 Вплив на здоров'я людей змінених компонентів природного середовища	472
7.2 Основні екологізалежні захворювання людини	479
7.3 Екологічні фактори та їхній вплив на здоров'я людини	484
7.3.1 Вплив на здоров'я людини абіотичних екологічних факторів	486
7.3.2 Вплив біотичних екологічних факторів на здоров'я людини	489
7.3.3 Вплив антропогенних факторів на людину	490
ПІСЛЯМОВА	501
ВИКОРИСТАНІ Й РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА	502
ГЛОСАРІЙ	505
ДОДАТОК	512
ПЕРЕЛІК ВЖИВАНИХ СКОРОЧЕНЬ	515

ПЕРЕДМОВА

*Можна сказати, що призначення людини
полягає у тому, щоб знищити свій рід,
попередньо зробивши земну кулю непридатною для життя...
Жан Батист Ламарк*

Нині однією з головних є проблема виживання людства в умовах дефіциту природних ресурсів та погіршення стану навколишнього середовища. Посилюються процеси деградації природних систем життєзабезпечення людини, руйнування біосфери в цілому. Актуальність екологічних проблем відчувається не тільки у регіонах традиційного промислового та містобудівного освоєння, а й у курортно-рекреаційних регіонах – тобто по всій планеті.

З розвитком цивілізації, вибухоподібним зростанням населення Землі, обсягів відходів виробництва тощо, взаємовідносини між природою і суспільством ще більше загострюються. Повсякденною реальністю стали отруєні річки й моря, задушливе шкідливе повітря, загублені ліси, сотні зниклих видів тварин і рослин, кліматичні аномалії, майже повсюдне повне виснаження ґрунтів.

Сучасний стан природного середовища багатьох регіонів планети нині оцінюється як критичний, коли вже стали неможливими його самовідновлення і самовідтворення. Тому ліквідація глобальної екологічної кризи та її наслідків є нині найважливішим завданням людства. Для цього насамперед необхідна зміна екологічної стратегії і тактики, організація всебічної екологічної освіти, виховання екологічної свідомості усього населення Землі.

Кожен майбутній фахівець у будь-якій галузі, кожна свідомо людина повинні обов'язково мати загальне уявлення про особливості сучасного екологічного стану, а також про основні напрямки державної політики у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. Екологізація економіки та свідомості суспільства не є абсолютно новою проблемою. Практичне відображення екологічності тісно пов'язане з державним регулюванням процесів природокористування. Новим у цій проблемі є еквівалентність речовинно-енергетичного обміну між державою, природою і людиною, що базується на законодавчих і організаційно-технічних рішеннях.

З урахуванням вищевикладеного актуалізуються наступні стратегічні цілі людства на перші десятиліття XXI століття:

- забезпечення екологічної безпеки усіх сфер життєдіяльності;
- екологічне оздоровлення і відтворення порушених екосистем;

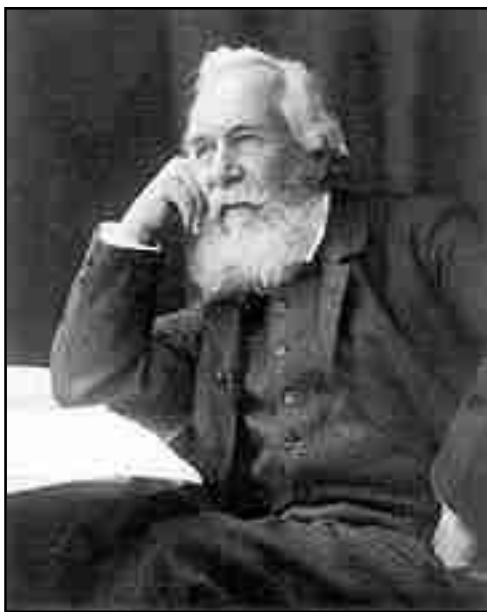
- створення екологічних передумов для переходу до сталого розвитку, передусім на екологічно депресивних територіях;
- збереження і розширення біологічного та ландшафтного різноманіття;
- внутрішня інтеграція екологічних вимог у секторальну політику, у системи забезпечення життєдіяльності суспільства;
- впровадження міжнародних стандартів, регламентів системного екологічного управління і аудиту, розвиток корпоративних систем екологічного управління;
- демократизація процесу прийняття рішень і підсилення відповідальності за їхнє виконання.

У запропонованому підручнику викладено основи екологічних знань, узагальнено та послідовно висвітлено найголовніші теоретичні положення сучасної екології, використано найновіші наукові та фактичні матеріали, наведено численні приклади екологічних ситуацій у різних регіонах планети. Екологія у широкому розумінні – це наука про взаємовідносини живих організмів між собою та навколишнім їхнім середовищем; це наука про наш дім – планету Земля; це наука про найважливіші природні процеси на планеті з погляду розвитку людства як біологічного виду в умовах, по-перше, природного планетарного розвитку і, по-друге, штучних змін, викликаних діяльністю людини у всіх земних сферах.

Перед людством постала проблема виживання – центральна проблема сучасної науки. Дисципліна, яка її вивчає, має назву «екологія людини». До сфери інтересів екології людини належить не лише нагромадження природничих, медичних, соціально-економічних знань, які стосуються життя людини. У її компетенції також організація морального і духовного виховання людини, спрямованого на усвідомлення нею своєї ролі у навколишньому середовищі. Філософське бачення людини як мірила усіх речей має домінувати при вирішенні найважливіших проблем життя на Землі. Водночас, долаючи корінні проблеми свого буття, людина має дбати про збереження природної рівноваги і цілісності екосистем. У цьому контексті екологія людини покликана вирішувати двоєдине завдання: по-перше, актуалізувати необхідність урахування потреб суспільства і кожної окремої людини під час реалізації будь-яких проектів і, по-друге, зберігати цілісність природного середовища, що є передумовою оптимального функціонування багатокомпонентної і динамічної системи «людина – суспільство – природне середовище», екологічної безпеки всього людства.

1 СУЧАСНА ЕКОЛОГІЯ ЯК СИСТЕМА ЗНАНЬ ПРО ВЗАЄМОДІЮ ПРИРОДИ ТА СУСПІЛЬСТВА

Термін «екологія» походить від грецьких слів *oikos* (помешкання, дім, місце перебування, притулок) та *logos* (вчення). Його запропонував відомий німецький природодослідник **Ернст Геккель** у 1866 р. для позначення необхідної на його думку науки про взаємодію і взаємовплив живих істот та їхнього оточення. За Геккелем, екологія – це *наука про закономірності формування, розвитку та стійкого функціонування біологічних систем різного рангу у їхніх взаємовідносинах між собою та з умовами середовища.*



Німецький зоолог Ернст Генріх Філіп Август Геккель (1834-1919)

У праці «Всезагальна морфологія організмів» (1866) Геккель писав: *«Екологія – це одночасне дослідження взаємовідносин усього живого з органічними і неорганічними компонентами середовища...».*

Поступове розширення об'єктів цікавості і предмету дослідження екології призвело до появи інших, нових її визначень. Екологічний енциклопедичний словник (1990) наводить таке тлумачення: екологія – це наука про різні аспекти взаємодії організмів між собою та з навколишнім середовищем; наука про сумісний розвиток людини, спільнот людей в цілому і навколишнього середовища (включаючи усі організми), що вивчає біотичні механізми регуляції і стабілізації оточуючого середовища, механізми, що забезпечують сталість життя.

Все частіше екологію визначають як систему знань про взаємодію природи і суспільства. Найбільш повно і водночас стисло відповідає сучасному розумінню екології визначення, яке запропонував відомий американський еколог Юджин Одум, автор класичної праці «Екологія» (1986). На його думку, *екологія – це міждисциплінарна область знань (синтез наук) про структуру і функціонування природних та суспільних систем у їхньому взаємозв'язку.* У сучасному тлумаченні екологія – це, по-перше, комплексна наука, по-друге, загальнонауковий метод і підхід до вирішення комплексних проблем, по-третє, світогляд. Таке широке трактування визначається предметом досліджень екології, яка вивчає специфічні взаємозв'язки між суспільством, природою, людиною та її життєвим середовищем з метою збереження і удосконалення середовища мешкання людини.

1.1 Етапи розвитку екології як науки

Тривалу історію розвитку науки екології можна умовно поділити на три етапи, кожному з яких притаманні свої характерні риси та визначні події. Окреслюючи характерні риси, передусім враховуємо три позиції: по-перше, об'єкт і предмет досліджень тих часів; по-друге, методи дослідження, які переважно застосовувалися; по-третє, те нове, що з'явилося завдяки екологічним дослідженням протягом цього етапу розвитку науки.

I. Перший етап був найбільш довготривалим. Він розпочався ще від стародавніх часів і продовжувався до другої половини XIX ст. Найхарактернішими рисами цього етапу можна вважати наступні:

- У *Об'єктом* дослідження науки, яка пізніше отримала назву «екологія», була окрема особина – рослина чи тварина. А *предметом* дослідження – вплив фізичних (температура, вологість, освітлення, тиск тощо) і хімічних (склад води, повітря, ґрунтів) чинників довкілля на життєдіяльність цієї особини. Саме це відрізняло екологію від біології, складовою частиною якої вона довго була, і на той час це було відмінною рисою молодшої галузі знань. Отже, лідером першого етапу розвитку екології стала галузь, яка вивчає екологію особини, – *аутекологія*.
- У Щодо методів, можна стверджувати, що саме на цьому етапі вчені почали застосовували *науковий метод* дослідження, тобто до простих натурних спостережень додавати порівняно точні досліди з вартими довіри результатами (наприклад, про вплив мінеральних добрив на ріст рослин та кінцевий врожай).
- У Найважливішим з усього нового, що з'явилося на цьому етапі, були *перші спроби захистити природу* шляхом створення спеціальних природоохоронних територій (заповідників і національних парків) для порятунку тих рослин і тварин, яким загрожувало знищення. І вони не лише були створені, а з'явилися ще й перші закони і правила щодо заборони чи певних обмежень рибальства та полювання.

Значна тривалість першого етапу розвитку екології зумовила насиченість його визначними подіями. Дослідження екологічного спрямування (тобто уявлення про взаємозв'язки біологічних об'єктів між собою та неживою природою) почали проводитися із стародавніх часів. Передісторія становлення екології як науки починається з праць натурфілософів Стародавнього Китаю, Єгипту, Індії, Риму і Греції. Перші спроби узагальнення відомостей про спосіб життя, залежність від зовнішніх умов, особливості розподілу рослинних і тваринних організмів зустрі-

чаються вже у працях Геракліта, Гіппократа, Аристотеля, Теофраста Ерезинського, Плінія Старшого та інших.

Давньогрецький лікар *Гіппократ* (460-377 рр. до н.е.) у своєму трактаті «Про повітря, воду і мистецтво» (біля 390 р. до н.е.) першим висунув ідею про вплив навколишнього середовища на здоров'я людей. Давньогрецький учений-енциклопедист, філософ і логік *Аристотель* (384-322 рр. до н.е.) у праці «Про виникнення тварин» (біля 340 р. до н.е.) класифікував тварин за способом життя і живлення, а також описав більше 500 видів тварин та їхню поведінку (міграції й зимові сплячки риб, перельоти птахів, паразитизм зозулі, способи самозахисту каракатиці тощо) залежно від кліматичних особливостей середовища мешкання. Дуже пізнавальним стало дослідження *Плінія Молодшого* про вплив горіха волоського на рослини, які ростуть під його гілками.

Джерелом зародження екологічної думки у античні часи можна вважати медицину та географію. У працях *Геродота*, *Страбона*, *Птолемея* та інших мислителів містяться досить вдалі описи природи, зокрема флори і фауни різних частин світу, а також спроби простежити залежність заселеності певних регіонів від наявних там природних умов. Особливо переконливо подібні закономірності відображені у працях батька медицини Гіппократа. Учень Аристотеля *Теофраст Ерезинський* дослідив різноманітність рослин залежно від зовнішніх умов. У своєму трактаті «Дослідження про рослини» він обґрунтував методологічні вимоги до вивчення будови і різних процесів життєдіяльності рослин. Цим він заклав основи зародження методів аналогії та ідеалізації, а також аналітичного підходу, які у сучасній інтерпретації зараз широко використовуються у багатьох науках. Вважається, що саме Теофраст є основоположником застосування методів аналізу в екологічних дослідженнях.

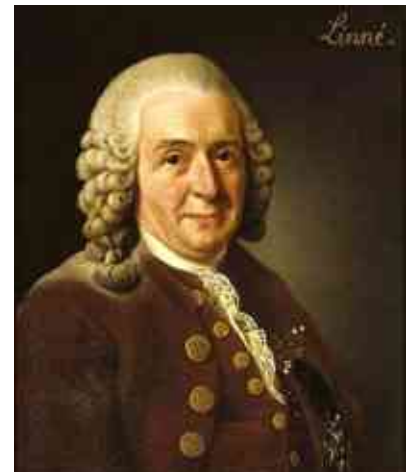
Великі географічні відкриття в епоху Відродження сприяли подальшому розвитку наук про природу. З'явилися праці таких вчених, як *Роджер Бекон* (1214-1294) і *Альберт Великий* (1206-1280). Р. Бекон обґрунтував, що живі та неживі тіла побудовані з одних і тих самих матеріальних часток, і живі істоти тісно залежать від навколишнього середовища. Глибокі думки екологічного спрямування висловлював відомий енциклопедист середньовіччя *Альберт Великий*. У своїй енциклопедії у розділах «Про рослин» і «Про тварин», крім детального опису відомих видів, були висунуті ідеї про зміни рослин під впливом факторів середовища. Він розкрив питання переходу рослин з дикого стану у культурний, тобто зміни способу життя від одного стану до іншого (з дикого до культурного і навпаки). А зміни ці, на думку А. Великого, залежать від різних чинників навколишньої при-

роди, тому вчений зробив припущення про можливість управління способом життя і формоутворенням живих істот.

На початку XVII ст. був винайдений мікроскоп, за допомогою якого голландський натураліст *Антоні ван Левенгук* (1632-1723) вивчав не лише будову бактерій і клітин крові, а й харчові ланцюги, а також регулювання чисельності популяцій, що у подальшому розвилось у найважливіші розділи сучасної екології. Відомий французький натураліст *Жорж-Луї Леклерк де Бюффон* (1707-1788) у своїй праці «Природнича історія» висловлював ідеї про єдність рослинного і тваринного світу та їхній взаємозв'язок із середовищем мешкання. На думку Ж.-Л. Бюффона, природа – це величезна цілісна споруда, пронизана функціональними і генетичними зв'язками. Крім цього, саме Бюффону належать ідеї щодо історичної мінливості рослин і тварин, антропогенних причин змін клімату тощо.

Видатний шведський природознавець *Карл Лінней* (1707-1778) у праці «Система природи» виклав основи наукової систематики рослин і тварин та визнав вплив умов життя на різноманітність тваринного і рослинного світу. Основною працею К. Ліннея є «Філософія ботаніки» (1751), у якій він принципово реформував систематику (таксономію) рослин і таким чином заклав основи систематичного підходу в екології.

К. Лінней



Французький натураліст *Жан-Батист П'єр Антуан де Моне Ламарк* (1744-1829) досліджував пристосованість тварин до середовища мешкання і результати цих досліджень виклав у



книзі «Філософія зоології» (1809), де пояснив цей феномен впливом природного середовища на живі організми. Ламарк був першим, хто спробував створити теорію еволюції живого світу і обґрунтував еволюційну концепцію – «ламаркізм».

Ж.-Б. Ламарк

У цей самий час німецький дослідник-мандрівник *Олександр фон Гумбольдт* (1769-1859) узагальнив усі накопичені відомості про флору земної кулі і заклав ос-



нови екологічного напрямку в географії рослин. 1845 р. вийшла у світ його багатотомна праця «Космос», де він вперше висунув ідею *горизонтальної зональності та вертикальної поясності* у розповсюдженні рослин.

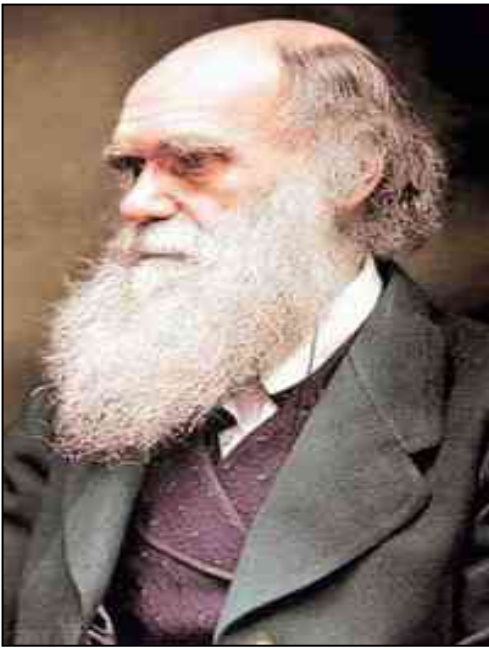
О. Гумбольдт

У цій та інших працях Гумбольдта вперше було обґрунтовано ідеї взаємозв'язку та єдності усіх процесів, що відбуваються у живій природі.

Німецький агрохімік *Юстус фон Лібіх* (1803-1873) розробив теорію мінерального живлення рослин залежно від різних зовнішніх факторів. 1840 року була опублікована його праця «Хімія у додатку до землеробства та фізіології», де вперше був сформульований «*закон мінімуму*» щодо необхідності повернення поживних речовин, які відчужуються з врожаєм, назад у ґрунт після збору врожаю для підтримки його родючості. Саме тоді уперше простежується тенденція застосування *комплексного підходу* до вивчення природи.

Пізніше російський зоолог, професор Московського університету, *Карл Рульє* (1814-1858) створив концепцію екології тварин і цим дав поштовх розвитку екологічного напрямку в усій біологічній науці. Він вперше обґрунтував закономірності *впливу оточуючого середовища* на розвиток органічного світу, тобто розробив систему вивчення рослин і тварин з екологічної точки зору. Крім цього, Рульє вважав людську діяльність важливим екологічним чинником, який спричинює зміни у природі. Своїми працями вчений поклав початок безпосереднього практичного застосування екологічних знань (у сільському господарстві).

Концептуальні засади еволюційної парадигми в екології були закладені у працях відомих англійських натуралістів. Зокрема, у праці *Чарльза Лайєля* (1797-1875) «Основи геології» на противагу традиційному поясненню природних явищ дією надприродних сил наведено взаємозв'язок між сутністю сучасних природних процесів та подіями, що відбувалися на протязі всієї геологічної історії Землі. Він запропонував так званий принцип «уніформізму» (актуалізму), який ґрунтувався на тому, що вивчення сучасного є ключем для пізнання майбутнього. На думку Лайєля, види змінюються, пристосовуючись до навколишньої природи, і зміни ці відбуваються повільно і поступово, але неминуче; при цьому здобуті властивості



організмів успадковуються. Пізніше принцип уніформізму став методологічною основою будь-якого дослідження, пов'язаного з реконструкцією минулих подій.

Величезним внеском у розвиток екологічних досліджень стала публікація у 1859 р. праці *Чарльза Дарвіна* (1809-1882) «Походження видів шляхом природного добору», що стало без перебільшень подією світового значення.

Ч. Дарвін

На думку В.І. Вернадського, у цій праці Дарвіна була відображена *«історія живої речовини, що виражається у повільній зміні форм життя і живих організмів, генетично між собою пов'язаних від одного покоління до другого без перерви»*. А еволюційна теорія – «дарвінізм» – стала обов'язковою складовою частиною екології.

За цією теорією, сенс розвитку полягає у постійному, невинному пристосуванні видів до умов середовища мешкання і досягненні таким чином стану стійкої рівноваги. Екологічний зміст цього висновку розкривається через те, що головним мірилом прогресу стає здатність видів виживати у конкретних умовах середовища. У цій праці Дарвіна ще не застосовувався термін «екологія», проте вона справедливо вважається початком існування нової науки – екології.

Отже, початковий період становлення екології, який був найбільш тривалим і вважався *підготовчим* (його навіть називають періодом «наївної екології»), умовно закінчився у **1866** р., коли німецький зоолог Ернст Геккель у передмові до своєї праці «Загальна морфологія організмів» науку про організми та оточуюче їх середовище назвав *екологією*.

Геккель тоді писав: *«Екологія – це пізнання економіки природи, одночасне дослідження взаємовідносин всього живого з органічними і неорганічними компонентами середовища, включаючи неантагоністичні та антагоністичні взаємовідносини тварин і рослин, які контактують один з одним... Екологія – це наука, що вивчає всі складності взаємозв'язку і взаємовідношення у природі, які Ч. Дарвін розглядав як умови боротьби за існування»*.

II. Другий етап розвитку екології був порівняно короткочасним – тривав з другої половини XIX-го до середини 30-х років XX століття. Йому притаманні такі найхарактерніші риси:

У Об'єктом дослідження була вже не окрема особина, а великі групи організмів (популяції та їхні об'єднання). Предметом – взаємодія популяцій різних видів істот між собою (наприклад, взаємовплив хижаків та їхньої здобичі). Це сприяло подальшому розвитку і розгалуженню науки екології. Результатом стало те, що на III Ботанічному Конгресі у Брюсселі (1910 р.) екологію рослин офіційно розділили на два напрями: *аутекологію* (екологію особин) і *синекологію* (екологію угруповань, або спільнот). А пізніше, у 1927 р. після опублікування праці англійського вченого Ч. Елтона «Екологія тварин» було започатковано розвиток популяційної екології. Отже, лідером другого етапу стала популяційна екологія – *демекологія*.

У Щодо методів дослідження, то вони вже були достатньо різноманітні. Але великим досягненням цього етапу стало залучення до екологічних досліджень *методів вищої математики* (насамперед, диференційних рівнянь). Це дало змогу екологам вперше виконувати теоретичне моделювання різноманітних взаємодій у навколишньому середовищі, робити передбачення, хоч надто спрощені й не дуже точні як на наш сучасний погляд.

У Найбільш важливим і видатним з усього, що було здобуто *нового* у цей період, безперечно було створення В.І. Вернадським фундаментального вчення про біосферу. 1926 р. вийшла його капітальна праця «Біосфера», у якій обґрунтовані планетарна геохімічна роль та глобальні функції живої речовини біосфери.

Отже, у другій половині XIX ст. різко зросла цікавість науковців до проблем взаємодії між організмами та впливу на них середовища мешкання. Продовжується накопичення відомостей про спосіб життя окремих видів рослин і тварин і одночасно виникають теоретичні узагальнення. Так, американський зоолог *Стефен Альфред Форбс* (1844-1930) у своїй праці щодо сільськогосподарських шкідників (1895) дав розгорнуте визначення екології як дуже складного і важливого предмету, до якого належить усе вчення Ч. Дарвіна, з одного боку, а усе сільське господарство залежить від нього – з іншого.

Створенню В. Вернадським вчення про біосферу передували дослідження австрійського геолога *Едварда Зюсса*, який і запровадив термін «біосфера» у загальний вжиток. У праці «Про походження Альп» (1875) Зюсс позначив цим терміном утворені живими організмами викопні породи. Вітчизняний геолог тих часів *Павло Тутковський* визначав біосферу як просторове розміщення біоти на планеті. І нарешті, *Володимир Вернадський* у цілій низці праць, передусім у «Біосфері» (1926), розробив принципово нове розуміння біосфери як області існування життя, якісно відмінної від усіх інших об'єктів на Землі.

У цей самий час, наприкінці XIX – на початку XX ст., у науковому пізнанні починає укорінюватися *системний підхід* до дослідження різних об'єктів. Принципи системності простежуються у працях Л. фон Берталанфі (загальна теорія систем), К. Бернара (вчення про гомеостаз). Системна парадигма проявилася і в екології через концепції екосистем та біогеоценозу, що означало поступовий перехід до системного мислення. Але це відбулося дещо пізніше.

Проте, не зважаючи на усі досягнення, й на цьому етапі екологічні дослідження майже не виходили за рамки біоекологічних, оскільки проблем самої людини, а також її впливу на середовище існування вони практично не торкалися.

III. Третій етап розвитку екології – сучасний. Його початком вважається публікація у 1935 р. статті англійського ботаніка *Артура Джорджа Тенслі* «Правильне та неправильне використання концепцій і термінів в екології рослин», де вперше було запропоновано термін «екосистема». Тенслі визначав *екосистеми* як *єдиний комплекс живих істот і абіотичних умов на певній території*. Ця робота Тенслі ознаменувала перехід на новий ступінь розвитку екології завдяки використанню принципів комплексності й системності. Цим було започатковано формування нового розділу екології, який за кордоном одержав назву «вчення про екосистеми», а у російськомовній літературі, завдяки академіку В. Сукачову, – «біогеоценологія».

Серед найхарактерніших рис цього етапу розвитку науки слід виділити наступні:

- У *Об'єкти* дослідження екології значно розширюються – ними стає практично все, що існує у навколишньому природному середовищі. *Предметом* – відповідно взаємозв'язки між цим усім і середовищем існування. Домінуючим стає уявлення (воно домінує і зараз) про «*пов'язаність усього з усім*», тобто про те, що усі види живої природи взаємодіють між собою та з оточуючим довкіллям. Це означає, що вчення про взаємодію популяцій (демекологія) поступилося своїм лідерством. А лідером сучасного етапу стає *глобальна екологія* – вчення про всіх і про все.
- У Щодо методів, то у двох словах про це можна сказати так: до екологічних досліджень залучаються *методи усіх наук* – природничих, точних, соціальних.
- У За умов, коли на сучасному етапі розвитку екології постійно з'являється та відкривається щось нове, є все ж таки те, чим цей етап відрізняється від усіх попередніх, а саме: виникають і стрімко розвиваються десятки галузей, розділів і підрозділів сучасної екології; процес цей у сучасній екології відбувається безперервно.

Отже, екологія як наука пройшла довгий шлях становлення. При цьому вона вивчала природу спочатку на *рівні окремих організмів* (І етап), потім – на *популяційному рівні* (ІІ етап) і в решті решт – на *екосистемному*. Зараз увага екологів все більше приділяється вивченню природних закономірностей вже на *біосферному рівні*, передусім проблемам складних взаємовідносин людини і природи.

1.2 Структура сучасної екології

Як вже було вказано, сучасна екологія використовує методи і досягнення практично усіх наук, вона стала найбільш інтегральною з усіх наук, бо об'єднує природничі, точні, соціальні й гуманітарні науки. Причиною великого розгалуження екології є величезна різноманітність і складність об'єктів її цікавості.

На думку відомого еколога М.Ф. Реймерса, специфіка сучасної екології полягає у тому, що вона із суто біологічної науки перетворилася на цілий цикл знань, увібравши в себе розділи географії, геології, хімії, фізики, соціології, теорії культури, економіки й навіть теології. Деякі дослідники вважають, що екологія – це соціально-природнича наука; її однаково можна віднести і до біологічної, і до географічної галузей знань і розглядати як цілком самостійну науку, що набула фундаментальності й глобальності. Екологія у широкому розумінні об'єднує в собі десятки наукових напрямів.

Сучасна екологія з традиційної біоекології виросла в комплексну, складну, багатогранну інтегральну науку-лідера, стала філософією виживання людства – екологічною філософією. Для вивчення всіх складових сучасних екологічних проблем, установлення прямих і зворотних зв'язків між процесами, які формують екологічні умови, визначення шляхів виходу з екологічної кризи, розроблення для цього конкретних планів і програм сучасна наука про довкілля залучає знання практично з усіх інших наук.

Нині об'єднуючим центром екології є *глобальна екологія*, яка системно вивчає і прогнозує стан і зміни всієї Землі та її біосфери, розробляє шляхи гармонізації відносин людства та довкілля. Інші структурні блоки оточують центральний і взаємодіють як з ним, так і між собою, але мають вузьчі завдання і вивчають різні об'єкти, що й відображено у їхніх назвах (Рис. 1).

Об'єктом досліджень глобальної екології (*мегаекології*) є біосфера – екосистема, що охоплює всю планету. *Предметом* – зв'язки біосфери з процесами, що відбуваються у надрах Землі та у Космосі. Вивчає загальний стан біосфери та причини його погіршення під впливом природних і антропогенних факторів; про-

гнозує зміни стану біосфери у часі і просторі. Розробляє шляхи вирішення екологічних проблем та подолання глобальної екологічної кризи.



Рис. 1. Узагальнений спрощений варіант структури сучасної екології

Серед усіх структурних підрозділів найдовшу історію має **біоекологія**, яка вивчає загальні закономірності взаємовідносин організмів та їхніх угруповань із зовнішнім середовищем у природних умовах, формує уявлення про екологію як економіку природи на основі вивчення потоків речовини, енергії та інформації в біологічних системах. Саме біоекологію вважають материнським субстратом і головною складовою сучасної екології. Вона налічує десятки галузевих розділів – як старих (*аутекологія, популяційна екологія, синекологія*), так і порівняно нових (*біоєкомоніторинг, експериментальна екологія, біоіндикація* тощо). Наприклад, біоіндикація – нова екологічна галузь, яка вивчає наслідки антропогенного впливу на фізіологію і біохімію різних організмів і таким чином оцінює стан природного середовища чи його окремих компонентів за реакціями цих організмів.

Геоєкологія виникла тоді, коли з'явилася потреба вивчати не лише організми та взаємовідносини між ними і середовищем, а й їхню реакцію на зміни умов середовища, а також прослідкувати зворотній вплив діяльності людського суспільства на біосферу як середовище мешкання.

Термін «*геоєкологія*» ввів у загальний вжиток німецький географ Карл Троль у 1939 р. і цим ознаменував народження нового наукового напрямку в природничих науках. Троль перший помітив існування цього напрямку на стику геог-

рафії та екології. За сучасних розширених міждисциплінарних підходів геоекологію розглядають як науковий напрям, що синтезує закони екології з досягненнями усіх наук про Землю – *географії* (екологічна географія, екологічне ландшафтознавство, екологічна метеорологія, екологічна кліматологія, екологічна палеогеографія); *геології* (екологічна геологія, екологічна геодинаміка, екологічна геохімія, екологічна геофізика, екологічна мінералогія); *грунтознавства* (екологічне ґрунтознавство, агроекологія, екологічне землезнавство тощо).

З еколого-географічної точки зору геоекологія – це міждисциплінарний науковий напрям, що вивчає екосферу як взаємопов’язану систему геосфер у процесі її інтеграції із суспільством. Досліджує цей напрям екосферу (екосистему вищого порядку), але акцент робиться на її зміні під впливом діяльності людини. Тобто геоекологія вивчає не лише природні, а й антропогенно змінені системи, а головна мета досліджень полягає у оптимізації природокористування. Об’єктами дослідження геоекології є *геоекосистеми* – територіальні системи, які управляються або контролюються людиною, мають характерні для них процеси тепло- та вологообміну, біогеохімічні кругообіги, певні види господарської діяльності і соціокультурних відносин.

Таким чином, геоекологія аналізує різноманітні ланцюги зв’язків між природою, людиною (соціумом) і господарством, пропонує шляхи раціональної просторової організації природних, соціальних і господарських систем. Найважливіше місце в геоекології посідають нормативи і критерії якості середовища, рівня господарської діяльності. Тому геоекологія значною мірою спирається на правові основи, які визначають різні види відповідальності за нанесення шкоди природному середовищу та його ресурсам, а також на екологічні оцінки і форми стимулювання природоохоронної діяльності.

Техноекологія – найбільший блок прикладних екологічних дисциплін, пов’язаних з такими сферами людської діяльності, як енергетика, промисловість, сільське господарство, транспорт, військова справа, наука, Космос. Цей екологічний напрям визначає обсяги, механізми й наслідки впливів на довкілля різних галузей господарства, особливості використання ними природних ресурсів, розробляє регламентації природокористування і технічні засоби охорони природи, опікується проблемами утилізації відходів виробництва та відтворення зруйнованих екосистем, а також створює передумови екологізації різних виробництв.

Кожен розділ техноекології – екологія енергетики, промисловості, транспорту тощо – має кілька підрозділів. Наприклад, екологія енергетики включає еко-

логію атомних, теплових та гідроелектростанцій, а також екологію нових нетрадиційних джерел енергії.

Соціоекологія досліджує специфічну роль людини у навколишньому середовищі не як біологічного виду, а як соціальної істоти, відмінності цієї ролі від функцій інших живих істот, вивчає шляхи оптимізації взаємовідносин людського суспільства з природою, формує екологічну свідомість, екологічну культуру за допомогою нових методів і підходів екологічної освіти й виховання, формулює закони щодо екологічного природокористування, принципи й критерії екологічного менеджменту, контролю й бізнесу, здійснює соціально-екологічний моніторинг, закладає основи локальної, регіональної та глобальної екологічної політики.

Об'єктом дослідження соціоекології є *соціоекосистема*, тобто територіальна соціоприродна саморегульована система, динамічна рівновага котрої має забезпечуватися людським суспільством. А предметом дослідження – процеси та явища, пов'язані з людською популяцією у різних умовах життєвого середовища. Виникнення соціоекології не є випадковим явищем. Воно є реакцією людського розуму на реальні процеси, що відбуваються на нашій планеті і загрожують подальшому існуванню людства. Саме руйнування біосфери господарською діяльністю зумовило появу соціоекології як науки про гармонізацію взаємодії суспільства і природи.

Спільним розділом соціоекології і медицини є *екологія людини* – науковий напрям, який вивчає медико-біологічні аспекти взаємовідносин між суспільством і природою. Екологія людини розглядає людський організм і середовище його існування як цілісну систему, у якій істотно значення мають не лише складові елементи, а й зв'язки між ними. Також важливими є такі розділи соціоекології, як *психоекологія*, *урбоекологія*, *етноекологія*, *екологія народонаселення*, *природоохоронне законодавство* та інші.

У зв'язку із розширенням людської діяльності та посиленням її негативних впливів на природу останніми десятиліттями активно розвиваються різні напрями прикладної екології. **Прикладна екологія** вивчає механізми руйнування біосфери, розробляє методи запобігання йому та способи раціонального природокористування. Прикладна екологія нині є великим комплексом дисциплін з різних сфер людської діяльності. Саме дослідження цієї галузі екології формують екологічні критерії економіки, аналізують механізми антропогенних впливів на природу, оцінюють якість природного середовища, обґрунтовують нормативи невиснажливого використання природних ресурсів, забезпечують екологічну регламентацію господарської діяльності і контроль екологічної відповідності різних планів і про-

ектів, розробляють технічні засоби охорони довкілля та відновлення порушених людиною природних систем.

Серед усієї різноманітності розділів прикладної екології можна відзначити такі основні:

- У *Інженерна екологія* має на меті розробку інженерних норм і засобів, які відповідають екологічним вимогам у будівництві, промисловості, енергетиці і транспорті. Йдеться про екологічну безпеку технологічних процесів, споруд, машин, знарядь та виробів; а також про оптимізацію галузевої структури промислових комплексів та експлуатації цивільних і господарських об'єктів.
- У *Сільськогосподарська екологія* вивчає вплив сільського господарства на природні екосистеми, а також характер функціонування агроекосистем в умовах техногенних навантажень. У значному ступеню вона зливається з біологічними основами землеробства (агроекологія) і тваринництва (екологія сільськогосподарських тварин).
- У *Біоресурсна (промислова) екологія* всебічно досліджує умови, за яких експлуатація біологічних ресурсів природних екосистем не призводить до їхнього виснаження і порушення, втрати видів, зменшення біорізноманіття. До завдань цієї дисципліни належать також розробка методів відновлення і збагачення біоресурсів, наукове обґрунтування інтродукції та акліматизації рослин і тварин, створення заповідників тощо.
- У *Екологія поселень, комунальна екологія* – це розділи прикладної екології, присвячені дослідженням особливостей впливу різних факторів штучно перетвореного середовища мешкання людей у населених пунктах (містах, селищах).
- У *Медична екологія* вивчає насамперед екологічні умови виникнення, розповсюдження і розвитку хвороб людини, у т. ч. хронічних захворювань, обумовлених несприятливими техногенними впливами на природне середовище. Одним з підрозділів медичної екології є *рекреаційна екологія*, тобто екологія відпочинку та оздоровлення людей.

Оскільки нині вже сформувалося близько сотні напрямів екологічних досліджень, їх неможливо розглянути повністю у обмеженому обсязі підручника. Доцільно навести скорочену структурну блок-схему, у якій ці напрями умовно об'єднуються за ознаками галузевої приналежності (з подальшим поділом у кожній галузі), пріоритетності, належності до геосфер та їхніх компонентів, соціально-економічної значущості тощо (Рис. 2).

Головною складовою загальної екології вважають *теоретичну екологію*, яка визначає загальні закони функціонування екосистем. Допоміжними є експеримен-

тальна і математична екологія (моделювання екологічних процесів, обробка інформації та кількісний аналіз), що входять до складу загальної екології. Тобто загальну екологію слід відділити від прикладних екологічних дисциплін, але з умовою, що основу її становить біоекологія з усім колом сучасних проблем.

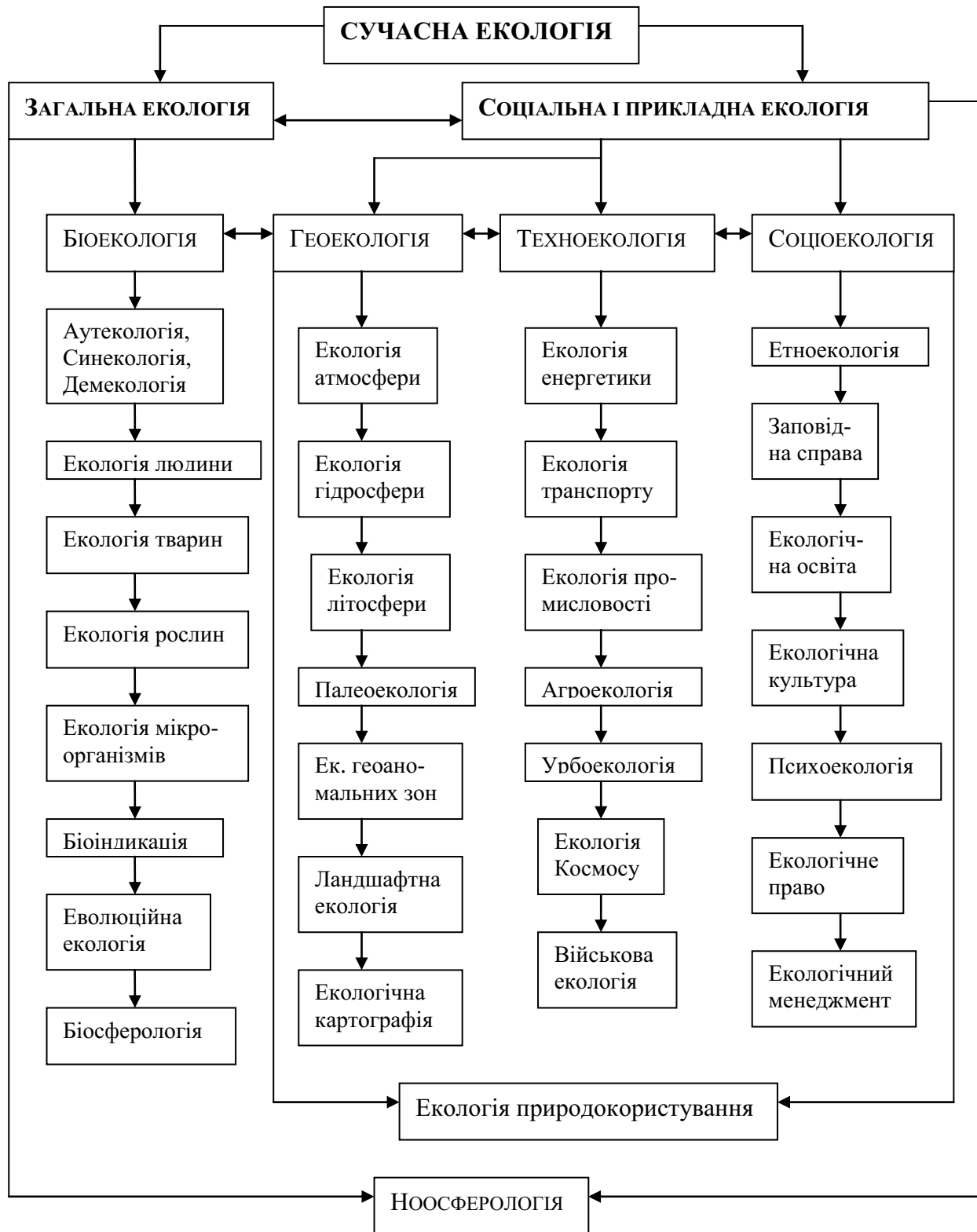


Рис. 2. Структура сучасної екології (скорочений варіант)

Завершуються різнопланові екологічні дослідження узагальненням усієї доступної інформації для розробки та реалізації планів і програм раціонального природокористування на локальному, регіональному й глобальному рівнях, створення наукових засад економіки природокористування, а також для формування регіональної і національної екологічної політики, укладання міжнародних угод, договорів у сфері природокористування, охорони довкілля та екологічної освіти, тобто визначення тактики й стратегії збалансованого розвитку людства, збереження біосфери і життя на Землі.

Широке коло завдань *глобальної екології* можна звести до таких основних:

- системне вивчення загального стану біосфери, причин його формування та особливостей розвитку під впливом природних і антропогенних факторів;
- прогноз динаміки стану біосфери у часі й просторі;
- розробка шляхів гармонізації взаємовідносин суспільства і природи, збереження здатності біосфери до самовідновлення та саморегулювання з урахуванням основних екологічних законів оптимізації взаємодії суспільства і природи.

Головною метою досліджень глобальної екології є розробка прогнозів можливих змін біосфери під впливом діяльності людини при різних варіантах господарського освоєння. Це потребує подальшої розробки таких напрямів досліджень:

- вивчення компонентів біосфери для складання їх детального кількісного і якісного опису;
- вивчення кругообігів енергії, мінеральної та органічної речовини в біосфері;
- побудова числових моделей для кожного компонента біосфери, а в результаті – комплексної моделі для біосфери в цілому;
- дослідження закономірностей еволюції біосфери;
- пошук методів впливу на великомасштабні процеси в біосфері для створення глобальної системи регулювання біосфери.

1.3 Новітні галузі екології

Як ми вже з'ясували, сучасна екологія нині перебуває у стані постійного розвитку, пошуку нових наукових напрямів для вирішення різноманітних проблем, що виникають у процесі взаємодії природи і суспільства. Цими потребами визначається поява новітніх галузей екології, спрямованих на дослідження складних життєвих ситуацій та вирішення найважливіших проблем.

Одна з таких галузей – *урбоєкологія* (екологія міст). Зростання ролі міст у розвитку суспільства, що супроводжується ростом і розвитком міських поселень, зростанням питомої ваги міського населення, поширенням міського способу жит-

тя у тому чи іншому регіоні або навіть в усьому світі отримало назву *урбанізація* (від лат. *urbanus* – міський). Це складний історичний, суспільно-економічний, демографічний процес перетворення природних екосистем (лісових, лучних, степових, водних) під впливом розростання міст. Урбанізація супроводжується швидкою концентрацією населення, засобів виробництва, зв'язку і комунікацій, глибокою деформацією структурних і функціональних властивостей природних екосистем (рослинного і тваринного світу, ґрунтів, атмосферного повітря, продуктивності, біотичного кругообігу), поглинанням великої кількості речовини, енергії та інформації, потужним речовинно-енергетичним та інформаційним обміном між екосистемами, високим ступенем забруднення довкілля. За даними ООН, у містах більшості розвинених країн мешкає 75-80% загальної кількості населення. Міста з більш ніж мільйонним населенням настільки негативно впливають на довкілля, що цей вплив відчувається у радіусі десятків і сотень кілометрів навколо міст.

Ступінь поширення багатьох хвороб населення великих міст значно перевищує цей показник у малих містах або селах. Наприклад, рак легенів у великих містах реєструється у 2-3 рази частіше, ніж у сільській місцевості. Рівень інфекційних захворювань у містах також удвічі більший. Мегаполіси споживають величезну кількість води і одночасно її забруднюють. Наприклад, в Україні у більшості великих міст якість питної води не відповідає санітарним нормам через брак відповідних технологій і коштів на їхню модернізацію. Мегаполіси також створюють свій мікроклімат. Масові захворювання нервової системи і в решті-решт підвищений рівень смертності викликаються передусім ще й такими факторами, як шумові й вібраційні навантаження, перенаселення, транспортні проблеми, електричні й магнітні поля.

Кожне місто – це штучне середовище антропогенного походження, досить складна екосистема, створена співвідношенням природних (клімат, рельєф, геологічна будова, фауна і флора) і технічних (об'єкти промисловості, транспорту, будівлі тощо) компонентів. Міська територія таким чином розглядається як «міський об'єм» біосфери і називається при цьому *урбоекосистемою* (міською екосистемою). Через *урбоекосистеми* здійснюється безпосередній матеріально-енергетичний контакт між містом і суміжними природними екосистемами. Цим самим, опосередковано, територія, зайнята містом, «вмонтовується» у загальну структуру біогеоценотичного покриву. *Урбоекосистема* є сукупністю живих компонентів міста (рослин, тварин, мікроорганізмів), середовища їхнього існування та процесів, що відбуваються внаслідок їхньої взаємодії з іншими компонентами

міського середовища. Серед усіх проявів негативного впливу сучасних міст на природне оточення головними є такі:

- забруднення усіх компонентів урбоєкосистем – отруєння атмосфери пило-газовими викидами від промислових об'єктів і автотранспорту, забруднення ґрунтів і природних вод – токсичними речовинами і стічними водами;
- вилучення з користування великих площ продуктивних земель і лісових масивів під будівництво житлових масивів, промислових комплексів, доріг, аеродромів тощо.

Отже, *урбоєкологія* – новітня галузь екології, яка вивчає і визначає шляхи поліпшення екологічного стану сучасних міст. Це, зокрема, такі шляхи:

- поступова стабілізація зростання міст;
- збільшення площ «зеленої зони» міст через створення парків, скверів, бульварів, захисних зон уздовж доріг тощо;
- зменшення забруднення міст автотранспортом за рахунок переходу на екологічно чисті двигуни і пальне, максимального використання метро і наземного електротранспорту, створення шумозахисних бар'єрів;
- проектування і створення санітарно-захисних зон навколо всіх без виключення промислових об'єктів;
- розробка генеральних планів розвитку міст з урахуванням циркуляції повітря, сучасного екологічного стану, максимальним збереженням існуючих зелених насаджень;
- створення «мозаїчного» міського ландшафту за допомогою чергування природних штучних ділянок, що ускладнює структуру і робить ландшафт стійкішим до зовнішніх впливів.

З розвитком ландшафтної архітектури виник новий напрям урбоєкології – екологічна архітектура, що досліджує проблеми забудови міст з максимальним урахуванням екологічних факторів, збереженням і розширенням зелених зон. Цей напрям отримав назву *аркологія*.

Не так давно виникла і активно розвивається одна з найбільш актуальних нині новітня галузь екології – *мілітаристична екологія*, або *екологія військової діяльності*. Чому вона виникла? Тому що результатом військової діяльності є не лише колосальні витрати і загроза глобальної ядерної війни, але й величезний негативний вплив на природне середовище. Нині війни стали екологічним лихом всесвітнього масштабу. Військовими об'єктами вилучаються з користування і забруднюються великі площі продуктивних земель, лісових масивів, а також акваторій Світового океану (для проведення військових навчань, під військові поліго-

ни, склади зброї тощо), і це навіть тоді, коли *немає стану війни*. Крім того, мілітаристична економіка і військова техніка споживають величезну кількість мінерально-сировинних ресурсів, енергії, палива, металів. Наприклад, бригада танків (близько 350 одиниць) потребує більше 2 тис т пального на день.

Внаслідок багаторічних порушень природоохоронного законодавства, зокрема щодо утримання і експлуатації авіаційних, військово-морських баз, полігонів і танкодромів, учбових центрів, баз і складів паливно-мастильних матеріалів, військово-ремонтних і будівельних підприємств, парків бойової і автотракторної техніки, об'єктів тепло-, водо-, енергопостачання, зливних і очисних споруд, місць збору і утилізації відходів, а також внаслідок недотримання вимог екологічної безпеки під час проведення заходів бойової підготовки військ і сил флоту уже забруднено та продовжується забруднення основних складових довкілля: ґрунтів, поверхневих та підземних вод, атмосферного повітря.

Об'єкти військової діяльності – військові бази, містечка, арсенали, склади боєприпасів, сховища паливно-мастильних матеріалів і ракетного палива, авіаційні й загальновійськові полігони, танкодроми, звалища і захоронення небезпечних відходів – створюють реальну і потенційну небезпеку для населення і довкілля, забруднюють навколишнє середовище хімічними речовинами, зокрема важкими металами, підвищують радіаційний фон, що призводить до деградації природних екосистем. Надзвичайну небезпеку створюють хімічні бойові речовини, що зберігаються на складах або затоплюються в акваторіях.

У ході нинішнього військового конфлікту на сході України відбувається руйнування дамб, знищення лісів, земель, водних ресурсів, природно-заповідних територій, величезне забруднення усіх компонентів природного середовища, які ще довго будуть непридатними для життя. У родючих українських землях, в озерах і річках залишаються міни, снаряди та інші боєприпаси. Колись треба буде рекультивувати воронки від снарядів, ракет і мін, залишки бетонно-земляних укріплень, окопів, землянок, бункерів, прибирати підбиту військову техніку, міни.

Серед найбільш руйнівних екологічних наслідків, зокрема, порушення екосистем і природоохоронних територій, руйнування екологічно небезпечних промислових об'єктів, погіршення санітарно-гігієнічних показників джерел питної води, порушення геологічного середовища. У зоні бойових дій перебувають такі важливі об'єкти природно-заповідного фонду, як національний природний парк «Святі гори» та Луганський природний заповідник, яким завдано великої шкоди. Донбас є однією з найбільших найнебезпечніших природно-техногенних екосистем у світі – на площі до 20 тис км² сконцентровано більше 4 тисяч потенційно

небезпечних об'єктів. Екологічні наслідки військових дій на Донбасі є катастрофічними. Це – друга за масштабами (після Чорнобильської техногенно-ядерної катастрофи) військово-техногенна екологічна катастрофа в Україні.

Отже, військові дії є найпотужнішим чинником руйнування довкілля, що спонукає негайно шукати нових заходів та шляхів зменшення екологічного лиха, заподіяного військовими. Саме це й є головною метою досліджень мілітаристичної екології, покликаної вивчати вплив військової діяльності на природне середовище та розробляти шляхи ліквідації або хоча б мінімізації наслідків цього впливу.

Серед інших актуальних новітніх галузей сучасної екології слід назвати *радіоекологію*. Після відкриття явища радіоактивності у 1896 р. французьким фізиком Анрі Беккерелем спочатку виникла радіологія, а згодом – *радіобіологія*. Провідне місце в радіобіології, починаючи з початку її становлення як нової галузі наукового пізнання, посідала проблема впливу іонізуючого випромінювання на організм тварин і людини. При цьому ключовими у вивченні впливу опромінення на біологічні об'єкти завжди були завдання визначення поглинутої дози, біологічної ефективності різних видів випромінювання, що дозволяє прогнозувати найближчі й віддалені наслідки променевого ураження.

Після аварії на Чорнобильській АЕС активно почала розвиватися *радіоекологія*, покликана вивчати існуючий природний радіоактивний фон, антропогенні радіоактивні забруднення природних екосистем, продуктів харчування та організму людини; а також розробляти і встановлювати нормативи радіаційного випромінювання. Її називають наукою про взаємозв'язок між радіоактивністю середовища, організмами та їхніми угрупованнями. Крім цього, це розділ екології, що вивчає накопичення радіоактивних речовин організмами та їхню міграцію у біосфері.

Радіоактивні опади, залежно від розміру часток та висоти їхніх викидів у атмосферу, мають різні терміни осідання і радіус поширення. Під час аварій атомних реакторів, розгерметизацій поховань радіоактивних відходів бруд розповсюджується на десятки й сотні кілометрів, а внаслідок вибухів ядерних бомб – по всій планеті. Як відомо, дози іонізуючого опромінення, що відповідають природному фонові, не шкідливі для життєдіяльності переважної більшості організмів та їхнього потомства. Проте навіть цей природний рівень в окремих випадках може спричинити шкідливі мутації. З підвищенням дози іонізуючої радіації імовірність виникнення таких змін зростає.

Екстремальна радіоекологія припускає появу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з розповсюдженням у навколишньому середовищі радіоактивних матеріалів або продуктів їхнього ділення. Причому зонами радіоактивного забруднення можуть бути земна поверхня, будівлі і споруди, повітряне середовище, водні об'єкти з місцями нересту і ловлі риби, підводні об'єкти з ядерними енергетичними установками, які самі по собі є джерелами радіоактивного забруднення.

Результати радіоекологічних досліджень використовуються при проектуванні АЕС та інших радіаційних і ядерних технологій. Ці дослідження є основою для розробки норм допустимих рівнів радіоактивності продуктів харчування, будівельних матеріалів, правил захисту від дії випромінювання.

Однією з новітніх галузей екології, точніше, біоекології, є **біоіндикація** (від грец. *bios* – життя, лат. *indico* – вказую), яка вивчає стан природного середовища за реакціями живих організмів, а також характер антропогенного впливу на різні організми та їхню життєдіяльність. Біоіндикація здійснює оцінку якості середовища та його окремих характеристик за станом біоти у природних умовах. Біоіндикація базується на спостереженні за складом і чисельністю видів-індикаторів. Для виявлення змін природного середовища під впливом антропогенних факторів складаються реєстри організмів-індикаторів. *Біоіндикаторами* називають групу особин одного виду, за наявності, станом або за поведінкою котрих судять про різні негативні зміни у природі.

Наприклад, біоіндикація забруднення водойм – це система оцінки ступеня забруднення водойм, що базується на вивченні стану водних біоценозів, присутності індикаторних організмів, аналізі видової структури популяцій, функціональних характеристиках біоценозів тощо. У якості біоіндикаторів обирають організми, найбільш чутливі до антропогенних факторів. Так, для оцінки екологічного стану поверхневих вод використовують спостереження за поведінкою дафній¹, молюсків, деяких риб. Індикаторами забруднення атмосферного повітря часто виступають лишайники – їхній склад і біологічні особливості. Цей напрям біоіндикації має назву *лихеноіндикація*. Лишайники особливо чутливі до підвищення концентрації у повітрі двоокису сірки, тому поблизу автомагістралей, металургійних підприємств, ТЕС вони практично не зустрічаються.

Отже, біоіндикація має на меті визначення біологічно значущих навантажень на основі реакцій на них живих організмів та їхніх спільнот. Це у повній мірі стосується усіх видів антропогенних забруднень. Головним завданням біоіндика-

¹ *Дафнія (Daphnia)* – рід невеликих планктонних ракоподібних розміром 0,2-5 мм, що мешкають у різних середовищах від кислих боліт до прісноводних озер, ставків і річок.

ції є розробка методів і критеріїв, які могли б адекватно відображати рівень антропогенних збурень з урахуванням комплексного характеру забруднень, а також діагностувати ранні порушення у найбільш чутливих компонентах біологічних спільнот. Біоіндикація, як і моніторинг, здійснюється на різних рівнях організації біосфери – на рівні макромолекули, клітини, органу, організму, популяції, біоценозу.

Різні види господарського планування, проектування і управління потребують урахування *геоенергоаномальних зон*, які впливають не лише на здоров'я людей і стан біоти, а й на стійкість фундаментів, схилів, споруд. Геоенергоаномальні зони зазвичай збігаються з геологічними аномаліями – розломами, тріщинами у земній корі, ділянками великої концентрації тектонічних напружень, високого теплового потоку з надр Землі, карстом, підземними водними потоками, рудними вузлами, родовищами руд металів тощо. Для них характерні гравітаційні, теплові, електромагнітні, геохімічні аномалії, активна міграція різноманітних газів і розчинів у земній корі, підвищена сейсмічна активність. На перехрестях геологічних розломів рівень небезпечності зони підвищується.

Потоки енергії, які надходять з надр Землі, впливають на перебіг біохімічних процесів у живих організмах, контролюють умови існування всіх живих істот, у т. ч. й людини. Цей вплив може бути або негативним, або позитивним. Залежно від того, входить чи виходить енергетичний потік, розрізняють геопозитивні (сприятливі) і несприятливі – геопатогенні зони (від грец. *ge* – земля, *pathos* – страждання, *genesis* – походження). Ці зони чітко перпендикулярні поверхні Землі і пронизують її повністю, не змінюючи своєї напруженості. Якщо, наприклад, будинок споруджено на геопатогенній ділянці, у його жителів знижуються імунітет, працездатність, підвищується ризик захворювань. Геопатогенні зони (ГПЗ) є однією з причин ДТП. Мешканці ГПЗ страждають на безсоння, втрату сил, частіше хворіють. Онкологічні захворювання тут зустрічаються утричі частіше, ніж у геопозитивних зонах. Потерпають також будівлі – капітальні стіни руйнуються на 30 років раніше. У деяких країнах навіть існують спеціальні попереджувальні знаки: «*Ви в'їжджаєте у зону підвищеної небезпеки, пов'язаної з ГПЗ*». На появу ГПЗ впливає й людський фактор – тунелі метро, трубопроводи, лінії електропередач, перехрестя доріг.

Нині для вивчення ГПЗ використовують різні методи. А новітня галузь екології, яка й здійснює ці дослідження, має назву *екологія геоенергоаномальних зон*. Вона вивчає вплив енергії навколишнього простору на живі організми, при-

чини послаблення або посилення цієї енергії у зв'язку з планетарними і космічними процесами.

Всебічна інформатизація суспільства, широке застосування інформатики у вирішенні проблем природного середовища призвело до появи новітньої галузі екології – **геоекоінформатики**, що розробляє теорію, засоби і технологію інформаційного забезпечення і автоматизації екологічних досліджень з метою раціоналізації природокористування і охорони природи. Виникнення геоекоінформатики зумовлено насиченням суспільства інформаційною технікою і технологіями. Формується так звана *інфосфера* – сфера інформатизації та оволодіння інформаційними ресурсами у сфері взаємодії суспільства і природи.

Дослідження у сфері формування та використання екологічної інформації нині є надзвичайно актуальними. Часто недостатня кількість інформації заважає повному розумінню причин і наслідків екологічної деградації. Інформація як категорія є достатньо складною та суперечливою. Екологічною вважається будь-яка інформація у письмовій, аудіовізуальній, електронній або будь-якій іншій матеріальній формі про стан компонентів природного середовища і взаємодію між ними, про антропогенні чинники, а також діяльність і заходи, що впливають на ті чи інші елементи навколишнього середовища.

Інформаційні потреби суспільства, особливо у сфері знань про природне середовище і антропогенний вплив на нього, останнім часом стрімко зростають. Це пов'язано з прагненням людства управляти станом середовища проживання та, відповідно, впливами на нього.

Одним з новітніх наукових напрямів у екології є **психоекологія** – наука про вплив навколишнього середовища і суспільства на особистість, психіку, поведінку, настрій і здоров'я людини. Психоекологія вивчає зв'язки між станом психіки людей та різними екологічними чинниками. Також психоекологія досліджує проблеми адаптації людини до погіршення екологічних ситуацій; нервові травми та психози, спричинені екологічними факторами. Основні напрями досліджень психоекології – психозондування і психокорекція.

Одним з наймолодших напрямів екологічних досліджень є **космічна екологія**. Виникнення *екології Космосу* пов'язане з необхідністю запобігання шкідливому забрудненню космічного простору і небесних тіл, а також розроблення систем життєзабезпечення для тривалих міжпланетних польотів. Поняття забруднення Космосу охоплює як його засмічення, так і зараження. На орбітах навколо Землі обертається близько 8 тисяч космічних об'єктів, більшість з яких вже виконали свої завдання і не представляють ніякої наукової цінності. З метою запобігання

подібному забрудненню Космосу слід скорочувати до мінімуму кількість космічних об'єктів, які втратили наукове і практичне значення, але продовжують рух орбітою навколо Землі. Сюди ж слід віднести і припинення радіопередач з бортів космічних об'єктів після виконання ними свого призначення. Отже, проблема включає у себе запобігання радіоактивному, біологічному і хімічному забрудненню Космосу.

Космічні ракети розширили межі пізнання людиною Сонячної системи. Наука вже не обмежується вивченням лише навколоземного простору, міжпланетні кораблі вирвалися за межі земного тяжіння і розпочали дослідження Космосу в районах Місяця, Марса, Венери. Все це стало можливим завдяки розвитку найважливіших областей сучасної науки і техніки, насамперед ракетної техніки, радіоелектроніки, ядерної фізики.

Щоб вивести багатоступінчастою ракетою на навколоземну орбіту одну тонну корисного вантажу, потрібно спалити кілька десятків тонн палива. Для вантажу в 10 тонн – сотні тонн палива. Американська ракета «Сатурн-5», що виводить на орбіту 130 тонн, сама важить 3000 тонн. При цьому ракети-носії² на Землю не повертаються. Зробивши свою справу, розігнавши корисне навантаження, вони відокремлюються і падають, розбиваються об Землю або тонуть в океані. Ракети будують тільки для одного польоту. Тому політ на орбіту кожного супутника або космічного корабля обходиться дуже дорого.

Найменш шкідливим паливом вважається рідкий водень, в результаті згоряння якого утворюється водяна пара. Таке паливо використовується у ракетах-носіях «Спейс Шаттл» (США). Українська ракета «Зеніт-2» і російська «Союз» («Русь») використовують гас – порівняно нешкідливе паливо. У російській ракеті «Протон» застосовується дуже агресивне і токсичне паливо – гідрозин, гептил і азотний тетраоксид.

Найбільша американська шестиступінчаста ракета «Сатурн V», яка доставляла американських космонавтів на Місяць, мала висоту 110,6 м. Американське космічне агентство (НАСА) розпочало будівництво надпотужної ракети-носія «СКЗ» («Система космічних запусків»). Перший тестовий і непілотований запуск «СКЗ» заплановано на кінець 2018 року. Вже до 2030-го ракета має відправляти астронавтів на Марс (Рис. 3). Перша ракета сімейства «СКЗ» зможе виводити на орбіту висотою 160 км вантаж вагою 70 т. Наступні модифікації будуть удвічі потужнішими (130 т). Попередній «рекордсмен» – ракета «Сатурн V» – могла вивес-

² *Ракета-носії* – апарат, що використовує принципи реактивного руху і призначений для виведення корисного вантажу у космічний простір.

ти на низьку опорну орбіту не більше 118 т вантажу. «СКЗ» перевершить «Сатурн V» і за висотою – 117 м.

Екологічні наслідки запусків ракет залежать від маси ракет і частоти запусків, тобто вантажопотоку на орбіту. У грудні 2014 р. Індія запустила у Космос свою найбільшу ракету-носій вагою 630 т. Космічний апарат стартував з острова Шрихарикота, що у південному штаті Андхра-Прадеш. Нова ракета класу GSLV (ракета-носій для запусків геосинхронних супутників) дозволить країні виводити у космос більші космічні апарати. Раніше подібні запуски робили лише США, Росія і Китай.



Рис. 3. Ракета-носій «Протон» (ліворуч), а так може виглядати запуск ракети, яка полетить на Марс (праворуч)



Космічна ракета, або «ракетний поїзд», як її називав Ціолковський, являє собою сукупність ракет-ступенів, що в міру витрати палива автоматично чи за командою із Землі відокремлюються від ракети, звільняючи її від зайвого вантажу. В польоті ракети-ступені працюють послідовно. Різні ракети мають різне число ступенів, що змінюється від двох до шести. Нульова і перша ступені ракети-носія працюють близько однієї-двох хвилин. Після згоряння палива ступені відстрілюються і падають на відстань близько 100 км від місця старту ракети. Другі й треті ступені падають на відстанях близько 800 і 2500 км відповідно. Для запуску ракет відчужується ділянка земної поверхні площею 1500-5000 км². Сумарна маса падаючих ступенів (залежно від типу ракети) змінюється від декількох десятків до кількох сотень тон. Небезпеку для довкілля представляють як самі ступені ракет, так і залишки токсичного палива. Тільки у країнах СНД залишками палива

від ракет «Протон», «Циклон» і «Космос» забруднено близько 10 тис км² земної поверхні.

Типовий приклад порушення екологічної рівноваги

Жителі алтайського села Саратан розповіли, що перші нещастя у них розпочалися у 1959 р., коли на альпійських луках почали знаходити великі уламки якоїсь техніки (багато хто думав, інопланетної, бо про Байконур у селі ще нічого не знали). Стали гинути коні, корови та вівці. Поступово була знищена практично вся рослинність, зникли високогірні квіти. Потім місцевість залишили птахи: косячі, білі куріпки, глухарі, зозулі і навіть невибагливі горобці. З околишніх лісів зникли лосі, вовки та ведмеді. Жителі алтайських сіл почали рано сивіти, хворіти на гіпертонію, страждати від захворювань нирок і печінки, спостерігалися випадки випадіння волосся, зареєстровано багато випадків онкологічних і психічних захворювань. Лікарі пов'язували все це із впливом ракетного палива гептилу, але правду хворим не повідомляли, тому що в СРСР це було державною таємницею.

Нині навіть керовані спуски орбітальних станцій (ОС) є дуже небезпечними. Річ у тім, що за десятиліття функціонування ОС у них з'являється власна забруднена атмосфера, де розвиваються маловивчені мікроорганізми. За 11 років функціонування ОС «Мир» на ній з'явилося 140 видів мікроорганізмів, а для деяких з них змінилося близько 190 тисяч поколінь. На думку японських фахівців, ці мікроорганізми-мутанти є своєрідною бактеріологічною зброєю, що ставить космонавтів у екстремальні умови і загрожує землянам, бо їй досі незрозуміло, як поведуть себе ці мікроби після падіння ОС в океан.

Дуже небезпечним є перебування на навколоземних орбітах десятків об'єктів з ядерними і радіоізотопними установками. Їхнє падіння (а усі космічні апарати рано чи пізно падають) завжди призводить до серйозних екологічних наслідків. У 1978 р. радянський «Космос-954» з ядерною енергоустановкою зруйнувався в атмосфері над Канадою, що призвело до радіоактивного забруднення близько 100 тис км² земної поверхні.

Як відомо, шлях у Космос лежить через приземну атмосферу (10-20 км від поверхні Землі). Саме вона першою приймає на себе удар ракети, що стартує, коли відбуваються найбільші за масою викиди продуктів згоряння. Також тут генеруються найпотужніші акустичні та електромагнітні випромінювання. Наприклад, внаслідок роботи двигунів однієї з найбільш екологічно чистих ракет «Спейс Шаттл» до атмосфери викидається близько 1850 т продуктів згоряння, з яких приблизно половина – у приземну атмосферу. Однієї соляної кислоти потрапляє у зо-

внішнє середовище 160 т, з них більше 90 т – у приземну атмосферу. Після цього на великих площах спостерігаються рясні кислотні дощі. Окрім розглянутого впливу, запуски космічних апаратів супроводжуються тепловим, газодинамічним, електромагнітним впливом струменя, динамічним впливом корпусу ракети тощо.

За більш ніж півстоліття космічної ери у Космос запущено близько 24 тисяч штучних космічних об'єктів (близько 500 штук щороку). Майже 8 тисяч з них й досі знаходяться на навколоземних орбітах. Більш ніж 16 тисяч згаданих об'єктів упали на поверхню Землі (близько 400 штук щороку, у середньому падає один об'єкт на день). Фрагменти космічного сміття мають відносну швидкість близько 10 км/с. Тому навіть одна «космічна смітинка» масою 10 г має кінетичну енергію близько 50 тис Дж. Це еквівалентно вибуху 120 г вибухової речовини, достатньої для підриву, наприклад, автомобіля. Фрагменти космічного сміття бувають різних розмірів – від декількох міліметрів до кількох метрів. Тільки фрагментів з розміром понад 10 см у Космосі знаходиться близько 8 тисяч. За ними ведуться постійні спостереження, усі дані заносяться у спеціальні каталоги. Загальна вага цих фрагментів перевищує 3 тис т.

Кількість фрагментів розміром від одного до 10 см перевищує 300 тисяч. Кількість же частинок з розміром менше 1 см становить кілька сотень мільйонів. При зіткненні цих фрагментів відбувається їхнє подальше дроблення. Починаючи з якогось моменту часу, цей процес може стати лавиноподібним, після чого і раніше не дуже безпечні польоти у Космос стануть взагалі неможливими. Одночасно безповоротно зміняться фізичні властивості самого Космосу. Можливі наслідки цих змін поки що пророчити дуже важко.

Отже, людина підкорила всі земні оболонки: літосферу, гідросферу, атмосферу. Півстоліття тому вона почала підкоряти Космос. Людина скрізь ґрунтовно зіпсувала навколишнє середовище, що спричинило дуже серйозні екологічні проблеми. Весь досвід людства свідчить: до чого людина не доторкається – неодмінно поряд з безсумнівними благами з'являються нові проблеми, у тому числі й екологічного характеру. Пройде не так багато часу, і вже наші нащадки будуть писати не про екологію Космосу, а про екологію Сонячної системи, а потім і про екологію нашої Галактики... Такий неминучий підсумок технічної діяльності людини у Космосі. Науковий і технологічний прогрес зупинити не можна, залишається лише мінімізувати його шкідливі екологічні наслідки.

Проте космічна діяльність може позитивно вплинути на деякі аспекти охорони природи. Космічна техніка надає унікальні можливості не для фрагментарного, а для глобального збору об'єктивних даних про стан природних ресурсів.

Крім того, вона вже зараз може суттєво збільшити можливості спрямованого впливу на природне середовище з метою отримання оптимального результату. Крім того, багато технічних рішень щодо екологічних проблем, призначених для забезпечення тривалих космічних польотів, застосовуються для розв'язання цілком земних проблем охорони навколишнього середовища.

Тому можливість використання такого потужного засобу, як космічна техніка, з метою охорони природи Землі привертає увагу екологів. Основними розділами космічної екології є *екологія космічних апаратів, екологія ближнього Космосу, екологія планет сонячної системи, екологія зовнішнього Космосу, глобальний космічний екомоніторинг*.

Продовжують виникати і розвиватися найновітніші напрями екології, зокрема *екологія культури, внутрішньодержавна і міжнародна екополітика* та багато інших.

1.4 Об'єкти дослідження, методи й основні завдання екології

Сучасна екологія є однією з головних фундаментальних наук про взаємовідносини живої і неживої природи, нова філософія людства. Це наука про середовище нашого проживання, його живі й неживі компоненти, їхній взаємозв'язок, що формує умови життя і розвитку всіх екосистем. Екологічна діяльність нині — одна з невід'ємних складових будь-якої сфери людської діяльності: промислового виробництва, енергетики, сільського і лісового господарства, транспорту, наукових досліджень, військової справи, культури і навіть релігії.

Сучасна екологія із суто біологічної науки перетворилася на цілий цикл знань і з традиційної біоекології виросла у комплексну, складну інтегральну науку-лідера. Для вивчення всіх складових сучасних екологічних проблем, визначення шляхів виходу з екологічної кризи сучасна наука про довкілля залучає знання практично з усіх інших наук. Значне структурне розгалуження екології визначається різноманітністю об'єктів її цікавості. У межах традиційної екології *об'єктом* дослідження є *екосистеми* різних рівнів організації (залежно від рівня досліджень) та їхні окремі складові елементи. *Предметом* дослідження при цьому є взаємозв'язки живих і неживих компонентів екосистем, а також вплив природних і антропогенних факторів на функціонування екосистем і біосфери у цілому.

Різні галузі й розділи екології мають вузьчі об'єкти досліджень, проте все одно це екосистеми. Наприклад, для геоекології — це *геоекосистеми*; соціоекології — *соціоекосистеми*; екології людини — *антропоекосистеми*; урбоекології — *урбоекосистеми*. Більшість термінів екології запозичені з інших наук і характеризують-

ся префіксом «еко». У екології використовується велика кількість понять інших наук – фізики (маса, енергія, вологість), хімії (елементи, атоми, кислотність), біології, географії, геології та інших.

Оскільки для ефективного вирішення сучасних екологічних проблем необхідно мати фактичний і науковий матеріал геохімічного, геофізичного, біохімічного, біологічного, медичного, фізичного, хімічного, геологічного, соціального, економічного та іншого характеру, а також можливість статистичної обробки, програмування, моделювання різних процесів, синтезування й прогнозування, сучасна екологія використовує усі ефективні, у т. ч. найновіші, методи і апаратуру цих наук. Завдяки цьому екологія й стала найбільш інтегральною з усіх наук.

Методологічною основою екології є *системний підхід*, який зумовив формування цілого напрямку, що став самостійною галуззю, – *системної екології*. Системний підхід передбачає пізнання об'єктів як систем. Кожна система – це безліч взаємопов'язаних елементів, що утворюють певну цілісність, єдність. Її склад, структуру і властивості вивчають за допомогою *системного аналізу*, що є сукупністю методологічних прийомів, використовуваних для вирішення складних наукових проблем – від простих описових методів до дуже складних математичних. Технічною основою системного аналізу є сучасні інформаційні системи з широким спектром методів математичного програмування.

Методологічний «каркас» екології становлять три групи методів дослідження: *польові (натурні) спостереження, прямий експеримент і моделювання*. До широкого арсеналу методів дослідження екології належать як традиційні, так і нові. Серед них, зокрема, *статистичний метод*, який дозволяє здійснювати отримання, обробку і аналіз первинних статистичних матеріалів. *Балансовий метод* дозволяє зіставляти наявність природних ресурсів з їхнім використанням. *Порівняльний метод* передбачає вивчення тих чи інших об'єктів через порівняння з іншими об'єктами; частіше порівнюють забруднені та екологічно чисті території. Широко використовуються *методи математичної статистики*.

У вивченні екологічних проблем біосфери все більшого значення набувають *аерокосмічні методи* дослідження. Нині у багатьох країнах створені й функціонують глобальні експериментальні системи вивчення природних ресурсів, до складу яких входять водний, наземний і ракетно-космічний комплекс збору інформації, а також наземний комплекс її приймання, обробки, збереження, поширення і використання. Специфіка застосування космічних зйомок і отримання з них нової інформації обумовлена їхньою оглядовістю, можливістю вивчення поверхні Землі на різних рівнях генералізації (узагальнення).

Аерокосмічні методи дозволяють оцінити у динаміці процеси, що відбуваються у різних масштабах – локальному, регіональному чи глобальному. Зокрема, саме космічна зйомка, проведена японським супутником, зафіксувала поширення теренами Європи чорнобильських радіонуклідів, починаючи від другого дня після аварії. *Методи екологічної індикації* дають можливість визначити стан і властивості екосистем за видовим складом та співвідношенням між собою певних груп видів. Для проведення постійних спостережень широко застосовують *метод екологічного моніторингу*. Моніторинг буває локальним, регіональним чи глобальним (відповідно спостерігають за змінами у певній місцевості, регіоні або у біосфері в цілому). Особливо важливим є моніторинг еталонних заповідних ділянок (фоновий), оскільки саме він дає змогу спостерігати за функціональними (продуктивність, кругообіг речовин та енергії) і структурними (видове різноманіття, чисельність видів тощо) змінами у екосистемах. Моніторинг здійснюють за допомогою автоматичних і дистанційних пристроїв, що дозволяє збирати інформацію з ділянок, на яких проводити безпосередні спостереження складно або зовсім неможливо.

За допомогою методів математичного моделювання можна встановити взаємозв'язки організмів у екосистемах (харчові й нехарчові), залежність змін чисельності (продуктивності) популяцій від дії екологічних факторів тощо. Математичні моделі дають змогу прогнозувати можливі варіанти перебігу подій, виділяти окремі зв'язки, комбінувати їх. Наприклад, змоделювати, яку кількість особин промислових тварин можна вилучити з природних популяцій, щоб не знизити їхньої щільності; можливі спалахи чисельності шкідників; ймовірні наслідки антропогенного впливу на окремі екосистеми та біосферу в цілому. Різноманітні методи екологічних досліджень можна об'єднати у декілька груп:

У Перша група – *методи оцінки стану природного середовища*, зокрема:

- метеорологічні спостереження;
- визначення характеристик водного середовища (виміри температури, прозорості, солоності, хімічного складу води);
- визначення окремих характеристик ґрунтового середовища;
- виміри радіаційного фону;
- визначення ступеня забрудненості компонентів природного середовища;
- екологічний моніторинг.

У Друга група – *методи дослідження впливу чинників довкілля на життєдіяльність організмів*, а саме експерименти у лабораторних умовах. Так визнача-

ються критичні дози шкідливих речовин, за якими розраховують гранично допустимі концентрації (ГДК) для різних видів екологічного нормування.

У Третя група – *методи вивчення взаємовідносин між організмами*. До цієї групи належать натурні спостереження та лабораторні дослідження щодо харчових ланцюгів. Застосовується також нова експериментальна методика створення штучних екосистем, що по суті є лабораторним натурним моделюванням взаємодій організмів між собою та середовищем існування. Для цього створюють штучні частково замкнуті багатовидові системи – так звані мікрокосми.

У Четверта група – *методи математичного моделювання*, особливо важливі для цілей екологічного управління і прогнозування. Вже створені достатньо близькі до реальних процесів математичні моделі техногенних забруднень, їхнього розповсюдження в атмосфері, самоочищення водойм тощо. Набагато складніше моделювати екологічні системи, оскільки реальні об'єкти екології дуже важко піддаються суворому математичному опису. Завдяки потужним комп'ютерам нового покоління і засобам програмування з'явилися можливості розв'язання найскладніших системних екологічних завдань. Удосконалюються прийоми *глобального моделювання* з використанням моделей, які базуються на проблемно-прогнозному підході й дозволяють розглядати варіанти сценаріїв глобального розвитку.

У Окрема група – *методи прикладної екології*, зокрема такі види досліджень:

- створення геоінформаційних систем (ГІС) і банків екологічної інформації;
- інженерно-екологічні дослідження для цілей проектування, будівництва і реконструкції цивільних і господарських об'єктів;
- дослідження впливу техногенних забруднень на природне середовище і здоров'я людей;
- здійснення екологічного контролю за господарською діяльністю – екологічна паспортизація промислових об'єктів, екологічна експертиза тощо.

Це далеко не повний перелік методів дослідження сучасної екології. Звісно, усі вони призначені для вирішення конкретних цілей і завдань. Серед *завдань* екології першочерговими є ті, що стосуються вивчення загального стану біосфери, умов його формування та причин змін під впливом природних і антропогенних факторів; прогнозування динаміки стану біосфери у часі й просторі; розробки шляхів гармонізації взаємовідносин суспільства і природи з урахуванням основних екологічних законів; збереження здатності біосфери до самоочищення, саморегулювання і самовідновлення. Сучасні екологічні дослідження мають стати науковою базою для розробки стратегії й тактики поведінки людства у ХХІ столітті.

Оскільки завдання екології як науки дуже різноманітні, наведемо лише деякі найголовніші з них:

- дослідження закономірностей організації життя, передусім пов'язаних з антропогенними впливами на природні екосистеми і біосферу в цілому;
- наукове обґрунтування раціональної експлуатації природних ресурсів, прогнозування змін природи внаслідок діяльності людини та управління біосферними процесами, а також збереження середовища мешкання людини;
- розробка системи заходів, що забезпечують мінімум застосування хімічних засобів боротьби із шкідливими видами;
- екологічна індикація властивостей тих чи інших компонентів екосистем, у т.ч. індикація забруднення природного середовища;
- відновлення порушених природних екосистем, у т.ч. рекультивація виведених з користування сільськогосподарських угідь, відновлення пасовищ, родючості виснажених ґрунтів, продуктивності водойм;
- збереження (консервація) еталонних ділянок біосфери;
- розробка технологічних, інженерних і проектно-конструкторських рішень, що мінімізують збитки навколишньому середовищу і здоров'ю людини;
- прогнозування і оцінка можливих негативних наслідків діючих і проєктованих підприємств (технологічних процесів) для природного середовища, людини, живих організмів, різних галузей господарства;
- своєчасне виявлення і наступне коригування тих технологічних процесів, які руйнують навколишнє середовище, загрожують здоров'ю людини і негативно впливають на природні екосистеми.

Отже, нині наука екологія сприймається як система знань про взаємодію природи і суспільства, як міждисциплінарний синтез наук про структуру і функціонування природних і суспільних систем у їхньому взаємозв'язку. Екологія пройшла тривалий шлях становлення, починаючи від вивчення природи спочатку на рівні окремих організмів, потім – на популяційному рівні та в решті решт – на екосистемному, але достатньо довго проблем впливу людини на середовище її існування вона практично не торкалася.

Тільки на сучасному етапі розвитку прийшло розуміння, що «все пов'язане з усім», і лідером стала глобальна екологія – вчення про всіх і про все. Саме глобальна екологія узагальнює усю добуту інформацію і розробляє плани і програми раціонального природокористування різних рівнів, створює наукові основи економіки природокористування, формування регіональної і національної екологічної політики, укладання міжнародних угод, охорони довкілля, тобто визначення

стратегії збалансованого розвитку людства, збереження біосфери і життя на Землі. Тобто природні закономірності вивчаються вже на біосферному рівні.

Сучасна екологія є найбільш інтегрованою наукою, оскільки використовує методи і досягнення практично усіх наук і таким чином поєднує у собі точні, соціальні і гуманітарні науки. Це можна пояснити величезною різноманітністю і складністю об'єктів цікавості екології. Екологія досліджує як вплив чинників довкілля на окремі організми, так і взаємозв'язки у складних системах аж до рівня всієї біосфери. Тому основним об'єктом екологічних досліджень є екосистеми планети різного рівня організації. А предметом – взаємозв'язки живих і неживих компонентів екосистем, а також вплив різних факторів на функціонування екосистем і біосфери в цілому. Відповідними є й завдання екології, і саме екологічні дослідження мають стати науковою основою для розробки майбутньої стратегії поведінки людства у його ставленні до природи.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте екологію як науку та її різні тлумачення.
2. Проаналізуйте основні визначні події першого етапу розвитку екології та їхній вплив на подальший прогрес науки.
3. Як змінювався зміст екології на різних етапах її розвитку? Чим це було обумовлено?
4. Що докорінним чином відрізняє сучасний етап розвитку екології від усіх попередніх? Обґрунтуйте.
5. Назвіть основні блоки і розділи сучасної екології, їхні цілі й завдання.
6. Що, на вашу думку, є причиною значного структурного розгалуження сучасної екологічної науки?
7. Назвіть і охарактеризуйте відомі вам новітні галузі екології та розкрийте передумови їхнього виникнення.
8. Розкрийте основний об'єкт і предмет дослідження екології.
9. Що і чому є методологічною основою сучасної екології? Обґрунтуйте.
10. Чому, на вашу думку, сучасна екологія використовує усі ефективні методи природничих, технічних і соціальних наук?
11. Які методи екологічних досліджень вам відомі? Наведіть приклади.

2 ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХНЄ МІСЦЕ В ОРГАНІЗАЦІЇ БІОСФЕРИ

Екосистеми є функціональними одиницями біосфери подібно тому, як клітини є функціональними одиницями організму. Термін «екосистема» (від грецької *oikos* – місце проживання, домівка та *system* – ціле, складене з частин, поєднання) запропонував у 1935 р. англійський ботанік **Артур Джордж Тенслі** (1871-1955). За Тенслі, екосистема – це «одиниця природи на земній поверхні, яка охоплює сукупність організмів з комплексом факторів середовища». Тобто кожна екосистема є цілісною стійкою системою живих та неживих компонентів, а самі екосистеми є основними природними одиницями. Найзагальнішим сучасним визначенням можна вважати таке: *екосистема* – це сукупність різних



видів рослин, тварин і мікроорганізмів, які взаємодіють між собою та довкіллям таким чином, що вся ця сукупність може зберігатися невизначено довгий час.

А. Тенслі

Ще А. Тенслі відзначав, що до складу всіх екосистем входять дві групи компонентів – біотоп і біоценоз (Рис. 4). **Біотоп** (від грецької *bios* – життя і *topos* – місце) – це абіотичні (неживі) компоненти, тобто однорідна ділянка, що є місцем мешкання тих чи інших видів організмів. **Біоценоз** (*bios* – життя і *koinos* – спільний) – це біотичні (живі) компоненти, тобто спільнота організмів, що населяють біотоп – певну ділянку суші або водойми. Біоценоз є продуктом природного добору, стійкою системою існуючих на певній ділянці суші або водойму популяцій організмів.



Рис. 4. Склад екосистеми

Жоден біоценоз не може існувати сам по собі, незалежно від середовища – біотоп і біоценоз впливають один на одного шляхом безперервного обміну речовиною та енергією як між ними, так і усередині кожного з них. Тому їх об'єднують під спільною назвою **біогеоценоз** (*bios* – життя, *ge* – земля і *koinos* – спільний). Поняття про біогеоценоз запровадив російський академік *В.М. Сукачов* (1880-1967) у 1942 р. За його визначенням, *біогеоценоз* – це сукупність однорідних природних явищ (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу і мікроорганізмів, ґрунтів і гідрологічних умов) на певній ділянці земної поверхні, що має свою особливу специфіку взаємодій компонентів і певний тип обміну речовиною і енергією між собою та іншими явищами природи.

Терміни «біогеоценоз» та «екосистема» дуже близькі за змістом, їх можна навіть вважати синонімами. Основні відмінності пов'язані з тим, що терміном «*біогеоценоз*» позначають природний комплекс живих організмів і навколишнього середовища, який здійснює кругообіг речовин на конкретній ділянці земної поверхні, межі якої можна окреслити і навіть нанести на карту. Тоді як терміном «*екосистема*» позначають будь-яку сукупність живих організмів і умов середовища, де може здійснюватися кругообіг речовин між живими і неживими компонентами, незалежно від того, на якій ділянці поверхні Землі відбуваються ці події. Тобто екосистема не обмежується суворими рамками розмірів або кількістю компонентів, що створює можливість моделювання усіх процесів у екосистемі і навіть самої екосистеми. Якщо екосистеми можуть охоплювати комплекси будь-якого масштабу (від домашнього акваріуму до усього Світового океану), то для біогеоценозу підкреслюється його чітка територіальна приуроченість.

Отже, *екосистеми* – це відкриті, цілісні та стійкі системи живих і неживих компонентів, які історично склалися в біосфері на тій чи іншій території або акваторії.

2.1 Загальна характеристика екосистем та основні поняття

Приступаючи до вивчення екосистем, слід перш за все чітко визначити деякі поняття і терміни, що найчастіше вживатимуться. **Вид** – це певна категорія рослин, тварин та мікроорганізмів, здатних схрещуватися між собою. Дуже важливим поняттям, яке характеризує екосистеми, є **популяція** – сукупність особин одного виду з однаковим генофондом, яка живе на спільній території протягом багатьох поколінь. Основними показниками біологічної структури популяцій є чисельність, щільність і гомеостаз (Табл. 1).

Табл. 1. Основні показники структури популяцій

<i>Чисельність популяції</i>	<i>Щільність популяції</i>	<i>Гомеостаз популяції</i>
загальна кількість особин на певній території, яка постійно змінюється в результаті народження нових особин та їхньої загибелі від різних причин.	число особин або кількість біомаси на одиницю площі чи об'єму.	підтримка оптимальної в даних умовах чисельності; гомеостаз здійснюється через взаємовідносини особин.

Біомаса – це сумарна жива вага організмів у екосистемі, або кількість живої органічної речовини в екосистемі, накопиченої всією сукупністю рослинних, тваринних, грибних і бактеріальних організмів, виражена в одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму. **Фітомаса** – це загальна маса всіх рослинних організмів екосистеми чи її структурних елементів (фітоценозу, біогеогоризонту, біогеоценотичної парцели³), виражена в одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму. **Зоомаса** – це загальна маса усіх тварин екосистеми або її морфологічних (структурних) компонентів (біогеогоризонту, парцели, популяції, трофічного блоку консументів), також виражена у одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму.

В екосистемах завжди присутня певна кількість мертвої органіки, яка також обчислюється. **Мортмаса** – це загальна кількість мертвої органічної речовини, накопиченої в екосистемі, виражена в одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму. Розрізняють такі види мортмаси:

- *опад* – це відмерлі органів живих організмів, що опали на поверхню ґрунту (опале листя, засохлі гілки);
- *відпад* – характеризує масу цілих мертвих організмів на поверхні ґрунту чи в його товщі;
- *підстилка* – це маса опадів та відпадів на поверхні ґрунту;
- *старика* – це маса відмерлих органів рослин, які ще прикріплені до живого організму (відмерлі листя, гілки тощо);
- *перегній, або гумус* – це накопичені у верхніх шарах ґрунту стійкі органічні речовини, що утворилися в результаті розкладу і біохімічних перетворень відмерлих органічних решток.

Сумарна маса живої (біомаса) і мертвої (мортмаса) органічної речовини в екосистемі утворює **загальну органічну масу** і так само виражається у одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму.

³ *Біогеоценотична парцела* – типологічне поняття, яке об'єднує розрізнені частини біогеоценозу; структурна частина горизонтального розчленування біогеоценозів зі своїм складом, будовою, властивостями компонентів, специфікою їхніх зв'язків і мас-енергетичного обміну.

Важливим поняттям екосистемології є **продуктивність** – швидкість накопичування органічної речовини екосистемою чи будь-яким її структурним компонентом, що виражається у одиницях маси або енергії на одиницю площі за одиницю часу. Терміном «*продукція*» позначають кількість органічної речовини, накопиченої екосистемою або її структурним елементом в одиницях маси чи енергії на одиницю площі. **Біопродуктивність** – це швидкість виробництва біомаси на певній площі за одиницю часу. Вона може бути кількох видів, зокрема:

- *валова первинна продуктивність* (або продуктивність продуцентів) – це швидкість накопичення органічної речовини автотрофами у процесі фотосинтезу за одиницю часу на одиниці площі, включаючи й ту органічну речовину, яка на період визначення була витрачена на дихання;
- *чиста первинна продуктивність* – це швидкість накопичення органічної речовини у рослинних тканинах, яка використовується на забезпечення росту і розвитку, тобто без тієї кількості органіки, що була витрачена на дихання;
- *вторинна продуктивність* – це швидкість накопичення органічної речовини консументами на одиницю площі за одиницю часу.

Загалом наземні екосистеми Землі протягом року продукують близько 115 млрд т первинної чистої продукції, третина якої припадає на вологі тропічні ліси. Річна чиста первинна продукція скелястих, піщаних і льодовикових пустель, площа яких приблизно 16% від площі суші, становить лише 0,07 млрд т, тобто їхня продуктивність є найнижчою (близько 3 г/м² щороку). Світовий розподіл первинної продуктивності в основних екосистемах виглядає таким чином:

- пустелі, глибини океану – менше, ніж 0,5 г сухої речовини за добу на 1 м²;
- степи, глибокі озера, гірські ліси, води континентального шельфу – від 0,5 до 3,0 г/м²;
- вологі ліси, вторинні ценози, дрібні озера, вологі луки – 3,0-10,0 г/м²;
- естуарії, джерела, наземні угруповання на алювіальних рівнинах, інтенсивне круглорічне землеробство (цукрова тростина) – 10,0-25,0 г/м².

Середня річна чиста первинна продуктивність Світового океану майже у 1,2 рази менша від продуктивності суходолу, а за рік в океані виробляється всього 55 млрд т рослинної маси (що удвічі менше, ніж на суші). У різних типах лісів величина первинної продукції коливається в межах 200-450, а на луках становить 16 т/га. На гектарі Світового океану в середньому в 1000 разів менше фітомаси, ніж на суші. Загальні запаси рослинної продукції біосфери становлять 1841 млрд т, серед них продукція океанів досягає лише дещо більше 0,2%. Таким чином, відкритий океан, який займає 65% площі земної кулі (332 млн км²), можна вважати

екологічною пустелею. А понад 90% глобальної фітомаси припадає на лісові екосистеми (головним чином, деревину), що визначає гостроту проблеми забезпечення людства продуктами рослинної їжі та виживання взагалі.

Під час вивчення тієї чи іншої екосистеми найчастіше характеризують такі її властивості:

- Структура екосистеми, її функціональні компоненти, кругообіги речовини та енергії, тобто все, що визначає, як «працює» екосистема.
- Енергетика екосистеми, напрями і швидкість руху речовини та енергії трофічними ланцюгами.
- Продуктивність екосистеми у вигляді біологічної продукції і біомаси, продуктивності окремих трофічних рівнів або окремих представників біоти.
- Утилізація організмами природних ресурсів і потоку енергії.
- Видовий і популяційний склад, кількісне співвідношення популяцій в екосистемі, а також просторовий розподіл окремих елементів екосистеми.

Виділення та просторове виокремлення різних екосистем робиться досить довільно. Чіткі межі між ними зустрічаються рідко (наприклад, майже завжди існує чітка межа між водною і наземною екосистемою). Між іншими екосистемами існує *перехідна зона*, що має особливості, властиві обом сусіднім екосистемам.

2.2 Структура екосистем

Структура є найважливішою властивістю будь-якої системи. Під структурою розуміють внутрішню будову системи і певні зв'язки між її складовими частинами. Загалом розрізняють просторову і функціональну структуру екосистем. *Просторова*, або *морфологічна*, *структура* відображає склад, структурні співвідношення і просторове розташування структурних елементів чи блоків екосистеми, які визначають особливості її функціонування в певних умовах середовища. *Функціональна структура* відображає особливості «роботи» (функціонування) структурних компонентів екосистеми. Вона характеризує темпи, обсяги та наслідки речовинно-енергетичного обміну, стійкість і стабільність, продуктивність та інші важливі функції екосистем.

Характеризуючи функціональну структуру екосистем, слід звернути увагу на такі найголовніші функціональні ознаки екосистем:

- засвоєння і трансформація енергії;
- продукування органічної маси;
- переміщення речовинно-енергетичних ресурсів уздовж трофічних (харчових) ланцюгів;

- деструкція мертвої органіки і біотичний кругообіг (біогеохімічні цикли);
- постійна динаміка, розвиток та еволюція;
- саморегуляція, стійкість і стабільність.

Отже, виходячи з того, що екосистеми – відкриті, цілісні та стійкі системи живих (автотрофних продуцентів, гетеротрофних консументів і редуцентів) і неживих (абіотичне середовище) компонентів, поняття структури екосистем можна визначити як *складові частини екосистем та шляхи їх взаємодій, що забезпечує збереження єдиного цілого*. Однією з найважливіших ознак функціональної структури екосистеми є її трофічна будова.

Кожна екосистема має два основні компоненти: організми з одного боку і фактори оточуючого їх середовища – з іншого. Вся сукупність організмів – це біота екосистеми. Шляхи взаємодії різних категорій організмів утворюють *біотичну структуру* екосистеми. Оскільки усі екосистеми містять одні й ті ж самі категорії організмів, не зважаючи на їхню велику різноманітність, можна зробити висновок: усім екосистемам, незалежно від їхнього розміру і місця розташування, властива приблизно однакова біотична структура.

Категорії організмів (продуценти, консументи, детритофаги) різняться за способом живлення і тими функціями, які виконують в екосистемі. До першої категорії належать організми, які виробляють органічну речовину з неорганічних сполук. Це – **продуценти** (від лат. *producens* – той, що виробляє). Переважна більшість продуцентів – зелені рослини, що здійснюють фотосинтез, перетворюючи неорганічні речовини (воду, вуглекислий газ, мінеральні сполуки) на органічні (білки, жири, вуглеводи) з виділенням кисню як побічного продукту. Їх ще називають *автотрофи* – ті, які «живляться самі».

Також до категорії продуцентів належать *хемоавтотрофи* (хемотрофи) – частина найпростіших, які виробляють органічну речовину, окислюючи мінеральні сполуки деяких хімічних елементів, тобто здійснюють хемосинтез. Хемосинтез спостерігається у деяких хемоавтотрофних бактерій, які використовують окислення водню, сірки, сірководню, аміаку, заліза як джерело енергії. Хемоавтотрофи у природних екосистемах відіграють відносно невелику роль, за виключенням дуже важливих нітрифікуючих бактерій.

Автотрофи складають основну масу всіх живих істот і повністю «відповідають» за утворення всієї нової органічної речовини у будь-якій екосистемі, тобто вони є виробниками первинної продукції, і тому їх називають продуцентами.

До другої категорії належать **консументи** – організми, які споживають готову органічну речовину інших організмів та продуктів їхньої життєдіяльності. Їх

називають *гетеротрофи* – ті, які «живляться іншими». До цієї категорії належить переважна більшість видів тварин, а також найрізноманітніші організми від мікроскопічних бактерій до величезних синіх китів та людини.

Консументи (лат. *consumo* – споживаю) відрізняються за структурою, способами і джерелами живлення, тому їх поділяють на такі підгрупи (підкатегорії):

- *Первинні консументи*, або *консументи першого порядку*, – це тварини, які живляться безпосередньо продуцентами. Первинними консументами є рослиноїдні тварини, або *фітофаги* (тля, коник, гусак, олень, вівця, слон тощо).
- *Вторинні консументи*, або *консументи другого порядку*, живляться первинними. Наприклад, кролик є первинним, а лисиця – вторинним консументом. До цієї підгрупи належать також консументи третього і вищих порядків. Консументи другого, третього і вищих порядків є *плотоїдними* (або *зоофагами*). Ті ж з них, які живляться і рослинною, і тваринною їжею (наприклад, ведмідь або людина), є *усеїдними*.
- *Симбіотрофи* – це організми, які живляться соками або виділеннями інших організмів і виконують при цьому корисні, життєво важливі трофічні функції. До цієї підгрупи належать різноманітні бактерії, гриби, найпростіші. Наприклад, міцелійні гриби – мікоризи, що беруть участь у кореновому живленні багатьох рослин; мікроби, що населяють складні шлунки жуйних тварин і таким чином підвищують перетравлюваність та засвоєння ними рослинної їжі. Зокрема, у корів шлунок багатомірний, а рубець у шлунку – бродильний чан, де інтенсивно «працюють» бактерії-симбіотрофи, які розщеплюють целюлозу. В результаті 70% корму засвоюється у рубці, а білок, що утворився у процесі розщеплення целюлози, краще засвоюється.

До третьої категорії належать *детритофаги* (від лат. *detritus* – розклад, продукт розкладу та грец. *φάγος* – поживатель), або *сапрофаги*, – організми, які спеціалізуються на харчуванні мертвою органічною речовиною – детритом – і при цьому виконують функцію *очищення* («прибирання») в екосистемі. *Детритом* називають мертві рослинні або тваринні рештки (опале листя, фекалії, трупи). До цієї категорії організмів належать земляні черв'яки, терміти, мурашки, деякі личинки комах тощо.

Детритофаги, що харчуються трупами тварин, називаються *некрофаги*; це наприклад, грифи, стерв'ятники, іноді – ворони. До некрофагів відносять деяких крупних безхребетних (жук-мертвоїд, наприклад, здатний удвох із самкою закопувати трупи мишей на глибину до 20 см і там годувати ними своїх личинок). Найбільше різноманіття детритофагів у ґрунті, завдяки чому з мертвої органіки

(насамперед, з коріння рослин) і формується ґрунт. При цьому багато детритофагів одночасно є хижаками, оскільки живляться «бутербродами» з мертвої органіки і живих бактерій.

У водних екосистемах серед детритофагів за способом добування і переробки їжі розрізняють подрібнювачів, збирачів, фільтраторів. У спеціальну екологічну групу детритофагів виділяють *копрофагів* (від грец. *kópros* – гній, фекалії, екскременти та *phágos* – той, що пожирає), які харчуються екскрементами. У водному середовищі вони добувають їжу, коли ковтають донний осадок і пропускають його через свій кишечник. Копрофаги здатні безупинно їсти, тому їхній кишечник завжди «забитий» їжею приблизно на третину власної ваги. У наземних екосистемах копрофагами є гнійні жуки, личинки двокрилих, дощові черв'яки, кліщі. Копрофагія часто спостерігається у тварин, зокрема у собак, мишей, щурів, що пояснюється нестачею в організмі тварин мікроелементів і вітамінів.

Значна частина детриту гниє та розкладається у процесі живлення грибів і бактерій. У зв'язку з цим гриби і бактерії виокремлюють у особливу підкатегорію детритофагів – підгрупу *редуцентів*. Саме вони завершують деструктивну роботу консументів і сапрофагів, доводячи розкладання органіки до її повної мінералізації, і повертають у середовище екосистеми останні «порції» двоокису вуглецю, води і мінеральних елементів. *Редуценти*, або *деструктори*, – це організми, які перетворюють органічні рештки на неорганічні сполуки. Вони є первинними детритофагами, які у свою чергу служать їжею таким організмам, як найпростіші, кліщі, комахи і черв'яки, що живуть у ґрунті та воді.

Таким чином, не зважаючи на величезну різноманітність, усі екосистеми планети мають *структурну схожість*. Кожна екосистема має власне матеріально-енергетичне «господарство» і певну функціональну структуру. Всі названі категорії організмів у будь-якій екосистемі тісно взаємодіють між собою, узгоджуючи потоки речовини та енергії (Рис. 5). Їх сумісне функціонування не лише підтримує структуру і цілісність біоценозу, але й надає істотного впливу на абіотичні компоненти біотопу, обумовлюючи при цьому самоочищення екосистеми та її середовища.

2.2.1 Харчові взаємовідносини в екосистемах

При вивченні біотичної структури екосистем стає очевидним, що одними з найважливіших взаємовідносин між організмами є харчові, або *трофічні*, зв'язки. Термін «ланцюг живлення» запропонував Ч. Елтон у 1934 р. *Ланцюги живлення*, або *трофічні ланцюги* – це шляхи переносу енергії їжі від її джерела (зеленої ро-

слини) через ряд організмів на вищі трофічні рівні. *Трофічний рівень* – це сукупність усіх живих організмів, які належать до однієї ланки харчового ланцюга. До першого трофічного рівня належать всі продуценти – утворювачі органічної речовини, до другого – усі первинні консументи (фітофаги); до третього – ті плотоядні, що живляться первинними консументами (переважно хижаки); до четвертого – ті, що споживають інших плотоядних.

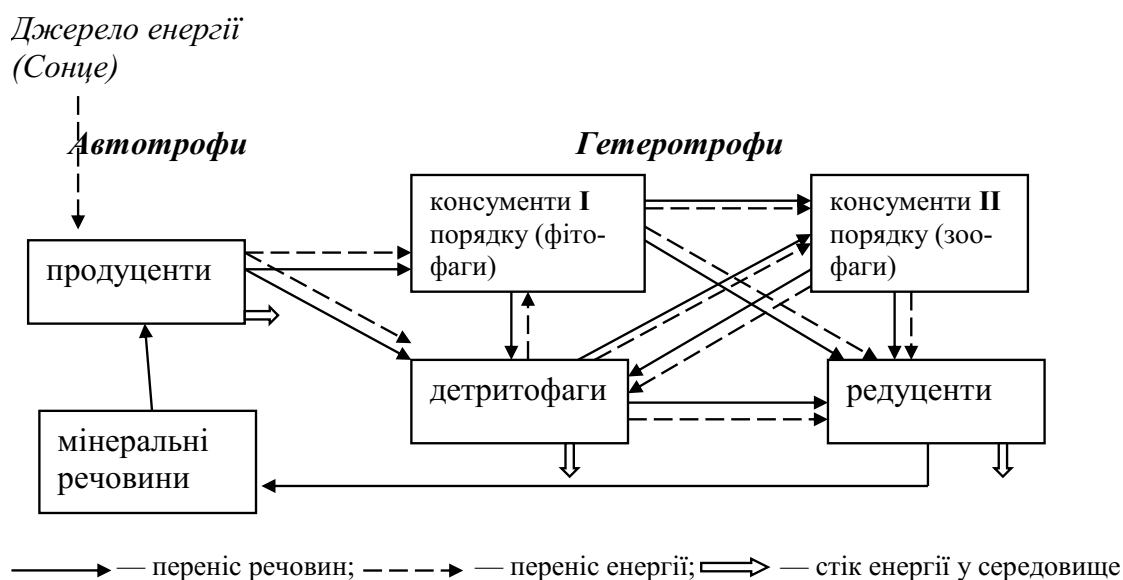


Рис. 5. Біотична структура екосистем

Зазвичай у екосистемах нараховують не більше трьох-чотирьох трофічних рівнів. Наприклад, для лісової екосистеми характерним є такий трофічний ланцюг: листяна підстилка – дощовий черв'як – дрізд – яструб-перепелятник. Прикладом довшого харчового ланцюга може служити послідовність організмів арктичного моря: мікроводорості (фітопланктон) – дрібні рослиноїдні ракоподібні (зоопланктон) – плотоядні планктонофаги (черв'яки, ракоподібні, молюски, голкошкірі) – риби (можливі 2-4 послідовні ланки хижих риб) – тюлені – білий ведмідь. Трофічні ланцюги наземних екосистем найчастіше коротші (Рис. 6).

Такі відмінності у кількостях трофічних рівнів обумовлені передусім властивостями водного середовища і суходолу, а також різною здатністю водних і сухопутних організмів пристосовуватися до змін умов середовища. Зокрема, у водних екосистемах біомаса і енергія рухаються швидко, оскільки досить ефективно переносяться від одного трофічного рівня до наступного. Саме це і створює умови для формування довгих харчових ланцюгів. У наземних екосистемах частина енергії швидко розсіюється, тому переніс енергії від одного рівня до іншого виявляється менш ефективним. До того ж, решта цієї енергії достатньо довго зберігається

ся у самих рослинах (у вигляді опорних тканин) і у ґрунті (у вигляді органічного детриту).

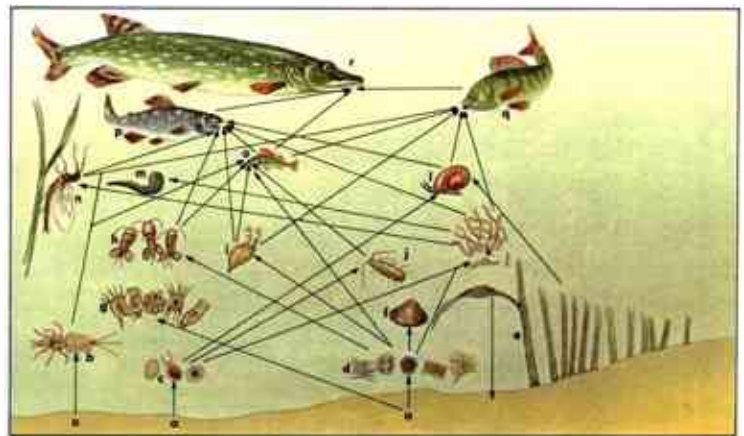
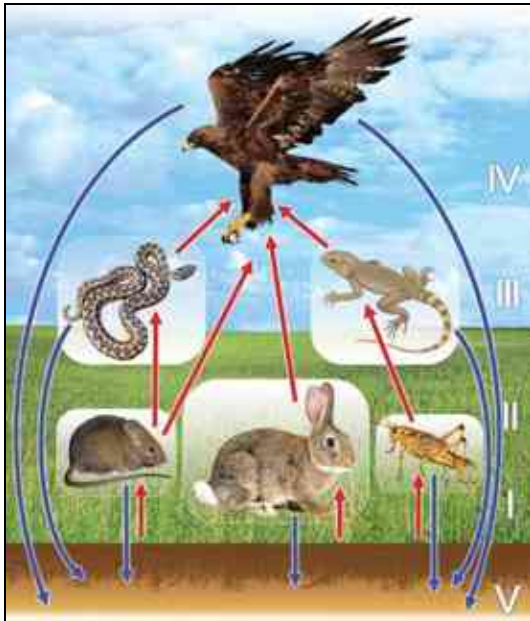


Рис. 6. Ланцюги живлення: наземний (ліворуч) і водний (праворуч)

Залежно від початкової ланки, розрізняють такі різновиди трофічних ланцюгів:

- ♦ *Пасовищні, або ланцюги виїдання*, зазвичай починаються з продуцентів (Рис. 7). Для них характерні збільшення розмірів особин та зменшення щільності популяцій, швидкості розкладання і продуктивності біомаси при переході з одного трофічного рівня на інший. Наприклад, ланцюги «трава – польовки – лисиця» або «трава – коник – жаба – чапля – шуліка».
- ♦ *Ланцюги паразитів* характеризуються зменшенням розмірів особин, збільшенням чисельності і щільності популяцій, а також швидкості розмноження. Прикладом може бути такий ланцюг живлення паразитів: гусениця, що паразитує на рослинах, сама є жертвою личинок мух, ті в свою чергу – жертви черв'яків-нематод. Паразитарними є також такі ланцюги: «яблуна – щитівка – наїзник» або «корова – гедзь – бактерії».
- ♦ *Детритні, або ланцюги розкладання* починаються з детриту, йдуть до мікроорганізмів, що ним харчуються, потім – до інших детритофагів, а далі – до їхніх споживачів (Рис. 8). Наприклад, «опале листя – цвілі гриби – бактерії».

Багато організмів можуть харчуватися одночасно з різних харчових ланцюгів – наприклад, траву їсть не тільки худоба, але й інші тварини, а худоба є їжею не тільки для людини. Так ланцюги живлення в екосистемах переплітаються, утворюючи складніші *трофічні мережі*. Практично будь-який член харчового ла-

нцюга одночасно є ланкою й іншого трофічного ланцюга, тобто він споживає і його можуть споживати одночасно декілька видів організмів. Наприклад, у «меню» лучного вовка-койота нараховується до 14 тис видів тварин і рослин. Ймовірно, такий же порядок чисел у «меню» видів, що беруть участь у поїданні, розкладанні й деструкції трупа цього вовка.

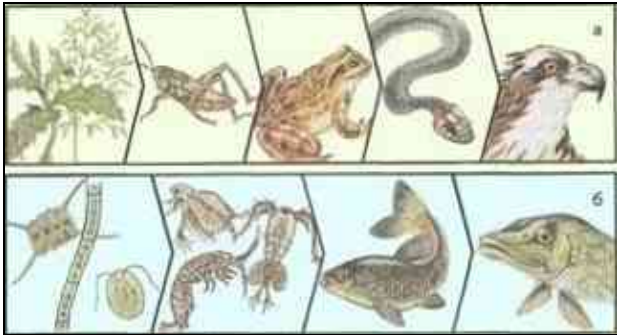


Рис. 7. Пасовищний ланцюг живлення:
а) наземний, б) водний



Рис. 8. Детритний ланцюг живлення

Зникнення будь-якої ланки трофічного ланцюга призводить до зникнення усіх наступних ланок. Наприклад, знищення рослин призведе до загибелі пов'язаних з ними фітофагів, далі – зникнуть наступні ланки хижаків, паразитів, детритофагів і редуцентів. Кожен ланцюг живлення має скінченну кількість трофічних рівнів, оскільки для кожного наступного рівня біомаса зменшується у десятки, а то й сотні разів. Наприклад, з 1000 кг трави олень виростить 100 кг маси свого тіла, які зможуть забезпечити 10 кг живої ваги ведмеда. Для визначення цієї залежності використовують так звані «екологічні піраміди» – вони показують, на скільки кожна наступна «сходінка» відрізняється від попередньої.

Загальну біомасу організмів на кожному трофічному рівні можна визначити шляхом збору або відлову і наступного зважування відповідних вибірок тварин чи рослин. На кожному трофічному рівні біомаса у середньому на 90% нижча, ніж на попередньому. Якщо припустити, що біомаса продуцентів на певній площі лучної екосистеми становить 1 тону, то біомаса фітофагів на тій самій площі буде не більше ніж 100 кг, а біомаса плотоїдних видів на вищому (наступному) трофічному рівні – не більше ніж 10 кг. Тобто існування більшої кількості трофічних рівнів просто неможливе через швидке наближення біомаси до нуля.

Трофічна структура екосистем складається з трофічних рівнів. Співвідношення між числами, масами та енергіями окремих трофічних рівнів екосистеми

відображають за допомогою **екологічних пірамід**, серед яких відповідно розрізняють три різновиди: піраміди чисел, біомаси та енергії.

Піраміди чисел показують чисельність організмів на кожному з трофічних рівнів ланцюга живлення. Наприклад, *піраміда чисельності Елтона* відображає виразну закономірність, виявлену Елтоном: кількість особин, що складають послідовний ряд ланок від продуцентів до консументів, неухильно зменшується (Рис. 9). Дослідженнями підтверджено, що у будь-якому середовищі рослин більше, ніж тварин; травоядних – більше, ніж плотоядних; комах – більше, ніж птахів. Щодо піраміди чисел, тут діє таке правило: *при переході з одного трофічного рівня на інший чисельність особин зменшується, а їхні розміри збільшуються*. Однак це правило не розповсюджується на детритні й паразитарні трофічні ланцюги. Слід зазначити, що у будові різних пірамід чисел спостерігається помітне різноманіття. Іноді вони можуть бути «перевернутими». Зокрема, в лісовій екосистемі нараховується значно менше дерев (тобто первинних продуцентів), ніж комах (тобто рослиноїдних).

Піраміди біомас – це графічне подання зміни кількості біомаси на кожному трофічному рівні. Вони повніше розкривають харчові взаємовідносини усередині екосистеми, оскільки показують біомасу на кожному трофічному рівні у певний момент часу (Рис. 10). Тут правило таке: *загальна біомаса на кожному наступному трофічному рівні зменшується*.

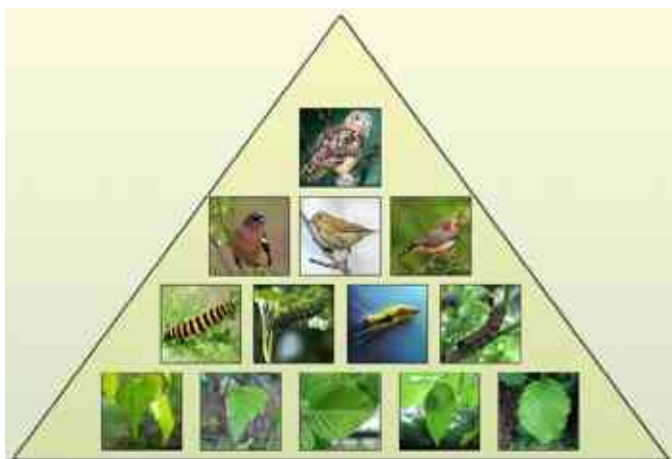


Рис. 9. Піраміда чисельності Елтона



Рис. 10. Піраміда біомас

Форма піраміди біомас часто схожа на форму піраміди чисел, але є й виключення. Зокрема, у водних екосистемах первинна продуктивність забезпечується планктонними водоростями, які мають маленьку біомасу, але високу продуктивність. Отже, піраміда біомаси виходить перевернутою: біомаса зоопланктону на

другому трофічному рівні більша за біомасу фітопланктону, яким харчується зоопланктон. Однак біомаса фітопланктону стає вищою за біомасу зоопланктону в період весняного «водоростевого цвітіння», а у інші сезони співвідношення зворотне. Цієї уявної аномалії можна уникнути, використавши третій різновид екологічних пірамід – піраміду енергії.

Піраміди енергії відображають кількість енергії, накопиченої у біомасі або чистій продукції на різних трофічних рівнях екосистеми. В основі цих пірамід завжди розташовуються показники першого трофічного рівня – продуцентів, над яким розташовують показники наступних трофічних рівнів (Рис. 11). Піраміди енергії характеризують ефективність перетворення енергії і продуктивність харчових ланцюгів. Тут діє таке правило: *при переході з одного трофічного рівня на інший енергія витрачається у процесі життєдіяльності організмів у вигляді тепла і механічної роботи*. Піраміди енергії будуються шляхом підрахування кількості енергії, акумульованої одиницею поверхні за одиницю часу, що використовується організмами на кожному трофічному рівні. Так, деструктори, значимість яких здається дуже низькою у піраміді біомас, отримують велику частину енергії, котра проходить через екосистему. Наскрізний потік енергії, проходячи трофічним ланцюгом екосистеми, поступово гаситься, оскільки на всіх ланках цього ланцюга відбувається втрата енергії, головним чином, у вигляді тепла.

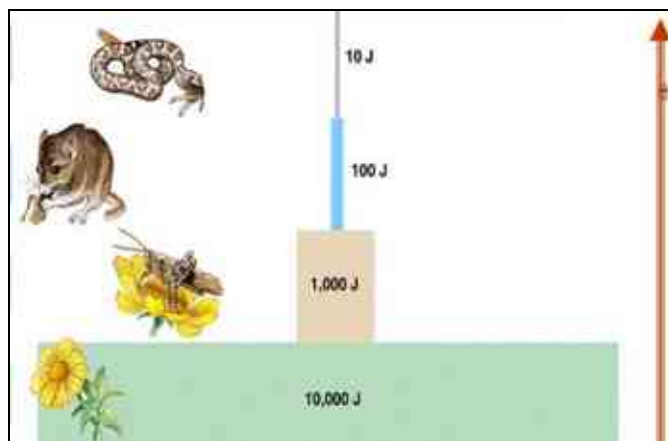


Рис. 11. Піраміди енергії



Англійський мікробіолог Раймонд Ліндеман 1942 р. сформулював правило, яке називають *законом піраміди енергії Ліндемана*, або *правилом «десяти відсотків»*: з одного трофічного рівня екологічної піраміди може переходити на інший, вищий, рівень у середньому не більше 10% енергії, яка поступила на її попередній рівень. Нині вже підраховано, що у природі від одного трофічного рівня «насе-

ленню» наступного рівня передається доступної енергії у середньому не більше, а значно менше 10%, і чим довше харчовий ланцюг, тим більше енергії втрачається. Цей закон дає змогу обчислювати необхідні земельні площі для забезпечення населення продуктами харчування тощо. Наприклад, екологічна піраміда з п'яти трофічних рівнів дає тільки 10^{-5} первинної продукції. Таким чином, верхній рівень піраміди (найчастіше, це великі хижаки) може підтримуватися тільки за умов використання дуже великих територій; іншими словами: «популяція тигрів не може існувати на маленькому острові».

Крім цього, трофічні взаємодії в екосистемах підкоряються *закону єдиної спрямованості потоку енергії*, що формулюється таким чином: енергія, яку отримує екосистема і засвоюють продуценти, розсіюється або разом з біомасою продуцентів передається консументам першого, другого і вищих порядків, а потім – редуцентам; потік енергії падає на кожному трофічному рівні внаслідок дихання.

Отже, основними компонентами екосистеми є, по-перше, біотоп – природна скарбниця елементів мінерального живлення і, по-друге, біоценоз – спільноти живих організмів з функціонально різними властивостями у вигляді продуцентів, консументів, детритофагів і редуцентів. Продуценти – це система автотрофів, здатних за допомогою світлової енергії будувати тканини свого тіла з неорганічних сполук. Всі решта – гетеротрофні організми. Консументи, детритофаги і редуценти у мережі ланцюгів живлення руйнують органічні речовини, створені продуцентами, і повертають хімічні елементи у мінеральний резервуар неживої природи. У результаті ці мінеральні речовини знов стають доступними для автотрофів. Повернення біогенних елементів у навколишнє середовище триває протягом усього життя організмів – шляхом дихання, різноманітних виділень, дефекації, регулярного відпаду частин тіла (волосся, шкіри, рогів, шкаралупи, листя, пагонів, кореневих волосків тощо). Так само воно здійснюється і після смерті цих організмів – шляхом розкладання їхніх трупів і відмерлих рослинних решток.

Речовина, у т. ч. необхідні для життя біогенні елементи (вуглець, азот, фосфор), а також вода багатократно використовуються усередині самої екосистеми, а енергія, що потрапляє у екосистему ззовні у вигляді сонячного випромінювання, незворотно перетворюється на тепло. Енергія в екосистемі може накопичуватися у вигляді хімічних зв'язків органічних речовин, а потім знов вивільнюватися чи передаватися ланцюгами живлення; але при цьому вона ніколи не використовується вдруге.

2.2.2 Нехарчові взаємовідносини в екосистемах

Крім того, що один вид є їжею для інших, існують складніші *форми залежності* видів один від одного, причому ця залежність може бути як сприятливою, так і не дуже. За підрахунками вчених, якщо у екосистемі взаємодіють тисяча видів, то кількість лише первинних зв'язків між ними теоретично може досягати 499.500. Проте реальні екосистеми значно багатші на види; наприклад, у лісових екосистемах зростають більше 10 тис видів рослин.

Взаємовідносини між організмами можуть бути різними – від взаємокорисних до взаємошкідливих. Е. Хаскель (1947) запропонував позначати позицію того чи іншого виду залежно від його участі у різних формах міжвидових взаємодій, користуючись знаками «+», «-» та «0». Знак «+» означає, що один з організмів у цій взаємодії отримує користь; знак «-» свідчить про те, що організм відчуває пригнічення або потерпає внаслідок взаємодії з іншим організмом; знак «0» означає, що ці взаємовідносини є однаково нейтральними для обох організмів, які взаємодіють між собою, або для одного з них.

Різноманітні взаємовідносини між різними видами організмів у екосистемах можна звести до таких основних видів (Табл. 2):

- *взаємокорисні* – позитивні для обох (++);
- *корисно-шкідливі* – позитивні для одного і негативні для іншого виду (+-);
- *корисно-нейтральні* – позитивні для одного і нейтральні для іншого виду (+0);
- *взаємно-шкідливі* – негативні для обох видів (- -);
- *взаємно-нейтральні* – нейтральні (00);
- *нейтрально-шкідливі* – нейтральні для одного і негативні для іншого виду (0-).

Усі ці типи взаємодій організмів широко представлені у природі. Охарактеризуємо кожен з них. **Мутуалізм** (++) – це такий тип взаємодії видів, коли обидва «партнери» отримують вигоду. Наприклад, коріння вищих рослин (берези, сосни, дуба) у нормальних умовах співіснують з мікоризними грибами. Міцелій гриба обплутує коріння дерева і виконує роль кореневих волосків, які всмоктують поживний ґрунтовий розчин. Коли ґрунт висихає, і справжні кореневі волоски перестають функціонувати, мікоризна грибниця продовжує «працювати». Кореневі волоски на коріннях при цьому не розвиваються, а вода і мінеральні солі поглинаються за допомогою гриба. Міцелій гриба проникає навіть всередину кореня, отримуючи від рослини-партнера вуглеводи, але при цьому доставляє йому воду і мінеральні солі. Тому такі дерева ростуть набагато краще.

Табл. 2. Основні типи біотичних взаємодій в екосистемах

Тип взаємодії	Вид зв'язку	Визначення	Приклади
Мутуалізм (лат. <i>mutuus</i> – взаємний)		Взаємна користь, але без елементів паразитування.	Запилення квіткових рослин птахами і комахами (ентомофілія).
Паразитизм (грец. <i>para</i> – поруч, <i>sitos</i> – хліб, їжа)		Організми одного виду (паразити) живуть за рахунок поживних речовин іншого (хазяїна), причому хазяїн від цього не гине, а лише відчувається пригнічено.	Омела та яблуня. Блоха і собака.
Коменсалізм (лат. <i>cum</i> – разом, <i>mensa</i> – стіл, їства)	Співтрапезування	Організми діляться їжею, споживаючи різні харчові «продукти».	Копитні й бабаки. Африканський бегемот і єгипетська чапля.
	Нахлібництво	Одні організми доїдають рештки їжі інших.	Великі хижаки та дрібніші види.
	Квартирування	Організми оселяються у помешканнях чи на поверхні тіла інших.	Птахи в дуплах.
Конкуренція (лат. <i>concurro</i> – стикатися)		Боротьба видів із схожими потребами за ресурси, шкідлива для обох видів.	Культурні види і бур'яни.
Аменсалізм (лат. <i>a</i> – не, <i>mensa</i> – їства)		Взаємозв'язок, нейтральний для одного виду, що пригнічує розвиток інших.	Синьо-зелені водорості та інші гідробіонти.
Нейтралізм		Співжиття двох видів на одній території не викликає ні позитивних, ні негативних наслідків.	Вовк і трава на галявині, білки й лосі в одному лісі.

Типовий приклад мутуалізму – мікробоценоз травного тракту, мікрофлора якого у багатьох рослиноїдних тварин відіграє головну роль у перетравлюванні целюлози. Тут підтримується більш-менш постійний приток субстратів у вигляді з'їденої, пережованої і частково гомогенізованої тваринами їжі. В рубці формується своєрідна екосистема. Шлунок жуйних тварин (оленів, великої рогатої худоби) складається з чотирьох відділів. Їжа спочатку потрапляє у той з них, що називається «сіткою». При першому пережовуванні їжа подрібнюється, проте окремі її частинки можуть досягати 10 см у довжину. Наступним відділом шлунка є «книжка», куди можуть проходити лише частинки об'ємом не більше 5 мкл (мм³); крупніші тварина відригує і знов пережовує, тому цей процес безперервний. Рубець населяють бактерії і найпростіші, а продукти мікробної ферментації для тварини є основним джерелом живлення.

Головними компонентами їжі жуйних тварин є целюлоза та інші рослинні волокна, але самі тварини не мають ферментів, здатних розкласти цей «матері-

ал». Мікрофлора рубця щільно прилипає до рослинних волокон і розщеплює целюлозу; деякі види можуть руйнувати не тільки целюлозу, а й крохмаль. Тому жуйні тварини, які харчуються клітковиною, не в змозі її перетравлювати без допомоги бактерій, що населяють їхній рубець.

Взаємовигідні відносини можуть бути набагато ширшими. Наприклад, рослинний детрит споживають редуценти, а для рослин редуценти корисні тим, що забезпечують визволення з детриту біогенних речовин і підвищують родючість ґрунтів. Проте при мутуалізмі мова не йде про дружню взаємодопомогу. Кожен з партнерів, по суті, діє «егоїстично», а вигідні відносини виникають лише тому, що користь, яку кожен з них отримує, перевищує необхідні витрати чи зусилля. Саме такий взаємний позитивний вплив демонструє ще один приклад, коли дрібні пташки постійно супроводжують великих тварин (буйволів, носорогів) і живляться комахами-паразитами на їхній шкірі; при виникненні раптової небезпеки пташки різко злітають, що служить тваринам сигналом про небезпеку.

Паразитизм (+-) – це взаємовідносини двох організмів, за яких один з «партнерів» (паразит) використовує іншого (хазяїна) як середовище проживання або джерело їжі. Паразити тісно пов'язані із своїми хазяями та використовують їх протягом довгого часу, але не вбивають, а лише спричиняють шкоду. Хазяями, як і паразитами, можуть бути і рослини, і тварини. Наприклад, солітер – черв'як, що живе у кишечнику тварин і людей, є кишковим паразитом. У хазяїна може бути одночасно декілька видів-паразитів, які локалізуються у різних органах і тканинах. Розрізняють *ектопаразитизм*, коли паразит мешкає на тілі хазяїна (воші, кліщі, пухоїди, деякі гриби), та *ендопаразитизм*, коли паразит мешкає усередині тіла хазяїна (круглі й плоскі черви, найпростіші, гриби).

Хижацтво (+-) – такий тип взаємовідносин, за якого представники одного виду поїдають (знищують) представників іншого, тобто організми одного виду служать їжею для іншого (Рис. 12). Хижацтво зустрічається практично серед усіх типів тварин, починаючи від найпростіших і до хордових, а також серед грибів і комахоїдних рослин. Серед хижаків розрізняють такі різновиди: *еврифаги*, які харчуються найрізноманітнішою тваринною і рослинною їжею (бурий ведмідь, хор); *олігофаги*, які віддають перевагу небагатьом видам їжі (наїзники, мурахоїди); *монофаги*, які існують за рахунок лише одного виду їжі (деякі морські молюски, божі корівки).

Для усіх хижаків характерні спеціалізовані форми поведінки мисливців. Однак і у їхніх жертв у ході еволюції виробляються певні захисні властивості у вигляді анатомічних, фізіологічних, поведінкових та інших особливостей (напри-

клад, колючки, панцири, отруйні залози, здатність будувати недоступні для хижаків схованки тощо). Деякі види, беззахисні перед хижаками, виробили здатність імітувати зовнішність інших видів, яких ці хижаки уникають через неістівність чи наявність особливих засобів захисту. Ця здатність називається *мімікрія*. У найширшому розумінні мімікрія – це наслідувальна схожість деяких тварин, переважно комах, з іншими видами живих організмів або з неістівними об'єктами зовнішнього середовища, що забезпечує захист від ворогів. При цьому важко провести чітку межу між мімікрією, протекційним забарвленням чи формою.



Рис. 12. Приклади хижацтва

Хижацтво завжди пов'язане із заволодінням здобиччю, що чинить опір або тікає. Часто боротьба хижака і жертви перетворюється на запеклу сутичку. Тому природний добір, який діє у популяції хижаків, збільшує ефективність засобів пошуку і ловлі здобичі. Цій меті служать, зокрема, павутиння павуків, отруйні зуби змій, точні удари богомолів, бабок, змій, хижих птахів і ссавців. Виробляється складна поведінка, наприклад, узгоджені дії зграї вовків при полюванні на оленів.

У еволюції взаємозв'язку «хижак – жертва» відбувається постійне удосконалення як хижаків, так і їхніх жертв. Потреба рослин у азоті, якщо вони ростуть на бідних поживними речовинами ґрунтах, призвела до виникнення у них пристосувань для ловлі комах. Хижацтво зустрічається також і серед грибів – вони можуть утворювати ловчі апарати у вигляді маленьких овальних чи кулькоподібних головок, розташованих на коротких гілках міцелію. Часто хижі гриби ловлять тварин, набагато більших за себе, наприклад, круглих черв'яків. Після заплутування черв'яка гіфи гриба проростають всередину і швидко заповнюють усе тіло. Деякі види, що живуть у воді, ловлять рачків-циклопів і невеликих круглих черв'яків – коловраток. Жертвами хижих грибів бувають амеби і навіть дрібні ко-

махи. Однак їхня головна здобич – нематоди, які у ґрунті зустрічаються у величезних кількостях – до 20 млн особин на м².

Ця здатність грибів уже використовується людиною; наприклад, розроблений біометод захисту рослин за допомогою грибів. А гриб *Duddingtonia flagrans* застосовують для знищення інвазійних личинок паразитів у шлунково-кишковому тракті коней. Спори *Duddingtonia flagrans* у шлунково-кишковому тракті не гинуть, а утворюють там ловчі апарати. Діяльність гриба не припиняється деякий час і поза твариною: у екскрементах він теж знищує нематод.

Окремим випадком хижацтва є *канібалізм* – поїдання особин свого виду, найчастіше молоді. Часто зустрічається у павуків (самки поїдають самців), у риб (поїдання мальків). Самки ссавців іноді поїдають своїх дитинчат.

Коменсалізм (+0) – це такий тип взаємозв'язку, коли один вид має суттєву вигоду, а для іншого зв'язок є нейтральним, або коли один з них – коменсал – отримує від другого їжу чи іншу користь, не зашкоджуючи йому, але й не надаючи ніяких переваг. Термін «коменсалізм» походить від латинського виразу *cum mensa*, тобто «за одним столом», і спочатку застосовувався лише для позначення поведінки тварин, які слідують за хижаками і живляться рештками вбитої ними здобичі після того, як хижак насититься. Наприклад, у лева багато коменсалів: гієни, шакали, птахи, які доїдають за ним рештки, отримуючи при цьому пряму користь і не зашкоджуючи леву (Рис. 13). Однак сучасне поняття коменсалізму набагато ширше і включає інші види взаємодій, під час яких організм – коменсал – може отримувати від організму – хазяїна – не тільки їжу, але й захист від ворогів, домівку, використовувати його як транспортний засіб чи опору, не заважаючи при цьому хазяїнові.

Коменсальні взаємовідносини часто відбуваються між великим за розмірами хазяїном і значно меншим порівняно з ним коменсалом. Хазяїн при цьому залишається начебто не задіяним у цю взаємодію; на відміну від нього коменсал, навпроти, може демонструвати різні пристосування у будові тіла і поведінці, які полегшують йому участь у коменсальних стосунках. Наприклад, риби-прилипали пересуваються, причепившись до акули чи іншої великої риби (Рис. 14). Риби-лоцмани супроводжують акул і живляться недоїдками, що їх залишає після їжі хазяїн.

Інший цікавий приклад коменсальних стосунків демонструють деякі види птахів Нового Світу, які слідують за колонами мандрівних мурашок і ловлять комах, павуків, багатоніжок, дрібних амфібій і плазунів, що їх сполохує на своєму шляху мурашина навала. Самих мурашок ці птахи зазвичай не їдять; багато з них

повністю залежать від мурашок у своєму харчуванні, оскільки не вміють самі полювати на комах. Також багато різноманітних видів птахів живляться комахами, яких сполохують при пересуванні великі травоядні, чи видзьобують черв'яків та інших безхребетних із землі, яку вивертає на поверхню плугом. Коменсалами також є багато нешкідливих видів вошей і блох, які живляться пір'ям птахів чи відмерлими лусками шкіри ссавців.



Рис. 13. Нахлібництво: лев і грифи-падальники



Рис. 14. Квартирнування: акула і риби-прилипали

Окремі види коменсальних відносин мають свої власні позначення. Так, пересування одного організму на іншому, наприклад, риби-прилипали на акулі чи певних видів кліщів на гнойових жуках, має назву *форезія*. *Інквілінізм* – це користування іншим організмом як домівкою, наприклад, рослини-епіфіти (зокрема, більшість орхідей), які ростуть на гілках дерев, але, на відміну від рослин-паразитів, живляться самостійно, не висмоктуючи соків з дерева-хазяїна. Інший приклад інквілінізму демонструють птахи, що гніздяться в дуплах дерев. *Метабіоз* – це непряма залежність, у межах якої коменсал користується чимось, що було вироблено організмом-хазяїном, але після його смерті. У такий спосіб, наприклад, раки-самітники користуються для захисту свого м'якого тіла порожніми раковинами молюсків.

Коменсальні взаємовідносини щодо надання захисту демонструє рибаклоун (*Amphiprion percula*): ховаючись між пекучими щупальцями морських анемон, які їй не завдають шкоди, вона отримує надійний захист від хижаків. Деякі види риб пристосувалися до отрути медуз і тому ховаються від хижаків між щупальцями медуз. Серед усіх типів зв'язків коменсалізм найбільш різноманітний – охоплює різноманітні відносини, метою яких є не лише добування їжі, але і її розподіл та розміщення у спільноті. Все це описується додатковими назвами (співт-

рапеза, нахлібництво, співробітництво, квартирування), за допомогою чого підкреслюється позиція видів у даних контактах (Рис. 15).

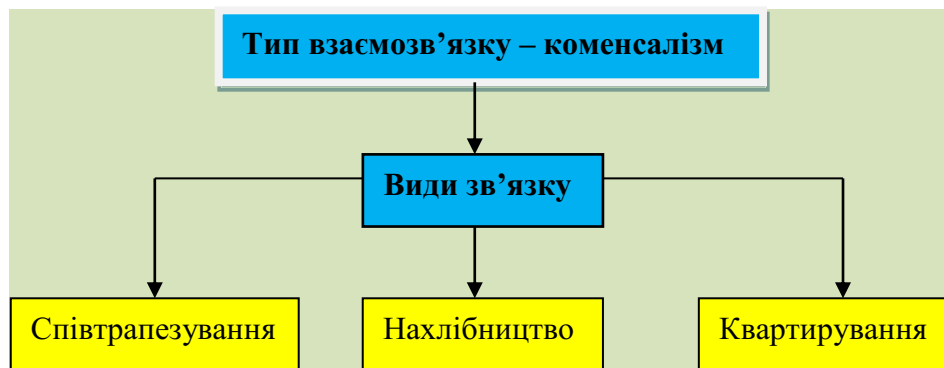


Рис. 15. Найбільш розповсюджені види коменсалізму в природі

Перші два види коменсалізму (співтрапезування, нахлібництво) базуються на контактах, пов'язаних з добуванням їжі. Яскравий приклад співтрапезування – африканський бегемот у пошуках їстівних коренів розрихлює ґрунт, а поруч з ним єгипетська чапля збирає комах і черв'яків з цього ґрунту, не докладаючи ніяких зусиль і не заважаючи бегемоту. Це той випадок, коли організми «діляться» їжею, споживаючи різні харчові «продукти». Третій вид коменсалізму – квартирування – обумовлений просторово-територіальним розміщенням організмів у екосистемі.

Конкуренція (- -) – це негативний взаємний вплив організмів у боротьбі за їжу, місце проживання та інші необхідні для життя ресурси; дуже розповсюджений тип міжвидових взаємовідносин (Рис. 16). Йдеться у більшості випадків про безкомпромісну боротьбу за ресурси, коли «сили» видів близькі й тому обидва конкуренти відчують втрати. Як у випадку хижака і жертви, рівновага у системі конкуруючих видів розвивається протягом тисячоліть еволюції. Якщо заселити будь-які види з інших екосистем, вони можуть не вписатися у систему зв'язків, що вже сформувалася. Також вони можуть пережити вибух чисельності, якщо існуючого рівня конкуренції з боку місцевих видів недостатньо, та витіснити їх. І це навіть може призвести до повного руйнування усталеної трофічної мережі.

Конкуренція може бути *пасивною*, коли споживаються ресурси, необхідні обом видам, і *активною*, коли один вид подавляється іншим. Конкуренти можуть співіснувати й разом, але при цьому серед них виникають антагоністичні відносини, внаслідок чого рано чи пізно один витіснить іншого. Це явище спостерігав у лабораторних умовах російський вчений Г.Ф. Гаузе. За результатами своїх досліджень у 1934 р. він сформулював *принцип конкурентного виключення*: два види не

можуть стійко існувати в обмеженому просторі, якщо зростання чисельності обох видів лімітовано одним життєво важливим ресурсом або його доступністю.

Конкуренція може бути зведена до мінімуму, якщо кожен конкуруючий вид займе свою *екологічну нішу*. Під екологічною нішею розуміють сукупність усіх факторів середовища, в межах яких можливе існування виду в природі. Наприклад, на будь-якій зеленій рослині можуть оселитися види, які займають різні екологічні ніші: коренеїди, квіткоїди, листоїди. Кожна з екологічних ніш містить різні за видовим складом групи організмів, які при цьому майже не конкурують між собою. Екологічні ніші птахів хвойного лісу можуть бути такими: корольок збирає комах із самих кінчиків гілок, чорний дрізд харчується черв'яками переважно на землі, шишкар живиться насінням шишок, дятел довбе стовбури дерев. За висловом Ч. Елтона, екологічна ніша – це місце у живому оточенні, ставлення виду до їжі й до ворогів. Отже, *місце, яке займає вид в угрупованні, його зв'язки з місцем проживання, його їжа, партнери та вороги* – все це і є його екологічною нішею.

Екологічна ніша – достатньо містке поняття, оскільки включає не тільки фізичний (територіальний) простір, але й функціональну роль того чи іншого організму в спільноті, його положення відносно умов існування: вологості, температури тощо. На думку американського еколога Ю. Одума (1986), під екологічною нішею слід розуміти «професію» виду, тобто його «спеціалізацію» на певній їжі та способі її добування, добовій і сезонній активності, характері розміщення свого потомства тощо. Отже, поняття «екологічна ніша» відображає функціонально-територіальну участь популяції того чи іншого виду в системі біотичних зв'язків.

Нейтралізм (00) – такий тип взаємовідносин, коли обидва види існують незалежно, не впливаючи істотно один на одного. Наприклад, вовк безпосередньо ніяк не пов'язаний з травою на галявині, але цей зв'язок опосередковано реалізується через залежну від трави популяцію косулі, на яку полює той вовк.

Іншими словами, нейтралізм – це така форма біотичних відносин, за якої співжиття двох видів на одній території не викликає для них ні позитивних, ні негативних наслідків. Наприклад, білки і лосі, живучи в одному лісі, практично не контактують між собою. Однак, пригнічення лісу тривалою посухою або оголення його при масовому розмноженні шкідників відбивається на кожному з цих видів, хоча й неоднаковою мірою. Види не пов'язані один з одним безпосередньо, але залежать від стану угруповання в цілому. Нейтралізм – це прихована форма взаємодії, коли обидва «партнери» існують незалежно, не впливаючи істотно один на одного.

Аменсалізм (-0) – тип міжвидових взаємовідносин, коли у спільному середовищі один вид подавляє існування іншого виду, не відчуваючи протидії. Іншими словами, один вид «безкорисливо» шкодить іншому, не маючи з цього безпосередньої вигоди та не відчуваючи суттєвої негативної реакції. Наприклад, листя і плоди горіха, коли опадають на ґрунт і розкладаються, виділяють сильнодіючу антимікробну речовину юглон (від лат. назви роду горіхів – *югланс*), яка має яскраво виражену негативну дію на інші рослини, гальмуючи їхній розвиток. У помідорів і люцерни, що вирощуються поблизу горіха, зупиняється ріст кореневої системи, і це призводить до їхньої загибелі. Юглон негативно впливає на картоплю та інші городні культури, тому під горіхом волоським часто відсутня будь-яка рослинність (Рис. 17).



Рис. 16. Приклад конкуренції



Рис. 17. Приклад аменсалізму

Отже, аменсалізм для одного з двох видів передбачає негативні наслідки спільного життя, тоді як другий вид не відчуває ні шкоди, ні користі. Така форма взаємодії найчастіше зустрічається серед рослин. Наприклад, будь-які світлолюбні трав'янисті види, які ростуть під ялиною, постійно відчувають пригнічення внаслідок сильного затінення її кроною, тоді як для самого дерева сусідство може бути абсолютно нейтральним.

Симбіоз (грец. *symbiosis* – співжиття) – форма співіснування організмів (симбіонтів) різних видів, яка забезпечує їм взаємовигідне співжиття. Симбіонти – це організми, які перебувають у симбіозі. У природі зустрічається широкий спектр прикладів взаємовигідного симбіозу. Від шлункових і кишкових бактерій, без яких було б неможливе травлення, до рослин, чий пилок може поширювати лише один, певний вид комах. Такі відносини завжди успішні, коли вони збіль-

шують шанси обох «партнерів» на виживання. Здійснювані у ході симбіозу дії або вироблювані речовини є для партнерів істотними і незамінними. У загальному розумінні такий симбіоз – проміжна ланка між взаємодією і злиттям.

У ширшому науковому розумінні симбіоз є будь-якою формою взаємодії між організмами різних видів, зокрема *паразитизм* – відносини, вигідні одному, але шкідливі іншому симбіонту. Обопільно вигідний вид симбіозу називають *мутуалізмом*. *Коменсалізмом* називають відносини, корисні одному, але байдужі іншому симбіонту, а *аменсалізмом* – відносини, шкідливі одному, але нейтральні іншому. Різновид симбіозу – ендосимбіоз, коли один з партнерів живе усередині клітини іншого.

Більшість дослідників визначають симбіоз як *взаємовигідні* взаємовідносини двох організмів різних видів (мутуалізм). Але деякі з них називають симбіозом будь-який близький контакт живих організмів, незалежно від того, є від нього користь іншому організмі чи немає. Виходячи з цього, вони розділяють симбіоз на два види – коменсалізм і паразитизм. Взагалі існує декілька форм симбіозу. У деяких випадках організми вдаються до симбіозу для того, щоб вижити; таку форму симбіозу називають *обов'язковим симбіозом*. У інших випадках симбіотичні відносини дають кожному організму більше шансів для виживання, але самі по собі вони не мають особливого значення. Це називають *факультативним*, або *необов'язковим*, симбіозом (Рис. 18). Симбіотичні взаємовідносини не завжди є симетричними – вони можуть бути обов'язковими лише для одного організму і факультативними для іншого.



Рис. 18. Приклади необов'язкового симбіозу

У якості найтипівіших прикладів різних форм симбіозу можна навести запилення квіткових рослин комахами, у ході якого комахи харчуються нектаром. Або транспортування насіння рослин тваринами, які поїдають плоди і виділяють

неперетравлене насіння разом з посідом у іншому місці. Лишайник складається з гриба і водорості. Водорість у процесі фотосинтезу виробляє органічні речовини (вуглеводи), які використовуються грибом, а той поставляє для водорості воду і мінеральні речовини. Деякі мурашки захищають («пасуть») попелицю і замість цього одержують від неї виділення, що містять цукор. Багато грибів одержують від дерева живильні речовини і водночас забезпечують його мінеральними речовинами (мікориза).

Для успішного перебігу кругообігу азоту в біосфері надзвичайно важливим є симбіоз між бобовими рослинами і ґрунтовими бактеріями *Rhizobium*. Ці азотфіксуючі бактерії оселяються на коріннях рослин та «фіксують» азот, тобто розщеплюють міцні зв'язки між атомами атмосферного вільного азоту, забезпечуючи можливість включення азоту в доступні для рослин сполуки, зокрема аміак. У даному випадку взаємна вигода очевидна: коріння є місцем мешкання бактерій, а бактерії постачають рослинам необхідні поживні речовини.

Ось приклади симбіозу, вигідного для одного виду і нейтрального для іншого – кишечник людини населяє безліч видів бактерій, присутність яких не шкодить людині. Рослини, які мешкають на гілках дерев, отримуючи поживні речовини з повітря, використовують дерево лише для опори, не позбавляючи його поживних речовин.

Усі розглянуті типи взаємовідносин між різними видами організмів – мутуалізм, паразитизм, конкуренція тощо – лежать в основі складної екологічної системи, що функціонує як єдине ціле. У цій системі здійснюється загальна еволюція організмів, об'єднаних трофічними і топічними взаємовідносинами. Головна закономірність тут така: чим різноманітніші й міцніші зв'язки, що підтримують спільне існування видів і популяцій, тим стійкішою є екосистема.

2.3 Екосистемні рівні організації

Усе розмаїття існуючих живих систем на нашій планеті зводиться до трьох основних рівнів організації – організмового (найнижчого), популяційного та екосистемного. Найважливішими функціями *організмового рівня* є розмноження і насичення простору живою речовиною, відтворення життєвого субстрату, постійний процес синтезу та деструкції, тобто біотичного кругообігу. Основною функцією *популяційного рівня* є формування у межах певного ареалу такого населення видів, яке за структурою і життєвими особливостями найбільше відповідає середовищу його існування. Усередині популяція може поділятися на стада, зграї, родини, ко-

лонії та інші сукупності організмів, що поєднуються певними структурно-функціональними зв'язками.

Нарешті, на *екосистемному рівні* здійснюється найважливіша функція живих систем – безперервний обмін речовиною, енергією та інформацією між усіма живими компонентами і середовищем їхнього існування. Цей кругообіг речовин і трансформація енергії в екосистемах будь-якої складності відбувається завдяки взаємодії організмів різних трофічних груп між собою та навколишнім середовищем. Розрізняють такі масштабні рівні організації екосистем:

- *консорційні екосистеми* (консорції) – найменші екологічні системи, центральним організатором яких є автотрофний або гетеротрофний організм, з яким функціонально пов'язані інші живі істоти разом з абіотичним середовищем (наприклад, консорція смереки, черешні, дикої свині);
- *парцелярні екосистеми* – це структурні частини біогеоценозу, які виділяються за складом і будовою деревного, чагарникового, трав'яного і мохового ярусів, будовою ґрунтових горизонтів та специфікою матеріально-енергетичного метаболізму (продукування, відмирання, опадів і розкладу органічної речовини, перерозподілу світла, тепла і вологи, накопичення органічної маси тощо);
- *біогеоценози* – це екосистеми у межах фітоценозів, різноманіття і просторове розташування яких досконало відображають, наприклад, плани лісовпорядкування або великомасштабні геоботанічні карти;
- *ландшафтні екосистеми* – це сукупність біогеоценозів на певній спорідненій території, між якими існують генетичні, історичні чи функціональні зв'язки (наприклад, екосистеми невеликих річкових басейнів або частин басейнів великих рік, гірських хребтів або гірських схилів; фізико-географічних або геоботанічних районів);
- *провінційні екосистеми* – це територіальне поєднання ландшафтних екосистем, яке за своїми межами співпадає з геоботанічними провінціями;
- *біомні екосистеми* (біоми) – територіальне поєднання провінційних екосистем, яке співпадає з геоботанічними областями або навіть наближається до меж фізико-географічних зон;
- *субстратні екосистеми* (материкові чи океанічні);
- загальнопланетна екосистема – *біосфера*.

Розглянемо кожен з цих масштабних рівнів детальніше. У *консорції* (лат. *consortio* – спілкування, співучасть) об'єднуються всі трофічні групи організмів – автотрофи, фітофаги, зоофаги, сапрофаги і редуценти, тобто в ній відбуваються усі біотичні процеси, властиві екосистемам, починаючи від продукування фітома-

си, її споживання, переміщення через усі відомі трофічні ланцюги і закінчуючи мінералізацією і наступним споживанням автотрофами простих хімічних сполук. Таким чином, *консорція характеризується екосистемною структурно-функціональною організацією, специфічним матеріально-енергетичним обміном і особливим мікросередовищем*. Тобто консорція відзначається всіма властивими екосистемам показниками, включаючи живі компоненти і середовище їхнього існування, кругообіг речовин і трансформацію енергії. За цими показниками консорція є неподільною. Це означає, що вилучення з її структури будь-якого основного компоненту чи припинення будь-якого процесу (синтезу, споживання або руйнування) призведе до загибелі усієї консорції, тобто втрати її екосистемної суті.

У межах будь-якого біогеоценозу завжди виділяються угруповання організмів, приурочені до якогось одного виду, без якого вони не зможуть існувати. Найчастіше таке об'єднання відбувається на базі популяції. Наприклад, смерека у ялиновому лісі, займаючи домінантне положення, обумовлює співіснування цілого комплексу рослин і тварин, тісно з нею пов'язаних. Це птахи, гриби, білки, ко роїди тощо. Усі вони адаптувалися до існування у взаємозв'язку із смерекою, тобто на ній вони знаходять їжу, будують гнізда, ховаються від ворогів чи несприятливої погоди. Саме таке угруповання різних організмів, тісно об'єднаних навколо одного певного виду в спільноті, і називають *консорцією*. Отже, консорцію слід трактувати як елементарну екосистему, що має свої просторові й функціональні параметри. Це сукупність особин різних видів, у центрі якої знаходиться особина будь-якого автотрофного або гетеротрофного виду; вона охоплена постійним речовинно-енергетичним та інформаційним обміном і формує своє специфічне внутрішнє середовище.

Під *парцелю* слід розуміти *структурну частину біогеоценозу, яка відрізняється складом, структурою і властивостями компонентів, специфікою їхніх зв'язків та матеріально-енергетичного обміну*. Тобто парцели є найменшими територіальними таксонами у межах біогеоценозу, які за своїми структурно-функціональними параметрами цілком відповідають назві «парцелярна екосистема». Величина окремої ділянки парцелярної екосистеми може коливатися від кількох десятків до сотень і тисяч квадратних метрів.

Біогеоценоз — це та конкретна екосистема, просторові розміри якої співпадатимуть з межами ділянки земної поверхні з однорідними ґрунтовими, гідрологічними і кліматичними умовами, вкрита спорідненим рослинним покривом, що характеризується більш-менш однотипними взаємодіями між усіма живими організмами і зовнішнім середовищем. Базовим блоком (підсистемою) біогеоценозу є

фітоценоз – сукупність автотрофних організмів, які через здійснення фотосинтезу формують трофічну основу для гетеротрофів. Мертва органіка (органічний опад і трупи) служить поживою для *сапротрофів* і *редуцентів* – ґрунтових мікроорганізмів, які у процесі біотичного розкладу вивільняють хімічні елементи для нового біогеохімічного циклу.

За походженням вирізняють: *корінні біогеоценози*, сформовані у процесі тривалого історичного розвитку, із стійкими адаптованими компонентами; *похідні біогеоценози*, які виникли на місці корінних унаслідок різноманітних зовнішніх збурень, що зумовили структурну перебудову цілої системи (наприклад, створені людиною лісові культури екзотичних видів, агробіогеоценози, паркові, ставкові, садові екосистеми тощо).

За наявністю структурних компонентів розрізняють: *повночленні біогеоценози*, де наявні усі природні компоненти, внаслідок чого реалізується повноцінний цикл біогеохімічного обміну; *неповночленні біогеоценози*, у яких відсутній якийсь із компонентів (наприклад, рослинний покрив на ділянках пташиних базарів чи у печерах). Гетеротрофні блоки таких біогеоценозів існують за рахунок споживання речовинно-енергетичних ресурсів сусідніх наземних чи водних екосистем.

За стійкістю до впливу зовнішніх чинників розрізняють: *стійкі біогеоценози*, які слабо реагують на певні види природного чи антропогенного збурення (наприклад, низову пожежу, випасання худоби, затоплення під час повені, сильний вітер, суховій, сильний мороз тощо) і швидко відновлюють свої структурно-функціональні параметри після такого впливу; *нестійкі біогеоценози* (лабільні), які після того чи іншого зовнішнього впливу втрачають здатність до нормального функціонування, можуть позбутися якогось структурного блоку (наприклад, нестійкими до вітровалів, шкідників і хвороб є штучні ялинники на місці чистих або мішаних букових лісів; більшість агробіогеоценозів нестійкі до затоплення, болотні – до осушення).

За тривалістю зберігання певного постійного стану розрізняють: *стабільні біогеоценози*, здатні зберігати стійкість до різноманітних зовнішніх чинників протягом тривалого або усього часу свого існування (наприклад, стабільними є біогеоценози сосни гірської у високогір'ї, а також вербові зарості на заплавах передгірних річок); *нестабільні біогеоценози*, до яких належить більшість похідних, зокрема, культурних біогеоценозів на місці корінних угруповань. Наприклад, нестабільними є майже усі монокультури смереки на місці дубових, чистих і мішаних

букових чи ялицевих лісів західних регіонів України, хоча на стадії молодняків вони можуть бути стійкими до вітровалів, шкідників і хвороб.

Ландшафтною екосистемою називають сукупність біогеоценозів на однорідній ділянці земної поверхні, поєднаних між собою генетичними (за походженням), історичними (історія розвитку та освоєння), геохімічними (стік води, перенесення органічних і мінеральних речовин) та біотичними (міграція тварин, перенесення спор і живого рослинного матеріалу) зв'язками та охоплені певним типом господарського використання. Найменшою ландшафтною екосистемою слід вважати таку територіальну одиницю, у складі якої виділяється не менше двох споріднених між собою біогеоценозів; найбільшою – природний територіальний комплекс, який за розмірами не перевищує фізико-географічний округ.

Під *природно-територіальним комплексом* у фізичній географії і ландшафтознавстві розуміють відносно однорідну частину географічної оболонки, яка характеризується спільними рисами морфології, структури, функціонування та інтенсивності перебігу природних (фізико-географічних) процесів. Найменшими природно-територіальними комплексами вважають фації, найбільшими – географічні ландшафти, їхні види, типи і класи. Відповідно до категорії «ландшафтна екосистема» можна віднести будь-який природно-територіальний комплекс, що трактується як функціональна, самоорганізована, саморегульована, енергетична система, носієм організованості якої є жива речовина. Залежно від наукових завдань і практичних потреб, ландшафтними екосистемами можна називати територіальні об'єднання споріднених біогеоценозів (наприклад, схилових, плакорних⁴, заплавних, басейнових, окремих гір, гірських хребтів, улоговин, горбів тощо).

Провінційну екосистему можна охарактеризувати як сукупність ландшафтних екосистем у межах фізико-географічної провінції, або як екологічну систему, яка за своїми просторовими межами співпадає з межами цієї провінції. Її можна визначити як частину біомної екосистеми (яка просторово співпадає з фізико-географічною зоною) у межах певної рівнинної або гірської країни. Ознаками, за якими виділяють провінційну екосистему, є геолого-геоморфологічна будова території, співвідношення низовин і височин, гірських хребтів і улоговин між ними, віддаленість від океанів і ступінь континентальності клімату, а також видовий склад організмів, наявність ендемічних видів і раритетних екосистем.

⁴ *Плакор* (грец. *plax* – площа, рівнина) – широкий вододільний підвищено-рівнинний простір, ґрунти і рослинність яких відображають зональні риси ландшафту. Термін запровадив Г.М. Висоцький (1927).

Особливості трансформації сонячної енергії і повітряних мас у провінційній екосистемі обумовлені рельєфом території, просторовою структурою біогеоценотичного покриву і глибиною його антропогенних перетворень; це й визначає структуру ґрунтового покриву, величину запасів вільної енергії, темпи геохімічного і біотичного кругообігів. *Вертикальні межі* провінційних екосистем можна «розсунути» до 2-3 км, відмежовуючи ними простір, у якому відбувається рух біотичних (діаспори, пилок, комахи, птахи) та абіотичних (повітряні маси, волога, пил) компонентів екосистем. Прикладами провінційних екосистем можуть служити Поліська аграрно-лісова, Дністровсько-Дніпровська північно-степова.

Біомну екосистему слід трактувати як сукупність провінційних екосистем, яка за територіальними межами відповідає фізико-географічній зоні. Біоми виокремлюються за інтенсивністю надходження до земної поверхні сонячної радіації, макрокліматичними чинниками, а також певним клімаксовим типом рослинності (деревним, чагарниковим, трав'яним). Поняття «біом» введено у науковий вжиток Фредеріком Клементсом⁵ у 1916 р. Пізніше (1986) відомий американський еколог Юджин Одум трактував біом як велику регіональну або субконтинентальну біосистему, що характеризується будь-яким основним типом рослинності чи іншою специфічною рисою ландшафту.

Біомна диференціація біогеоценотичного покриву біосфери зумовлена сферичною формою планети та її розташуванням відносно Сонця, що супроводжується різним кутом надходження сонячних променів до земної поверхні та різною інтенсивністю сонячної радіації на різних географічних широтах. Найменше її у високих широтах, найбільше – на екваторі, що спричиняє істотні відмінності у радіаційному, тепловому і водному балансах екосистем, різну тривалість періоду вегетації, різні темпи біотичного кругообігу та, врешті-решт, широтну зональність клімату, рослинного і тваринного світу, ґрунтів, структури і продуктивності екосистем, а також їхніх потенційних можливостей для задоволення господарських потреб людини.

Горизонтальні межі біомних екосистем найдоречніше визначати за межами фізико-географічних зон; *верхню їхню межу* слід «підняти» до рівня верхньої межі тропосфери, де відбувається формування гідротермічного режиму екосистем, а *нижньою межею* охопити найглибші горизонти залягання підземних вод. Відповідно до цього, рівнинна частина України належить до трьох біомних екосистем:

⁵ Фредерік Клементс – американський ботанік, еколог рослин і міколог. Член американської Національної Академії наук, Американського ботанічного товариства, Американської Асоціації сприяння прогресу науки.

мішаних лісів (або за ознаками плакорної клімаксової рослинності – широколистяно-лісової), лісостепової та степової.

Щодо найвищого масштабного рівня екосистем – *біосфери*, її детальна характеристика як глобальної екосистеми надана у відповідному розділі цього підручника.

2.4 Стабільність та динамічність екосистем

Кожна екосистема є динамічною структурою із сотень і навіть тисяч продуцентів, консументів, редуцентів і детритофагів, пов'язаних між собою трофічними ланцюгами та різними нехарчовими взаємовідносинами. Екосистеми підтримують свою рівновагу та існування за рахунок кругообігу біогенів і постійного притоку сонячної енергії. Однією з причин того, що екосистеми тривалий час здатні зберігати постійний видовий склад, є *динамічна рівновага* відносин між усіма їхніми компонентами. Кожен вид у складі екосистеми представлений стабільною популяцією. *Стабільність популяцій* означає, що народжуваність у ній врівноважена смертністю. Отже, основою розвитку екосистем є динамічна рівновага (або стабілізуюча динаміка).

Механізм встановлення динамічної рівноваги можна простежити на прикладі системи «хижак – жертва» (полювання рисі на зайця). Рівновага тут досягається за рахунок взаємодії хижака і його жертви. Коли чисельність зайців невисока, кожен з них може знайти достатньо їжі та укриттів для себе і свого потомства. Тобто *рівень опору середовища* для популяції зайців відносно низький, тому чисельність зайців зростає, не зважаючи на присутність хижака – рисі. Але при цьому поступово починає зменшуватися кількість доступної їжі та схованок. Достаток зайців полегшує рисі полювання та годівлю свого потомства, внаслідок чого її чисельність теж зростає. Незабаром популяція зайців починає відчувати *посилення опору середовища* у вигляді нестачі їжі, укриттів та збільшення хижацтва, і тому її чисельність починає знижуватись. І тоді для кожної жертви знов зростає кількість їжі та доступних схованок. До того ж, виживають найсильніші зайці, полювати рисі стає важче, вона відчуває нестачу їжі, і її чисельність падає. Зайців знов стає більше; потім увесь цикл повторюється. Ця проста модель пояснює періодичні коливання чисельності хижаків та їхніх жертв навколо певного середнього рівня.

Стабільність екосистем забезпечується їхнім видовим різноманіттям. Рівновага у системах «хижак – жертва» або «паразит – хазяїн» виникає не автоматично, а встановлюється протягом багатьох тисяч і навіть мільйонів років. За цей час ви-

ди адаптуються один до одного і до середовища свого мешкання так, що природні вороги ніколи не знищують повністю популяцію своєї жертви.

Стабільність і стійкість – поняття для екосистем різні. Під *стабільністю екосистеми* слід розуміти закладену в її генетичній пам'яті здатність протягом усього періоду існування, незважаючи на ті чи інші зовнішні збурення, неухильно реалізовувати свою життєву програму, тобто увесь час бути стійкою до впливу зовнішніх чинників. А *стійкість екосистеми* – це її здатність за допомогою внутрішніх механізмів саморегуляції протистояти зовнішнім впливам, захищатися від цих впливів, адаптуватися до них без істотних змін структурно-функціональних параметрів або швидко повертатися до нормального (стійкого) стану, якщо цей вплив зумовив тимчасове відхилення екосистеми від заданої програми.

Стійкість екосистеми можна визначати за її реакцією на будь-який конкретний фактор, наприклад, засуху, вітровал, загазованість повітря, ущільнення ґрунту тощо. Стійкість екосистеми до того чи іншого зовнішнього впливу ще не означає, що вона є стабільною. Стабільною вона буде лише у тому випадку, коли стане стійкою до різноманітних зовнішніх збурень протягом усього свого «життя». Тобто стабільність і стійкість – хоч і різні, але тісно пов'язані між собою поняття. *Стабільність* характеризує структурно-функціональну поведінку екосистеми протягом усього часу її існування, а *стійкість* – цю ж саму поведінку, але протягом певного відрізка часу, переважно зумовленого тривалістю дії зовнішнього впливу. У вивченні стабільності екосистем провідним є історико-генетичний (ретроспективний і прогностичний) структурно-функціональний аналіз. Дослідження ж стійкості більшою мірою пов'язані з оцінкою короткотривалих структурно-функціональних змін в екосистемах. Зміни можуть бути спричинені різноманітними чинниками, зокрема:

- *зовнішні абіотичні й біотичні* – зміни малих екосистем (консорцій, біогеоценозів) зумовлені змінами у екосистемах більших розмірів (ландшафтних) або інтродукцією⁶ у екосистему якогось агресивного біотичного компонента (консумента, хижака);
- *внутрішні біотичні* – зумовлені віковими, статевими або кількісними змінами біотичних компонентів;
- *зовнішні циклічні або ритмічні зміни* умов освітлення, зволоження, температурного і радіаційного режимів;
- *антропогенні* – пов'язані з господарською діяльністю людини.

⁶ *Інтродукція видів* (лат. *introductio* – введення) – навмисне чи випадкове переселення окремих видів тварин чи рослин за межі їхнього природного ареалу.

Усі зміни, які є зворотними, кількісними, а не якісними, тобто не виводять екосистему за межі її пружної стійкості, а також за межі її стабільного розвитку, не супроводжуються перебудовою її кібернетичної пам'яті (норм реакцій біотичних компонентів на фактори зовнішнього середовища), зараховуються до категорії *динаміки екосистем*, або їхніх динамічних змін. Динамічність є однією з фундаментальних властивостей природних екосистем, що відображає їхню залежність від впливу цілого комплексу факторів зовнішнього середовища.

Стан рухомо-стабільної (динамічної) рівноваги екосистеми називають гомеостазом, що є найважливішою умовою існування будь-якої екосистеми. Іншими словами, *гомеостаз* – це здатність екосистеми протистояти зовнішнім і внутрішнім змінам, зберігаючи при цьому динамічну рівновагу складу і властивостей, стійкий стан у цілому. Гомеостаз підтримується за рахунок незмінності видового складу і чисельності особин у екосистемі. Зазвичай екосистеми існують у нестабільних умовах зовнішнього середовища, а підтримка гомеостазу потребує постійного збереження стійкості. Екосистема з добре вираженим гомеостазом може існувати як стабільна достатньо довго – доти, доки не бути порушений її гомеостаз.

Різні екосистеми мають різні ступені досягнення стійкості, яка залежить, по-перше, від «жорсткості» навколишнього середовища, по-друге, від ефективності внутрішніх механізмів самої екосистеми. За цим показником розрізняють екосистеми *резистентні* – здатні зберігатися у стійкому стані під навантаженням; та *пружні* – здатні швидко відновлюватися у разі порушення з будь-яких причин.

Якщо спостерігати за якоюсь екосистемою протягом тривалого часу, можна помітити постійні зміни зовнішніх умов, появу нових видів, що звісно відображається на взаємовідносинах організмів і в результаті – на структурі самої екосистеми. Зміни відбуваються так, начебто вони мають спрямований характер. При цьому зміни можуть бути нетривалими, і тоді угруповання легко відновлює свою стабільність. А можуть тривати довше, призводити до істотних змін загальної структури екосистеми і навіть заміни пануючих видів. Внаслідок цих спрямованих змін екосистема якісно відрізняється від попереднього стану – новий тип кругообігу речовин і потік енергії, новий склад видів, інша продуктивність.

Зміни зовнішніх умов впливають на деякі види несприятливо – вони зменшують свою чисельність або можуть зовсім зникнути з екосистеми. Інші види, навпаки, можуть від цього виграти, і тоді їхня чисельність зростає. Буває й таке, що зміна умов дозволяє включитися до екосистеми новим видам. Цей процес «витискування» одних видів іншими називається сукцесією (лат. *succession* – наступництво, спадкоємство). Теорію сукцесій спочатку розробляли геоботаніки, але потім

стали широко використовувати й екологи. Одним з перших теорію сукцесій розробив американський ботанік Ф. Клементс, розвинули В.Н. Сукачов і С.М. Разумовський. Термін «сукцесія» у науковий вжиток був введений Ф. Клементсом для позначення рослинних угруповань, які змінюють один одного у часі та утворюють *сукцесійний ряд* (серію), де кожна попередня стадія (*серійне угруповання*) формує умови для розвитку наступного.

Іншими словами, *сукцесія* – це реакція біоти на зміну природного середовища, а також на форму та інтенсивність антропогенного впливу. Це явище природне, хоча останнім часом все частіше сукцесії бувають спричинені діяльністю людини. Зазвичай цей процес проходить у декілька стадій, що нарешті призводить до досягнення кінцевої *популяційної рівноваги*. Таким чином, *екологічна сукцесія* – це послідовні спрямовані зміни структури і функціонування екосистеми або її окремих блоків (у межах динаміки екосистеми) на одній і тій самій ділянці (наприклад, у процесі заростання оголеної території, відновлення після вітровалу, суцільного вирубування лісу, повені тощо).

Сукцесії відбуваються постійно і повсюди, але з різною швидкістю і з різних причин. Сукцесія проходить через ряд послідовних стадій, які мають назву *серійні стадії розвитку*. Наприклад, коли озерна екосистема поступово замінюється лісовою, сукцесія відбувається таким чином. Спочатку часточки ґрунту, що переносяться водою, осідають на дно озера. Через деякий час, коли донні відклади опиняються вже достатньо близько від поверхні води, там укорінюються деякі водні рослини. Їхнє коріння скріплює нові частинки ґрунту, а відмерлі рештки рослин прискорюють накопичення озерних відкладів, оскільки під водою вони розкладаються дуже повільно. Коли нарешті осадовий шар виходить з-під води, він стає доступним для заселення спочатку сухопутними травами, а потім – деревами і чагарниками. Так наземна екосистема поступово замінює водну (Рис. 19).

За походженням і характером перебігу розрізняють первинні, вторинні й еволюційні сукцесії. *Первинна сукцесія* – це процес формування і розвитку екосистем на оголених, позбавлених життя, незаселених ділянках. Процес починається з «колонізації» цих ділянок, якими можуть бути оголені скелі, відвали порожньої відпрацьованої породи (терикони), висохлі озера, піщані дюни, застигла лава після землетрусу тощо. Для первинних сукцесій вирішальну роль відіграє *процес ґрунтоутворення*.

Типовим прикладом первинної сукцесії може бути формування рослинного покриву позбавлених будь-якої рослинності піщаних наносів на березі річки. Процес починається з того, що на піщані мілини водою, вітром, птахами чи інши-

ми способами заноситься насіння квіткових рослин. Першими з них оселяються окремі представники бур'янів. Вони не утворюють суцільних заростей, не мають спільного взаємовпливу, тому й спільноти як такої поки що немає. Таке випадкове сполучення рослин називають *піонерним угрупованням* видів. Через деякий час до перших «поселенців» приєднуються інші рослини, які незабаром утворюють суцільні зарості. Їхній листяний опад збагачує піщаний ґрунт органічними речовинами, що створює умови для заселення тут нових видів. Після цього зарості утворюють *піонерну спільноту*.

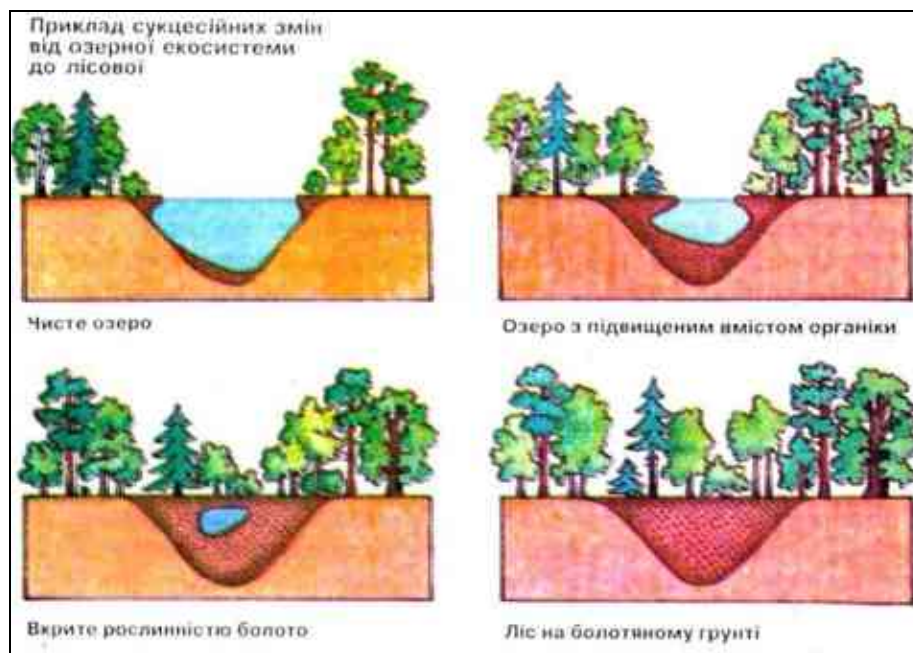


Рис. 19. Основні стадії розвитку сукцесійної заміни озерної екосистеми ліською

Далі події розгортаються наступним чином. Поміж існуючими заростями з'являється верба, яка затінює і пригнічує трав'янисту рослинність, і піонерна спільнота замінюється спільнотою верболозу із злаковим травостоєм. У новій спільноті значно різноманітніший видовий склад як рослин, так і тварин, складніша структура наземної і підземної частин екосистеми, а між компонентами встановлюються стійкі взаємодії. Однак у таку екосистему ще можуть потрапити нові види, тому подібні спільноти називають *тимчасовими*.

Дійсно, з часом у вербних заростях з'являються деревні види – тополя, дуб, береза, ялина. Вони створюють затінення для верби, тому вона поступається місцем вищим деревам, тіньовитривалим чагарникам і травам. У новій спільноті створюється специфічне середовище, у якому практично виключена можливість появи нових видів. Такі спільноти називають постійними, або *корінними*. Прибли-

зно за таким самим «сценарієм» відбуваються первинні сукцесії, розпочаті на інших оголених ділянках – застиглій лаві, скелях, камінні (Рис. 20). Для усіх головним є поступове формування родючого шару ґрунту.

Вторинна сукцесія – це процес відновлення екосистем, які вже колись існували на даній території. Ці сукцесії відбуваються після часткового знищення або пошкодження якогось компонента екосистеми. Прикладом може бути перетворення занедбаних полів у ліси (Рис. 21). Якщо поле на місці вирубаного лісу припинити обробляти, то за декілька стадій тут знов сформується лісова екосистема. Спочатку оселяться трави, потім їх витиснуть вищі види різнотрав'я. Потім у трав'яний покрив укоріняться молоді сосни. Під їхнім пологом новим сходам сосни вже не вистачатиме світла, тому почне формуватися підріст широколистяних порід. Нарешті, коли сосни відімруть (років через 40-100), вони заміняться листопадним лісом. Для вторинної сукцесії найважливішим є існування із самого початку родючого шару ґрунту; якщо він знищений, сукцесія може піти аналогічно первинній. Вторинні сукцесії відбуваються зазвичай швидше і простіше, ніж первинні, оскільки у порушеній екосистемі зберігаються ґрунтовий профіль, насіння, частина попереднього населення і зв'язків.



Рис. 20. Приклад первинної сукцесії

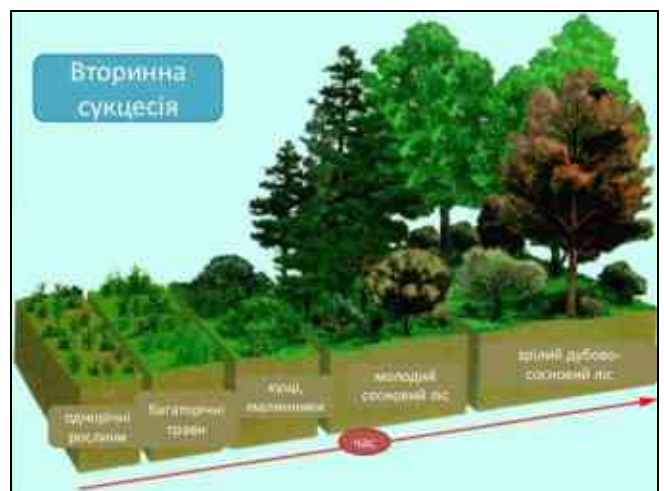


Рис. 21. Приклад вторинної сукцесії

У тих випадках, коли у екосистемі одні види вимирають, а ті, що вижили, розмножуються, адаптуються і змінюються під впливом природного добору, має місце еволюційна сукцесія. *Еволюційні сукцесії* (вікові зміни екосистем) – це фундаментальні великомасштабні зміни екосистем, які тривають протягом століть і навіть тисячоліть. Оскільки екосистеми перебувають у постійному розвитку, навіть стійкі корінні спільноти змінюються, хоча й дуже повільно. Ці зміни обумовлені еволюційними змінами самих видів, тобто супроводжуються зникненням ба-

гатьох старих і появою нових видів, більш пристосованих до змінених умов мешкання. Подібні зміни починаються не із заселення позбавлених життя ділянок, не з відновлення порушених компонентів, а з перебудови внутрішніх зв'язків уже сформованих екосистем. Вікові незворотні зміни відображають історію розвитку (еволюції) всієї біосфери.

Еволюційні сукцесії відбуваються дуже повільно і можуть тривати цілі геологічні періоди відповідно до змін на Землі клімату, рельєфу тощо (наприклад, вимирання динозаврів). Вони підкоряються дії *закону еволюційно-екологічної незворотності*: екосистема, що втратила частину своїх елементів або була замінена іншою в результаті дисбалансу екологічних компонентів, не може повернутися до свого первісного стану в ході сукцесії, якщо при цьому відбулися еволюційні зміни її екологічних елементів. До категорії еволюційних не слід зараховувати катастрофічні зміни структурно-функціональної організації екосистем, зумовлені природними (наприклад, виверження вулкану) або антропогенними (хімічне забруднення чи інший техногенний вплив) факторами, що спричиняють руйнування екосистеми та її генетичної пам'яті.

Якщо динамічні зміни екосистем є зворотними, це означає, що в усіх випадках, незважаючи на складність і тривалість сукцесії, змінена тим чи іншим фактором екосистема повертається до свого первинного стану. Таким чином, до категорії динаміки екосистем зараховуються усі ті сукцесійні перетворення, які відбуваються від моменту заселення організмами ґрунтотворної породи, свіжих лавових чи алювіальних полів або оголеної території до виникнення і подальшого існування на цьому місці екосистеми, не схильної до подальших змін.

Отже, сукцесія завершується стадією, коли усі види екосистеми розмножуються і при цьому зберігають відносно постійну чисельність, тому подальших змін її складу не відбувається. Такий рівноважний стан називають **клімаксом**, а екосистему – *клімаксовою* (від грец. *klimax* – найвища точка, кульмінація). Коли екосистема наближається до стану клімаксу, в ній спостерігається уповільнення всіх процесів розвитку. Це відповідає *закону сукцесійного уповільнення*: процеси, які відбуваються у зрілих рівноважних екосистемах, зазвичай проявляють тенденцію до зниження темпів.

Сукцесійні зміни в екосистемах переважно відбуваються поступово, але можливі й різкі зміни, які можуть стати причиною популяційного «вибуху» деяких видів за рахунок загибелі інших. У таких випадках йдеться не про сукцесію, а про *екологічне порушення*. Такі порушення спричиняються передусім антропо-

генним втручанням, наприклад, скиданням теплих стічних вод у природні водойми, що викликає бурхливе розмноження синє-зелених водоростей.

Зміни можуть бути такими різкими, що практично жоден компонент екосистеми не зберігається, екосистема руйнується. Якщо не враховувати землетруси, виверження вулканів та інші природні катастрофи, лише діяльність людини може призвести до серйозних порушень і повної загибелі екосистем. Серед усіх видів антропогенної діяльності до зникнення багатьох видів живих істот призводять такі основні:

- зведення лісів заради палива чи з іншою метою;
- будівництво гребель і водосховищ на річках, що призводить до осушення одних та затоплення інших територій;
- забруднення води і повітря різноманітними відходами;
- навмисна чи випадкова інтродукція нових видів у екосистеми;
- надмірний випас худоби;
- браконьєрське полювання, рибальство, навмисне знищення хижаків;
- використання пестицидів і отрутохімікатів у сільському господарстві.

Ці та інші дії людини ведуть до скорочення популяцій та вимирання видів, тим самим – до *зниження різноманітності біосфери*.

Будь-які зміни зовнішнього середовища (наприклад, стійке похолодання) спричиняють зміни умов існування видів у екосистемах. Вид, що опиняється у нових умовах мешкання, очікує один з трьох шляхів, зокрема:

- *Міграція* – пошук місця проживання з комфортнішими умовами існування.
- *Адаптація* – пристосування до виживання в нових умовах. Відповідно до так званої «аксіоми Дарвіна», кожен вид адаптується до суворо визначеної, специфічної для нього, сукупності умов існування – екологічної ніші.
- *Вимирання* – жодна особина популяції не в змозі мігрувати чи адаптуватися; її генофонд зникає.

Кожна жива істота вилучає з оточуючого середовища речовину і енергію, а у нього виділяє продукти своєї життєдіяльності. Крім того, кожна істота народжується, живе і відмирає. Екосистеми переробляють відходи за принципом: якщо речовина є продуктом життєдіяльності одного організму, то обов'язково знайдеться інший організм, здатний його утилізувати. Коли організми послідовно живляться один одним, створюються умови для кругообігу речовин, без якого неможливе життя.

Виходячи з цього, виділяють такі головні принципи функціонування екосистем:

- *Принцип кругообігу*: отримання ресурсів (речовини та енергії) і звільнення від відходів відбуваються в екосистемах у межах кругообігу всіх елементів.
- *Принцип існування*: екосистеми існують за рахунок практично довічної сонячної енергії, яка не забруднює природне середовище, та кількість якої відносно постійна.
- *Принцип відповідності біомаси популяції тому трофічному рівню, який вона займає*: чим більша біомаса популяції, тим нижчим має бути трофічний рівень, що вона займає. Отже, на кінцях трофічних ланцюгів не може бути великої біомаси організмів.

Зробимо деякі висновки. Найголовнішими функціональними ознаками екосистем є засвоєння і трансформація енергії; продукування органічної маси; переміщення речовинно-енергетичних ресурсів уздовж трофічних ланцюгів; деструкція мертвої органіки і біотичний кругообіг; постійна динаміка, розвиток та еволюція; а також саморегуляція, стійкість і стабільність. Не зважаючи на різноманітність, всі екосистеми мають структурну схожість. Категорії організмів (продуценти, консументи, детритофаги) у будь-якій екосистемі тісно взаємодіють між собою, узгоджуючи потоки речовини та енергії. Їхнє сумісне функціонування не лише підтримує структуру і цілісність біоценозу, а й надає істотного впливу на абіотичні компоненти біотопу, обумовлюючи при цьому самоочищення екосистеми та її внутрішнього середовища.

Різнорманітні типи взаємовідносин між різними видами організмів – мутуалізм, паразитизм, конкуренція тощо – є фундаментом складної біологічної системи, що функціонує як єдине ціле. Чим різнорманітніші й міцніші зв'язки, що підтримують спільне існування видів і популяцій, тим стійкішою є екосистема. Найважливіша функція екосистем – безперервний обмін речовиною, енергією та інформацією між усіма живими компонентами і середовищем їхнього існування – здійснюється завдяки взаємодії організмів різних трофічних груп між собою та навколишнім середовищем.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Розкрийте сутність понять «екосистема», «біотоп» і «біоценоз».
2. Які поняття, на вашу думку, є найважливішими при вивченні екосистем?
3. Охарактеризуйте біотичну структуру екосистем. Чому, на ваш погляд, усім екосистемам властива приблизно однакова біотична структура?

4. Назвіть і охарактеризуйте основні категорії організмів екосистеми.
5. Розкрийте поняття «трофічний ланцюг» і «трофічна мережа». Які типи ланцюгів живлення вам відомі?
6. Що відображають екологічні піраміди? Які їхні різновиди?
7. Охарактеризуйте головні види нехарчових взаємозв'язків організмів. Наведіть відомі вам приклади.
8. Що таке екологічна ніша і яка її роль у взаємовідносинах організмів?
9. Як формується стан динамічної рівноваги екосистем? Наведіть приклади.
10. Охарактеризуйте, як і чому відбуваються екологічні сукцесії? Чим відрізняються їхні форми?
11. Розкрийте клімакс як завершальну стадію екологічної сукцесії.
12. Подумайте і поясніть, чому при зміні будь-якого екологічного фактору одні організми мігрують, інші – адаптуються, треті – вимирають?
13. Назвіть і обґрунтуйте головні принципи функціонування екосистем.

3 ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ

Для кожного живого організму важливе значення мають умови його існування, тобто сукупність життєво необхідних чинників середовища, за відсутності яких настає смерть. Загальне поняття «фактор» трактується як рушійна сила тих чи інших процесів або умова, яка на ці процеси впливає. Екологічними факторами називають певні зовнішні й внутрішні сили, які визначають спрямованість і швидкість перебігу процесів у екосистемах. Іншими словами, **екологічні фактори** – це усі складові (елементи) природного середовища, що впливають на існування та розвиток організмів, і на які живі істоти реагують реакціями пристосування (за межами здатності до пристосування настає смерть).

Виходячи з цього, *природне середовище* – це сукупність природних абіотичних і біотичних факторів відносно організмів поза залежністю від контактів з людиною. *Середовище мешкання* – це частина природного середовища, що оточує живі організми, з якою вони взаємодіють. *Умови існування* – це сукупність необхідних організмам елементів середовища, без яких вони існувати не можуть. Прояв тих чи інших факторів у будь-якому середовищі формує у організмів пристосувальні (адаптивні) властивості. Екологічні фактори у своєму впливі на живі організми, по-перше, можуть бути подразниками, що призводять до різних фізичних, біохімічних і поведінкових реакцій на них; по-друге, вони можуть виступати певними обмежувачами, які обумовлюють неможливість існування організмів у даних умовах; по-третє, вони можуть виступати у ролі модифікаторів, що спричинюють певні анатомічні й морфологічні зміни організмів.

Фактори не можна поділяти на позитивні чи негативні, оскільки ті, які є сприятливими для одного виду, можуть бути дуже шкідливими для іншого. Загальна кількість факторів досить велика; вони можуть поділятися на групи за різними ознаками. Зокрема, розрізняють зовнішні й внутрішні екологічні фактори:

- *Зовнішні фактори* впливають на організм, популяцію, екосистему, але не відчувають безпосередньої зворотної дії – це сонячна радіація, атмосферний тиск, температура і вологість повітря, вітер, швидкість водної течії тощо.
- На відміну від них, *внутрішні фактори* – це все, що впливає на організми усередині екосистеми: чисельність, щільність і просторова структура популяцій, їжа та її доступність тощо.

Спеціальний загальний поділ утворюють такі групи екологічних факторів:

- *розрізняються за часом* – фактори часу (еволюційні, історичні, діючі);
- *розрізняються за періодичністю* – періодичні або неперіодичні;

- розрізняються за середовищем виникнення – атмосферні, водні, геоморфологічні, фізіологічні, генетичні, екосистемні;
- розрізняються за характером – фізичні, хімічні, енергетичні, термічні, біогенні, кліматичні, комплексні;
- розрізняються за об'єктом впливу – індивідуальні, групові, соціальні;
- розрізняються за ступенем впливу – летальні, екстремальні, обмежувальні, мутагенні фактори;
- розрізняються за спектром впливу – можуть бути вибіркової або загальної дії.

Важливо також оцінювати *значимість факторів*, виділяти серед них головні й другорядні (підпорядковані). Отже, за значимістю екологічні фактори поділяють на такі групи:

- *Імперативні фактори*, або *умови існування*, – це ті, без яких неможливі життя і розвиток організмів, тобто їжа, вода, тепло, світло, кисень.
- *Фактори впливу* – це будь-які фактори, які діють не обов'язково постійно, але впливають на різні прояви життєдіяльності та розподіл організмів.
- *Сумативні фактори* – ті, які визначають запаси і доступність різних форм речовини та енергії для організмів екосистем. Подібні фактори називаються *ресурсами*. Наприклад, ресурси простору, світла, тепла, вологи, кисню, їжі.

3.1 Основні характеристики екологічних факторів

Усі умови середовища, необхідні для життя, впливають на організми, насамперед шляхом впливу на їхній обмін речовин. У зв'язку з цим всі екологічні фактори за їхньою дією можна поділити на прямі та опосередковані. Будь-який з екологічних факторів може діяти прямо чи опосередковано. Наприклад, вплив температури на рослини найчастіше належить до факторів, що діють безпосередньо. Але попутно опосередковано відбувається нагрівання ґрунту, що активізує діяльність ґрунтових мікроорганізмів, які швидше переробляють мертву органіку і збагачують ґрунт мінеральними речовинами, що у свою чергу створює сприятливі умови для ґрунтового живлення рослин.

Одні й ті ж самі фактори неоднаково впливають на різні види організмів: для одних вони є сприятливими, для інших – не дуже. Важливою при цьому є реакція організму на силу впливу екологічного фактору, негативна дія якого може виникнути у разі *надлишку* або *нестачі дози* цього фактору. Кожен екологічний фактор характеризується конкретними кількісними показниками, зокрема такими:

- *оптимум* (від лат. *optimus* – найкращий) – це сприятлива доза фактору;

– *песимум* (від лат. *pessimus* – дуже поганий) – це несприятлива доза фактору, за якої організми почуваються пригнічено.

Можна сказати, що *оптимум* – це точка, на якій спостерігається максимальне зростання і розвиток організму. Проте краще говорити про *зону оптимуму*, оскільки це є певний діапазон кількісних значень фактору (наприклад, діапазон температур у декілька градусів). Тоді увесь інтервал температур від мінімальної до максимальної, за яких можливі зростання і розвиток організму, називається *діапазоном стійкості*. А межі цього діапазону називаються *межами стійкості*. Від зони оптимуму, наближаючись до меж стійкості, організм поступово починає відчувати пригнічення і збільшення стресу, тому цей «відрізок» називають *стресовою зоною* у межах діапазону стійкості (Рис. 22). Звісно, це стосується не тільки температури. Отже, для кожного виду організмів існують оптимум, стресові зони та межі стійкості відносно кожного фактору середовища.

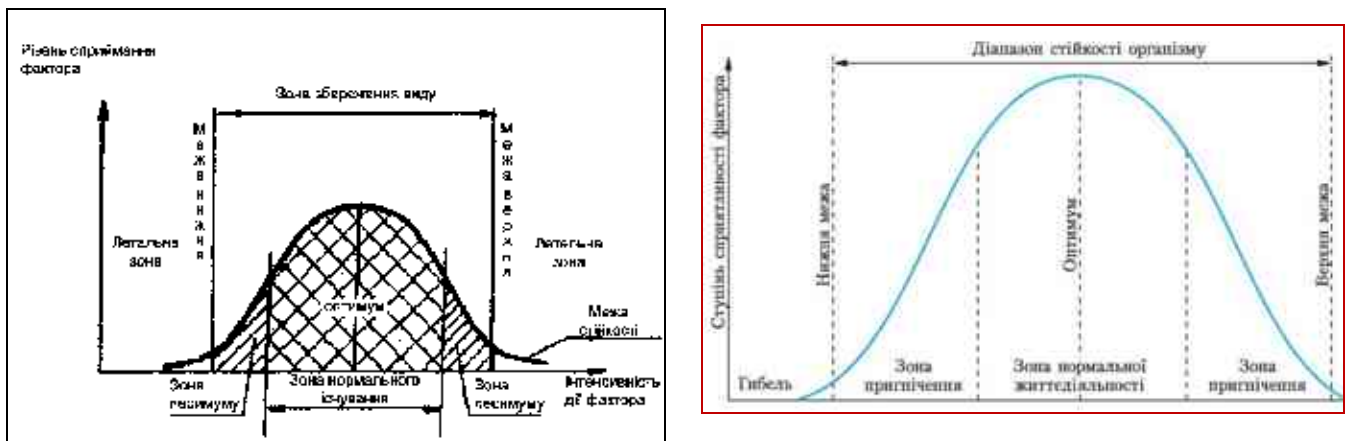


Рис. 22. Загальні характеристики дії екологічних факторів

В умовах, близьких до меж стійкості (верхньої чи нижньої), організми почуваються пригнічено; вони можуть жити, зростати, але не досягають повного розвитку, не плодоносять. Така пригноблююча дія фактору проявляється як за мінімальної, так і за максимальної інтенсивності та відповідає стресовій зоні, або *зоні песимуму* (зоні пригнічення). У випадку, якщо дія якогось фактору виходить за межі стійкості (мінімальну чи максимальну), організми гинуть. Таке згубне значення фактору називають *критичною точкою*, або порогом.

Зона оптимуму, в межах якої зростає життєздатність і чисельність організмів, зазвичай розташовується в умовах середньої сили впливу фактору. Реакцію видів і окремих організмів на оптимальну дозу дії екологічного фактору називають *законом оптимуму*. Цей закон має важливе практичне значення. Не існує цілком позитивних або цілком негативних факторів; все залежить від їхнього «дозу-

вання». Отже, всі форми впливу факторів середовища на живі організми мають суто кількісне вираження. Це дає можливість управляти життєдіяльністю видів, не допускаючи виходу тих чи інших екологічних факторів за їхні критичні значення з метою постійного перебування у зоні оптимуму. При цьому слід враховувати, що оптимальні «дозування» факторів є різними для різних видів. Наприклад, насіння вівса проростає за температури 3-5°C, а насіння перця – лише за температури не менше 20°C; рис вирощують на плантаціях, залитих водою, у той час, як пшениця за таких умов вимокне й загине.

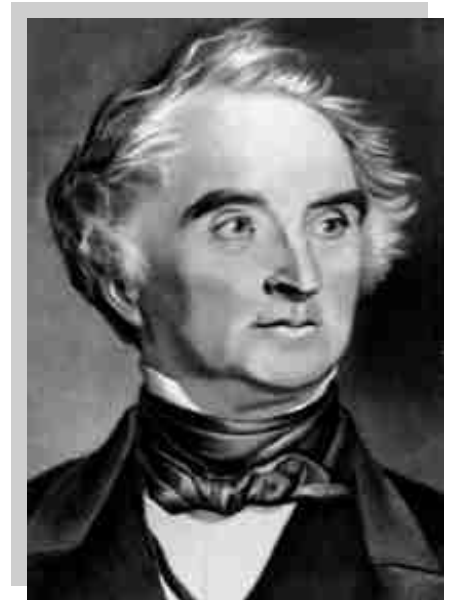
Слід зазначити, що у природі різні екологічні фактори діють *комплексно* та *водночас*. Ступінь присутності або відсутності кожного з них істотно відображається на життєздатності організмів, але по-різному у різних видів. Тобто одні з факторів виступають у ролі *провідних* (головних), інші – у ролі *фонових* (супутніх, другорядних). Провідними вважаються ті, які особливо необхідні організмам; вони є різними для різних організмів, навіть якщо ці організми мешкають на спільній території. У ролі провідного фактору на різних етапах життя організму можуть виступати то одні, то інші елементи середовища. Так, у період проростання злакових рослин провідним фактором є температура, у період цвітіння – ґрунтова волога, а у період дозрівання – кількість поживних речовин і вологість повітря. Також роль провідного фактора може змінюватися у різні пори року. Наприклад, якщо у деяких птахів (горобця, синиці) у період пробудження наприкінці зими провідним фактором є світло (фотоперіод), то влітку його дія стає рівнозначною фактору температури.

Навіть єдиний екологічний фактор за межами свого оптимуму призводить до стресового стану організму, і такий фактор називається лімітуючим. Іншими словами, *лімітуючий фактор* – це той фактор, який за межами свого оптимуму призводить до стресового стану організму. Обмежувальна дія фактора буде проявлятися і у тому випадку, коли інші фактори середовища є сприятливими і навіть оптимальними. У ролі лімітуючих факторів можуть виступати як провідні, так і фонові екологічні фактори.

Ідея про те, що витривалість організму визначається *найслабкішою ланкою* у ланцюзі його екологічних потреб, вперше була висловлена і обґрунтована німецьким агрохіміком *Юстусом фон Лібіхом* (1803-1873) у 1840 р. Він першим виявив, що врожайність (тобто оптимальне зростання) сільськогосподарських культур часто лімітується не тими елементами живлення, що потребуються у великих кількостях, а тими, яких потрібно мало і у ґрунті їх міститься теж дуже мало. Наприклад, лімітуючим фактором є такий елемент живлення рослин, як цинк. У на-

вколишньому середовищі майже завжди присутні надмірні кількості двоокису вуглецю і води, тому вони не є факторами, які обмежують розвиток організмів. А от цинку у ґрунті дуже мало, та й потреби рослин у ньому не великі, але зростання рослин буде продовжуватися до тих пір, поки не буде вичерпано увесь запас цинку. Тому наявність цинку і є лімітуючим фактором.

Ю. Лібіх



Закон мінімуму (закон Лібіха) звучить так: ріст рослини залежить від того елементу живлення, який присутній у мінімальній кількості; успішність росту та врожайності сільськогосподарських культур залежить від речовини, що є в мінімумі у порівнянні з іншими необхідними речовинами. Пізніше, у 1909 р., англійський вчений, фізіолог рослин, *Фредерик Блекман* розширив цей закон і сформулював *закон лімітуючих факторів*: фактори середовища, які мають у конкретних умовах найгірше значення, особливо обмежують можливість існування виду в даних умовах, не зважаючи на оптимальне співвідношення інших окремих умов. Унаочненням закону мінімуму є так звана «діжка Лібіха»: у процесі наповнення діжки вода починає переливатися через найкоротшу дощечку, і тому довжина інших дошок не має значення (Рис. 23).

Для успішного використання закону мінімуму на практиці до нього додають такі два допоміжні принципи:

- 1) *обмежувальний* – полягає у тому, що закон Лібіха може бути застосований лише в умовах стаціонарного стану, тобто тоді, коли притік і відтік речовин та енергії є суворо збалансованими;
- 2) принцип *взаємодії факторів*: висока концентрація одного фактору може змінювати швидкість споживання організмами того елементу живлення, який є у мінімальній кількості. Тобто іноді організм стає здатним *замінювати* дефіцитний елемент іншим, хімічно близьким. Наприклад, деяким рослинам потрібно менше цинку, якщо вони зростають не на яскравому сонячному світлі, а у тіні; таким чином, концентрація цинку у ґрунті з меншою ймовірністю може бути лімітуючою для рослин у тіні, ніж на сонці.

Величина діапазону оптимуму, так само, як і величина усього діапазону стійкості (всієї зони дії фактору), дозволяють розмірковувати про *толерантність* (від лат. *tolerantia* – терпіння) – межі витривалості організму відносно того чи ін-

шого фактору середовища. Лімітуючим фактором може бути не тільки нестача, але й *надмірність* певних факторів, таких, наприклад, як тепло, світло чи вода. Тобто усі організми характеризуються екологічним мінімумом та екологічним максимумом. Уяву про лімітуючий вплив максимуму запропонував американський зоолог *Віктор Ернст Шелфорд* (1877-1968); у 1913 р. він сформував **закон толерантності**: лімітуючим фактором процвітання організму може бути як мінімум, так і максимум впливу, діапазон між якими визначає ступінь витривалості (толерантності) організму до даного фактору.



Згідно з цим законом, будь-який надлишок речовини чи енергії в екосистемі стає її ворогом. Діапазон між мінімумом і максимумом складає межі толерантності, у яких організм нормально функціонує і реагує на впливи середовища. Ступінь благополуччя виду залежно від інтенсивності впливу фактору можна відобразити за допомогою так званої «кривої толерантності» (Рис. 24).



Рис. 23. Діжка Лібіха

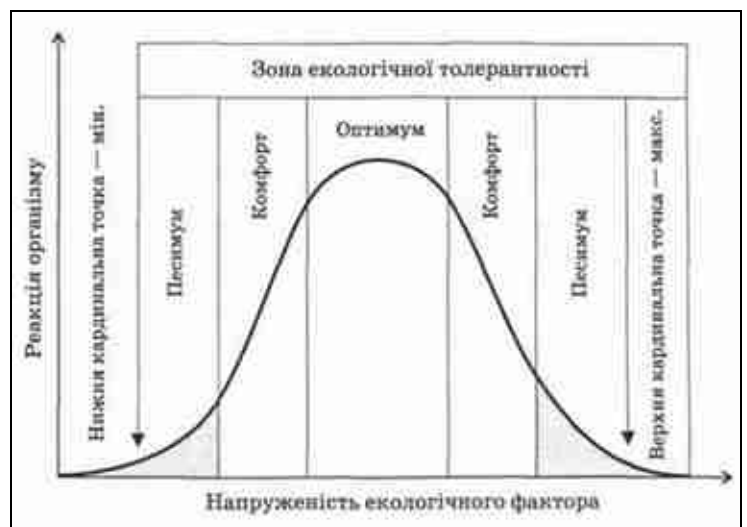


Рис. 24. Крива толерантності організмів

Закон екологічної толерантності доповнюють такими допоміжними принципами:

- організми можуть мати широкий діапазон толерантності відносно одного фактору та вузький – відносно іншого;
- найбільш поширеними є організми з широким діапазоном толерантності до усіх екологічних факторів;

- якщо умови щодо одного екологічного фактору не є оптимальними для виду, то може звужитися також його діапазон толерантності до інших екологічних факторів (наприклад, за лімітуючого вмісту азоту знижується посухостійкість злаків, тобто їм стає потрібно більше води);
- у природі організми часто опиняються в умовах, які не відповідають оптимальному діапазону факторів, – це зокрема пов'язано з міжвидовими і внутрішньовидовими взаємодіями (конкуренцією, хижацтвом, паразитизмом);
- оскільки період розмноження зазвичай є критичним, то у цей період багато факторів стають лімітуючими, межі толерантності звужуються (наприклад, дорослий кипарис може зростати і тоді, коли він постійно занурений у воду, і тоді, коли він росте на сухому місці, але розмножується він тільки там, де ґрунт для розвитку проростків не надто вологий; ще приклад – просторовий розподіл птахів часто визначається впливом клімату на яйця чи пташенят, але не на дорослих особин).

Цінність концепції лімітуючих факторів полягає у тому, що вона дає відповідну точку при дослідженні багатьох складних ситуацій. Тобто стає можливим виділення ймовірних слабких ланок середовища, які можуть бути критичними або лімітуючими. Наприклад, в агроєкосистемах на сильно кислих ґрунтах врожайність пшениці невисока; її можна збільшити, якщо застосувати різні агрономічні впливи, але найкращий ефект буде досягнуто лише за допомогою вапнування, що знімає лімітуючий вплив кислотності.

Живі організми не завжди є «рабами» різних умов середовища; вони пристосовуються самі, а також змінюють ці умови так, щоб послабити лімітуючий вплив екологічних факторів (температури, світла, вологості тощо). Подібна здатність організмів має назву *компенсація факторів*. Види, значно поширені у природі, майже всюди утворюють популяції, добре адаптовані до місцевих умов; вони називаються *екотипами*. У тварин компенсація факторів можлива через *адаптивну поведінку*. Наприклад, ящірки вдень виходять на сонце, а вночі ховаються під нагріте каміння. Така поведінкова регуляція може не менш ефективно підтримувати оптимальну температуру тіла, ніж внутрішня фізіологічна регуляція, властива теплокровним хребетним.

Основною причиною різноманіття екосистем у різних регіонах є своєрідність екологічних факторів у кожному з них. Так, щільність популяцій, тобто чисельність особин на одиницю площі, буде найбільшою там, де усі параметри середовища є оптимальними для даного виду. Щільність може знизитися, але все ж не впаде до нуля, якщо значення одного або кількох факторів стануть для даного

виду стресовими. І нарешті, вид буде відсутній там, де значення хоча б одного з факторів виходить за межі його стійкості (витривалості). Успіх росту, розвитку і розмноження особини залежить від стану всієї популяції; найбільш успішно це відбувається за *оптимальної щільності* популяції.

Критерієм визначення здатності організмів пристосовуватися (адаптуватися) до змін умов середовища є діапазон оптимуму і песимуму відносно кожного фактору середовища для різних видів. У зв'язку з цим розрізняють високо витривалі види, здатні існувати в умовах широкого діапазону стійкості, та види, здатні виживати лише в умовах практично незмінної дії того чи іншого фактору. Ця здатність організмів пристосовуватися до змін умов середовища, іншими словами, межі витривалості між критичними точками у різних діапазонах дії факторів називається **екологічною валентністю**, або *екологічною індивідуальністю* видів. Екологічна валентність у різних організмів є дуже різною (наприклад, північний олень витримує коливання температури повітря від -55°C до $25-30^{\circ}\text{C}$, а тропічні корали гинуть при зміні температури навіть на $5-6^{\circ}$). Тому за екологічною валентністю організми поділяють на дві великі групи:

- *Еврибійонти* (лат. *euris* – широкий) – це організми з великою пристосованістю до різних змін, тобто до широкого варіювання значень факторів середовища (наприклад, колорадський жук, миші, пацюки, таргани, очерет).
- *Стенобійонти* (лат. *stenos* – вузький) – це організми з невеликою здатністю пристосовуватися до змін умов середовища, тобто ті, які мешкають у вузькому діапазоні значень того чи іншого фактора. Види з вузьким діапазоном стійкості зазвичай мешкають у таких умовах, де провідні фактори варіюють дуже слабо. Наприклад, глибоководні риби почуваються оптимально лише за постійної температури води, деякі степові рослини – за постійного яркого освітлення, форель – за умови дуже чистої води.

Відносно окремих факторів (температура, вологість, солоність, елементи живлення) використовують аналогічні терміни, що починаються з тих самих префіксів – «стено» або «еври». Наприклад, антарктична «крижана» риба *Trematomus*, що добре почувається за температури не вище 4°C , – типовий стенотерм, тоді як короп, що населяє прісні водойми з температурою води від 0 до 35°C , – типовий евритерм. Рослини або комахи можуть бути стеногідридними або евригідридними залежно від їхньої реакції на коливання вологості. За здатністю переносити зміни солоності води морські голкошкірі є стеногалінними, а прохідні риби – евригалінними. Гусениця тутового шовкопряду, яка живиться листям лише одного виду рослин, – стенофаг, а усеїдні тварини – ведмідь, пацюк, а також лю-

дина – еврифаги. Звісно, існує багато проміжних форм між стено- та еврибіонтами.

Дія лімітуючих факторів так само, як у природі, проявляється і в людському суспільстві. Здатність людини мислити та виготовляти знаряддя праці дозволяє *подолати* дію звичайних лімітуючих факторів (їжа, вода, температура, хижаки) завдяки тому, що люди:

- самі виготовляють продукти харчування;
- створюють водосховища та підводять воду у населені пункти і на поля;
- створюють засоби боротьби з хижакими і хвороботворними організмами;
- будують житло та обігрівають чи охолоджують його за власним бажанням.

У природі живі істоти постійно відчують на собі сумісну дію цілого комплексу різноманітних екологічних факторів. Тобто на них одночасно впливають взаємозалежні світло, вологість, температура, сусідні організми та багато іншого. Факторів, екологічно важливих для життєдіяльності організмів, у природі дуже багато. Тому слід розглянути найважливіші з них.

3.2 Класифікація екологічних факторів

У основній класифікації всі екологічні фактори поділяють на три великі групи – абіотичні, біотичні й антропогенні (Табл. 3).

Табл. 3. Основні групи екологічних факторів

<i>Абіотичні</i>	<i>Біотичні</i>	<i>Антропогенні</i>
<i>Фізичні</i> : іонізуюче випромінювання, фізичні поля (тяжіння, електричне, магнітне), рух середовищ (акустичні коливання, хвилі, вітер, течії, припливи) тощо.	<i>Фітогенні фактори</i> – різноманітний вплив рослин. <i>Прямий</i> вплив – механічні контакти, симбіоз, паразитизм тощо. <i>Опосередкований</i> – вплив рослин на середовище мешкання (зміни таких факторів, як світло, вологість, ґрунтове живлення тощо).	<i>Планові</i> (усвідомлені) впливи людини, суспільства.
<i>Хімічні</i> : газовий склад повітря, сольовий склад води тощо.		<i>Непередбачувані</i> (випадкові) впливи людини.
<i>Кліматичні</i> : світло, температура, повітря, вітер, погода тощо.	<i>Зоогенні фактори</i> – різноманітний вплив тварин (з'їдання, витоптування, запилення, розповсюдження насіння тощо).	Впливи, обумовлені життєдіяльністю людини як живого організму.
<i>Орографічні</i> : рельєф, експозиція схилів, розчленування та ін.	<i>Мікробогенні фактори</i> – вплив різних мікроорганізмів.	Впливи результатів соціокультурної діяльності людини.
<i>Едафічні (ґрунтові)</i> : механічний і хімічний склад, вологоємність, вологопроникність, елементні домішки у ґрунті тощо.	<i>Мікогенні фактори</i> – різноманітний вплив грибів.	

Абіотичними факторами називають все, що впливає на організми з боку неживої природи. *Біотичні*, навпаки, – це все, що впливає на організми з боку живої

природи. *Антропогенними* факторами є усі види діяльності людини, які впливають на живі організми.

3.2.1 Абіотичні екологічні фактори

Фактори можуть діяти у різних масштабах – від локального до глобального. Вузько локальну дію мають фактори, вплив яких обмежений якоюсь однією територією, невеликою за площею. Але для певного конкретного організму це може бути дуже важливим. Екологічні фактори планетарно-космічного масштабу регулюють важливі біосферні процеси. Їхню циклічність у часі організми використовують як сигнали для початку тих чи інших фізіологічних процесів. Одним з таких факторів є довжина дня, або *фотоперіод*. Наприклад, багато рослин починають цвісти, коли довжина дня зростає до певної величини, а перелітні птахи, навпаки, починають свої осінні міграції при зменшенні фотоперіоду.

У природі важко відділити дію одного абіотичного фактору від іншого, оскільки організми завжди відчують їхній сумісний вплив. У наземних екосистемах найважливішими лімітуючими екологічними факторами є світло, температура і вода. У водному середовищі до цих факторів додаються солоність (у морі), а у прісних водоймах – вміст кисню.

Світло. Цей абіотичний фактор має фундаментальне екологічне значення. Без нього неможлива фотосинтетична діяльність зелених рослин, у той же час прямий вплив світла на цитоплазму є смертельним. Морфологія рослин, структура рослинного покриву організовані саме для найбільш ефективного сприймання світлової енергії. Терміном «світло» в екології позначається увесь діапазон сонячного випромінювання, тобто потік енергії у межах довжини хвиль від 0,05 до 3000 нм⁷. Сонце випромінює у космічний простір величезну кількість енергії, і хоча на частку Землі припадає лише одна двохмільйонна його частина, цього вистачає на обігрів та освітлення всієї планети.

Із сонячним світлом пов'язана активність рослин і тварин. Реакція організмів на добовий ритм освітлення називається *фотоперіодизм* (грец. *photos* – світло, *periods* – чергування). Зміна довжини світлового дня є єдиним точним сигналом наближення зими або весни; погодні ж умови часто є хибними. Саме тому рослини реагують на довжину світлового дня і не розпускають листя під час зимової відлиги або не переходять до листопаду під час короткотермінових літніх заморозків. Освітленість і фотоперіодизм мають певне значення і для життєдіяльності багатьох тварин. Наприклад, добре відомі тварини з чітко вираженою денною та

⁷ 1 нанометр = 10⁻⁶ мм.

нічною активністю. Періодичність освітлення протягом усієї еволюції планети залишається найбільш постійним сигналом часу, який точно відтворюється. Саме тому в природі режим освітлення, співвідношення тривалості дня і ночі є найважливішим «синхронізатором» добових, сезонних та інших ритмів життєдіяльності.

Якщо регулювати фотоперіод, знаючи ту чи іншу реакцію видів на тривалість освітлення, можна впливати на продуктивність тварин, терміни линьки, розмноження тощо. Наприклад, якщо взимку дати лісовій куниці додаткове освітлення, можна на чотири місяці скоротити (тобто прискорити) терміни її спаровування і народження дитинчат. У різних проявах добової і сезонної активності організмів, окрім світла, беруть участь багато інших факторів (таких, як температура, вологість), але вплив світла є провідним. Саме тривалість освітленості, тобто фотоперіод, є сигналом для перебігу життєдіяльних процесів у організмів протягом різних сезонів року.

За реакцією на світловий режим серед рослин виділяють такі групи: світлолюбні (геліофіли), тіньлюбні (сциофіли), тіньовитривалі (факультативні геліофіли). Тварин за їхньою активністю і рухливістю поділяють на денних, нічних і сутінкових. Сприйняття тваринами спектральних відмінностей світла називається зором. Зір може бути монохромним, або чорно-білим (наприклад, у деяких черв'яків і молюсків), дихромним, або двоколірним, коли сприймається синє та червоне (у більшості ссавців), трихромним, або триколірним, – сприймається синє, жовте і червоне (у приматів) та тетрахромним, або чотириколірним, – сприймається ультрафіолетове, синє, жовте і червоне (у більшості комах, птахів, плазунів, риб). Деякі тварини (гримучі змії, комарі) сприймають ще й інфрачервоне випромінювання, яке вже є теплом, або тепловим випромінюванням.

Світло є первинним джерелом енергії, без якого неможливе життя. Але світло є не лише життєво необхідним фактором, а ще й *лімітуючим*, причому як на максимальному, так і на мінімальному рівнях. Від зміни довжини світлових хвиль залежить інтенсивність фотосинтезу до оптимального світлового насичення, за межами якого відбувається зниження інтенсивності фотосинтезу.

Екологічний фактор води (вологи). Відомо, що живих організмів, які не містять воду, на Землі не існує. *Усі процеси живлення, дихання та обміну речовин відбуваються лише за участю води.* Екологічний фактор води на суші характеризують такі показники: її кількість; фізичний стан – рідка, пароподібна, тверда (у вигляді снігу, льоду чи граду); вологість ґрунту, глибина залягання води у ґрунті; розподіл вологи протягом року; насиченість повітря водяною парою – вологість повітря. Для сухопутних організмів дуже важливою є вологість повітря, найбільш

насиченими якою є нижні шари атмосфери (до висоти 1,5-2 км концентрується приблизно половина усієї повітряної вологи). З вологістю повітря тісно пов'язані *опади* – результат конденсації водяної пари. Велике значення має сезонний розподіл вологи протягом року, а також її добові коливання.

Пристосування організмів до умов водного режиму відображаються у їхньому зовнішньому вигляді, внутрішній будові, поведінці і усіх процесах життєдіяльності. Тому ці адаптації поділяють на морфологічні, фізіологічні і екологічні, у т. ч. поведінкові. Наприклад, до *морфологічних* пристосувань від висихання належать особливості структури покривів – водонепроникність, панцирність, наявність волосків і щетинок, воскового покриття тощо. Серед *фізіологічних* адаптацій до життя у посушливих умовах можна виділити, наприклад, запасання великої кількості води у тканинах рослин або здатність деяких тварин виділяти воду шляхом окислювальних процесів у ході обміну речовин.

Пристосування *поведінкового* характеру серед тварин є надзвичайно різноманітними – вони обирають місця, захищені від висихання, мігрують у вологіші шари ґрунту, зариваються у підстилку тощо. Наприклад, дощові черв'яки мешкають у приповерхневих шарах ґрунту лише рано вранці і увечері, а у спекотні дні вони заглиблюються майже на півметра, де ще й згортаються у тугий клубочок. Аналогічним пристосуванням є також літня сплячка – період тимчасового спокою у розвитку і розмноженні серед тварин і стан вимушеного спокою – серед рослин, що є типовим для мешканців пустель і сухих степів.

Усі сухопутні організми за реакцією на фактор вологи поділяються на три екологічні групи: *вологолюбні (гігрофіли)* – мокриці, комарі, болотні рослини; *сухолюбні (ксерофіли)* – терміти, верблюди, саксаул, кактус; *мезофіли* – ті, які віддають перевагу помірній вологості. Вони різняться за водообміном. Найбільш інтенсивний водообмін у гігрофілів; вони не переносять значного водного дефіциту і погано переносять навіть короткочасну посуху. На тимчасове висихання ґрунту або повітря рослини-гігрофіли миттєво реагують в'яненням чи загибеллю генеративних органів. Щодо ксерофілів, вони мають різноманітні механізми регуляції водообміну і пристосовуються до утримування води у тілі й клітинах.

Крім цього, умови водообміну різних видів організмів визначаються вологістю їхніх місць проживання. Тому серед рослин, залежно від їхньої приуроченості до тих чи інших місць мешкання, розрізняють такі екологічні групи: *гідрофіти* (ті, що мешкають у воді); *гігрофіти* (ті, що мешкають біля води); *мезофіти* (ті, що мешкають в умовах достатнього зволоження); *ксерофіти* (ті, що мешкають у посушливих умовах). *Гігрофітами* (від грец. *hydros* – вологий і *phyton* – рослина)

є ті рослини, які віддають перевагу місцям, де у ґрунті чи повітрі постійно багато вологи. Вони завжди мають велике м'яке листя, товсті, майже без волосків, корінці, які поглинають воду всією своєю поверхнею.

До *мезофітів* – рослин помірно зволжених територій – належать багато лучних і лісових трав, майже усі листяні дерева, польові культури і бур'яни, а також яблуня, вишня, малина, виноград. Вони мають добре розвинуту кореневу систему з волосками, листя частіше велике, м'яке, нетовсте, з помірно розвинутими тканинами. *Ксерофіти* – екологічна група рослин, що пристосувалися до проживання у місцях з посушливим кліматом. У цій групі є рослини, здатні накопичувати у своїх тканинах велику кількість води (кактуси, алое, молочай); їх називають *сукуленти* (лат. *succulentos* – соковитий, жирний). Крім сукулентів, існує інша група ксерофітів, куди входять саксаул, верблюжа колючка, полинь, ковил. Вони не накопичують вологу, а випаровують її у великій кількості, постійно дістаючи з глибоких шарів ґрунту. Такі рослини називають *склерофітами* (від лат. *skleros* – твердий, *phyton* – рослина); вони низькорослі, мають тверде, сухе тіло із значною кількістю механічної тканини і велику підземну частину.

Вологість повітря, ґрунту і атмосферні опади по-різному впливають на організми, залежно від супутньої дії інших факторів, особливо температури. Волога є провідним фактором, який визначає поділ екосистем на лісові, степові й пустельні. Зокрема, річна сума опадів менше 1000 мм відповідає стресовій зоні для багатьох видів дерев, а межа стійкості більшості з них відповідає сумі опадів 750 мм на рік. У той же час для більшості злакових ця межа приблизно дорівнює 250 мм, а кактуси та інші пустельні рослини можуть зростати навіть за суми опадів 500-100 мм на рік. Відповідно у першому випадку розвиваються ліси, у другому – злакові степи, у третьому – пустелі.

Температура. Тепло є формою кінетичної енергії, яка може перетворюватися на інші види енергії та передаватися від відносно більш нагрітого тіла до відносно холоднішого. Так, сонячна радіація, доходячи до ґрунту, викликає його нагрівання. Нагрітий ґрунт у свою чергу віддає частину отриманої енергії атмосфері, яка діє як екран, затримуючи енергію і частково спрямовуючи її назад. Термін «температура» виражає ступінь нагрівання тіла. Прихід тепла на земну поверхню забезпечується сонячними променями і розподіляється залежно від висоти стояння Сонця над горизонтом і кута падіння цих променів.

Екологічним фактором є не лише абсолютна кількість тепла, але і його розподіл у часі – *тепловий режим*. Саме він визначає добову і сезонну активність організмів. Тобто фактор температури характеризується чітко вираженими сезонни-

ми і добовими коливаннями, що має важливе сигнальне значення, оскільки регулює терміни активності організмів, забезпечуючи їхні добовий і сезонний ритми життєдіяльності.

За реакцією на фактор температури організми поділяють на *теплолюбні* (*термофіли*) і *холодолюбні* (*кріофіли*). Температурний оптимум більшості живих істот перебуває у межах 20-25°C, але деякі організми мають здатність адаптуватися до дуже високої температури – наприклад, верблюжа колючка переносить нагрівання повітря до 70°C. Більшість термофільних рослин здатні переносити дуже високу температуру. Окремі частини рослини можуть нагріватися до +60-65°C (інколи протягом тривалого періоду), наприклад, наскальні лишайники. Найвища температура, за якої знайдено живі синьо-зелені водорості у термальних водах, +85 С, а бактерії +88 С. Вищі рослини у термальних водах відсутні. У природі вже при 40°C більшість видів виявляють ознаки пригніченості. Рослини здатні витримувати і гранично низькі температури до –80°C (водорості у товщі льоду в Антарктиді). А у модринових лісах Якутії, де живуть вищі рослини, відмічена температура –65 С.

Для тварин температурний фактор визначає швидкість перебігу біохімічних реакцій, а відповідно й активності усього організму. Зростання температури середовища може призвести до перегріву організму і загибелі тварини, тому найважливішими є три аспекти температури як екологічного фактору: загрозливо низькі температури, загрозливо високі та проміжні. Якщо перші два інтервали температур можуть спричинити смерть, то проміжне між ними значення вміщує зону оптимуму.

Характеризуючи температуру як екологічний фактор, слід розрізняти температуру повітря, температуру ґрунту і різницю між ними. Це особливо важливо для рослин, оскільки вони здатні поглинати поживні речовини з ґрунту лише у тому випадку, коли температура ґрунту на декілька градусів нижча за температуру повітря.

Ці три екологічних фактори – *світло, вода і температура* – є дуже важливими лімітуючими факторами на *суходолі*. А у *водному середовищі* (море) такими факторами виступають *світло, температура і солоність*. У прісних водоймах головну роль може відігравати *вміст кисню*.

Клімат. Йдеться передусім про режим температури і опадів на певній території протягом достатньо тривалого часу. У різних куточках земного шару річна кількість опадів змінюється від 0 до 2500 мм, при цьому вони випадають або рівномірно протягом року, або їхня основна кількість припадає на певний (вологий)

період. Середньорічна температура також коливається від значних від'ємних величин до майже 100°C. Різні режими температури і опадів сполучаються між собою також по-різному.

Температурні ритми разом із світловими, припливно-відпливними і ритмами зміни вологості контролюють сезонну та добову активність рослин і тварин. Температура створює *зональність* у наземних та *стратифікацію* у водних екосистемах. Волога змінює ефект температури. Вода, яку рослини отримують з ґрунту, майже повністю (97-99%) випаровується через листя при транспірації. Коли вода і елементи живлення не є лімітуючими факторами, ріст наземних частин рослин пропорційний загальному надходженню енергії на поверхню Землі. Оскільки більша частина енергії, що надходить у вигляді тепла, майже постійна, то ріст рослин також є пропорційним транспірації.

Дія багатьох абіотичних факторів (рельєфу, вітру, типу ґрунтів тощо) проявляється *опосередковано*, через температуру і вологість. В результаті на невеликій ділянці земної поверхні кліматичні умови можуть істотно відрізнятися від середніх для регіону. Ці локальні умови формують *мікроклімат*, особливості якого спричиняють різноманіття екосистем у межах біому.

Кисень має велике фізіологічне значення для більшості організмів, тому його концентрація у навколишньому середовищі та умови доставки до окиснюваних субстратів є важливим екологічним фактором. Концентрація O₂ в повітрі становить 20,95% і є доволі постійною. Тимчасове її зменшення на 2-3% помітно не впливає на фізіологію живих організмів. Зокрема, у ґрунті й глибоких норах тварин уміст кисню може знижуватися до 15% і нижче, але мешканці цього середовища адаптовані до таких відхилень. При підйомі угору у через зниження атмосферного тиску падає і парціальний тиск⁸ кисню. Починаючи з певного рівня, це може призводити до фізіологічних порушень, і тоді включаються механізми акліматизації. Нині внаслідок діяльності людини, особливо спалювання викопного палива, відбувається катастрофічне зменшення вмісту кисню в атмосфері, що є дуже небезпечним для організмів біосфери.

Ґрунти як природні утворення характеризуються родючістю, тобто здатністю забезпечувати рослини речовинами, необхідними для їхньої життєдіяльності. Ґрунти – органо-мінеральні утворення, що виникли в результаті тривалої взаємодії живих організмів і субстрату, впливу на них природних вод і атмосферного повітря. Дубові ліси домінують на добре дренованих ґрунтах, злакові рослини –

⁸ *Парціальний тиск* – частина загального тиску, яка припадає на певний газ у газовій суміші. Чим вищий процентний вміст газу в суміші, тим відповідно вищий його парціальний тиск.

на ґрунтах з високою здатністю утримання вологи, а на пісках ростуть тільки пустельні види. Основними лімітуючими факторами виступають засоленість ґрунтів, їхня кислотність або лужність.

Ґрунти формують зовнішню оболонку земної кори, розрихлену фізичним і хімічним вивітрюванням і за участю живих організмів. У біосфері ґрунт разом з приземним шаром повітря є головним середовищем мешкання біоти – як за чисельністю, так і за біомасою. Властивості ґрунту визначають існування вищих і нижчих рослин, багатьох тварин. Життєво необхідний обмін мінеральними речовинами між біосферою і неорганічним світом відбувається саме у ґрунті.

Вогонь (пожежі) – це той абіотичний фактор, який певною мірою формує наземні екосистеми. Організми адаптуються до нього так само, як до температури чи вологості. Пожежі є важливим лімітуючим фактором вже тому, що людина здатна контролювати його у значно більшому ступені, ніж інші лімітуючі фактори.

Фізичні бар'єри є тим екологічним фактором, який перешкоджає проникненню видів з одних екосистем у інші. Це, наприклад, моря, великі пустелі, високі гірські хребти. Наприклад, узбережжя континентів і недалеко від них острови, які мають схожі абіотичні умови, можуть сильно різнитися за видовим складом. Якщо організми тим чи іншим чином долають такі бар'єри, подальший розвиток подій може відбуватися двома шляхами: або успішне «вторгнення» видів у нові для них спільноти, або екологічна катастрофа – у разі порушення усталених харчових ланцюгів.

Їжа – її потребують усі організми з метою використання як джерела енергії для підтримки життєвих функцій, а також як матеріалу для побудови і поновлення своїх клітинних структур, для продукування і розмноження. Кількість їжі на Землі визначається чистою первинною продукцією рослин. Це приблизно 200 млрд т сухої речовини фітомаси щорічно, у якій міститься $3,5 \times 10^{21}$ Дж енергії. Усю цю кількість протягом року використовують гетеротрофи, чия біомаса на порядок менше.

Будь-яка їжа є набором різних елементів живлення, серед яких завжди присутні обов'язкові, незамінні. Вони – лімітуючі фактори, за відсутності хоча б одного з яких виникають порушення життєдіяльності, аж до загибелі організму. Для нормального розвитку більшості організмів у склад їхньої їжі мають входити 8-10 незамінних амінокислот, вітаміни і мікроелементи. Впливаючи на фізіологічний стан окремих особин, *якісний склад* їжі поряд з її кількістю може впливати і на

стан популяції в цілому, на її структуру та динамічні характеристики – народжуваність, смертність, темпи розвитку і якість потомства.

Отже, існування живих організмів у навколишньому середовищі постійно супроводжується появою нових пристосувань, що сприяють збереженню видів. Процес адаптації організмів до змін умов середовища, зокрема до абіотичних екологічних факторів, доволі складний, але єдиний. Для об'єктивної оцінки ролі того чи іншого екологічного фактору і реакції організмів на його вплив слід розглядати і характеризувати кожен з них окремо.

3.2.2 Біотичні екологічні фактори

Життя організмів у природі залежить не тільки від абіотичних факторів, а й від того, як впливають на них інші живі організми. На різні прояви життєдіяльності організмів постійно впливають вищі рослини, які мешкають по сусідству, різні бактерії, гриби і тварини. *Біотичні фактори* – це сукупність взаємних впливів одних живих істот на інші і на середовище мешкання. Виділяють такі підгрупи біотичних факторів:

- *Фітогенні фактори* – це взаємний вплив рослин (прямий і опосередкований).
- *Зоогенні фактори* – різноманітний вплив тварин (з'їдання, витоπτування, запилення, розповсюдження насіння тощо).
- *Мікробогенні фактори* – це вплив мікроорганізмів і грибів. Вплив грибів іноді виділяють у окрему підгрупу *мікогенних* факторів.

Усі біотичні фактори обумовлені внутрішньовидовими (внутрішньопопуляційними) та міжвидовими (міжпопуляційними) взаємодіями. *Внутрішньовидові фактори* – це контакти між членами родини, групи, стада, популяції одного виду, тобто співвідношення статей, розмноження, догляд за потомством, взаємодопомога чи захист або, навпаки, виникнення внутрішньовидової конкуренції, відносин домінування і підпорядкування, ієрархії у стаді. *Міжвидові фактори* – це контакти між особинами і популяціями різних видів, різноманітні харчові зв'язки, поїдання одних організмів іншими, відносини симбіозу і «співробітництва» або хижака і жертви, міжвидова конкуренція, паразитизм тощо. Взаємовідносини організмів набагато складніші, ніж їхня реакція на різні абіотичні впливи, тому вони важче піддаються прямому дослідженню. Тільки для деяких біотичних факторів, що належать до харчових зв'язків і чисельності популяцій, можливі кількісні оцінки на основі експериментів.

Кожен живий організм постійно відчуває на собі прямий чи опосередкований вплив інших істот. *Прямий* фітогенний вплив передбачає механічні контакти

між рослинами, симбіоз, паразитизм, фізіологічний і хімічний вплив. Наприклад, рослини-паразити, відсмоктуючи воду, органічні й інші речовини з тіла свого хазяїна, викликають у нього порушення обміну речовин, затримку росту і розвитку. Деякі гриби-паразити (трутовики, іржа, головня) не тільки відсмоктують поживні речовини у хазяїна, але й отруюють його продуктами своєї життєдіяльності, переносять різні віруси. Механічний вплив проявляється, наприклад, у дії в'юнких рослин (хмелю, ліан). Коли вони обвивають стебло рослини-опори, то не лише перешкоджають її зростанню у товщину, але й сильно здавлюють цю опору, утруднюючи пересування нею поживних речовин, порушуючи розвиток рослини, на яку спираються.

До прямого впливу належить також вплив рослин шляхом виділення різних фізіологічно активних речовин; ця форма впливу називається *алелопатія* (від грец. *allelon* – взаємний, *pathos* – страждання). Ті активні речовини, які виділяють вищі рослини, називаються *фітонциди*, а ті, які виділяються мікроорганізмами – *антибіотики*. Завдяки фітонцидам рослини стають несприйнятливими до деяких захворювань. Фітонциди і антибіотики, що згубно діють на інші організми, для їхніх носіїв виконують захисну функцію щодо боротьби з іншими видами. Наприклад, листя черемухи виділяють летючі речовини, які вбивають різні види найпростіших і відлякують мух. Мікроби дуже рідко ушкоджують листя таких рослин, як сосна, тополя, евкаліпт, оскільки вони здатні виділяти велику кількість летючих речовин, токсичних для мікроорганізмів.

Завдяки дії хімічних речовин, багато рослин не лише вбивають патогенну мікрофлору, відлякують листоїдів та інших шкідників, але й «тримають» навколо себе не зайняту іншими рослинами зону, яку називають *фітогенним полем*. При цьому рослини, що виділяють органічні фізіологічно активні речовини, навіть після своєї загибелі не перестають впливати на інших. Тобто відмерлі рештки цих рослин у процесі розкладання редуцентами створюють певну біохімічну обстановку, яка може впливати на інші організми як сприятливо, так і негативно. Ці рештки у ґрунті можуть затримувати розвиток посівів і знижувати врожай.

У природі доволі часто спостерігаються *позитивні* взаємовпливи рослин. Це, наприклад, утворення мікоризи, яка знайдена більш ніж у 2 тис видів вищих рослин. Подібний тісний симбіотичний зв'язок (співмешкання) надає обом організмам (вищій рослині та грибу) певну користь: мікоризні гриби отримують від вищого симбіонта вуглеводи і вітаміни, а вищий «співмешканець» у свою чергу використовує величезну усмоктувальну поверхню грибу для отримання з ґрунту необхідної вологи і поживних речовин.

За умов *опосередкованого* впливу відбувається вплив рослин на середовище мешкання (може виражатися у змінах таких факторів, як світло, вологість, ґрунтове живлення тощо). Рослини, які визначають специфічність умов місць мешкання рослинних угруповань, називають *едифікаторами* (грец. *aedificator* – будівельник). Наприклад, береза, якщо оселяється на вирубках хвойних дерев на підзолистих ґрунтах, за допомогою своєї едифікаторної діяльності дуже швидко змінює ці ґрунти. Спочатку береза повертає у ґрунт поглинуті мінеральні речовини у вигляді опаду, при цьому активно залучає до кругообігу азот і зольні елементи. У ґрунті посилюються процеси нітрифікації, покращується структура, підвищується біологічна активність, поживляється діяльність ґрунтової флори і фауни. У результаті підзолисті ґрунти хвойних вирубок поступово переходять у дерново-підзолисті, а за умов тривалого існування березняків – навіть у дернові.

Свій едифікаторний вплив береза проявляє не тільки через ґрунтоутворення. Крім цього, її крони створюють затемнення, що у свою чергу впливає на світловий, водний і температурний режими, на присутність у спільноті організмів, супутніх березі (паразитів, фітофагів тощо). Все це створює особливий середовищевірний вплив, який у різних рослин є дуже різним, залежно від сили едифікаторної дії. Наприклад, сильними едифікаторами є вільха, осина, дуб, ялина, мохи; а з трав'янистих рослин – бобові, злаки, полинь, спориш.

Тварини як зоогенний фактор також сильно впливають на середовище мешкання, внаслідок чого у ньому відбуваються значні зміни. Найпростішим прикладом є роль дощових черв'яків у ґрунотвірних процесах. Комахи-обпилювачі у пошуках їжі сідають на квітку, забруднюються пилом, потім перелітають на інші квітки і здійснюють таким чином перехресне запилення – у цьому випадку їжа як екологічний фактор формує корисний взаємовплив організмів. Так само впливають тварини, які розповсюджують плоди і насіння. Наприклад, насіння ягідних рослин у лісах помірного поясу розповсюджує ведмідь через свої екскременти. Комахи (тлі, клопи) не лише відсмоктують у рослин поживні речовини, а й переносять збудників деяких захворювань. Кроти, риючи ходи у ґрунті, обривають коріння багатьох рослин, поїдають дощових черв'яків, що призводить до висушування ґрунту. Але у той же час, кроти можуть і позитивно впливати на рослин, якщо знищують кореневих шкідників або їхніх личинок.

Значним зоогенним фактором є копитні, що впливають на інших організмів як прямо (з'їдання, витоπτування), так і опосередковано. Опосередкований вплив проявляється в ущільненні ґрунту, внесенні у нього екскрементів, що збагачує ґрунт органічними і мінеральними сполуками. Таким чином копитні істотно

впливають на увесь процес ґрунтоутворення, а також на водний режим та аерацію підземних органів рослин, на ріст і розвиток їхніх наземних частин.

Біотичними лімітуючими факторами можуть бути будь-які взаємодії видів організмів та їхній взаємний вплив. Наприклад, за річної кількості опадів більше 750 мм умови для розвитку злакових рослин досить сприятливі, але така ж вологість сприяє й розвитку дерев, які затіняють злаки, що призводить до загибелі останніх. У цьому випадку лімітуючим фактором є конкуренція злаків з деревними формами. Так само розповсюдження рослин може обмежуватися присутністю деяких фітофагів або грибів-паразитів. Розподіл тварин може бути обмежений нестачею їжі, присутністю хижаків чи паразитів.

Як вже було зазначено, жоден з екологічних факторів *не діє поодиноці*. Кінцевий стан – це завжди результат багатьох взаємодій різних абіотичних і біотичних факторів. Наприклад, посуха може призвести до загибелі птахів, а це зумовить зростання чисельності комах-фітофагів, якими вони харчувалися, що призведе у свою чергу до масового ураження рослин, які є їжею інших консументів, і так далі. Практично кожний фактор, який впливає на один вид, опосередковано буде впливати і на інші види за рахунок різноманітних існуючих у природі взаємозв'язків. Тобто будь-яка реакція продуцентів на зміни умов середовища неминуче – через харчову сітку – відобразиться і на всіх інших організмах екосистеми.

Відповідно до закону про загальний зв'язок явищ і процесів, різними взаємодіями у живій природі можуть бути охоплені істоти як дуже близькі (наприклад, дві дочірні клітини), так і далекі – за приналежністю до різних царств природи і різних трофічних рівнів, а також за розподілом у просторі. Якщо за головний критерій безпосередньої міжвидової взаємодії прийняти вплив чисельності організмів одного виду на чисельність організмів іншого виду, то виявиться, що у природі представлені усі можливі комбінації таких взаємодій (Табл. 4).

Нехарчові типи взаємовідносин організмів були розглянуті у главі 2.2.2. Тут проаналізуємо їх з погляду екологічних факторів. **Нейтралізм (00)** передбачає відсутність відносин або такий їхній тип, за якого немає видимих форм прямих взаємодій. Проте нейтралізм лише на перший погляд виглядає як повна відсутність взаємозалежності. Іноді тільки одна проміжна ланка викриває інший тип взаємодії. Наприклад, лев не харчується травою, але йому не байдужий стан пасовища, від якого залежить щільність популяції антилоп.

Табл. 4. Класифікація міжвидових взаємодій залежно від впливу чисельності одного виду на чисельність іншого виду

Вплив першого виду на другий*	Вплив другого виду на перший	Тип взаємодії	Приклади
0	0	Нейтралізм	Вовк і трава на галявині; білка і лось.
—	0	Аменсалізм	Ціанобактерії і зоопланктон; гриби-продуценти антибіотиків і бактерії.
+	0	Коменсалізм	Лев і грифи-падальники; акула і риби-прилипали; дуплясті дерева і птахи.
—	—	Конкуренція	Вівці й кролики; псець і полярна сова; мешканці пташиних базарів.
+	—	Ресурс-експлуататор	Капуста і коза; антилопа і лев; тварина-хазяїн і глист-паразит.
+	+	Мутуалізм	Лишайник (гриб + водорість); мікоризи дерев; корова і мікрофлора рубця.

Примітка*: 0 – відсутність прямого впливу; — – протилежно спрямований вплив, пригнічення; + – односпрямований вплив, сприяння.

Аменсалізм (-0) – це однобічне пригнічення. Прикладами можуть служити пригноблююча дія антибіотиків грибів-актиноміцетів або фітонцидів рослин на мікроорганізми, а також виділення деякими рослинами речовин, які виключають сусідство з іншими рослинами. Навколо чагарників шавлії зазвичай існують кільця радіусом 2-3 м, де не росте трава через накопичення у ґрунті токсинів. Аменсалізм присутній і у явищі цвітіння води, коли токсини синє-зелених водоростей, що розмножилися і гниють, призводять до загибелі чи витискування багатьох видів зоопланктону та інших водних тварин.

Коменсалізм (+0), навпаки, передбачає однобічне сприяння. Це може бути «квартирування» одних організмів на інших (за відсутності харчового зв'язку), наприклад, птахів у дуплах або на гілках дерев; «транспортування» тваринами інших тварин або насіння і плодів рослин. Пересування одного організму на іншому, наприклад, риби-прилипали на акулі чи певних видів кліщів на гнойових жуках, називають *форезія*. Користування іншим організмом як домівкою називається *інквілінізм*. Наприклад, рослини-епіфіти (орхідеї, деякі водорості) оселяються на інших (головним чином, на гілках і стовбурах дерев) і при цьому отримують поживні речовини з навколишнього середовища, а не із субстрату, на якому існують. Ще одним різновидом коменсалізму є *метабіоз* – непряма залежність, коли коменсал користується чимось, що було вироблено організмом-хазяїном, але після його смерті. У такий спосіб, наприклад, раки-самітники користуються порожніми раковинами молюсків для захисту свого м'якого тіла (Рис. 25).



Рис. 25. Приклади коменсалізму: інквілінізм (ліворуч) і метабіоз (праворуч)

Існує багато прикладів «нахлібництва» коменсалів по відношенню до великих тварин і навіть до людини: грифи-падальники, які живляться рештками здобичі хижаків; синантропні⁹ популяції гризунів і міських птахів, які харчуються на міських звалищах. Коменсалами можуть бути також різні мікроорганізми.

Конкуренція (–) є одним з головних механізмів регулювання чисельності організмів у природі. Вона має місце завжди, коли співпадають їхні екологічні ніші та обмежена ємність середовища. Збіг екологічних ніш може бути абсолютним, коли мова йде про організми одного виду, навіть однієї популяції, тобто про *внутрішньовидову конкуренцію*. За умови зростання популяції, коли її чисельність наближається до межі ємності середовища, вступає в дію механізм регуляції чисельності: смертність зростає, а плодовитість знижується. Простір та їжа стають предметом конкуренції – їхній дефіцит є головною причиною зниження життєздатності й плодовитості цілої популяції чи її значної частини.

У різних видів екологічні ніші завжди різняться – за простором і за ресурсами. Будь-яке їхнє суміщення за цими показниками призводить до виникнення *міжвидової конкуренції* (Рис. 26). Буває, що екологічна ніша одного виду «перекриває» аналогічну нішу іншого виду. У цьому випадку другий вид повністю витіснюється першим; конкуренція між ними йде шляхом *конкурентного виключення* або *конкурентного заміщення*. Таке часто буває спричинено інтродукцією у екосистеми нових видів. У природі частіше зустрічається лише часткове суміщення екологічних ніш – при цьому також спостерігається взаємне пригнічення конкуруючих видів, але в решті-решт між ними встановлюється *конкурентна рівновага*, або *режим співіснування*.

⁹ *Синантропні організми, синантропи* (від грец. *syn* – разом і *anthropos* – людина) – тварини, рослини і мікроорганізми, різною мірою пов'язані з людиною.



Рис. 26. Приклади міжвидової конкуренції за їжу

У взаємодії «ресурс-експлуататор» (+–) реалізуються взаємовідносини організмів, що належать до суміжних трофічних рівнів, коли сполучаються сприяння і пригнічення. Типовими «експлуаторами» є, наприклад, рослиноїдної тварини, хижаки і паразити (Рис. 27). Їхніми взаємодіями з «ресурсами» – рослинами, жертвами і хазяями – обумовлені послідовності трофічних рівнів ланцюгів живлення, які визначають співвідношення чисельності й біомаси організмів.

Зазвичай чисельності популяцій експлуататора і ресурсу підтримуються навколо певних відносно постійних рівнів. Наприклад, вислизання жертви або напад хижака не можуть бути завжди тільки успішними чи тільки безуспішними. Стадо травоядних відносно площі пасовища не має бути настільки чисельним, щоб повністю знищити рослинний покрив. А паразит не може «дозволити собі» виснажити хазяїна доти, доки не гарантує для себе продовження роду за допомогою великої кількості потомків. Однак рівновага у таких системах може й порушуватися. Якщо два види почали контактувати лише нещодавно або різко змінилися умови середовища, система стає нестійкою, що може призвести до зникнення жертви. Найчастіше різкі зміни бувають зумовлені прямими чи опосередкованими антропогенними діями.

Мутуалізм (+ +) передбачає взаємний позитивний вплив, широко розповсюджений у природі. Це можуть бути взаємовигідні відносини між квітковими рослинами і комахами, що їх запилюють; між бобовими рослинами і азотфіксуючими бактеріями на їхніх коріннях; між жуйними тваринами і мікроорганізмами у їхньому рубці тощо. Цікавим прикладом є взаємовідносини дрібної пташки і великої рептилії: єгипетський бігунок (крокодилів сторож) забирається у відкриту

пащу крокодила та вибирає у нього між зубами залишки їжі (Рис. 28). Обидва отримують вигоду, але зовсім не через «співчуття» один до одного.



Рис. 27. «Експлуататор» – хижа рослина Венерина мухоловка (*Dionaea muscipula*)



Рис. 28. Мутуалізм

Різноманітні взаємодії забезпечують формування численних пристосувань організмів до «сумісного» існування, які об'єднуються у три групи: *топічні* (лат. *topos* – місце) – пристосування на основі спільного мешкання; *трофічні* – на основі живлення; *генеративні* – пристосування, пов'язані з процесом розмноження і відтворення.

Багато з розглянутих вище взаємовідносин у тій чи іншій формі проявляються і у людському суспільстві, лише мають інші назви. Ніяких інших, «чисто людських», типів відносин просто не існує. За своїм ставленням до природи людина виступає типовим експлуататором; коло її безпосередніх жертв набагато ширше, ніж у будь-якого хижака. А руйнуючи і забруднюючи навколишнє середовище, людина перетворює переважну більшість видів на аменсалів.

Це означає, що принцип лімітуючих факторів, який діє у природних екосистемах, так само діє і в людському суспільстві, що особливо проявляється у складних стосунках людини і природи. Головна відмінність полягає у тому, що здатність людини мислити та виготовляти знаряддя праці дозволила їй *подолати* дію звичайних лімітуючих факторів, таких, як їжа, вода, хижаки та паразити, конкуренція тощо. Це подолання відбувається завдяки тому, що люди давно навчилися самі виготовляти собі продукти харчування; створювати водосховища та підводити воду у населені пункти і на поля; боротися з хижакami і хвороботворними організмами; будувати житло та обігрівати чи охолоджувати його за власним бажанням; а також вигравати у конкурентній боротьбі з іншими видами.

Отже, різноманітність дії біотичних факторів величезна, причому у більшості випадків ці фактори викликають у взаємодіючих організмів специфічні риси пристосованості у вигляді морфологічних, фізіологічних, поведінкових та інших особливостей. Усі ці риси виникли історично, у процесі еволюції шляхом сумісного співіснування організмів. Біотичні фактори, впливаючи прямо чи опосередковано, корисно чи шкідливо, на внутрішньовидовому чи міжвидовому рівнях, так чи інакше обумовлюють спільне існування величезної кількості видів на відносно невеликих територіях. Саме у цьому полягає дуже важлива роль біотичних факторів у природі.

3.3 Антропогенні фактори

Вплив людини як екологічного фактору надзвичайно великий та різноманітний. Жодна екосистема на планеті не уникнула певного антропогенного впливу, а багато з цих екосистем вже повністю знищені. Навіть цілі біоми, наприклад, степи, майже повністю зникли з обличчя Землі. *Антропогенний* означає народжений людиною. Отже, антропогенними називають ті фактори, які своїм походженням зобов'язані будь-якій діяльності людини. Цим вони принципово відрізняються від факторів природних, які виникли ще до появи людини, але існують і діють до сих пір.

Антропогенні фактори (АФ) виникли з появою людини у період стародавнього етапу її взаємодії з природою, але тоді вони були ще дуже обмеженими за своїми масштабами. Першим істотним АФ став вплив на природу за допомогою вогню; набір АФ значно поширився з розвитком тваринництва, рослинництва, появою крупних поселень. Особливе значення для організмів біосфери мала поява таких АФ, які ніколи не мали аналогів у природі раніше, оскільки в ході еволюції ці організми не змогли виробити жодних пристосувань до них.

Нині вплив людини на біосферу досяг велетенських масштабів: відбувається тотальне забруднення природного середовища, географічна оболонка насичується технічними спорудами (містами, заводами, трубопроводами, шахтами, водосховищами тощо); технічними предметами (залишками космічних апаратів, контейнерами з токсичними речовинами, звалищами); новими речовинами, які не асимілюються біотою; новими процесами – хімічними, фізичними, біологічними і змішаними (термоядерний синтез, біоінженерія тощо).

Антропогенні фактори – це тіла, речовини, процеси та явища, які виникають внаслідок господарської та іншої діяльності людини і діють на природу сумі-

сно з факторами природними. Всю різноманітність антропогенних факторів поділяють на такі основні підгрупи:

- *Фактори-тіла* – це, наприклад, штучні рельєф (кургани, терикони), водойми (водосховища, канали, ставки), споруди і будівлі. Фактори цієї підгрупи характеризуються чіткою просторовою визначеністю і значною тривалістю дії. Вироблені людиною колись, вони часто існують віки і навіть тисячоліття. Можуть поширюватися на значні площі.
- *Фактори-речовини* – це звичайні й радіоактивні хімічні речовини, штучні хімічні сполуки, аерозолі, стічні води тощо. Вони, на відміну від факторів-тіл, не мають просторової визначеності, постійно змінюють концентрацію та переміщуються, відповідно змінюючи ступінь впливу на елементи природи. Деякі з них з часом руйнуються, інші можуть бути присутні у середовищі десятки, сотні й навіть тисячі років (наприклад, деякі радіоактивні речовини), що зумовлює можливість їхньої акумуляції у природі.
- *Фактори-процеси* – це, зокрема, вплив на природу домашніх тварин і рослин, знищення шкідливих та розведення корисних організмів, випадкове чи навмисне переміщення організмів у просторі, добування корисних копалин, спричинена людиною ерозія ґрунтів тощо. Фактори, що мають характер процесів, часто займають обмежені ділянки природи, але іноді можуть охоплювати й великі простори. Їхній вплив на природу прямий чи опосередкований, проте усі процеси зазвичай характеризуються високою динамічністю.
- *Фактори-явища* – це, наприклад, тепло, світло, радіохвилі, електричні й магнітні поля, вібрація, тиск, звукові ефекти. На відміну від інших АФ, фактори-явища здебільшого мають точні параметри, а у міру віддалення від джерела вироблення їхній вплив на природу зменшується.

Отже, *антропогенними факторами* можна називати лише ті вироблені людиною тіла, речовини, процеси та явища, які не існували у природі до появи людини. У тому випадку, якщо ті чи інші АФ не існували до появи людини лише у якомусь регіоні, їх називають *регіональними* антропогенними факторами; якщо вони не існували лише у якомусь сезоні, тоді їх називають *сезонними* антропогенними факторами.

У тих випадках, коли вироблені людиною тіло, речовина, процес або явище за своїми якостями і властивостями аналогічні природному фактору, його можна вважати антропогенним фактором лише тоді, коли наявна його *кількісна перевага* над природним фактором. Наприклад, тепло, що є природним фактором, стає антропогенним тоді, коли його кількість, яку виділяє підприємство у навколишнє

середовище, спричинює підвищення температури цього середовища. Такі фактори називають *кількісно-антропогенними*.

Буває й таке, що під впливом людини здійснюється перехід тіл, процесів, речовин або явищ у нову якість. У цьому випадку ці тіла, речовини, процеси або явища називаються *якісно-антропогенними* факторами. Наприклад, піски, що стають рухомими внаслідок знищення людиною рослинності, яка їх закріплювала. Або вода, яка утворюється з льодовика через його танення під впливом антропогенного потепління клімату.

Комплекс антропогенних факторів, що впливають на стан біосфери, дуже різноманітний. Дія кожного з факторів (або їхньої групи) може стати причиною різних негативних наслідків. Ті чи інші «події» у біосфері, викликані антропогенними факторами, розвиваються за принципом ланцюгової реакції. Вплив людини на природу може бути *свідомим* (спеціальним) та *випадковим* (необдуманим). Наприклад, людина свідомо створює нові біогеоценози, виводить високопродуктивні й стійкі до захворювань форми організмів, розселяє одні види та знищує інші. Подібні дії нерідко стають негативними, коли набувають рис необдуманих, зокрема тоді, коли не були заздалегідь передбачені й заплановані, наприклад, випадкове завезення різних шкідників чи паразитів разом з вантажем, з харчовими продуктами тощо. Буває й таке, що небажані явища викликаються цілком свідомими діями – осушенням боліт, розорюванням цілини, надмірним випасом худоби, зрошенням, вирубуванням лісів тощо.

Простий приклад. Як відбуватиметься «ланцюгова реакція» на такий звичайний антропогенний вплив, як випас худоби? Майже одразу з біоценозу «випаде» ціла низка рослинних видів, які поїдаються свійськими тваринами. Після цього на території пасовища швидко утворяться рослинні угруповання з невеликою різноманітністю видів, які худоба не споживає, тому їхня чисельність зростатиме. І як наслідок, цей по суті новий біогеоценоз буде мало стійким, легко піддаватиметься коливанням чисельності популяцій. Отже, якщо дія фактору (випасу худоби) посилюватиметься, це може призвести до глибоких змін і навіть повної деградації біогеоценозу.

При виявленні та вивченні АФ основна увага приділяється не тим засобам, якими вони вироблені, а тим їхнім елементам, які викликають зміни у природі. З позицій вчення про фактори антропогенний вплив на природу можна визначити як свідомий чи несвідомий вплив через вироблені людиною АФ. Цей вплив здійснюється не лише під час тієї чи іншої діяльності, але й після її завершення. Будь-які види діяльності людини – це *комплекс факторів*. Простий приклад: оранка за

допомогою трактора є комплексним антропогенним фактором, що включає такі окремі види впливу:

- ущільнення ґрунту;
- розчалування ґрунтових організмів;
- розпушення ґрунту;
- перевертання ґрунту;
- розрізання організмів плугом;
- вібрація ґрунту;
- забруднення ґрунту залишками пального і мастил;
- забруднення атмосфери тракторними вихлопами;
- шумові ефекти.

Існує багато класифікацій АФ за різними ознаками. Наприклад, за *їхньою природою* АФ можна поділити таким чином:

- ✓ *механічні* – наприклад, тиск колесами автомобілів, вирубка лісів, перешкоди на шляху пересування тварин;
- ✓ *фізичні* – тепло, світло, електричні поля, зміни вологості;
- ✓ *хімічні* – це дія різних хімічних елементів та їхніх сполук;
- ✓ *біологічні* – вплив інтродукованих організмів, штучне розведення рослин і тварин, лісопосадки тощо;
- ✓ *ландшафтні* – штучні ставки і озера, пляжі, лісові масиви.

Будь-який вид діяльності людини не може бути визначений як проста сума АФ. Наприклад, до факторів не можуть належати технічні засоби, вироблена продукція, самі люди, їхні виробничі відносини, технологічні процеси тощо. Лише у окремих випадках технічні засоби (наприклад, греблі, лінії зв'язку, будівлі) можуть бути названі антропогенними факторами, якщо вони своєю присутністю безпосередньо викликають зміни у природі, наприклад, є перешкодою для міграції тварин або фізичним бар'єром для повітряних потоків.

За *часом походження і тривалістю дії* антропогенні фактори поділяються таким чином:

- Фактори, вироблені у минулому:
 - ті, що припинили свій вплив, але його наслідки відчуються і зараз (знищення певних видів організмів, надмірний випас худоби);
 - ті, що продовжують діяти і у наш час (штучний рельєф, водосховища, інтродуковані види тощо).
- Фактори, які виробляються у наш час:
 - ті, що діють лише у момент виробництва (радіохвилі, шум, світло);

- ті, які діють певний час і після закінчення їхнього виробництва (стійкі хімічні забруднення, вирубаний ліс тощо).

Більшість АФ приурочені до регіонів інтенсивного господарського освоєння. Проте деякі з них можуть зустрічатися будь-де внаслідок їхньої здатності до міграції (наприклад, радіоактивні речовини, стійкі отрутохімікати). Зазвичай у природі АФ розповсюджуються нерівномірно, створюючи при цьому зони високої та низької концентрації і навіть зони їхньої повної відсутності. Основним кількісним показником АФ є ступінь насичення ними простору, що називають *концентрацією* антропогенних факторів. Концентрація АФ на конкретній території обумовлена передусім такими обставинами: інтенсивністю і характером виробництва АФ; здатністю цих факторів до міграції; властивістю АФ накопичуватися у природі, а також природними умовами території. Тому кількісні особливості АФ суттєво змінюються у часі й просторі. За *здатністю до міграції* антропогенні фактори поділяють на такі групи:

- немігруючі – ці фактори діють лише у місці їхнього виробництва чи на деякій відстані від нього (рельєф, вібрація, тиск, звук, світло, завезені людиною нерухомі організми тощо);
- мігруючі з потоками води й повітря (пил, хімічні речовини, гази, аерозолі);
- мігруючі разом із засобами виробництва (кораблями, потягами, літаками);
- мігруючі самостійно (здичілі домашні тварини).

Далеко не всі АФ виробляються людиною безперервно; вони мають достатньо різну *періодичність*. Зокрема, сінокосіння відбувається у певний період року, але щорічно; забруднення атмосфери промисловими підприємствами здійснюється або у певні часи, або цілодобово. Вивчення *динаміки* виробництва факторів є дуже важливим для правильної оцінки їхнього впливу на природу. Якщо кількість періодів та їхня тривалість збільшуються, вплив на природу АФ посилюється внаслідок послаблення можливостей самовідновлення природних компонентів.

Динаміка кількості та різновидів антропогенних факторів особливо виражена протягом року, що обумовлено сезонністю багатьох виробничих процесів. Виявлення динаміки АФ проводиться для певної території за обраний час (наприклад, рік, сезон, доба). Це має велике значення для порівняння їхньої динаміки з динамікою природних факторів, що дає змогу визначити ступінь впливу на природу вироблених людиною факторів. Наприклад, вітрова ерозія ґрунтів найбільш небезпечна влітку, а водна ерозія – навесні, коли тане сніг і ще немає рослинності; стічні води одного й того ж обсягу і складу взимку істотніше змінюють хімізм річки, ніж навесні, внаслідок меншого об'єму зимового стоку.

За таким важливим показником, як *здатність накопичуватися у природі*, АФ поділяються на такі дві групи:

- ті, що існують лише у момент свого виробництва, тому за своєю природою не здатні до накопичення (світло, вібрація тощо).
- ті, які здатні зберігатися у природі значний час після виробництва, що призводить до їхнього накопичування – акумуляції – і посилення впливу на природу.

Наприклад, до другої групи АФ належать штучний рельєф, водосховища, хімічні й радіоактивні речовини. Ці фактори є особливо небезпечними, оскільки з часом зростають їхні концентрації і ареали, відповідно й інтенсивність впливу на компоненти природи. Деякі радіоактивні речовини, здобуті людиною з надр Землі та утягнуті у активний кругообіг речовин, можуть проявляти радіоактивність протягом сотень і тисяч років, здійснюючи при цьому негативний вплив на природу. Здатність до акумуляції різко посилює роль АФ у розвитку природи і у окремих випадках навіть робить цю роль вирішальною щодо існування окремих видів чи організмів.

У процесі міграції деякі фактори можуть переходити з одного природного середовища у інше та діяти в усіх середовищах, наявних у даному регіоні. Наприклад, радіоактивні речовини у випадку аварії на атомній електростанції розповсюджуються в атмосфері, забруднюють ґрунти, просякають у ґрунтові води і осідають у водоймах. А тверді викиди промислових підприємств з атмосфери потрапляють у ґрунт і водойми. Це властиво багатьом АФ з підгрупи факторів-речовин. Деякі стійкі хімічні фактори у процесі кругообігу речовин виносяться з водойм за допомогою організмів на сушу, а потім з неї знов змиваються у водойми – так відбувається довготривала циркуляція факторів у *ряді природних середовищ*.

Вплив антропогенного фактору на живі організми залежить не тільки від його якості, а й від кількості на одиницю простору, тобто від *дозы фактору*. Доза фактору – *це кількісна характеристика фактору в певному просторі*. Наприклад, доза фактору випасу – це кількість тварин певного виду на гектар пасовища за добу або сезон випасу. З дозою фактору тісно пов'язано визначення його оптимуму. Різні АФ, залежно від їхньої дози, можуть по-різному впливати на організми або бути до них *індиферентними*. Існують такі дози фактору, які викликають максимум позитивних змін у природі і практично не спричиняють негативних (прямих чи опосередкованих) змін. Такі дози фактору називають оптимальними, або *оптимумом*.

Одні АФ безперервно діють на природу, інші – періодично або спорадично. Тому за *періодичністю* вони поділяються на такі групи:

- *Безперервно діючі* – це, наприклад, забруднення атмосфери, води і ґрунту викидами промислових підприємств.
- *Суворо періодичні* – орання, вирощування і збір врожаю, випас домашніх тварин. Вплив цих факторів називають сезонною і добовою періодичністю дії АФ.
- *Спорадично діючі* – аварії транспортних засобів, що призводять до забруднення природного середовища, вибухи ядерних пристроїв, лісові пожежі. Вони можуть діяти будь-коли, хоча у деяких випадках бувають приурочені до певного сезону (наприклад, лісові пожежі).

Дуже важливо розрізняти антропогенні фактори за тими змінами, до яких призводить або може призводити їхній вплив на природу і живі організми. Тому їх поділяють за *стійкістю змін у природі*, які вони викликають:

- АФ, що викликають *тимчасові зворотні зміни*, – це будь-яка тимчасова дія на природу, що не призводить до повного знищення видів (забруднення води чи повітря нестійкими хімічними речовинами).
- АФ, що викликають *відносно незворотні зміни*, – окремі випадки інтродукції нових видів, створення невеликих водосховищ, знищення деяких водойм.
- АФ, що викликають *абсолютно незворотні зміни* у природі, – це, наприклад, суцільне знищення якихось видів рослин і тварин, повне вилучення з родовищ корисних копалин тощо.

Вплив багатьох АФ може викликати так званий *антропогенний стрес* екосистем, який буває двох видів:

- *Гострий стрес*, для якого характерні раптовий початок, швидкий підйом інтенсивності і невелика тривалість порушень компонентів екосистеми.
- *Хронічний стрес*, який характеризується порушеннями незначної інтенсивності, але вони тривають достатньо довго або часто повторюються.

Природні екосистеми мають певну здатність протистояти гострому стресу або відновлюватися після нього. Потенційні *стресори* містять, наприклад, промислові відходи. Особливо небезпечними серед них є ті, до складу яких входять вироблені людиною нові хімічні речовини, до яких компоненти екосистеми не виробили жодних пристосувань. Хронічна ж дія цих факторів може призвести до істотних структурних змін екосистем.

Соціальний обмін речовин у процесі природокористування привносить у навколишнє середовище речовину та енергію, багато з яких мають назву «забруднення». До забруднень належать ті АФ, які негативно впливають на живі організ-

ми і ресурси неживої природи. Іншими словами, *все те, що з'являється у навколишньому середовищі не у тім місці, не у той час і не у тих кількостях, які зазвичай притаманні природі, і що виводить її зі стану рівноваги, і є забрудненням*. Взагалі видів і форм забруднення існує величезна кількість (Рис. 29). Усю цю різноманітність об'єднують у декілька основних видів – фізичне, хімічне, біологічне та інші види забруднення (Табл. 5).

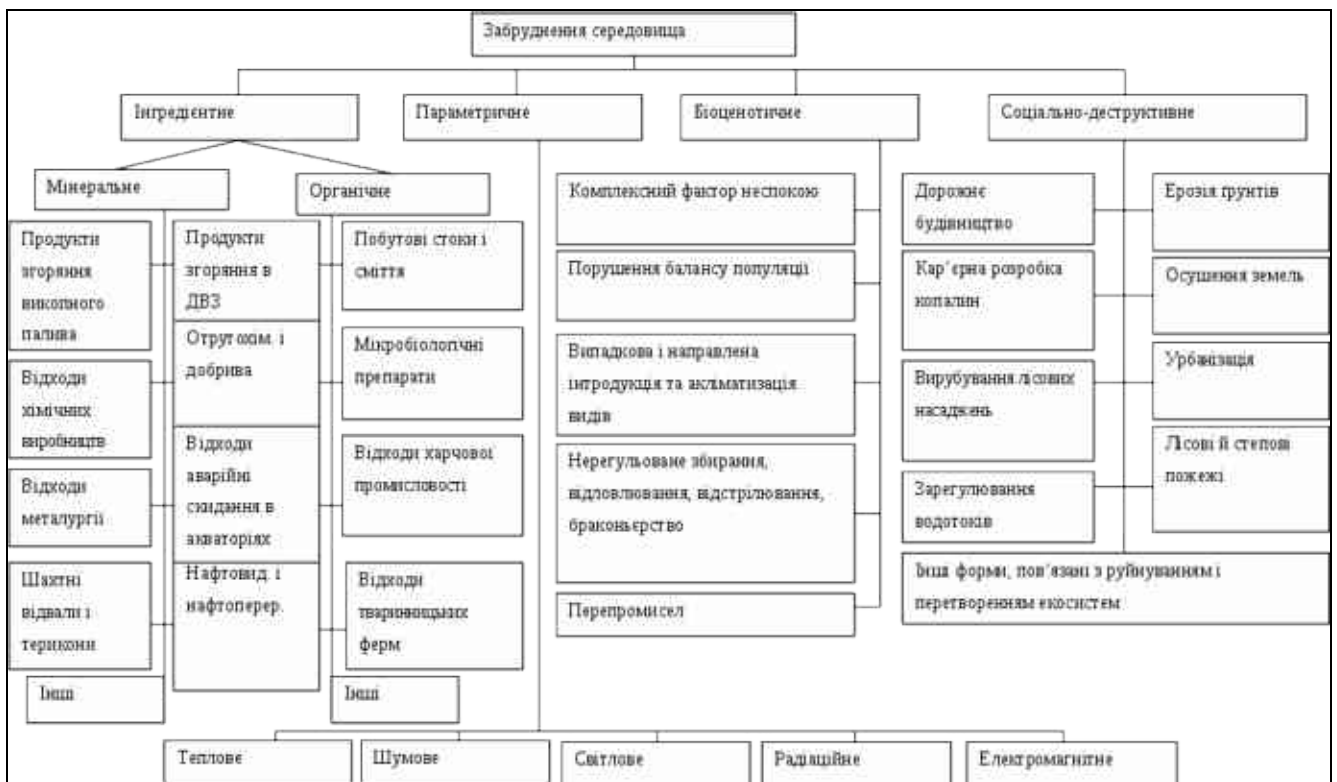


Рис. 29. Види і форми забруднення природних екосистем

Дія антропогенних факторів на природні екосистеми не завжди має лише негативний характер. *Позитивним* буде такий антропогенний вплив, який викликає сприятливий для людини зміни у природі. Але при цьому для окремих елементів природи цей вплив може бути й негативним. Наприклад, знищення шкідливих організмів є позитивним для людини, але у той же час шкідливим для них самих; створення водосховищ є корисним для людини, але шкідливим для ґрунтів, рослин і тварин прилеглих територій.

АФ різняться за наслідками для природного середовища, до яких призводить або може призводити їхня дія. Тому за *характером наслідків впливу АФ* виділяють такі можливі групи наслідків для природного середовища:

- руйнування або повне знищення окремих елементів природи;

- зміна властивостей цих елементів (наприклад, різке зменшення надходження сонячних промінів на земну поверхню внаслідок запилення атмосфери, що призводить до змін клімату і погіршення умов фотосинтезу);
- зміни існуючих і створення нових елементів природи (наприклад, збільшення і створення нових лісосмуг, створення водосховищ);
- переміщення у просторі (з транспортними засобами переміщується маса видів рослин і тварин, у т. ч. хвороботворних організмів).

Табл. 5. Основні види забруднення навколишнього середовища

Вид забруднення	Характеристика
1. Механічне	Засмічення середовища агентами, що мають лише механічний вплив без фізико-хімічних наслідків (запилення атмосфери).
2. Хімічне	Зміна хімічних властивостей середовища, що негативно впливає на екосистеми і технологічні пристрої.
3. Фізичне	Зміна фізичних параметрів середовища: температурно-енергетичних (теплове чи термальне), хвильових (світлове, шумове, електромагнітне), радіаційних (радіаційне чи радіоактивне) тощо.
3.1. Теплове (термальне)	Підвищення температури середовища, головним чином, внаслідок промислових викидів нагрітого повітря, газів і води; може виникнути і як вторинний результат зміни хімічного складу середовища.
3.2. Світлове	Порушення природної освітленості місцевості внаслідок дії штучних джерел світла; може призводити до аномалій у житті рослин і тварин.
3.3. Шумове	Збільшення інтенсивності шуму понад природний рівень; у людини викликає підвищену стомлюваність, зниження розумової активності, а також поступову втрату слуху.
3.4. Електромагнітне	Зміна електромагнітних властивостей середовища (спричиняють лінії електропередачі, радіо і телебачення, робота деяких промислових і побутових установок); призводить до глобальних і місцевих географічних аномалій і змін у тонких біологічних структурах.
4. Радіаційне	Перевищення природного рівня вмісту в природному середовищі радіоактивних речовин.
5. Біологічне	Проникнення в екосистеми і технологічні пристрої різних видів тварин і рослин, які порушують екологічну рівновагу чи спричиняють соціально-економічні збитки.
5.1. Біотичне	Поширення небажаних біогенних речовин (виділень, мертвих тіл) або тих, які порушують екологічну рівновагу.
5.2. Мікробіологічне	– поява великої кількості мікроорганізмів унаслідок їхнього масового розмноження на антропогенних субстратах або у середовищах, змінених людиною в ході господарської діяльності; – набуття раніше нешкідливою формою мікроорганізмів патогенних властивостей чи здатності пригнічувати інші організми.
6. Інформаційне	Зміна властивостей природного середовища, що погіршує функції носія інформації.

При вивченні наслідків впливу АФ слід враховувати той факт, що ці наслідки можуть проявлятися не лише у наш час, а й у майбутньому. Зокрема, наслідки

інтродукції людиною нових видів у екосистеми проявляються лише через десятки років; звичайні хімічні забруднення часто викликають серйозні порушення життєвих функцій лише за їхнього накопичування у живих організмах, тобто через певний час після закінчення безпосередньої дії фактору. Сучасна природа, коли багато її елементів є прямими чи опосередкованими результатами діяльності людини, дуже мало схожа на колишню внаслідок внесених до неї людиною змін. Всі ці зміни одночасно являються антропогенними факторами, які можна вважати елементами сучасної природи. Однак існує низка АФ, які не можна називати елементами природи, оскільки вони є елементами виключно діяльності суспільства. До них належать, наприклад, вплив транспортних засобів, вирубка дерев тощо. У той же час водосховища, штучні лісові масиви, кургани та інші витвори людини слід вважати антропогенними елементами природи, які одночасно є вторинними АФ.

Дуже важливо виявляти усі види антропогенної діяльності та їхні масштаби у кожному регіоні. З цією метою здійснюється якісна і кількісна характеристика антропогенних факторів. *Якісна оцінка* АФ проводиться відповідно до звичайних методик природничих наук; оцінці підлягають головні якісні показники АФ: їхній загальний характер – це або хімічна речовина, або радіохвилі, або тиск тощо; основні параметри АФ – це, наприклад, довжина хвилі, інтенсивність, концентрація, швидкість руху тощо; час і тривалість дії фактору – безперервно вдень, у літній сезон тощо; а також характер впливу АФ на досліджуваний об'єкт – це може бути переміщення, знищення або зміна властивостей.

Кількісна характеристика АФ здійснюється для визначення масштабів їхнього впливу на компоненти природного середовища. При цьому досліджуються такі головні кількісні показники АФ:

- розмір простору, в якому знайдений і діє фактор;
- ступінь насиченості цього простору даним фактором;
- загальна кількість елементарних і комплексних факторів у цьому просторі;
- ступінь збитку об'єктам, на які впливає АФ;
- ступінь охоплення дією фактору всіх об'єктів, на які він впливає.

Розмір простору, де діє антропогенний фактор, визначається на основі експедиційних досліджень з метою виявлення ареалу дії цього фактору. При цьому важливе значення має розпізнання шляхів міграції забруднювальних речовин у різних компонентах навколишнього середовища (Рис. 30). *Ступінь насичення простору фактором* – це процентне співвідношення фактично зайнятого ним простору і ареалу дії фактору. Загальне число факторів (елементарних і комплексних) є важливим комплексним показником ступеня дії людини як антропогенно-

го фактору на природу. Для вирішення багатьох питань, пов'язаних з охороною природи, важливо мати узагальнене уявлення про *потужність* та *широту дії* АФ на природу, що називають *напруженістю антропогенної дії*. Підвищення показників інтенсивності антропогенної дії має супроводжуватися відповідним збільшенням масштабів природоохоронних заходів.

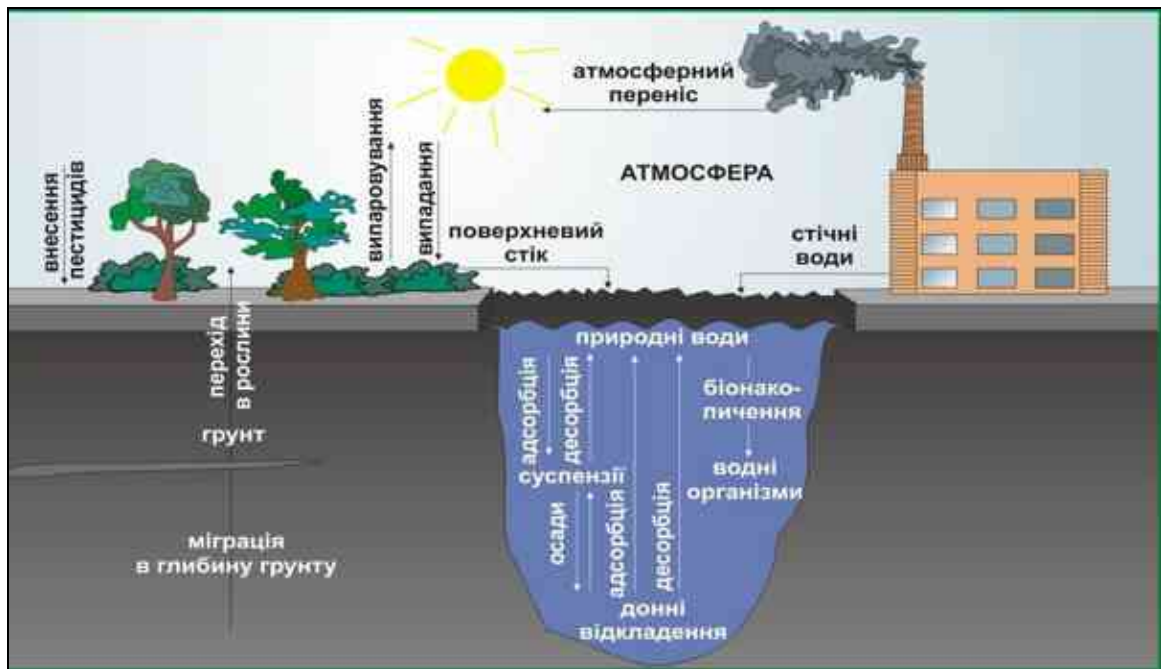


Рис. 30. Шляхи міграції забруднювальних речовин

Усе вищевикладене свідчить про необхідність управління виробництвом різних антропогенних факторів. Іншими словами, *управління АФ* – це регулювання їхнього набору, розподілу у просторі, якісних і кількісних особливостей з метою забезпечення оптимальних умов розвитку суспільства у його взаємодії з природою. Нині розроблено багато шляхів управління АФ, але всі вони потребують удосконалення. Одним з таких шляхів є повне припинення виробництва певного фактору, іншим – зниження або, навпаки, збільшення виробництва тих чи інших факторів. Ще одним ефективним шляхом є нейтралізація одного фактору іншим (наприклад, вирубка лісів нейтралізується їхнім повторним насадженням, руйнування ландшафтів – рекультивацією тощо). Здатність людини управляти дією АФ на природу в решті решт уможливить раціональне керування усім соціальним обміном речовин.

Підводячи підсумок, слід підкреслити, що на будь-який вплив природних абіотичних і біотичних факторів у живих організмів вироблені у процесі еволюції певні пристосувальні (адаптивні) властивості. У той же час на більшість антропогенних факторів, які діють переважно раптово (непередбачуваний вплив), подіб-

них пристосувань у живих організмів не існує. Саме про цю особливість дії антропогенних факторів на природу люди мають постійно пам'ятати і враховувати її при здійсненні будь-якої діяльності, пов'язаної з природним середовищем.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте поняття «екологічні фактори». Чим відрізняються зовнішні та внутрішні фактори? Обґрунтуйте.
2. Розкрийте загальний поділ екологічних факторів.
3. Охарактеризуйте кількісні показники дії екологічних факторів.
4. У чому полягає сутність закону мінімуму Лібіха? Що необхідно для успішного використання закону мінімуму на практиці?
5. Який фактор може бути лімітуючим? Поясніть на прикладі.
6. Розкрийте закон толерантності Шелфорда і обґрунтуйте його практичне значення.
7. Назвіть і охарактеризуйте основні абіотичні екологічні фактори.
8. Охарактеризуйте біотичні екологічні фактори. Наведіть приклади.
9. Що, на вашу думку, дозволяє людині подолати дію звичайних лімітуючих факторів?
10. Назвіть та охарактеризуйте основні підгрупи антропогенних факторів.
11. Чим відрізняються свідомий та випадковий вплив людини на природу? Наведіть приклади.
12. Як поділяють антропогенні фактори за різними ознаками?
13. Охарактеризуйте антропогенний стрес екосистем. Яким він може бути?

4 БІОСФЕРА ЯК ГЛОБАЛЬНА ЕКОСИСТЕМА

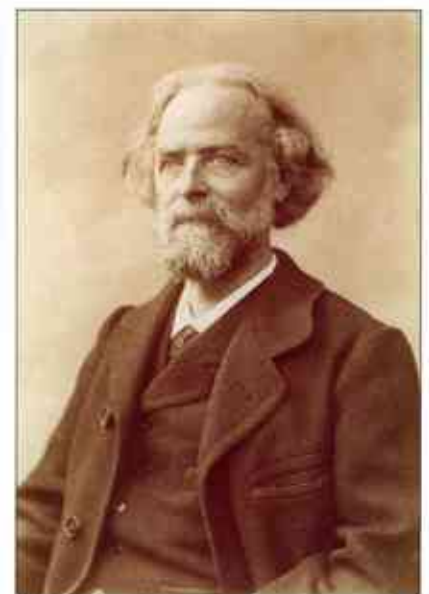
Перші «біосферні» ідеї щодо взаємозв'язку живої та неживої природи, участі рослин і тварин у газообміні, формуванні ґрунтів і горючих копалин знаходимо у працях таких вчених, як Жорж-Луї Леклерк де Бюффон, Джеймс Геттон, Антуан Лоран де Лавуазьє, Карл Лінней, Михайло Ломоносов, датованих XVII-XVIII ст. Впритул до поняття «біосфера» (без вживання самого терміну) на початку XIX ст. наблизився *Жан-Батист Ламарк*, у працях якого містилося чимало глибоких геохімічних ідей, хоч і не дуже вдало викладених. Зокрема, у праці «Гідрогеологія» він перший звернув увагу на те, що живі організми впливають на земну кору і що всі мінерали цієї кори є продуктами життєдіяльності рослин і тварин, які існували на земній поверхні протягом геологічної історії.

Велике значення для розвитку уявлень про біосферу мали також праці *Олександра фон Гумбольдта* початку XIX ст., у яких вчений розглядав органічний світ як невід'ємну складову частину земної кори і стверджував, що хімічний склад живих організмів прямо залежить від хімічного складу неживих компонентів середовища їхнього мешкання. Крім цього, Гумбольдт висував ідею про існування своєрідної оболонки Землі, де функціонально взаємопов'язані атмосферні, гідрологічні, континентальні й біотичні процеси.

Пізніше, у 1863 р., французький географ *Жан Жак Елізе Реклю* (1830-1905) у своїй 19-томній праці «Нова всесвітня географія. Земля і люди» запропонував поняття «географічне середовище», завдяки чому змінилися погляди на роль природних умов не як набір окремих чинників, а як комплексне утворення. Свою найбільшу працю дослідник писав 20 років (1873-1893), кожен рік «видаючи» по одному тому, який містив близько 900 сторінок тексту, з великою кількістю карт, нарисів і малюнків. Зі збором матеріалу були пов'язані безперервні подорожі світом. Реклю розглядав історію Землі у сукупності її рис: географії, природи, клімату, етнографії, населення різних регіонів і його діяльності. Саме Реклю належить відомий вислів: «Людина створює навколишнє середовище по своєму образу і подоби».

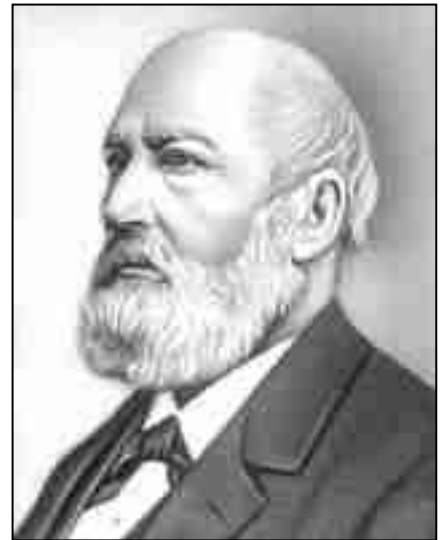
Е. Реклю

Найбільш вдалий термін «біосфера» (як «лік Землі») запропонував австрійський геолог і суспільний діяч *Едвард Зюсс* (1831-1914) у 1875 р. Тоді він



вжив його для виділення поряд з атмосферою, гідросферою і літосферою ще однієї оболонки – біосфери (від грец. *bios* – життя і *sphaira* – куля), яка залягає на суходолі і водній поверхнях, хоча на початку свого існування була приурочена лише до гідросфери. У своїй праці з опису геології Альп Зюсс позначив терміном «біосфера» простір земної поверхні, населений життям.

Е. Зюсс

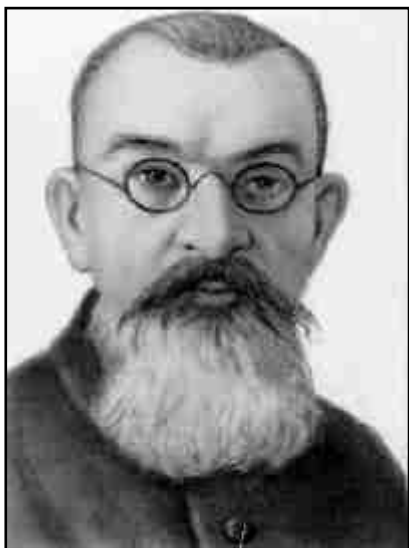


Сучасна концепція біосфери пов'язана з ім'ям академіка **В.І. Вернадського** (1863-1945). Проте вчення про біосферу створив не лише В. Вернадський, як то записано у всіх підручниках і енциклопедіях. Паралельно і незалежно від нього свою власну концепцію біосфери створив інший видатний вчений – **Павло Тутковський** (1858-1930). У 1913 р. П.А. Тутковський повернувся з Житомира до Київського університету, спочатку – приват-доцентом, а з 1914 р. – професором географії. З цієї нагоди він виступив в університеті із вступною лекцією, у якій вперше цілісно виклав своє власне вчення про біосферу. Тобто є всі підстави говорити про незалежність обох учень про біосферу, проте кожне з них оригінальне і самодостатнє.

П. Тутковський стверджував: «Як і в давні часи, завданням географії залишається вивчення вигляду Землі у його сучасному стані, у всіх його областях (вивчення літосфери, гідросфери, атмосфери і біосфери), з погляду розподілу сучасних фактів і явищ у просторі та їхньої генези». Отже, термін «біосфера» введений до предметного поля географії поряд з іншими земними сферами – літосферою, гідросферою і атмосферою. Тутковський писав: «Біосфера проймає собою усі ці три оболонки поблизу фізичної поверхні Землі – повітря і воду до значних височин та глибин і твердий ґрунт у його горішніх верствах. До біосфери належать усі рослини, тварини і людина; відділ науки; що вивчає біосферу з географічного погляду, названо біогеографією».

Проблеми біосфери докладно висвітлені у фундаментальній праці П. Тутковського «Загальне землезнавство», яка не втратила своєї новаторської цінності й донині. У ній викладено вчення про біосферу, причому доведено до рівня функціонування у ній самої людини. Біосфера, за Тутковським, – це сукупність живих організмів, які не можуть існувати поза інших сфер, але виокремлені з них. У цьому контексті простежується генетична спадкоємність поглядів Тутковського і

Ламарка. Якщо ж вишукувати аналогії між вченнями про біосферу Вернадського і Тутковського, то біосфера останнього відповідає «плівці життя» Вернадського.



Павло Тутковський

По-різному Тутковський і Вернадський тлумачили місце людини у біосфері. Для Вернадського людина – головна, найпотужніша геологічна сила. Перевлаштування на засадах розуму та управління взагалі трансформує біосферу в новий якісний стан – ноосферу. Тутковський також визнає значний вплив людини на біосферу, але зауважує, що людина не може змінити, наприклад, межі розповсюдження корисних рос-

лин. Очевидно, подібна характеристика антропогенного чинника прямо пов'язана із сутністю біосферної концепції Тутковського: якщо біосфера – лише живі істоти (неорганічні ж сфери – вилучені), то і вплив на них людини важко порівняти з класичними еволюційними рушеннями: добром, боротьбою за існування, спадковістю, мінливістю тощо.

Таким чином, П. Тутковський є автором оригінального вчення про біосферу, створеного незалежно від академіка Вернадського. Його сутність більш детермінована класичною традицією, яка тягнеться ще від Бюффона і Ламарка, далі – через праці Олександра фон Гумбольдта, який під біосферою розумів сукупність лише живих організмів на Землі. Тут не час і не місце оцінювати переваги кожної з концепцій біосфери – історія сама визначить пріоритети і переваги кожної. Але важливо інше: у річищі біосферного мислення існував не один, а принаймні два теоретичні потоки, і кожен з них (у особі Вернадського і в особі Тутковського) органічно вивершувався оригінальними концепціями біосфери.

В.І. Вернадський переглянув погляди Е. Леруа і П. Тейяра де Шардена, які виходили з розуміння біосфери тільки як плівки життя на Землі. Вернадський надав цьому поняттю значення охопленої життям геологічної оболонки, оскільки, незважаючи на незначну вагу власне живого у біосфері (всього 0,25%), його роль у розвитку планети має могутнє геологічне значення. Біогенними, тобто створеними організмами, є й породи, що складають величезну частину маси біосфери, і такі сліди життя доходять аж до гранітної оболонки Землі. Ці ідеї Вернадський виклав у своїй фундаментальній праці «Біосфера», виданій 1926 р.

Володимир Іванович Вернадський



Вернадський писав: «Біосфера – це явище космічного характеру, її важливою особливістю, головною геологічною силою є життя – «жива речовина», що не просто населяє біосферу, а перетворює зовнішній вигляд Землі...». Цим терміном «жива речовина» вчений позначив усю сукупність живих організмів, включаючи і людину, що розглядав як однорідну живу речовину на рівні видів, різноманітність якої визначав з геохімічних позицій, тобто спираючись на поділ організмів за способом живлення (автотрофи, гетеротрофи тощо). За Вернадським, біосфера відрізняється від інших земних сфер тим, що тільки у її межах проявляється геологічна діяльність живої речовини планети. І лише ця область життя включає як живі організми, так і середовище їхнього мешкання. Тобто біосфера – це похідне життя, оскільки у своїх головних рисах вона створена життям и певним чином організована ним.

Біосфера включає усі частини планети, що освоєні життям. Ті ділянки біосфери, де є умови не тільки для виживання, а й для розмноження живих істот, називають *полем існування життя*. А прилеглі території, де організми лише виживають, але не здатні до розмноження, називають *полем стійкості життя*. Поле існування життя визначають такі абіотичні умови:

- достатня кількість кисню та вуглекислого газу;
- достатня кількість рідкої води, але не пару чи льоду;
- температура не надто висока, щоб не зварився білок, і не надто низька, щоб нормально функціонували ферменти – прискорювачі біохімічних реакцій;
- необхідний прожитковий мінімум поживних мінеральних речовин.

Тривалий час вважали, що глибини океану є безжиттєвими, доки у 1960 році не виявили життя на самому дні Маріанської западини – на глибині 11 км. Забори води показали, що на дні западини живе приблизно удвічі більше бактерій, ніж у глибинах океану. Пізніше життя було виявлене навіть під антарктичним льодом товщиною 420 м. Наприкінці 2014 р. американські вчені під час збору ґрунту з дна Маріанської западини – найглибшого місця у Світовому океані – зняли на відео новий вид риби – найбільш глибоководного мешканця Світового океану. Рибу знайшли на глибині, яка на 170 м перевищує попередню найглибшу знахідку. Усі живі істоти залежать від збереження *цілісності* біосфери. Якщо надто сильно змінити будь-яку із складових біосфери, вона може бути повністю

зруйнована. Не виключено, що атмосфера, гідросфера і літосфера при цьому збережуться, але у їхній взаємодії вже не буде брати участь *живе*.

4.1 Загальна характеристика біосфери

Головним компонентом біосфери є *жива речовина* – сукупність організмів, зведена до їхньої ваги, хімічного складу та енергії. Для того, щоб життя підтримувало себе як стійке явище, воно має бути наведено у різних формах. За увесь час існування життя на Землі у біосфері налічувалося більш ніж мільярд видів. Серед живих істот переважають комахи (їх біля мільйону видів), а серед комах – жуки. Хребетні становлять усього 2% відомих видів, і щорічно вчені відкривають у середньому 3 нових види птахів та 15 видів ссавців. Просторовий розподіл живої речовини у межах біосфери є дуже нерівномірним: вона *утворює «згущення» на межах стику літосфери, гідросфери і атмосфери*, тобто у водоймах біля поверхні, на дні морів і океанів, на поверхні суші, у приповерхневому шарі ґрунту. На суші переважають рослини, а в океані – тварини.

Оскільки біосфера є дуже складною за генезисом, історією та будовою глобальною системою, її сутність важко повністю розкрити одним коротким визначенням. Якщо порівняти усі існуючі нині визначення біосфери, можна зробити висновок, що практично всі вони трактують це поняття за В.І. Вернадським. Отже, ***біосфера*** – це особлива, охоплена життям оболонка Землі; це поверхня нашої планети, її зовнішня область, яка відмежовує її від космічного середовища; це область земної кори, зайнята трансформаторами, які перетворюють космічне випромінювання у діяльну земну енергію – електричну, хімічну, механічну, теплову тощо; це верхня оболонка однієї з найбільших концентричних областей планети – земної кори.

Біосфера – це загальнопланетна оболонка, до складу якої належать нижні шари атмосфери, ціла гідросфера і верхні шари літосфери. Її склад і будова зумовлені сучасною та минулою життєдіяльністю всієї сукупності живих організмів (живої речовини). Вона сформувалася внаслідок взаємодії живих і неживих компонентів, акумуляції і перерозподілу в ній величезної кількості енергії, і тому є відкритою, самоорганізованою, саморегульованою, динамічно зрівноваженою, стійкою, мозаїчною глобальною екосистемою.

Відомий еколог Ю. Одум у 1986 р. охарактеризував біосферу як найбільшу і за ознаками «самозабезпечення» найближчу до ідеалу екологічну систему, яка включає всі живі організми Землі у взаємодії з фізичним середовищем, що забезпечує її цілісність та єдність. Пізніше Ю. Одум і М. Реймерс ототожнювали біос-

феру з *екосферою*, підкреслюючи цим її сучасну екологічну сутність і теперішні екологічні параметри.

Вернадський виділяв у складі біосфери *пласт живої речовини* – область найбільшої концентрації життя, де переважають рослини як головні накопичувачі енергії на планеті. Цей пласт живої речовини охоплює нижній шар тропосфери (10-30 м) над рослинним покривом, освітлений шар води у водоймах, верхні шари ґрунту з коріннями рослин, мікроорганізмами і ґрунтовими тваринами. Найбільша концентрація життя у біосфері спостерігається на межах зіткнення земних оболонок: атмосфери і літосфери (поверхня суші), атмосфери і гідросфери (поверхня океану), гідросфери і літосфери (дно океану), і особливо на стику трьох оболонок – атмосфери, літосфери і гідросфери (прибережні зони). Ці місця найбільшої концентрації життя В. І. Вернадський ще називав «*плівками життя*». Вгору і вниз від цих поверхонь концентрація живої матерії зменшується. За видовим складом тварини (більше 2 млн видів) переважають над рослинами (0,5 млн видів). У той же час, запаси фітомаси становлять 99% запасів живої біомаси Землі. Біомаса суходолу в 1000 разів перевищує біомасу океану. На суші біомаса і кількість видів організмів у цілому збільшується у напрямку від полюсів до екватора.

Межі біосфери (верхня та нижня) визначаються наявністю сприятливих для організмів абіотичних факторів: температури, води, складу газів, елементів мінерального живлення. *Верхню межу* біосфери Вернадський назвав *променевою*. І ця назва повністю обґрунтована, оскільки фізичною межею поширення життя в атмосфері є озоновий екран, який поглинає більшу частину ультрафіолетового випромінювання Сонця. При цьому основна частина живих істот концентрується до висоти 1-1,5 км. Отже, верхня межа біосфери проводиться на висоті приблизно 20-25 км від поверхні Землі – саме там вільний кисень під впливом сонячної радіації перетворюється на озон O_3 , який утворює екран і відбиває згубні для живих організмів космічні випромінювання і частково ультрафіолетове випромінювання (Рис. 31). На таких висотах ще спостерігається наявність живих організмів: бактерій, спор грибів, найпростіших. Під час запусків геофізичних ракет у стратосферу на висоті 85 км у пробах повітря було виявлено спори мікроорганізмів у латентному (сплячому) стані через надто несприятливі умови існування.

Нижню межу біосфери називають *термічною*, оскільки її проведення зумовлено наявністю високих температур. На суші вона проходить на глибині приблизно 3-3,5 км углиб від земної поверхні – там, де температура підземних вод і гірських порід літосфери перевищує $100^{\circ}C$. Деякі автори наводять дещо інші дані щодо глибини проведення нижньої межі біосфери. У цьому підручнику ми корис-

туємося тими значеннями, які наводив у своїх працях В.І. Вернадський. Найбільша глибина, на якій у земній корі були знайдені бактерії, становить 4 км. У нафтових родовищах на глибині 2-2,5 км бактерії реєструються у достатньо значних кількостях. Нижня межа на суші пов'язана з областями «минулої біосфери» – так Вернадський називав залишки біосфери минулих геологічних епох, що збереглися до наших днів (накопичення осадових порід, вугілля, горючих сланців тощо). «Минула біосфера» служить доказом тривалої еволюції біосфери Землі.

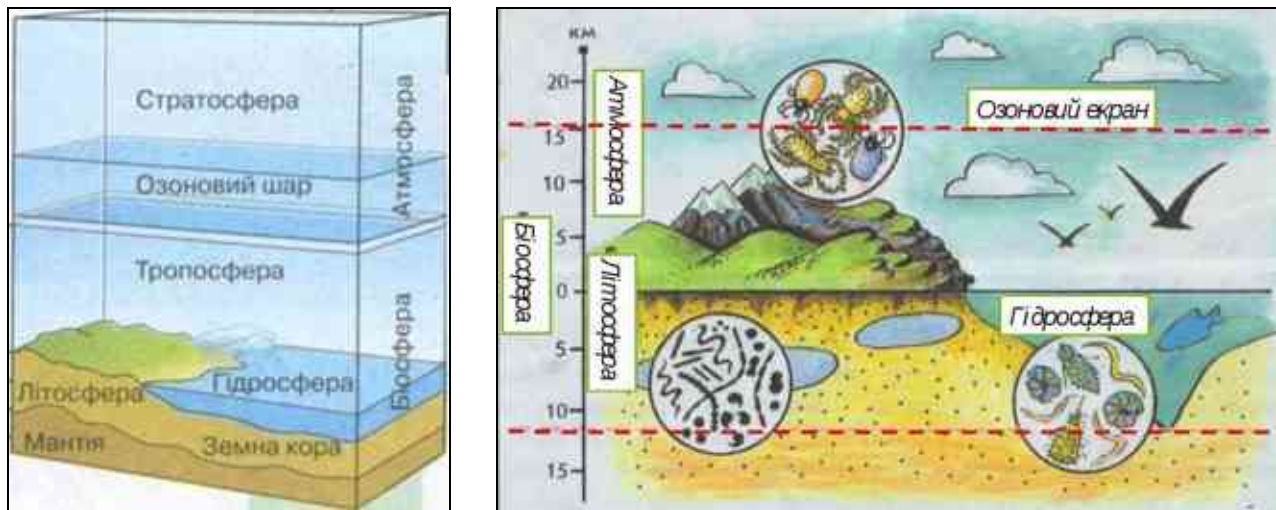


Рис. 31. Межі біосфери

У гідросфері нижня межа існування активного життя обмежується дном Світового океану – у Маріанській западині це понад 11 км, де температура близько 0°C. Ширше розповсюдження живих організмів (тобто за наведені межі) обмежено лімітуючими чинниками. Зокрема, проникненню вгору перешкоджає космічне випромінювання, а углиб – висока температура земних надр.

В біосфері немає абсолютно млявих, зовсім незаселених просторів. Навіть у найсуворіших умовах існування можна знайти бактерії чи інші мікроорганізми. Ще Вернадський висловлював ідею «повсюдності життя». На його думку, жива речовина здатна «розтікатися» поверхнею планети та з величезною швидкістю захоплювати усі незайняті ділянки біосфери, що обумовлює «тиск життя» на неживу природу. Заселеними є найнеймовірніші місця існування: термальні джерела, температура яких досягає 100°C, вікові сніги Гімалаїв, де на висоті 8300 м знайдено дев'ять видів бактерій, безводні пустелі, надмірно солоні озера, де вирують ціанобактерії і навіть один вид креветок. Нині життя повністю відсутнє лише в областях значних зледенінь і у кратерах діючих вулканів.

По вертикалі біосфера розділяється на дві чітко відокремлені області: верхню, освітлену – *фотобіосферу*, де відбувається фотосинтез, і нижню, «темну» – *меланобіосферу*, де фотосинтез неможливий. На суходолі межа між ними проходить поверхнею Землі. На розвиток життя, а, отже, і на межі біосфери впливають різні чинники, насамперед, наявність кисню, вуглекислого газу, води у її рідкій фазі. Обмежують область розповсюдження життя і дуже високі або низькі температури. Елементи мінерального живлення також впливають на розвиток життя. До лімітуючих чинників належить також надмірно солоне середовище (наприклад, якщо концентрація солей у морській воді перевищена приблизно у 10 разів). Позбавлені життя і підземні води з концентрацією солей понад 270 г/л.

Найбільшу товщину біосфера має у тропічних широтах – приблизно 22-25 км, найменшу – у полярних – приблизно 12-15 км (Табл. 6). Приблизна *маса* цілої біосфери становить $3 \cdot 10^{24}$ г (усього 0,05% від маси Землі), а об'єм – $10 \cdot 10^{24}$ см³ (0,04% від об'єму Землі).

Табл. 6. Середня потужність біосфери у різних широтних смугах Землі

Широтний пояс	Континентальна область	Океанічна область
Полярний	12 км	15 км
Середньоширотний	14 км	16 км
Тропічний	22 км	25 км

Живу речовину біосфери Вернадський розглядав не як просту сукупність живих істот, що заповнюють простір середовища існування, а як цілісний дуже значущий для біосфери компонент, який реалізує безперервний зв'язок різноманітних геологічних і біологічних процесів. Отже, жива речовина – головний, але не єдиний компонент біосфери. Також Вернадський виділяв у складі біосфери й інші геологічно взаємопов'язані типи речовин: біокосна, біогенна і косна.

Біокосна речовина – усе те, що створюється і переробляється живими організмами, тобто продукт синтезу живого і неживого (осадові породи, вапняки, крейда, ґрунти). *Біогенна речовина* – це органічні й органо-мінеральні продукти, створені живими організмами протягом геологічної історії (кам'яне вугілля, нафта, торф, горючі сланці). І, нарешті, *косна речовина* – це уся нежива речовина, яка може бути твердою, рідкою і газоподібною. Це сукупність планетарних і геологічних властивостей Землі, у створенні яких живі організми участі не беруть, наприклад, сонячна радіація, атмосферний тиск, температура, гірські породи неорганічного походження, вода.

На завершення загальної характеристики біосфери як глобальної екосистеми наведемо головні характерні риси, які відрізняють біосферу від будь-яких еко-

систем, територіально їй підпорядкованих. Порівняно з екосистемами менших розмірів, біосфера має низку таких *специфічних рис*:

- Біосфера є унікальною, незамінною і неповторною біотичною системою. Дрібніших екосистем є безліч, але практично усі вони – взаємозамінні.
- Біосфера відрізняється від інших екосистем практично безмежною тривалістю існування. Час існування менших екосистем обмежений: його тривалість визначається від кількох місяців до сотень, кількох тисяч і навіть десятків мільйонів років.
- Біосфера зберігає безмежно великий запас генетичної інформації, який накопичувався мільярди років, внаслідок чого ця інформація є практично невичерпною. Запаси інформації підпорядкованих екосистем, звісно, менше хоча б через те, що пам'ять біосфери є інтегральною пам'яттю всіх екосистем планети.
- Біосфера – найдосконаліша саморегульована система з найповнішими механізмами самозахисту від руйнівного впливу зовнішніх космічних і внутрішніх планетних збурень. У процесі еволюції в живій речовині сформувався не лише механізм синтезу органічної речовини за рахунок використання сонячної енергії, але й накопичення у атмосфері вільного кисню, формування озонового шару як засобу захисту всього живого. А менші екосистеми, на відміну від біосфери, існують в організованому біотичному середовищі біосфери і захищені від зовнішніх впливів не лише своїми внутрішніми механізмами, а й глобальними – біосферними.
- На відміну від підпорядкованих екосистем, біосфера характеризується величезними запасами вільної енергії – не лише тієї, що накопичена сучасними екосистемами, але й енергії, накопиченої системами минулих епох.
- Біосфера відрізняється величезним різноманіттям життєвих форм, видів, внутрішньовидових структур, просторовою і функціональною асиметрією, потужними механізмами самозбереження, постійним зростанням організованості, внаслідок чого її можна вважати практично не знищеною.

Щодо останнього. Припустимо, що жива речовина має у своєму складі один біологічний вид. Але в основі життя, як відомо, лежить *обмін речовин*, а якщо існує лише один вид, то через деякий час він вилучить з навколишнього середовища все, що йому потрібно, виділить відходи своєї життєдіяльності, і на цьому все буде скінчено. Очікуваний результат: ґрунт або дно морів будуть усіяні трупами істот цього єдиного виду, які не розкладатимуться, бо зробити це нікому. Отже, *життя як стійке планетарне явище можливе лише у тому випадку, коли воно різноякісне*.

Отже, знаючи, з яких головних компонентів (типів речовин) складається біосфера і чим вона докорінно відрізняється від екосистем менших розмірів, можна розглянути властивості й глобальні функції живої речовини біосфери з метою визначення її ролі у формуванні довколишнього світу.

4.2 Основні властивості й глобальні функції живої речовини

Біосфера – це, з одного боку, сукупність живих організмів, що населяють планету, з іншого – область активної взаємодії атмосфери, гідросфери і літосфери. Із сучасних позицій біосферу можна розглядати як велетенський «суперорганізм», тобто цілісну систему з ефективними механізмами саморегуляції, через які її основні параметри підтримуються відносно постійними. Активному обміну речовини та енергії у біосфері сприяють такі важливі передумови: значна кількість води, могутній потік сонячної енергії, зіткнення поверхонь речовин у трьох фазах – твердій, рідкій, газоподібній.

Вирішальне значення все ж таки має жива речовина. Вернадський підкреслював, що «жива речовина розсіяна у міриадах особин, які безперервно вмирають і народжуються». Але, не дивлячись на величезну різницю форм і розмірів живих істот, усім їм притаманна одна й та ж сама властивість, яка проявляється у біосфері як фізико-хімічна єдність. Отже, найпершою і найважливішою властивістю живої речовини є її *фізико-хімічна єдність*, що набула статусу закону. Цю властивість Вернадський пояснював єдністю виникнення і подальшого розвитку життя, внаслідок чого на планеті існує не лише проста спорідненість усіх живих організмів, але й проявляється їхня фізико-хімічна «спорідненість».

Виходячи з цього, Вернадський сформулював **закон фізико-хімічної єдності живої речовини**, який вважається одним з основних законів усього органічного світу. Згідно цього закону, уся жива речовина біосфери має єдину фізико-хімічну природу, тобто *немає такого фізичного чи хімічного агента, який був би смертельно шкідливим для одних організмів і зовсім нешкідливим – для інших*. Різниця може бути лише у швидкості реакції організмів на цей агент, тобто на будь-який фізичний або хімічний зовнішній вплив. Саме єдність і припускає цю різницю, але вона проявляється тільки у кількісних, але не якісних показниках. Сутність цього закону легко зрозуміти, якщо згадати, наприклад, як застосування засобів боротьби із шкідниками у сільському господарстві згубно впливає і на культурні рослини (шкідливе для одних видів істот є шкідливим і для інших).

Через наявність у будь-якій популяції більш чи менш стійких до фізико-хімічного впливу видів швидкість відбору за витривалістю популяцій до шкідли-

вого агенту прямо пропорційна швидкості розмноження організмів і чергування поколінь. Через це, наприклад, тривале застосування пестицидів екологічно неприпустиме, бо шкідники, які швидко розмножуються, також значно швидше пристосовуються і виживають, а обсяги хімічних забруднень доводиться дедалі збільшувати.

Розвиваючи ідеї про роль живої речовини у формуванні біосфери, Вернадський, окрім фізико-хімічної єдності, виділив ще декілька властивостей живої речовини як унікального явища планети. Однією з них є наявність у хімічних зв'язках живої речовини величезної кількості *вільної енергії*. «Вільною енергією» Вернадський називав сонячну енергію, а жива речовина її накопичує і трансформує. Наступна дуже важлива властивість: жива речовина біосфери відрізняється набагато більшою швидкістю *протікання хімічних реакцій*, ніж це відбувається у інших речовинах планети, завдяки участі ферментів. До того ж, хімічні реакції в живих організмах відбуваються на диво упорядковано.

Ще однією властивістю живої речовини Вернадський вважав можливість *довільного руху*, за допомогою чого жива речовина здатна заповнити собою увесь можливий оточуючий простір. Головним шляхом такого заповнення може бути «розтікання живого під тиском життя». Вернадський навіть виділив дві форми подібного розтікання: по-перше, *пасивне* розтікання, коли організми просто ростуть і розмножуються; по-друге, *активне* розтікання, що здійснюється шляхом направленого переміщення тварин, рослин, мікроорганізмів і людини.

Ще однією дуже важливою властивістю живої речовини є те, що для неї характерне значно більше *морфологічне і хімічне різноманіття*, ніж для будь-якої іншої речовини. Причому це різноманіття постійно поновлюється, оскільки завдяки розмноженню існує на Землі у формі безперервного чергування поколінь. Також до властивостей живої речовини Вернадський відносив її здатність до *еволюційного процесу*, що має велике значення у підтриманні життя як планетарного явища. Завдяки еволюції з'явилася величезна кількість різноманітних видів, здатних існувати у тих чи інших умовах біосфери, навіть найбільш екстремальних. Саме шляхом еволюції у живих організмів сформувалися різні типи обміну речовин, здатність створювати органічну речовину з неорганічних сполук, потім утилізувати її і знов повертати у середовище для залучення у новий кругообіг. При цьому жива речовина виступає «посередником» між Сонцем і поверхнею Землі.

Вернадський сформулював закон *константності кількості живої речовини*: кількість живої речовини біосфери у межах даного геологічного періоду є константа. Цей закон був доповнений правилом *константності числа видів у ході ево-*

люції біосфери: число видів, які народжуються, у середньому дорівнює числу видів, які вимирають, і загальна видова різноманітність у біосфері є константа. Всі перелічені властивості живої речовини (величезна вільна енергія, значна швидкість протікання хімічних реакцій, можливість довільного руху, прагнення заповнити собою увесь оточуючий простір, різноманітність та інші) є специфічними; вони переконливо свідчать, що у біосфері немає компонента, потужнішого і активнішого, ніж жива речовина.

Створюючи своє фундаментальне вчення про біосферу, В.І. Вернадський підкреслював не лише специфічні властивості живої речовини, а й висловлював ідею про те, що саме живій речовині належить провідна роль у формуванні всього оточуючого середовища. Цю роль підтверджують глобальні (біосферні) функції живої речовини як засіб організованості біосфери. Ідея Вернадського щодо глобальних функцій живої речовини була розвинута його послідовниками. У зв'язку з цим перелік основних функцій, визначених Вернадським, значно розширився, але й він ще не повний і тому потребує доповнення. Отже, основні глобальні функції живої речовини біосфери наступні (Табл. 7).

Табл. 7. Основні глобальні функції живої речовини біосфери

Глобальна функція	Характеристика
Енергетична	Поглинання і запасаання сонячної енергії у процесі фотосинтезу, а хімічної енергії – шляхом розкладу речовин, насичених енергією, а також передача цієї енергії харчовими ланцюгами.
Середовищевірна	Перетворення фізико-хімічних параметрів середовища для забезпечення стабільності сприятливих екологічних умов на Землі.
Концентраційна	Вибіркове вилучення і накопичення організмами у процесі життєдіяльності певних біогенних речовин для залучення у біотичний кругообіг та побудови свого тіла.
Деструктивна	Розкладання і мінералізація мертвої органіки для залучення утворених мінералів у біотичний кругообіг.
Окисно-відновна	Хімічне перетворення речовин та їхніх сполук за допомогою живих організмів. Утворення нових речовин як результату окисно-відновних реакцій.
Інформаційна	Накопичення, збереження і передача живими організмами молекулярної та сигнальної інформації, необхідної для підтримки рівноваги в екосистемах.
Транспортна	Перенесення речовини та енергії у результаті активної форми руху організмів.

Енергетична (біохімічна) функція полягає у поглинанні (скріпленні) і запасаанні сонячної енергії у органічній речовині в процесі фотосинтезу, а хімічної енергії – шляхом розкладу речовин, насичених енергією, а також у передачі цієї енергії харчовими ланцюгами. Завдяки енергетичній функції живої речовини

здійснюється зв'язок біосферно-планетарних явищ з космічним випромінюванням, головним чином, із сонячною радіацією. У основі цієї функції лежить фотосинтетична діяльність зелених рослин, в результаті якої сонячна енергія акумулюється і перерозподіляється між окремими компонентами біосфери. Ця функція пов'язана з живленням, диханням, розмноженням та іншими процесами життєдіяльності організмів. *За рахунок накопиченої сонячної енергії відбуваються всі життєві явища на Землі.*

Середовищетвірна (газова) функція живої речовини полягає у перетворенні фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища, в результаті чого у ньому відбулися такі важливі події:

- було перетворено газовий склад первинної атмосфери та сформовано сучасну кисневу атмосферу Землі;
- було змінено хімічний склад вод первинного океану;
- були утворені деякі гірські породи у літосфері;
- на поверхні суші виник ґрунтовий покрив з його унікальною властивістю – родючістю;
- була створена поверхня випаровування у вигляді велетенської за площею листяної поверхні, що дало змогу біоті створити потужний континентальний вологообіг, який вона контролює на 70-75%.

Іншими словами, газова функція полягає у здатності живої речовини змінювати і підтримувати певний газовий склад навколишнього середовища і атмосфери у цілому. Жива речовина контролює глобальні цикли міграції біогенів. З газовою функцією пов'язують два переломні періоди у розвитку біосфери. Перший стосується того часу, коли вміст кисню в атмосфері досяг приблизно 1% від сучасного рівня, що зумовило появу перших аеробних організмів (тобто здатних жити тільки у середовищі, що містить кисень). Це відбулося приблизно 1,2 млрд років тому. Другий переломний період пов'язують із часом, коли концентрація кисню досягла приблизно 10% від сучасної. Це створило умови для синтезу озону і утворення озонового шару у верхніх шарах атмосфери, що зумовило можливість освоєння організмами суші (до цього функцію захисту від згубного ультрафіолетового проміння виконувала вода, під шаром якій лише й було можливе життя).

Ця функція живої речовини вважається значною мірою інтегральною, оскільки є результатом сумісної дії інших функцій і має різні масштаби прояву. Результатом середовищетвірної функції є і вся біосфера, і ґрунт як одне із середовищ існування, і локальні структури. Це функція забезпечення «стабільності»

екологічних умов на Землі, що інтегрує усі інші функції (енергетичну, концентраційну і деструктивну).

Концентраційна функція полягає у вибіркового вилученні і накопиченні живими організмами у процесі життєдіяльності певних біогенних речовин: а) для побудови тіла організму; б) для видалення з нього при метаболізмі. Наприклад, на частку кисню, вуглецю, водню і азоту припадає 99% маси живої речовини. Морські водорості, наприклад, концентрують йод, діатомові водорості й злаки – кремній, фіалки – цинк, ракоподібні – мідь тощо.

Можна сказати, що це функція «захоплення» з навколишнього середовища живими організмами і накопичення у них атомів біогенних хімічних елементів. Концентраційна здатність живої речовини підвищує вміст атомів хімічних елементів у організмах порівняно з навколишнім середовищем на декілька порядків. Вміст вуглецю в рослинах у 200 разів, а азоту – у 30 разів перевищує їхній рівень у земній корі. Результат концентраційної діяльності живої речовини – утворення покладів горючих копалин, рудних родовищ тощо.

Деструктивна функція – це руйнування організмами і продуктами їхньої життєдіяльності як залишків органічної речовини, так і неорганічних сполук, тобто в основному йдеться про розклад організмів після смерті. Найсуттєвішу роль у цьому процесі виконують редуценти (деструктори) – сапротрофні гриби і бактерії. В результаті відбувається розкладання і мінералізація мертвої органіки та перетворення її на косну речовину, а також руйнування гірських порід і залучення утворених мінералів у біотичний кругообіг.

Окисно-відновна функція живої речовини біосфери полягає у хімічному перетворенні речовин та їхніх сполук. При цьому на поверхні Землі переважають біогенні процеси окислення і відновлення різних речовин за допомогою живих організмів. У ґрунті, воді й повітрі утворюються нові речовини як результат окисно-відновних реакцій. Під впливом живих організмів відбувається інтенсивна міграція атомів елементів із змінною валентністю (Fe, Mn, S, P, N та ін.), створюються їхні нові сполуки, відбувається відкладення сульфідів і мінеральної сірки, утворення сірководню тощо. З діяльністю мікроорганізмів пов'язано формування залізних і марганцевих руд, вапняків тощо.

Інформаційна функція живої речовини полягає у накопиченні, збереженні й передачі живими організмами молекулярної та сигнальної інформації, необхідної для існування видів і підтримки рівноваги у екосистемах. Ця інформація закріплюється у спадкових структурах і передається наступним поколінням.

Транспортна функція передбачає перенесення речовини та енергії у результаті активної форми руху організмів. Таке перенесення може здійснюватися на величезні відстані. З транспортною функцією значною мірою пов'язана концентраційна роль угруповань організмів, наприклад, у місцях їхнього скупчення (пташині базари або інші колоніальні поселення). Дехто серед глобальних функцій живої речовини виділяє ще й *розсіювальну функцію*, яка прямо протилежна концентраційній і проявляється через трофічну і транспортну діяльність організмів. Йдеться про розсіювання різних речовин у навколишньому середовищі.

Перелічені специфічні властивості й глобальні функції живої речовини біосфери дають нам повне розуміння того, що життя на Землі пов'язано з концентрацією сонячної енергії, що жива речовина (у формі зеленого рослинного покриву) накопичує цю енергію, і вона може зберігатися мільйони років у вигляді різноманітних паливно-сировинних ресурсів – газу, нафти, торфу, вугілля тощо. Одночасно з процесом концентрації (накопичування) енергії, Земля як відкрита система обмінюється енергією із Космосом. Саме завдяки цим обом процесам відбувається безперервна зміна біосфери, тобто еволюція, і відбувається це у бік збільшення так званої «вільної енергії» біосфери. Цією «вільною енергією» Вернадський називав усю діяльність, яку здійснює жива речовина біосфери.

Отже, незважаючи на те, що жива речовина планети становить усього приблизно одну мільйонну частку від маси земної кори, за своїм активним впливом на оточуюче середовище вона відіграє найважливішу роль, і тому біосфера якісно відрізняється від усіх інших оболонок нашої планети.

4.3 Еволюція сучасної біосфери

Планета та її атмосфера утворилися близько 4,5 млрд років тому. А перші живі істоти з'явилися на Землі приблизно 4-3,5 млрд років тому (у архейську еру). Безперервність еволюції органічного світу Землі свідчить про тривалу стабільність умов на земній поверхні. Вперше питання виникнення біосфери було поставлено В.І. Вернадським, який розглядав його як результат історично довготривалого процесу дії живого на неживе, підкреслюючи при цьому першорядну роль живої речовини у зміні вигляду Землі.

Щодо механізму самого виникнення життя, існує чимало гіпотез, істотно відмінних одна від одної. Дехто й досі дотримується креаціоністських поглядів, тобто створення життя «вищою» силою. Достатньо прихильників і у концепції космічного (позаземного) походження життя на Землі. Широко визнаною є також гіпотеза коацерватного біогенезу, висунута О.І. Опаріним у 30-ті роки XX ст. Згі-

дно з цією гіпотезою, еволюція життя розпочалася з виникнення білків (протобіонтів), оточених напівпроникною мембраною. Таким чином утворилися коацерватні краплі (протоклітини), здатні оптимальніше використовувати речовину та енергію, що сприяло самоорганізації клітини.

У вченні про біосферу співіснують декілька різних моделей її еволюції, більшість з яких є теоретично незавершеними. Поєднання їхніх основних ідей дає змогу простежити головні напрямки розвитку живої речовини з метою глибшого пізнання еволюції біосфери як цілісної глобальної екосистеми. Зокрема, *Жан-Батист Ламарк* у своїй концепції обґрунтував такі фундаментальні еволюційні постулати, як незворотність еволюції, її поступовість, безперервність, прогресивність, адаптивність. Ламарк також орієнтувався на людину як на природний утвір еволюції. Саме йому належить відома фраза: *«Інколи здається, що призначення людини полягає у тому, щоб знищити свій рід, попередньо зробивши земну кулю непридатною для життя»*.

Уваги заслуговує концепція катастрофізму французького натураліста *Жоржа Леопольда Кюв'є* (1769-1832), згідно з якою провідна роль у еволюційному процесі належить різким змінам довкілля, тобто «перервам поступовості» у геологічній історії. Саме Кюв'є навів суттєві аргументи проти доктрини творіння, за логікою якої досконалі живі створіння (тобто створені богом) ні у якому разі не могли б вимирати. Недарма Кюв'є вважають попередником Вернадського у створенні вчення про біосферу.

Чарльз Дарвін продовжив концепцію катастрофізму, створивши власну детерміністську модель вимирання видів. Вона пояснює еволюційний процес конкурентним витисненням менш досконалих давніх форм більш досконалими новими формами. Механізм дії боротьби за існування і природного добору передбачає перемогу найсильнішого; слабкіший, тобто менш конкурентоспроможний вид, мусить поступитися своїм місцем. Еволюція біосфери відбувалася безперервно, а рушійною силою еволюції були *катастрофи*, оскільки лише знищивши певну частину живої речовини, можна було отримати вільний простір для його заселення новими життєвими формами. Під час кожної катастрофи поряд з величезною кількістю загинувших видів були й ті, що вижили. Спочатку їх було дуже мало, але вони вміли швидко заповнювати простір, який звільнявся. Тобто після катастрофи *жива речовина кожен раз зберігала життя у біосфері за рахунок виживання сильних, більш пристосованих видів*.

В історії біосфери можна виділити декілька значних катастроф, кожна з яких призводила до подальшої еволюції живої речовини. Однією з найзначніших

таких катастроф вважають знищення прокаріотичної біосфери та заміна її біосферою, у якій панували еукаріоти. Іншою катастрофою був вихід живої речовини з океану на сушу, що призвело до повної перебудови структури біосфери. Загибель динозаврів також належить до подібних катастроф. Вимирання динозаврів 65 млн років тому (наприкінці крейдового періоду) було спричинено падінням астероїда, що викликало одноразовий викид в атмосферу сірки, пилу і сажі. Це у свою чергу призвело до аномально довгої зими і загибелі близько половини усіх живих істот на Землі. Катастрофою була й поява дерев у рослинному покриві Землі приблизно 385 млн років тому. Нарешті, останньою значною катастрофою була поява людини розумної, після чого еволюція біосфери пішла зовсім іншим шляхом.

Крім описаних концепцій еволюції біосфери, на увагу заслуговує принцип уніформізму (від лат. *uniformis* – одноманітний), або актуалізму, опрацьований британським геологом Чарльзом Лайєлем (1797-1875). Сутність цього принципу така: у геологічному минулому діяли ті ж сили і з тією ж інтенсивністю, що і в сучасну епоху, тому знання сучасних геологічних явищ можна без поправок поширювати на тлумачення геологічного минулого будь-якої давності. Лайєль стверджував, що у минулі геологічні епохи діяли ті ж самі геологічні сили, які визначають образ планети й нині – вулкани, вітри, землетруси, сонячне світло, вода тощо. Іншими словами, для пізнання минулої історії Землі та її біосфери немає потреби залучати якісь надприродні чи потойбічні сили, а виключно лише природні чинники.

Переваги принципу уніформізму полягають у його орієнтації на існуючий реальний світ як на модель світу взагалі, у тому числі й минулих світів (у нашому випадку – біосфер). А сьогоденний, актуальний світ є, по-перше, найбільш вивченим, по-друге, найбільш різноманітним, по-третє, найбільш розвиненим завдяки тому, що є останнім із часових станів розвитку планети. Всі ці та інші еволюційні концепції забезпечують широкий спектр дослідницьких пошуків і сприяють накопиченню нового знання у рамках моделей еволюції біосфери.

В.І. Вернадський перший звернув увагу на те, що життя мусить виникати одразу у вигляді екосистем і навіть – у вигляді біосфери загалом. Тобто земне життя влаштоване таким чином, що виживати здатна лише спільнота різноманітних видів, а не якийсь окремих вид. У іншому випадку можуть порушитися кругообіг речовин та енергії, зв'язки між організмами і середовищем, а потім вимирання цих істот стане неминучим. Процес еволюції біосфери Землі узагальнено можна представити у певній часовій послідовності (Табл. 8).

Табл. 8. Основні епохи еволюції планети та її біосфери

<i>Еволюційні процеси</i>	млрд років тому
Згущення міжзіркової речовини і утворення планети Земля	4,5-5
Стадія безжиттєвого геологічного розвитку	3-4,5
Поява автотрофних бактерій, синє-зелених водоростей у водах суші та океану; початок примітивного скельного і підводного ґрунтоутворення	2,5-3
Початок фотосинтезу, розвиток водоростей, лишайників, мохів, формування первісної біосфери та ускладнення примітивного ґрунтоутворення	1,0-1,5
Розвиток і панування лісової рослинності на суші, формування кисневої атмосфери, потужної кори вивітрювання, болотно-аккумулятивного і кислого ґрунтового покриву	0,3-0,5
	млн років тому
Поява трав'яної рослинності, оформлення сучасного вигляду материків, природних зон, розвинутого ґрунтоутворення, поступове похолодання	30-100
Льодовикові та міжльодовикові епохи, поява людини	2-3
	тис років тому
Післяльодовикова епоха	10-20
Агрокультура і техногенно-індустріальна епоха	10 – наш час

Підсумовуючи усе сказане, можна об'єднати *основні фактори* (або рушійні сили) еволюції біосфери у такі три блоки:

- *абіотичне збурення* – це постійні зміни середовища існування живих систем під впливом зовнішніх збурень;
- *біотичне збурення* – це постійна структурно-функціональна мінливість живих систем, зумовлена зовнішніми і внутрішніми впливами;
- *запаси вільної енергії* – це накопичена у живих системах енергія, яка використовується як для підтримання стійкості й стабільності, так і для забезпечення будь-яких захисних чи еволюційних перебудов.

Щодо другого блоку, слід зауважити, що живі системи різних рівнів організації мають різні ступені цілісності й дискретності, різне функціональне призначення у біосфері, і тому вони характеризуються специфічними факторами і наслідками еволюції. Наприклад, для систем організмового рівня організації визначальними є спадковість та мінливість. *Спадковість* відповідає за збереження біотичної стабільності виду, успадкування нащадками ознак батьків. *Мінливість* дає змогу шляхом мутацій забезпечувати певне відхилення спадкової інформації нащадків порівняно з батьками, що може бути використане для збереження виду у разі відчутних змін довкілля.

На *популяційному* рівні організації провідним чинником еволюції є природний добір у процесі внутрішньовидової конкурентної боротьби за існування. Час існування популяції, а також її участі у еволюційних змінах біосфери триває десятки тисяч, інколи – десятки мільйонів років. На *екосистемному* рівні організації

головним фактором еволюції вже стає природний добір на основі міжвидової конкуренції, внаслідок чого виживають найбільш пристосовані популяції, спільне існування яких визначається функціональним поєднанням генофондів цих популяцій.

Особливість еволюційного процесу екосистем полягає у тому, що самі вони можуть існувати сотні мільйонів років, а точніше – безмежно довгий час. Між екосистемами немає боротьби за існування, біосфера не може визначати їхні переваги шляхом природного добору, їхні структурні й функціональні ознаки і пам'ять не передаються уздовж вектору часу через спадковість екосистем. На рівні екосистемної організації фактор спадковості не працює. Еволюційні перетворення в екосистемах здійснюються шляхом поступової зміни одних популяцій рослин чи тварин іншими, без істотної зміни речовинно-енергетичних параметрів екосистеми (потужності кругообігу хімічних елементів, трофічних ланцюгів, величини каналів енергетичного переносу, структури екологічної піраміди тощо).

Історія розвитку біосфери тісно пов'язана з еволюцією всієї Землі, яку можна умовно поділити на декілька фаз (Рис. 32). З *першою фазою* загальнопланетної еволюції пов'язані такі головні події: формування ранньої земної кори, атмосфери і гідросфери, а також виникнення геологічного кругообігу речовин. Згідно з найпоширенішою серед астрономів і астрофізиків гіпотезою, Всесвіт виник близько 20 млрд років тому внаслідок Великого вибуху. Потім утворилася наша Галактика (8 млрд років тому). Близько 6 млрд років тому у віддаленій частині одного з рукавів Галактики розтягнута на трильйони кілометрів газопилова хмара під дією гравітаційних сил поступово ущільнилася і перетворилася на водневий диск, що повільно обертався. З його центральної частини утворилося Сонце, де за надзвичайно високих температур і тиску почалися реакції ядерного синтезу, в ході яких водень перетворювався на гелій і виділялася величезна кількість енергії. Периферичні залишки диска також зближувалися під дією сил взаємного тяжіння, поступово ущільнювалися, доки не перетворилися на суцільні сфери – планети Сонця.

Потім поверхні цих сфер тверднули, утворюючи первинну планетарну кору. Первинна кора нашої планети утворилася приблизно 4,6 млрд років тому. Відтоді на її поверхні осідали метеорити і космічний пил. З тріщин тонкої кори безперервно вивергалася розжарена лава, а разом із нею – гази, які й утворили первинну атмосферу Землі. Вона складалася з метану, аміаку, водяної пари, вуглекислого газу, сірководню, ціанистого водню і практично не містила кисню і озону.

Коли поверхня планети охолола, водяна пара атмосфери почала конденсуватися і випадати першими дощами, розчинюючи численні мінерали земної кори.

Поступово вода накопичувалася, утворюючи океани. На планеті сформувалася гідросфера. Циркуляція атмосферних мас, води і розчинених у ній мінералів, переміщення магматичних продуктів на поверхню планети і знов у її надра породили великий, або геологічний, кругообіг речовин. Цим закінчилася перша фаза еволюції нашої планети.

Другу фазу ще називають *передбіологічною (хімічною) еволюцією* (Рис. 33). Протягом цієї фази (4,6-3,8 млрд років тому) на Землі відбувалися процеси синтезу і накопичення простих органічних сполук, необхідних для існування життя: амінокислот і простих пептидів, азотистих основ, простих вуглеводів. Ці сполуки, так звані «цеглинки життя», виникли внаслідок процесів абіотичного синтезу. Гіпотезу про можливість виникнення таких сполук абіотичним шляхом, тобто без участі живої речовини, висловили російський біохімік, академік Олександр Іванович Опарін і американець Джон Бердон Сандерсон Галдейн. Гіпотезу експериментально перевіряли дослідники Чиказького університету Стенлі Міллер і Гарольд Юрі у 1952 р. Експеримент Міллера-Юрі змодельював гіпотетичні умови, що існували на прадавній Землі: у стерильний реактор помістили водень, метан, аміак і воду, і крізь цю суміш пропускали електричні розряди, імітуючи блискавки у первинній атмосфері. За тиждень у реакторі було виявлено кілька амінокислот, деякі прості вуглеводи, інші органічні сполуки, які входять до складу живої речовини. Експерименти Міллера-Юрі, повторені й підтверджені у багатьох інших лабораторіях, довели те, що майже всі мономери¹⁰ біополімерів могли синтезуватися абіотичним шляхом.

Найбільш аргументованою вважається теорія походження життя на Землі, яку розробили російський учений О.І. Опарін і його британський колега Джон Бердон Сандерсон Холдейн. Теорія ґрунтується на тому, що до складу первинної атмосфери входили H_2O , CO_2 , CO , H_2S , NH_3 , CH_4 та інші речовини, і температура її була високою. Коли температура поверхні Землі стала нижчою за 100°C , пішли зливи. Вода заповнювала западини земної поверхні, утворювалися моря і океани, у яких розчинялися різні речовини з атмосфери. Досить висока температура води первісного океану і значна концентрація перелічених вище сполук сприяли синтезу складних високомолекулярних органічних речовин. У синтезі цих речовин важливу роль відігравали енергія електричних розрядів, ультрафіолетове випромінювання та розпечені вулканічні викиди.

¹⁰ Мономер – структурна ланка полімеру, яка є первісним матеріалом для синтезу полімерів.

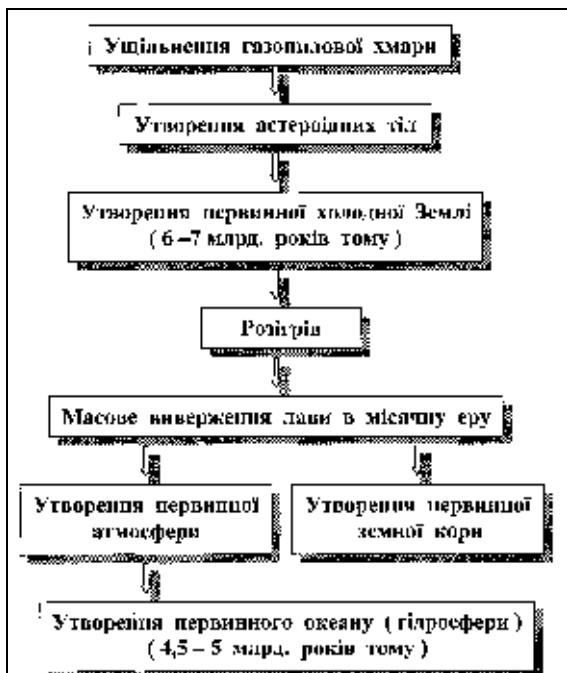


Рис. 32. Зародження планети Земля

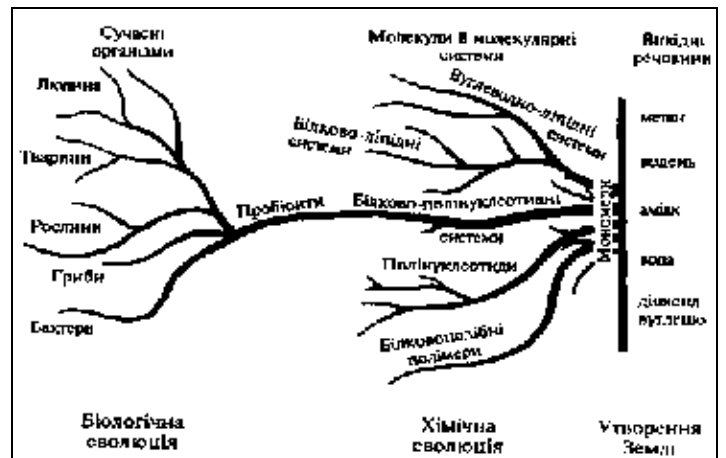


Рис. 33. Еволюція Землі та її біосфери

Первісний океан поступово наповнювався все складнішими і складнішими органічними полімерами – вуглеводами, амінокислотами, азотистими основами тощо. Із них абіогенним шляхом формувалися первинні білки, нуклеїнові кислоти. Потім органічні речовини концентрувалися у «поживному бульйоні», що супроводжувалося утворенням *коацерватних краплин*, а далі – багатомолекулярних систем найпростішої організації – так званих «пробіонтів». Коацерватні краплини були здатні вибірково адсорбувати речовини з навколишнього середовища і за рахунок цього рости, подібноватися і утворювати «дочірні» краплини. Тривала еволюція хімічних процесів спричинила перетворення окремих коацерватних краплин на перші примітивні живі істоти, які вступили у біологічний природний добір і започаткували органічний світ Землі.

Одні вірять у біблійну історію створення, інші – у доводи сучасного природознавства, але усі згодні, що *життя зародилося в океані*. Ні Бог, ні природа не могли б створити людину з безживної вулканічної породи. Довгий і складний розвиток починався у товщі океану, коли енергія Сонця вперше перетворила гази і продукти вивітрювання гірських порід на протоплазму і живі клітини. Серед гіпотез виникнення життя (біогенезу) слід назвати гіпотезу панспермії, яку сформулював шведський фізик Сванте Август Арреніус, а розвинув В.І. Вернадський. Ця гіпотеза ґрунтується на припущенні, що організми *позаземного* походження занесені на Землю з Космосу метеоритами та космічним пилом.

Деякі вчені вважають, що «зародки життя» розсилалися на зорі геологічної історії Землі якоюсь космічною надцивілізацією для запліднення безживних, але

потенційно придатних для життя планет (так звана спрямована панспермія). Проте більшість біологів та еволюціоністів вважають, що життя на Землі виникло природним шляхом, у результаті процесів абіогенного синтезу.

Третя фаза – це давня біосфера, еволюція прокаріотичного світу, виникнення біологічного кругообігу речовин, формування кисневої атмосфери. Ця фаза еволюції нашої планети розпочалася приблизно 3,8-4 млрд років тому. Рештки перших живих організмів дійшли до нас у вигляді так званих строматолітів – вапнякових решток синьо-зелених водоростей і актиноміцетів, а також у вигляді осадових порід, у яких шари двовалентного заліза чергуються з шарами окисленого тривалентного. Перші живі організми мали примітивну будову, були анаеробами, тобто існували у безкисневому середовищі. Вони жили у морях, «ховаючись» на глибині від згубного ультрафіолетового випромінювання Сонця, оскільки на планеті ще не існувало захисного озонового шару. Необхідні для життя енергію й речовини перші мешканці Землі діставали, використовуючи готові органічні сполуки первинного «бульйону», тобто були гетеротрофами.

Серед величезної різноманітності способів добування енергії і поживних речовин, які «випробовувалися» у давньому світі прокаріот, швидко з'явився принципово новий тип живлення – автотрофний. Організми-автотрофи для побудови своїх клітин не використовували готові органічні речовини, а самі синтезували їх з неорганічних – вуглекислого газу, води, азотовмісних і фосфоровмісних сполук. Такі процеси потребували значних енергетичних затрат. Необхідну енергію автотрофи діставали або за рахунок окисних реакцій (у процесі хемосинтезу), або в результаті прямого уловлювання і перетворення променистої енергії Сонця – фотосинтезу. Перші автотрофні організми, мабуть, були хемоавтотрофами, оскільки здобували потрібну енергію, окислюючи або сірку у складі сірководню до молекулярної сірки, або двовалентне залізо – до тривалентного.

Але справжня революція в юній біосфері розпочалася з появою фотосинтезуючих бактерій – ціанобактерій (синьо-зелених водоростей), які «навчилися» використовувати найпотужніше у планетарному масштабі джерело енергії – сонячне світло. З появою автотрофів на планеті замкнувся цикл біологічного кругообігу речовин, і на мільярди років відступила загроза енергетичного і харчового голоду. Автотрофи, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, дістали загальну назву продуцентів, а гетеротрофи, які розкладають органічні сполуки на неорганічні, – редуцентів. Водночас виникла ще одна група організмів, які використовували готові органічні речовини, не розкладаючи їх до мінеральних, а трансформуючи у інші органічні речовини. Цю групу споживачів (трансформаторів го-

тової органіки) називають консументами. Першими консументами були бактерії, що жились органікою загиблих продуцентів (так званий сапротрофний тип живлення) або вели паразитичний спосіб життя усередині клітин продуцентів чи сапротрофів.

Відтоді «естафету життя» розпочали автотрофи-продуценти, які з вуглекислого газу і води за допомогою сонячного світла або енергії окисно-відновних реакцій створювали молекули простих вуглеводів. Далі вони полімеризувалися у полісахариди або трансформувалися у амінокислоти, жирні кислоти, гліцерин тощо, з яких утворювалися білки, нуклеїнові кислоти, жири та інші необхідні для клітини компоненти. Ці високоенергетичні сполуки у подальшому споживалися консументами. Зазвичай консументи спочатку поглинали складні органічні речовини, а потім частково розкладали їх на простіші, наприклад, полісахариди, звільняючи енергію, потрібну для підтримання своєї життєдіяльності. Ця енергія витрачалася на трансформацію залишків складних органічних речовин у інші необхідні речовини, а також на підтримання процесів метаболізму організмів-споживачів.

І нарешті, органічна речовина відмерлих продуцентів і консументів споживалася редуцентами. Давні редуценти, на відміну від консументів, виділяли у зовнішнє середовище ферменти (так звані екзоферменти), що розкладали складні органічні сполуки на простіші, а потім редуценти поглинали ці прості сполуки. Всередині клітин більшу частину поглинутих простих органічних сполук редуценти окислювали до мінеральних речовин, одержуючи необхідну енергію, а із залишків створювали для себе потрібні складніші органічні речовини. Таким чином жива речовина (продуценти, консументи і редуценти) утворила ланцюг живлення (трофічний ланцюг), який через неживу речовину – мінеральні сполуки – замкнувся у коло. Відтоді продуценти синтезували органічні речовини з неорганічних, консументи їх трансформували, а редуценти розкладали до мінеральних сполук, які потім знову споживалися продуцентами для наступних процесів синтезу. З потоку речовин у цьому колі утворився біологічний кругообіг речовин.

Геологічний і біологічний кругообіги речовин разом склали біогеохімічний кругообіг, поєднавши у ньому водночас величезну потужність першого і надзвичайні швидкість і активність другого. Біогеохімічний кругообіг «налагоджувався» приблизно 1,5-2 млрд років, потім стабілізувався, суттєво не змінюючись дотепер. Поява фотосинтезуючих продуцентів, окрім усього іншого, мала один важливий наслідок – на Землі сформувалася киснева атмосфера, яка визначила подальші етапи еволюції планети та її біосфери.

Отже, майже усі первинні організми були анаеробами. Кисень, життєво необхідний переважній більшості сучасних видів, для давніх організмів був однією з найсильніших отрут. Вільний кисень, як надзвичайно активний окиснювач, руйнував, дезактивував, «спалював» більшість ферментів давніх бактерій-анаеробів, тому вони діставали енергію лише за рахунок безкисневих процесів бродіння і розщеплення простих вуглеводів шляхом гліколізу¹¹. Однак саме кисень виділяли у процесі фотосинтезу первинні продуценти – синьо-зелені водорості. Оскільки через високу вулканічну активність планети давні моря були дуже теплими, то лише незначна кількість цього кисню розчинялася у воді Світового океану. Основна його маса нагромаджувалася в атмосфері, де зрештою окислювала метан і аміак у вуглекислий газ, вільний азот – у його оксиди. З дощами вуглекислий газ і азотні сполуки потрапляли в океан і там споживалися продуцентами.

Поступово кисень замінив у атмосфері метан і аміак. Частина кисню під впливом сонячного світла і електричних розрядів у атмосфері перетворювалася на озон – трьохатомний кисень. Молекули озону, концентруючись у верхніх шарах атмосфери, «прикрили» поверхню планети від згубної дії ультрафіолетового випромінювання. У цей час у Світовому океані серед бактерій виникли види, здатні спочатку тільки захищатися від розчиненого у воді кисню, а у подальшому – використовувати його для окислення глюкози та одержання додаткової енергії. На зміну низько-ефективним процесам бродіння і гліколізу прийшов енергетично набагато вигідніший процес кисневого розщеплення простих вуглеводів. Організми, що здобували енергію цим шляхом, не лише не отруювалися киснем, а навпаки, мали від нього користь. Такі організми названо аеробними. Оскільки шар озону захищав тепер клітини від ультрафіолетового випромінювання, аероби почали колонізацію багатих на кисень поверхневих шарів Світового океану та його мілководь – шельфу. Отже, жива речовина повністю заселила гідросферу.

Протягом *четвертої фази* еволюції планети Земля виникли еукаріоти, живі істоти освоїли сушу, а також сформувалося сучасне біорізноманіття органічного світу. Ця важлива фаза у розвитку нашої планети та її біосфери ознаменувалася виникненням істот принципово нового типу, побудованих із складніших клітин. Завдяки здатності до статевого процесу еукаріоти еволюціонували набагато швидше за прокаріот. Крім того, вони мали більший адаптивний потенціал, а отже, краще пристосовувалися до змін умов існування. Вважають, що еукаріоти виникли приблизно 1,2 млрд років тому в результаті серії симбіозів різних прокаріотів,

¹¹ *Гліколіз* (від грец. *glykos* – солодкий та *lysis* – розщеплення) – послідовність з десяти реакцій, які призводять до перетворення глюкози.

одні з яких дали початок клітині-хазяїну, а інші трансформувалися на мітохондрії і хлоропласти. Перші еукаріоти були гетеротрофними одноклітинними організмами, які вважаються родоначальниками багатоклітинних безхребетних тварин.

За порівняно короткий час – кілька десятків мільйонів років – еукаріоти вийшли на сушу, завершуючи колонізацію всієї поверхні нашої планети. З виходом живої речовини на сушу прискорилися процеси вивітрювання гірських порід. Відтоді не лише коливання температури, дощі й вітри руйнували гірські масиви, але й величезна армія рослин, бактерій, грибів і лишайників подрібнювала, розпушувала, розчиняла мінерали. Консументи, споживаючи продуцентів, швидко переносили вміщені у органічній речовині елементи на значні відстані, а редуценти вивільняли і розкладали мертву органіку. Частина вивільнених мінеральних і напівперероблених органічних речовин трансформувалася у гумус, утворюючи родючі біокосні системи – ґрунти. Те, що не поверталось у біологічний кругообіг або не запасалося у ґрунті, змивалося дощами в річки і виносилося у Світовий океан, де споживалося, концентрувалося чи відкладалося мешканцями гідросфери у вигляді осадових порід. Тектонічні переміщення земної кори повільно виносили осадові породи на поверхню, роблячи нагромаджені у них речовини знову доступними для живої речовини літосфери.

Щоб досконаліше розуміти процеси, які відбуваються у біосфері нині, необхідно знати її еволюцію. Палеонтологи довели, що органічний світ Землі не один раз переживав трагічні події, які призводили до майже повного знищення життя на планеті. За останні 500 млн років Земля декілька разів була «тяжко хворою», а одного разу – 250 млн років тому – життя на Землі майже скінчилося. Наведемо коротку характеристику основних, якісно відмінних, етапів еволюції біосфери (Рис. 34).

Перший – етап гетеротрофної біосфери з домінуванням прокаріотів. Розпочався у межах 4,25-3,5 млрд років тому і завершився десь близько 2,9-2,5 млрд років тому. Життя зародилося в архейську еру, тому геохронологічно цей етап приурочений здебільшого до архею. Оскільки перші живі організми ще не мали жодних скелетних утворів, від них майже нічого не залишилося у викопних рештках. Проте наявність серед архейських відкладів порід органічного походження (вапняків, мармуру, графіту) підтверджує існування в цю еру примітивних живих організмів. Це були *прокаріоти* – без'ядерні одноклітинні організми, які розмножувалися простим діленням і панували в умовах безкисневого середовища (переважно бактерії і синє-зелені водорості). Вони були гетеротрофними і живилися за рахунок органічних речовин абіогенного походження, розчинених у первісному

океані. Життя у воді було можливим завдяки тому, що вода захищала організми від згубної дії ультрафіолетового випромінювання. Це був етап формування *найпростішої плівки життя*, дуже бідної за запасами живої речовини.



Рис. 34. Етапи еволюції біосфери

Його визначальною рисою є поява перших примітивних мікроскопічних нитковидних і кулькоподібних, анаеробних, без'ядерних одноклітинних організмів, які існували, головним чином, у глибоких водоймах, де, з одного боку, був можливий речовинний обмін між твердою, рідкою і газовими фазами, а з іншого – забезпечений захист від короткохвильового опромінення певною товщею води, в умовах відновлювальної атмосфери. Це були перші кроки формування найпростішої плівки життя, найбіднішої за біорозмаїттям і запасами живої речовини і перших ознак біотичного кругообігу. Наприкінці етапу виникли перші автотрофні організми – синьо-зелені водорості, які взяли на себе функцію першого революційного перевороту в біосфері – *накопичення в атмосфері кисню*. Завдяки їхній діяльності вміст кисню у атмосфері зріс до 1% від його сучасного вмісту, що тоді дало змогу анаеробним організмам перейти до факультативного дихання.

Другий – етап автотрофної біосфери, зосередженої у водному середовищі. Його можна назвати етапом формування автотрофної біосфери у рамках пла-

нетної гідросфери, коли відбувалося «розгортання» і «розпливання» життя у водних просторах планети. Його початок – десть близько 2,7-1,8 млрд років тому – співпадає з нижнім протерозоем, а кінець – біля 400-360 млн років тому – з першою половиною девону, що відповідає другій революційній перебудові у біосфері – *освоєння життям суші*. Можна сказати, що це був етап найістотніших біотичних трансформацій. В атмосфері відбувається повільне накопичення кисню, і приблизно 1,8 млрд років тому з'являються ядерні клітинні організми – *еукаріоти*, які мають вищу організацію і розмножуються статевим шляхом. Поява еукаріотів пов'язана з утворенням клітин із справжнім ядром (з хромосомами) і мітохондріями. Прогресивний розвиток первісних живих організмів забезпечив виникнення *автотрофних* організмів, які для синтезу органічних сполук із простих неорганічних використовували сонячну енергію.

Пізніше з'явилися багатоклітинні організми, сформувався фотосинтез і наприкінці докембрію виникли тварини. Протягом кембрійського і ордовіцького періодів з'явилися майже усі відомі типи скелетних тварин, а наприкінці силуру можлива навіть поява перших спроб виходу живих організмів на сушу. Поступово йшло формування *потужних плівок життя* (планктонної і донної), а також біотичного кругообігу у водних екосистемах. В силурійський період у деяких популяціях зелених водоростей з водойм, що періодично пересихали, в результаті ароморфозу¹² сформувались тканини, які вперше виникли у наземних рослин – псилофітів. Ці рослини мали невеликі розміри (не більше півметра), стеблоподібну наземну частину і кореневище, від якого відходили ризоїди (коріння без тканин). Деякі з них були ще дуже схожими на водорості, але інші вже мали ознаки, які зближували їх з мохоподібними і папоротеподібними рослинами. Рослини могли існувати на суходолі, оскільки бактерії, синьо-зелені водорості, одноклітинні тварини уже сформували тонкий шар ґрунту. У цей час з'явилися і гриби, життєдіяльність яких сприяла ґрунтоутворенню.

У морях кембрійського, ордовіцького, силурійського періодів жили найпростіші, губки, кишковопорожнинні, членистоногі, молюски, голкошкірі, нижчі хордові. В силурійський період з'явилися найпримітивніші хребетні – круглороті. У них ще не було щелеп, але внаслідок ароморфозу виникли череп і хребці. У девонський період досягли розквіту щиткові, що належали до класу круглоротих. У риб внаслідок ароморфозу утворився щелепний апарат, що дав їм змогу активно полювати, захоплюючи здобич. Це сприяло підвищенню рівня організації нерво-

¹² *Ароморфоз* (морфофізіологічний прогрес) – один із шляхів біологічного прогресу, що полягає у значному ускладненні будови організмів та підвищенні загального рівня їхньої організації.

вої системи, органів чуття, вдосконаленню інстинктів. Серед сучасної фауни найближчими до цих найдавніших риб є акули і скати. З'явилися і кистепері риби. Нечисленних представників цих риб виявлено у Індійському океані біля берегів Африки. Кистепері риби, які населяли прісні водойми у девонський період, зробили важливий крок в еволюції тварин – вийшли на суходіл. Першими наземними хребетними були найдавніші земноводні стегоцефали – потомки кистеперих риб. Їхні яйця і личинки могли розвиватися лише у воді, тому ці тварини змушені були жити поблизу водойм.

У девонський період важливий ароморфоз відбувся і у рослин: розвився спеціальний апарат для всмоктування мінеральних розчинів (корінь); як основний орган асиміляції вуглекислого газу сформувались пагони. Таким чином відбулося диференціювання тіла рослини на пагін і корінь. Першими листостебловими рослинами були *мохи*. Спорідненість мохів з водоростями і псилофітами виявляється у тому, що їхня протонема¹³ подібна до зелених водоростей, замість коренів вони мають ризоїди, запліднення відбувається у водному середовищі. У девонський період від псилофітів виникли вищі спорові: плауни, хвощі, папороті. В них утворились добре сформовані корені, але для розмноження їм була необхідна вода, у якій переміщуються статеві клітини.

Отже, це був етап формування величезного різноманіття біоти і потужної геохімічної роботи живої речовини, що зумовила зміну хімічного складу атмосфери, накопичення у ній такої кількості вільного кисню (10% від його сучасного вмісту), якої було достатньо для забезпечення необхідних умов існування рослинних і тваринних організмів на суші. Протягом цього етапу також було завершено формування біотичного кругообігу у водних екосистемах і біотичних факторів еволюції (природного добору у процесі боротьби за існування). Іншими словами, це був етап формування водної, або океанічної, частини біосфери.

Третій – етап загальнопланетної біосфери після освоєння живими істотами суші. Його початок пов'язаний з перехідним періодом від силуру до девону (400-360 млн років тому), а кінець – з появою нової геологічної сили на планеті – відчутної виробничої діяльності людини, яка почала впливати на структуру біогеоценотичного покриву (плівку життя) та біогеохімічні процеси у біосфері. Кінець етапу можна пов'язати з переходом між другим і першим тисячоріччям до нашої ери – початком залізного віку, рільництва, розпаду первіснообщинного ладу. Саме на цьому етапі виникають організми, спроможні жити у повітряному се-

¹³ Протонема – одна з життєвих форм мохоподібних рослин.

редовищі; вони заповнюють нові екологічні ніші, виникають нові трофічні зв'язки, змінюється клімат.

Характерними рисами цього етапу є ґрунтова перебудова біоти та середовища її існування на планеті. З'явилися тварини з двоюрим диханням, що дало їм змогу вийти на сушу. Формування потужного рослинного покриву з плаунових, папоротевих, а згодом голонасінних і покритонасінних рослин спричинило докорінні зміни біогеохімічного і енергетичного обміну в біосфері, заповнення організмами нових екологічних ніш, виникнення нових трофічних зв'язків, зміни клімату, потужності і характеру не лише малого біотичного кругообігу, а й великого геологічного. Біосфера поступово насичувалася величезною кількістю безхребетних (зокрема комах), а також риб, плазунів, птахів, ссавців, деревних рослин, а у кайнозойській ері – трав. Опанування живою речовиною суші призвело до формування ґрунтового покриву, накопичення вільної енергії не лише у вигляді живої і мертвої органіки, але й ресинтезованої (повторно відновленої) органічної речовини – ґрунтового гумусу.

Наприкінці кам'яновугільного і особливо у пермський період клімат змінився, став сухим. Це призвело до масового вимирання папоротеподібних і земноводних. Ті ж особини, які вижили у вологіших місцях, дали початок земноводним і папоротеподібним невеликих розмірів. Від стегоцефалів виникли не лише земноводні, а й плазуни. Походження плазунів пов'язане з ароморфозами, що забезпечували розмноження на суходолі: внутрішнє запліднення, запас поживних речовин у яйці, вкритому щільною оболонкою, яка захищала його від висихання. Це дало змогу плазунам завоювати усі середовища існування: суходіл, повітря і повторно оселитися у воді. Прогресу плазунів сприяв розвиток рогового покриву, який захищав від висихання, досконаліший розвиток легень, кровоносної системи, кінцівок, головного мозку. Все це дає підстави визнати плазунів першими справжніми наземними хребетними.

У пермський період від насінних папоротей виникли голонасінні рослини, які значно поширились на суходолі, оскільки з'явився новий спосіб запліднення, не пов'язаний з водою, а формування насінини давало змогу зародкам рослин тривалий час витримувати несприятливі умови. Внаслідок цього насінні рослини змогли оселятися не лише на вологих узбережжях, але й проникати у глибину материків. На початку мезозойської ери (у тріасовий і юрський періоди) панували плазуни, деякі з яких досягали гігантських розмірів і мали масу тіла до 20 т. Були серед них як рослиноїдні, так і м'ясоїдні. Однак ще у пермський період з'явилися звірозубі плазуни – предки ссавців. Перші ссавці (однопрохідні й сумчасті) відомі

з тріасового періоду. Тоді ж виникли справжні костисті риби і псевдозухії – плазуни, які пересувалися лише на задніх кінцівках. Псевдозухій вважають предками птахів. Першоптах – археоптерикс – з’явився у юрський період та існував ще й протягом крейди. Прогресивний розвиток дихальної і кровоносної систем птахів і ссавців забезпечив теплокровність цих тварин, послабив залежність від температури навколишнього середовища, що сприяло їхньому розселенню на всіх географічних широтах.

Справжні птахи і вищі ссавці з’явилися у крейдовий період. Вони швидко посіли панівне становище серед хордових. Цьому сприяли також розвиток нервової системи, виникнення умовних рефлексів, виховання потомства, а у ссавців – живородіння і вигодовування малят молоком. Прогресивною була і диференціація зубів у ссавців, що стало передумовою вживання різноманітної їжі. Наприкінці мезозою у крейдовий період від голонасінних виникли покритонасінні, що пов’язано з новим ароморфозом – появою квітки. Вона добре захищає насінину, яка розвивається у зав’язі, від несприятливих факторів. Наприкінці мезозою з’явилися перші плацентарні ссавці (комахоїдні). У зв’язку із сухістю клімату розпочалося масове вимирання голонасінних, а оскільки вони були кормом для багатьох плазунів, це призвело до вимирання й плазунів.

У кайнозойську еру сформувалися сучасні материки. Покритонасінні значно поширилися суходолом в усіх кліматичних зонах, завоювали водне середовище і нині посідають панівні місця. Проте голонасінні й спорові рослини не зникли, а продовжували розвиватися; численні види цих рослин існують і нині. Серед безхребетних панівне місце посідають комахи, яких відомо близько 1 млн видів. Поява трахейної системи дихання, яка забезпечувала інтенсивний обмін речовин; виникнення членистості кінцівок і посмугованої мускулатури, яка забезпечувала високу рухливість; розвиток хітинового покриву, який захищав тіло від несприятливих умов; розвиток нервової системи та органів чуття – все це забезпечило поширення комах в усіх середовищах існування.

Серед хребетних панівне місце посідають птахи і ссавці. Стала температура їхнього тіла дала змогу розселитися практично в усіх широтах. При цьому птахи займають переважно повітряний простір, а ссавці ведуть наземний спосіб життя. Еволюція хребетних була пов’язана з поступовим, від класу до класу, вдосконаленням усіх систем: видільної, кровоносної, нервової. Найбільшого розвитку ці

системи досягли у класах птахів і ссавців. Внаслідок ідіоадаптацій¹⁴ вони пристосувалися до життя у різних середовищах існування.

У сприятливій ґрунтово-кліматичній періоді біотична продуктивність була настільки високою, що випадання органіки з біотичного кругообігу сприяло утворенню великих покладів вугілля та інших горючих копалин (протягом карбону), накопиченню потужних відкладів карбонатних порід (крейда). Земна поверхня вкрилася *суцільною плівкою життя* – водною і ґрунтовою. Наприкінці неогену домінування переходить до плацентарних ссавців, значно поширюються людиноподібні мавпи, а у антропогені з'являється людина, виробнича діяльність якої згодом стає визначальним екологічним фактором (Рис. 35). Протягом одного-півтора мільйонів років людський розум і керована ним праця, згідно з В.І. Вернадським, стають потужною геологічною силою, що зумовлює новий революційний злам в еволюції біосфери – перехід її до ноосферного етапу розвитку.

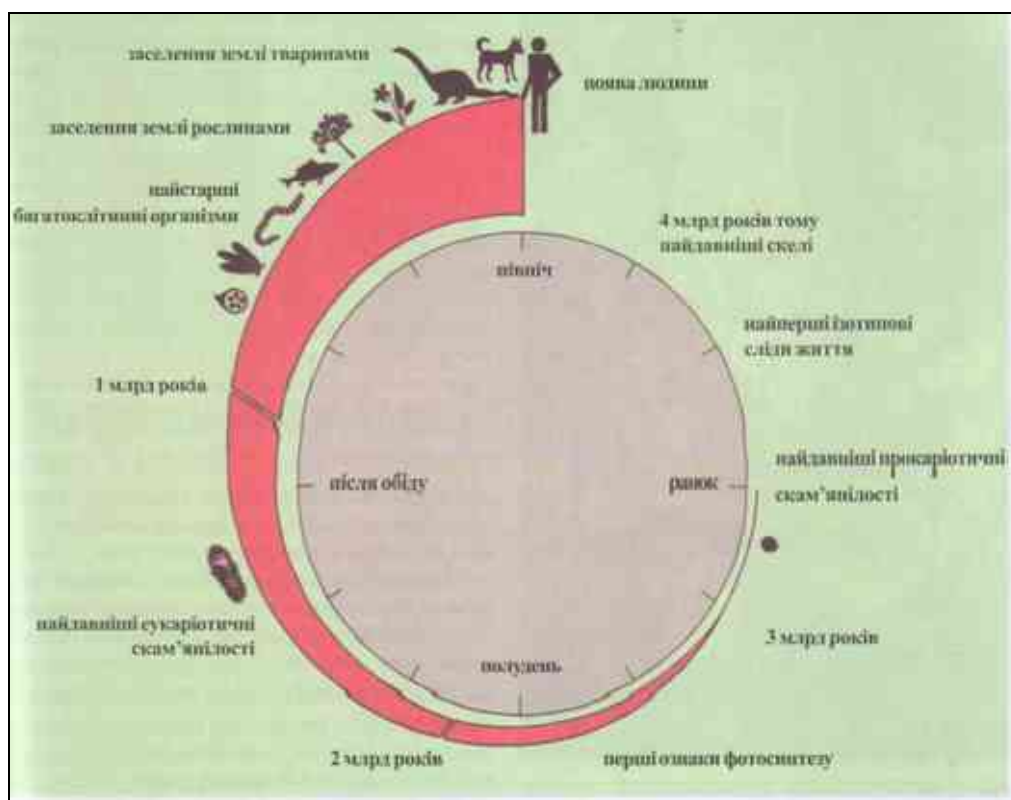


Рис. 35. Еволюційний годинник біосфери

Четвертий етап – ноосферний – бере початок у першому тисячолітті до нашої ери, коли стає помітним вплив виробничої діяльності людини на структуру

¹⁴ *Ідіоадаптація* – один із шляхів досягнення біологічного прогресу, що супроводжується певними змінами у будові організмів, не порушуючи загального рівня їхньої організації, є пристосуванням до конкретних умов існування.

біогеоценотичного покриву, зокрема, внаслідок знищення лісів, розорювання степів і лісових згарищ, розгортання промислового мисливства, скотарства, ремісництва. Кінець етапу припадає на другу половину XX століття – часу освоєння людиною навколоземного космічного простору, потужного використання горючих копалин, синтезу великої кількості чужих для природи речовин і матеріалів, формування поряд з біотичним кругообігом потужного соціального обміну речовин, забруднення атмосфери, гідросфери і ґрунтів, антропогенного зубожіння видового складу рослин і тварин, просторової та функціональної перебудови структури плівки життя. Наприкінці цього етапу біосфера переходить у суттєво нову якість, новий етап розвитку – **соціосферний**, коли вона стає підсистемою соціосфери. Можна сказати, що цей етап тільки розпочався.

Таким чином, еволюція органічного світу – це єдиний, одночасний і нерозривний процес поступового розвитку популяцій, видів, біоценозів і екосистем загалом, тобто мікроеволюції, макроеволюції і екосистемної еволюції, разом узятих. Цей процес можна розкрити лише на основі вивчення загальних закономірностей руху речовин, енергії та інформації, тісного взаємозв'язку біотичних форм руху та організації з іншими формами руху і системного підходу до аналізу цього складного процесу. Загальною спільною особливістю еволюційних перетворень внутрішньобіосферних екосистем (від консорцій до біомів) є те, що вони значно менше, ніж біосфера, зазнають безпосереднього впливу зовнішніх абіотичних факторів, оскільки захищені гомеостатичними механізмами самої біосфери.

Еволюція ж усієї біосфери відбувається під впливом таких потужних чинників, як тектоніка Землі, інверсії магнітного поля, динаміка космічних випромінювань і спричинені нею зміни глобального клімату, міграції материків, зміни хімічного складу атмосфери тощо. Усі біосферні процеси породжуються і підтримуються, з одного боку, космічними, а з іншого – земними факторами.

4.4 Кругообіги речовини та енергії у біосфері

У біосфері, як у кожній підпорядкованій їй екосистемі, між собою і з навколишнім середовищем взаємодіють продуценти, консументи, детритофаги і редуценти. В процесі цієї взаємодії живі організми створюють певний потік речовин та енергії від одних компонентів екосистеми до інших, чим і забезпечується цілісність та стійке підтримування життя біосфери як глобальної екосистеми. Тобто з різних хімічних елементів та їхніх сполук, що підтримують життя окремих видів, у біосфері формується загальний (глобальний) кругообіг речовини та енергії.

Маса живої речовини (*біомаса*) виражається у одиницях маси сухої або сирої речовини по відношенню до одиниць площі чи об'єму будь-якого місця мешкання організмів. Загальна маса живої речовини біосфери у сухому вигляді приблизно 4×10^{18} г, що у мільярд разів менше маси Землі, яка становить $5,98 \times 10^{27}$ г. Сумарна кількість біомаси, що утворилася протягом конкретного періоду часу, характеризує *біопродуктивність*. Встановлено, що найбільшу продуктивність мають заплавні згущення живої речовини: за площі менше ніж 1% вони виробляють близько 10% живої речовини суші. Фотосинтезуючі живі організми становлять 99% всієї маси живої речовини. Маса живої речовини океану становить менше 0,2% від біомаси суші. Але продуктивність океану, тобто виробництво біомаси у одиницю часу і на одиницю площі, приблизно дорівнює продуктивності біомаси рослин.

Жива речовина, на відміну від косної, має таку властивість: усі хімічні реакції в ній відбуваються упорядковано та у менш жорстких умовах, ніж при виробництві речовин чисто хімічними методами. Зокрема, жири і вуглеводи окислюються в організмі за температури близько 37°C , а поза ним – за температури у $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. У промислових умовах для отримання аміаку з молекул азоту і водню необхідна температура 500°C плюс високий тиск, а у тілі мікроорганізмів ця реакція відбувається за звичайних температури і атмосферного тиску. Безперервно розмножуючись, живі організми утворюють потік поколінь: на зміну загиним з'являються нові істоти. Тим самим сучасна жива речовина за походженням пов'язана з живою речовиною минулих геологічних епох; їй притаманна велика хімічна різноманітність.

Кругообіг речовин – це багаторазова участь речовин в усіх процесах атмосфери, гідросфери, літосфери, включаючи ті їхні шари, що входять до складу біосфери. Розрізняють два основні кругообіги речовин: *великий* (геологічний) і *малий* (біологічний, або біотичний); обидва охоплюють усю планету.

Геологічний (великий) кругообіг – це, якщо коротко, обмін речовинами між сушею та Світовим океаном. Передусім йдеться про глобальну циркуляцію води, що відбувається у такій послідовності: спочатку випадіння атмосферних опадів, потім – поверхневий і підземний стік, інфільтрація, випаровування і врешті-решт – конденсація, а потім знову випадають опади (Рис. 36). На приведення до руху кругообігу води витрачається майже третина усієї сонячної енергії, що надходить до Землі. І головне: *разом з водою рухаються величезні маси розчинених у ній хімічних речовин*, які в океані осаджуються на дно або у вигляді делювіальних відкладів.

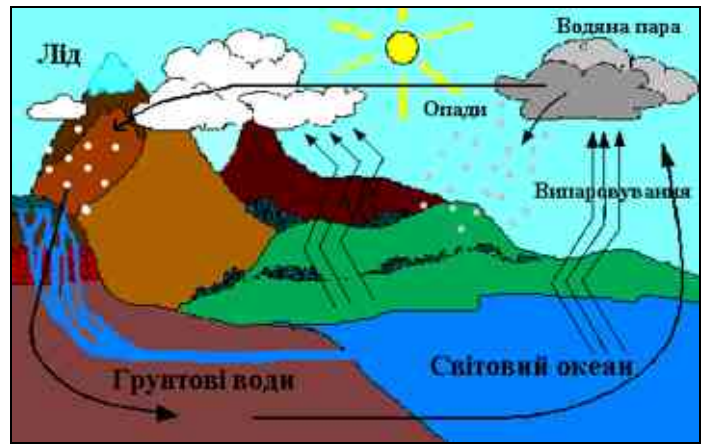
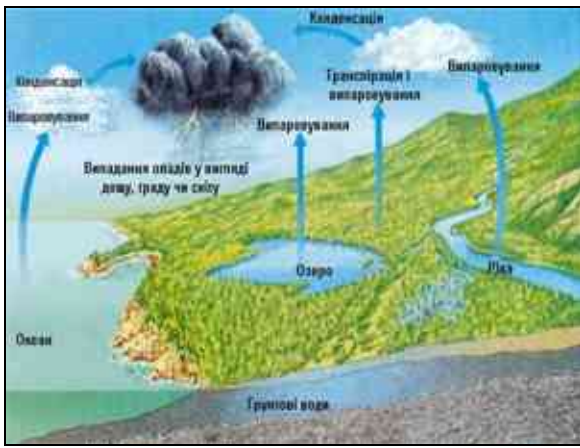


Рис. 36. Глобальний кругообіг води

Вода – основний елемент, необхідний для життя, найбільш розповсюджена неорганічна складова живої матерії. Наприклад, у людини на воду припадає 63% маси тіла, у грибів – 80%, у деяких видів медуз – 98%. Гідросфера займає близько 75% поверхні земного шару (363 млн км²). Припускають, що сумарне випаровування врівноважується випадінням опадів. З океану випаровується більше води, ніж потрапляє у нього з опадами; на суші – навпаки, менше. Так звані «зайві» опади суходолу потрапляють у льодовики, поповнюють ґрунтові води і врешті-решт опиняються в озерах і річках, поступово повертаючись зі стоком у океан. Отже, *кругообіг води між океаном і сушею є обов'язковою умовою обміну речовин між органічною та неорганічною природою.*

Таким чином, особливу увагу слід приділити двом головним аспектам кругообігу води. По-перше, море втрачає через випаровування більше води, ніж отримує з опадами; на суші ситуація протилежна. Тобто значна частина опадів, яка підтримує екосистеми суші, складається з води, що випаровується з моря. По-друге, різниця між кількістю опадів за рік і річним стоком становить 0,8 геограма (10¹⁴ т); це і є величина річного надходження води у підґрунтові водоносні горизонти. Нині в результаті діяльності людини стік збільшується, тому поповнення дуже важливого фонду ґрунтових вод скорочується.

Обмін повітря між усіма широтами і обома півкулями Землі відбувається у середньому за 2 роки. Активно переміщується течіями океанічна вода; в океані немає таких зон, де б вона тривалий час перебула у застійному стані. Вся прісна вода суші стікає в океан за 14 діб, у льодовиках вода оновлюється за 15 тис років.

Великий кругообіг речовин *не є замкнутим*: певна кількість речовин вилучається з кругообігу і зберігається в осадових породах у вигляді вапняків, торфу, нафти та інших порід і мінералів. Цим забезпечується поступальний розвиток земної кори і біосфери. Згідно концепції великого кругообігу речовини та енергії в

біосфері, вивержені глибинні породи мантійного походження (наприклад, базальти) тектонічними процесами виводяться з надр Землі у біосферу. Під впливом сонячної енергії і живої речовини вони вивітрюються, переносяться, знову відкладаються, перетворюючись при цьому на різноманітні осадові породи. В осадових породах концентрується і запасається сонячна енергія (наприклад, з вивержених мінералів утворюються глини, а вулканічні гази переходять у вугілля, нафту).

Далі за рахунок тектонічних рухів осадові породи потрапляють у зони високих тисків і температур Землі, де з них вивільняється сонячна енергія, відбуваються процеси метаморфозу і переплавлення, що призводить до утворення гранітних порід. Кристалізовані вивержені породи знову за рахунок висхідних тектонічних рухів потрапляють у біосферу. Таким чином цикл завершується, але вже на новому рівні, бо з вихідних базальтів утворилися вивержені породи гранітного складу. Отже, великий кругообіг речовини та енергії в біосфері можна також визначити як *еволюцію земної кори від океанічного типу (базальтового) до материкового типу (гранітного)*.

Малий (біологічний, біотичний) кругообіг – це, якщо коротко, обмін хімічними елементами між живими організмами і неживими (косними) компонентами біосфери. Іншими словами, це дві сторони єдиного процесу – утворення живої речовини та її розкладу. Цей кругообіг характеризується тим, що спочатку жива речовина заряджається енергією, а потім, у процесі розкладу органічних решток, енергія повертається у навколишнє середовище. Біологічний кругообіг передбачає циркуляцію речовин між ґрунтами, рослинами, тваринами і мікроорганізмами (Рис. 37). Циркуляція відбувається у такій послідовності: спочатку мінеральні речовини і енергія поглинаються з навколишнього середовища і включаються до складу рослинних організмів, потім від рослин через трофічні ланцюги вони переходять у організми тварин та інших консументів і далі через ланку редуцентів – повертаються назад у ґрунт чи атмосферу.

Біотичний кругообіг безперервно відбувається у екосистемах будь-якого рівня організації – від окремого комплексу живих організмів до біосфери в цілому. Організми залучають атоми біогенних речовин з косної частини біосфери у свої тіла, де поглинені речовини вступають у різноманітні біохімічні реакції, а потім виділяються цими організмами у зовнішнє середовище у вигляді продуктів життєдіяльності або мертвих тіл. Організоване таким чином життя на Землі продовжується вже мільярди років.

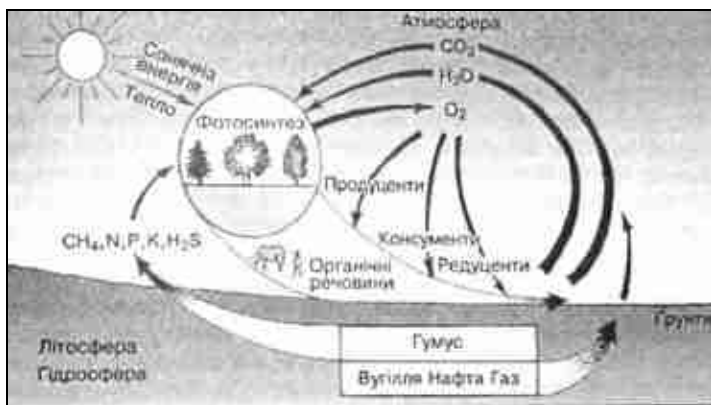
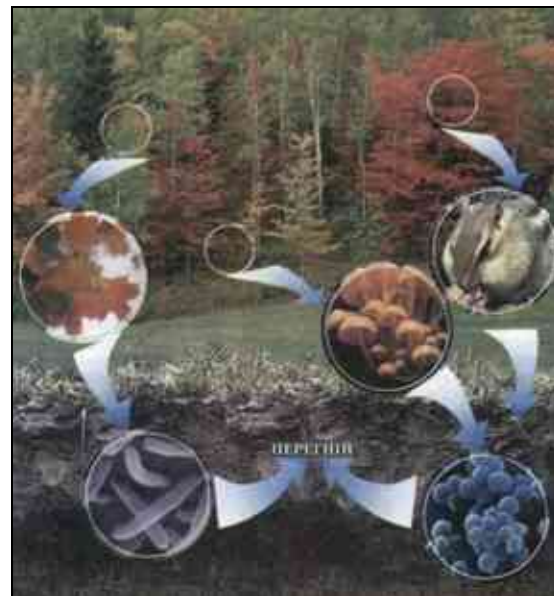


Рис. 37. Послідовність перебігу біотичного кругообігу



Геологічний і біологічний кругообіги тісно взаємопов'язані, вони взаємодіють між собою, іноді зливаючись воедино. Але все ж таки структурно і функціонально вони істотно відрізняються. Зокрема, біотичному кругообігу притаманні такі характерні особливості (на відміну від геологічного):

- Його дія відбувається зазвичай у межах біогеоценозу, тоді як геологічний здійснюється на великих територіях – материках і прилеглих до них частинах океану.
- Головною причиною і рушійною силою біологічного кругообігу є різний характер живлення продуцентів, консументів і редуцентів, а геологічного – кругообіг води між океаном і сушею.
- У малому кругообігу беруть участь тільки біогенні елементи, тоді як у великому – всі хімічні елементи, які є у земній корі.
- Тривалість циклів хімічних елементів у біотичному кругообігу є короткочасною (рік, декілька років, десятки і сотні років), а тривалість циклу в геологічному – десятки і навіть сотні тисяч років.

Обидва кругообіги речовин – біологічний і геологічний – рухають енергія Сонця і сили гравітації. *Біологічний кругообіг* швидкий і розімкнений: початкова і кінцева ланки замикаються через доступні неорганічні речовини. *Геологічний кругообіг* повільний і доволі замкнений. Частина речовин із біологічного кругообігу надходить у геологічний у вигляді відмерлих решток, утворюючи осадові породи, які з часом під впливом тиску, температури та інших факторів трансформуються у граніти. Тектонічні підняття спричиняють винесення частини гранітних порід на поверхню. Граніти вивітрюються, і, як наслідок, утворюється фонд доступних речовин, які у подальшому знову залучаються до біологічного кругообігу (Рис. 38).

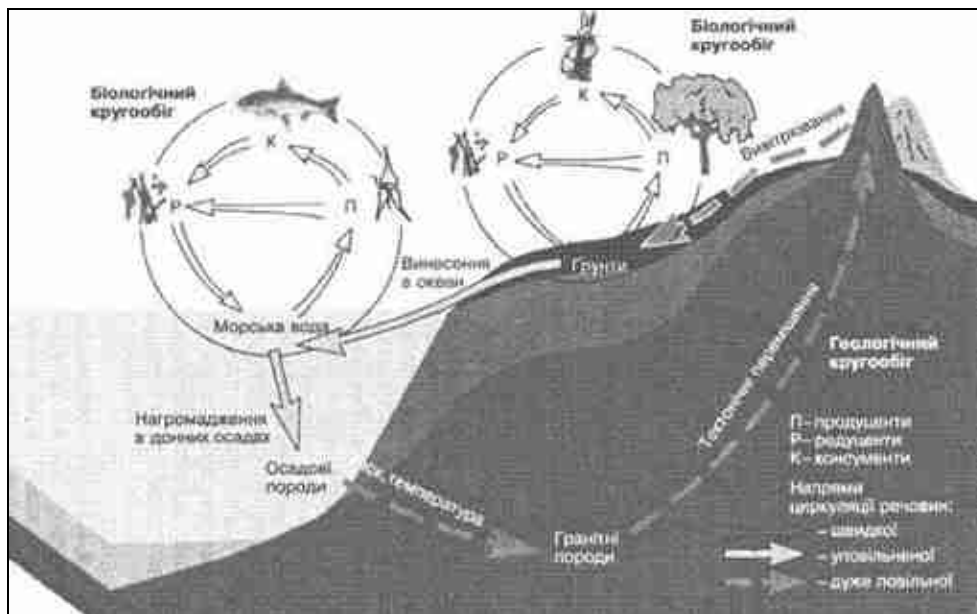


Рис. 38. Взаємодія і збалансованість кругобігів речовин у біосфері

Процеси кругобігу речовин у біосфері здійснюються збалансовано. Переважна більшість речовин, залучених до біологічного кругобігу, повертається у мінеральний стан і стає доступною для повторного використання живою речовиною. Лише невелика їхня частка відкладається у осадових породах, але ці втрати компенсуються речовинами, які вивільняються з гірських порід у результаті процесів вивітрювання.

Баланс та узгодженість біотичного і геологічного біосферних циклів досягаються завдяки живій речовині, тобто за рахунок утворення нових видів у разі появи нових ресурсів чи нових умов середовища, а також за рахунок формування численних прямих і зворотних зв'язків між різними організмами і факторами середовища. Зазвичай прискорення вивітрювання гірських порід спричиняє зростання кількості біогенних речовин, що у свою чергу стимулює збільшення кількості живої речовини і підвищує інтенсивність процесів винесення речовин у Світовий океан. Там інтенсивніше нагромаджуються донні осади, а у біосфері починає швидко зменшуватися кількість доступних речовин. Біосфера переходить на так званий «голодний» режим, що супроводжується масовим вимиранням видів і посиленням конкурентної боротьби за ресурси. Водночас прискорюються процеси утворення нових, більш конкурентоспроможних та «економних» видів. Проте вимирання відбувається набагато швидше, ніж нове видоутворення. Наприклад, внаслідок катастрофічного вимирання багатьох видів флори і фауни у палеозої і ранньому мезозої відбувалося надзвичайно швидке нагромадження осадових порід протягом кам'яновугільного і крейдового періодів.

Вимирання завжди завершувалося появою на планеті нових класів і типів (відділів) тварин і рослин. Ще й досі серед учених тривають дискусії про причини порушення балансу між біологічним і геологічним кругообігами, однак катастрофічні наслідки цього очевидні. Сьогодні ситуація аналогічна, але, на відміну від попередніх епох, головною причиною порушення кругообігу речовин у біосфері є діяльність людини – так званий *антропогенний фактор*.

По-перше, йдеться про значне штучне прискорення процесів вивітрювання осадових і гранітних порід, пов'язане з видобуванням і переробкою корисних копалин, спалюванням вугілля, нафти, торфу, природного газу. В результаті у атмосфері збільшується вміст вуглекислого газу, оксидів сірки. Внаслідок випадіння кислотних дощів зменшується рН ґрунту, що призводить до переходу багатьох елементів у розчинений стан. Деякі з них у великих концентраціях токсичні та небезпечні для всього живого (наприклад, важкі метали – мідь, цинк, свинець). Це призводить до уповільнення процесів обертання речовин у біологічному циклі, оскільки гинуть носії живої речовини. Та чим більше елементів переходить у розчин, тим більше їх вимивається у Світовий океан, який активно збагачується біогенними елементами. Внаслідок цього частішають спалахи «цвітіння» океану мікроскопічними водоростями, які нерідко пригнічують розвиток консументів, які їх споживають (порівняно з минулими століттями частота спалахів «цвітіння» у Світовому океані зросла у 50-130 разів). Усе це прискорює процеси вилучення з біосфери доступних біогенних речовин та їхньої «консервації» у донних відкладах.

По-друге, людина в процесі своєї господарської діяльності створює численні речовини (наприклад, пластмаси), які надалі не можуть бути ні використані продуцентами, ні розкладені редуцентами до доступних мінеральних речовин. Ці речовини утворюють особливу групу антропогенних «осадових» порід – відходів цивілізації, які археологи називали «культурним шаром». Ці відходи зрештою будуть трансформовані в літосфері у граніти і потім у процесі вивітрювання знов стануть доступними для живої речовини, але відбудеться це тільки через мільйони років. Тому нині існує реальна загроза того, що доступні ресурси біосфери можуть бути перероблені на відходи швидше, ніж завершиться цикл геологічного кругообігу. Що у цьому разі станеться з біосферою (у тому числі й з людиною), передбачити нескладно.

Для того, щоб біосфера могла існувати, а процеси, які у ній протікають, не припинялися, мають постійно функціонувати кругообіги біологічно важливих, тобто біогенних речовин. *Біогенними* називають елементи, які обов'язково входять до складу живих організмів: С, Н, О, N, Р, S, К, Са, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Мо,

Cl, Br, I; найголовнішими з них є перші шість – вуглець, водень, кисень, азот, фосфор, сірка. Безперервний кругообіг біогенів є основною умовою існування життя і всієї біосфери. *Кругообіг біогенів* – це взаємний обмін хімічними елементами між компонентами екосистеми, завдяки чому підтримується її структурна цілісність. Головною причиною виникнення кругообігів є постійна невідповідність між потребами організмів і наявністю доступних поживних речовин, що обумовлює необхідність повторного циклічного використання біогенів. Щорічно такі цикли призводять до руху приблизно 480 млрд т різних речовин.

4.4.1 Біогеохімічні цикли у біосфері

Виникнення на Землі живої матерії обумовило можливість безперервної циркуляції в біосфері хімічних елементів, їхніх переходів із зовнішнього середовища у організми і назад у середовище. Подібна циркуляція хімічних елементів отримала назву біогеохімічних кругообігів (циклів). *Біогеохімічні цикли* – це частина біологічного кругообігу, що включає обмінні цикли хімічних елементів абіотичного походження, без яких не може існувати жива речовина. Циклами називають більш-менш замкнуті шляхи циркуляції різних речовин із зовнішнього середовища у організми і знов у зовнішнє середовище. При цьому біогенні елементи різними шляхами поперемінно переходять з живої речовини у неорганічну матерію, а з неї – знов у живу речовину.

У ході біогеохімічних циклів атоми більшості хімічних елементів проходять незліченну кількість разів через живу речовину. Наприклад, увесь кисень атмосфери «обертається» через живу речовину за 2 тис років, вуглекислий газ за 200-300 років, а уся вода біосфери – за 2 млн років. Жива речовина є приймачем сонячної енергії. Енергія, яка поглинається в результаті фотосинтезу, а потім запасється у вигляді хімічної енергії вуглеводів, порівнянна з енергією, яку споживають 100 тисяч великих міст протягом 100 років. Гетеротрофи використовують органічну речовину рослин як їжу: органіка окислюється киснем, який доставляють в організм органи дихання, а з утворенням вуглекислого газу реакція йде у зворотному напрямку. Таким чином, одночасне існування автотрофів і гетеротрофів робить життя практично вічним.

Під час кругообігів відбувається колоподібна циркуляція речовин між повітрям, ґрунтом, водою, рослинами, тваринами і мікроорганізмами; мінеральні речовини, потрібні для життя, поглинаються, трансформуються, надходять з навколишнього середовища до складу рослин, від них, через ланцюги живлення, у вигляді органічних речовин – до тварин, далі через ланку редуцентів – знов у навко-

лише середовище у вигляді неорганічних речовин. Завдяки наявності в атмосфері й гідросфері значного резервного фонду вуглецю, азоту, кисню, сірки, фосфору кругообіги можуть відносно швидко *саморегулюватися*. Рослини використовують сонячну енергію з ефективністю від 0,1 до 1%; рослиноїдні тварини споживають близько 10% енергії, акумульованої рослинами; хижаки – до 10% накопиченої травоядними тваринами, тобто усього близько 0,001% сонячної енергії, що надходить до Землі.

Кругообіг вуглецю. Розглянемо найпростішу схему руху вуглецю – біогеохімічний цикл вуглецю, один з найважливіших у біосфері, оскільки з ним прямо пов'язані *вміст кисню у атмосфері, а також зміни планетарного клімату*. Вуглецевий цикл відбувається у такій послідовності: спочатку з атмосфери вуглець у складі вуглекислого газу поглинається рослинами у процесі фотосинтезу з утворенням органічних речовин та побічним виділенням кисню (Рис. 39). Рослинами вуглець частково повертається в атмосферу при диханні, а решта переходить у опад (листя, квітки, гілки) у складі органічної речовини, яку синтезували рослини. Редуценти розкладають цей опад, і вуглець у формі вуглекислого газу знов надходить до атмосфери. Частина вуглецю накопичується в біосфері у формі CaCO_3 (крейда, вапняки, корали), кам'яного вугілля, нафти тощо; при цьому ця частина вуглецю надовго «випадає» з кругообігу. Але під впливом коріння рослин, ґрунтових тварин, а також діяльності людини (особливо енергетичної і промислової) вуглець може бути звільнений і знов опинитися у межах кругообігу.

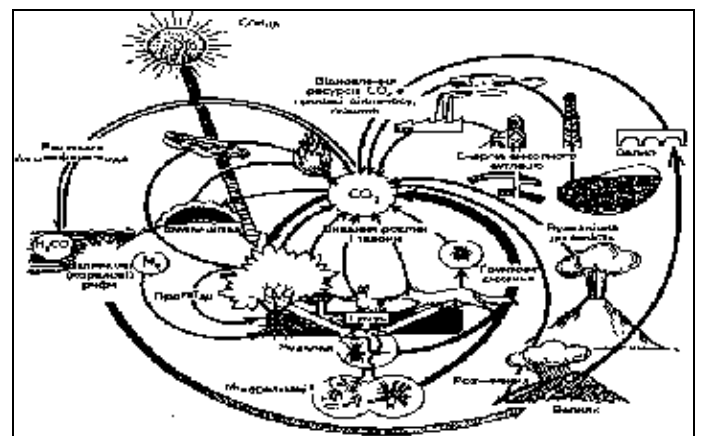
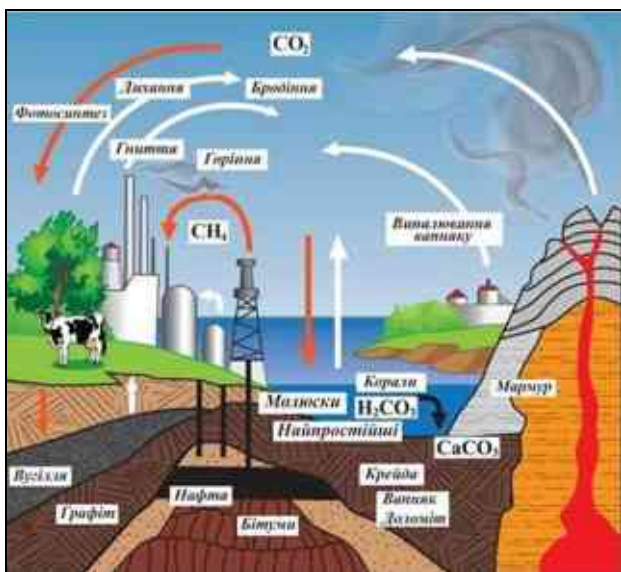


Рис. 39. Біогеохімічний цикл вуглецю

Щорічно у біосфері в процесі фотосинтезу зв'язується у середньому 60 млрд т вуглецю; у процесі розкладу органічної речовини вивільняється 48 млрд т; надходить у ґрунт – 10 млрд т; залишається в осадовій товщі літосфери – 1 млрд т;

надходить в результаті згоряння палива – приблизно 4 млрд т вуглецю. Увесь вуглекислий газ атмосфери і гідросфери обмінюється та поновлюється живими організмами за 395 років. Подібно кругообігу вуглецю відбуваються кругообіги інших хімічних елементів: азоту, фосфору, сірки тощо.

Кругообіг кисню. Тут чітко виражені активна геохімічна діяльність живої речовини та її першорядна роль у цьому процесі. Біогеохімічний цикл кисню є планетарним процесом, що пов'язує атмосферу і гідросферу із землею корою. Він відбувається у такій послідовності (Рис. 40):

- утворення вільного кисню у процесі фотосинтезу в зелених рослинах;
- споживання утвореного кисню для здійснення дихальних функцій всіма живими організмами, а також для реакцій окислення органічних решток і неорганічних речовин;
- інші хімічні перетворення, що ведуть до утворення таких окислених сполук, як двоокис вуглецю і вода, та їхнього послідовного залучення у новий цикл фотосинтетичних перетворень.

Щорічно зелена рослинність нашої планети продукує приблизно 300×10^9 т кисню. Близько 75% цієї кількості виділяється рослинами суші і трошки більше 25% – фотосинтезуючими організмами Світового океану. З кругообігом кисню тісно пов'язане *утворення озону*. У високих шарах атмосфери під впливом ультрафіолетової частини сонячного спектру відбувається іонізація частини молекул кисню і утворюється атомарний кисень, котрий негайно приєднується до збуджених молекул кисню, утворюючи озон – трьохатомний кисень. Поглинаючи у процесі утворення значну частину жорстких ультрафіолетових промінів, озон відіграє величезну захисну роль для всієї біосфери, оскільки багато з молекулярних структур живих організмів руйнуються під дією жорсткого ультрафіолету.

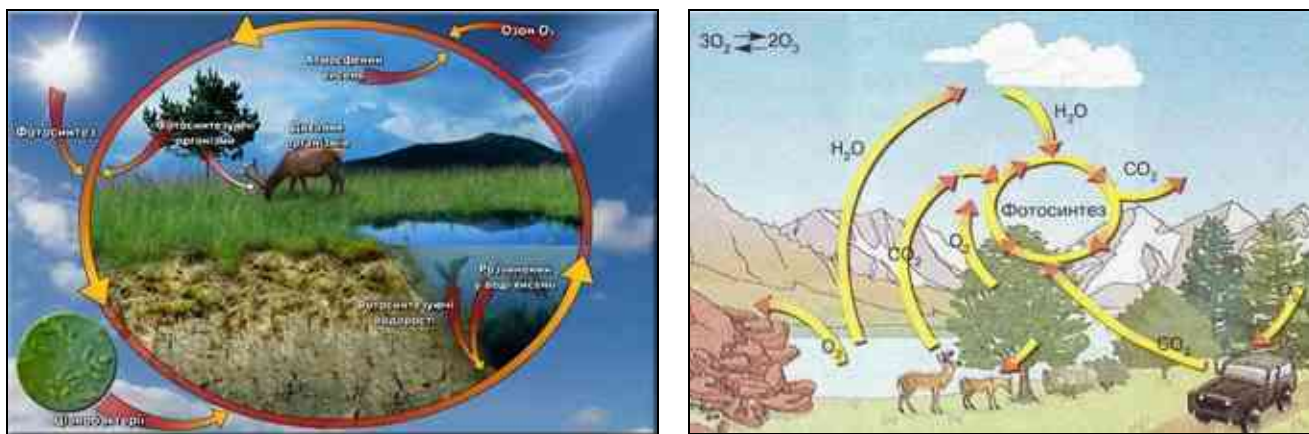


Рис. 40. Схема біогеохімічного циклу кисню

Кругообіг азоту. Майже увесь природний азот знаходиться у вільному стані в атмосферному повітрі, де його вміст становить 78%. Але це дуже незначна частка – усього 0,04% від загальної маси хімічних елементів на планеті. Цей вільний азот, необхідний кожній живій клітині, може засвоюватися лише мікроорганізмами, які фіксують азот. Це головним чином бульбочкові бактерії, що мешкають на коріннях бобових рослин. Азот входить до складу всіх білків і нуклеїнових кислот, але разом з тим він є *найбільш лімітуючим* з усіх інших біогенних елементів. Бактерії (анаеробні й ціанобактерії) переводять вільний азот у сполучені форми: амоній NH_3 , нітрити NO_2 , нітрати NO_3 . Вони складають основу живлення рослин, грибів і мікроорганізмів, які утворюють амінокислоти, пептиди і білки. Таким чином азот переходить в усі живі організми, де становить 1% сухої біомаси.

Отже, джерелом азоту в біосфері є сполуки азоту (нітрати і нітрити), які поглинаються рослинами з ґрунту і води (Рис. 41). Провідна роль у цьому кругообігу належить мікроорганізмам – азотфіксаторам, нітрифікаторам і денітрифікаторам. Щорічно азотфіксуючі організми суші уловлюють приблизно $4,4 \times 10^9$ т, а у водному середовищі щорічна біологічна фіксація складає $1,0 \times 10^9$ т, тобто у 4,4 рази менше порівняно із сушею. Сучасні порушення перебігу циклу азоту в біосфері є наслідком антропогенної діяльності – спалювання мінерального палива (на транспорті, у теплоенергетиці) та виробництва азотних добрив.

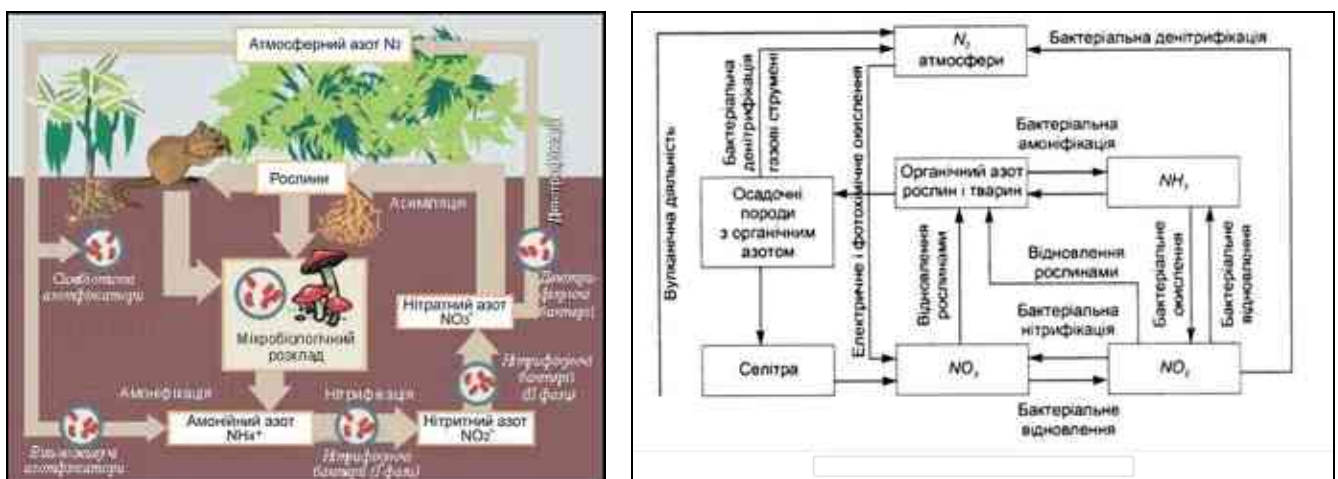


Рис. 41. Біогеохімічний цикл азоту в біосфері

Кругообіг фосфору. Біогеохімічний цикл фосфору істотно відрізняється від циклів вуглецю чи азоту. По-перше, джерелом фосфору є не атмосфера, а земна кора; по-друге, фосфор не відіграє ролі одного з найголовніших елементів біосфери. Але органічні сполуки фосфору мають дуже важливе значення у процесах життєдіяльності всіх рослин і тварин, оскільки входять до складу нуклеїнових ки-

слот, складних білків та є основою біоенергетичних процесів. Джерелом фосфору служить літосфера, зокрема гірські породи, які містять фосфор, – фосфорити, апатити тощо. У процесі вивітрювання гірських порід фосфор переходить у ґрунтовий розчин і стає доступним для рослин.

На суші відбувається інтенсивний кругообіг фосфору в системі *ґрунт – рослини – тварини – ґрунт*. Редуценти мінералізують органічні сполуки фосфору в неорганічні форми – фосфати, які знов споживаються коріннями рослин. Фосфати виносяться з річковим стоком, взаємодіють з кальцієм; утворюються фосфорити, поклади яких з часом виходять на поверхню і за допомогою тварин знов включаються до міграційних процесів (Рис. 42). Також кругообіг фосфору відбувається і у системі *суша – Світовий океан*. За деякими підрахунками, щорічно у Світовий океан виноситься $1,4 \times 10^7$ т фосфору, а повертається назад на сушу (в основному з продуктами морського промислу)десь приблизно 10^5 т. Тому проблема дефіциту фосфорного живлення є проблемою практично усіх екосистем.

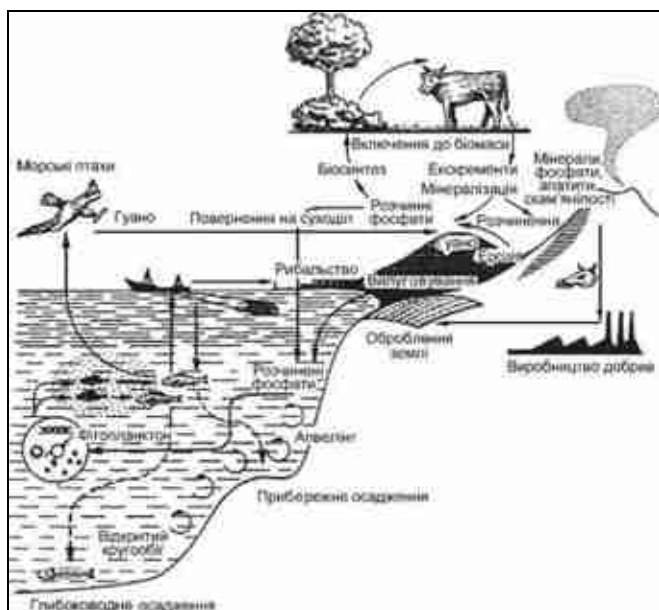


Рис. 42. Кругообіг фосфору в біосфері

У природі найчастіше саме нестача фосфору стримує розвиток біоти. З одного боку, фосфорні сполуки швидко вимиваються у Світовий океан внаслідок процесів ерозії ґрунту. Багато фосфору виноситься в океан і з неочищеними стічними водами. В океані цей фосфор частково використовується водоростями, а потім споживається морськими консументами і редуцентами. Певна частина фосфору може знову відкладатися на суші. Наприклад, послід морських рибоїдних птахів, який містить багато фосфору, нагромаджується у пташиних колоніях і на пташиних базарах, утворюючи так зване гуано – корисну копалину, що інтенсив-

но добувається в деяких країнах (зокрема у Чилі) і використовується для виробництва фосфатних мінеральних добрив.

Проте більша частка фосфору нагромаджується на дні з відмерлими рештками морської біоти. Цей фосфор може знову стати доступним для біоти тільки з часом у геологічному вимірі, наприклад, після підняття певних ділянок морського дна (щоправда, нині людина вже почала розробляти й морські родовища фосфоритів). З іншого боку, на суші значна частина мінерального фосфору утворює нерозчинні комплекси з ґрунтовими частинками і стає недоступною для продуцентів, а отже, і для інших ланок трофічних ланцюгів. Лише деякі ґрунтові гриби здатні вилучати фосфорні сполуки з цих комплексів.

На відміну від циклів вуглецю, кисню і азоту, цикл фосфору в біосфері істотно розімкнений, оскільки значна частина континентального стоку фосфатів падає в глибинні океанічні осадки і накопичується там, виходячи із кругообігу. У ґрунті й природних водах фосфор постійно перебуває у дефіциті. Крім того, в результаті господарської діяльності людини (особливо виробництва фосфорних добрив) ланцюг кругообігу фосфору в біосфері порушений. Тому фосфор вважається найслабкішою ланкою біотичного кругообігу біосфери.

Кругообіг сірки. В біосфері сформувався достатньо розвинутий процес циклічних перетворень сірки та її сполук. Сірка входить до складу амінокислот, білків та інших складних органічних сполук. Сірка – необхідний компонент багатьох органічних речовин, серед яких передусім амінокислота цистеїн. Головним джерелом сірки є розчинені у воді продукти вивітрювання гірських порід (найчастіше сульфіді заліза як основний компонент колчеданів) або сірководень і сірчистий газ, які виділяються в атмосферу вулканами, гейзерами, гарячими джерелами. Сірководень, окиснений атмосферним киснем до сірчистого газу, розчиняється у водяній парі атмосфери і випадає з дощем на поверхню планети. Потреби організмів у сірці відносно невеликі, а природні резервуари сірки величезні, тому сірка не є лімітуючим біогеном.

В обмінному фонді сірки головна роль належить спеціалізованим мікроорганізмам, одні види яких виконують реакцію окислення, інші – відновлення. У регуляції глобального кругообігу сірки беруть участь повітря, вода і ґрунт. Сульфат (SO_4) є основною доступною формою сірки, що відновлюється автотрофами і включається у білки. До складу живої речовини сірка потрапляє шляхом поглинання розчинених у воді іонів сульфатів рослинами-продуцентами. Потім сірка у складі рослинних білків ланцюгами живлення потрапляє до консументів і редуцентів (Рис. 43). У анаеробних умовах (наприклад, у болотах) редуценти розклада-

ють білки з виділенням сірки у вигляді сірководню, який може бути окислений до молекулярної сірки або до розчинних сульфатів і сульфідів. У такій формі сірка знову стає доступною для продуцентів.

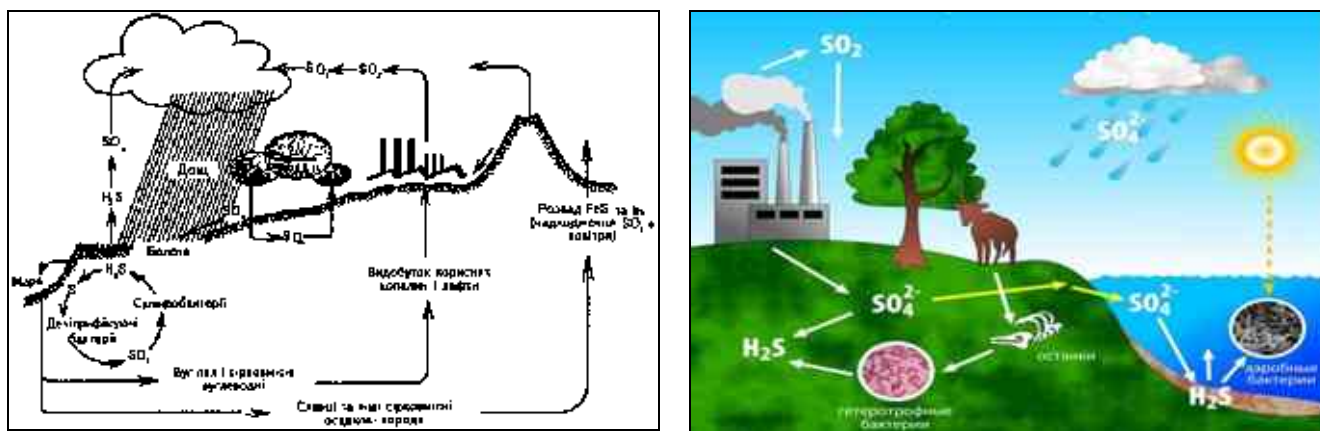


Рис. 43. Біогеохімічний цикл сірки в біосфері

Нині на кругообіги азоту і сірки все більше впливає техногенне забруднення повітря, особливо спалювання викопного палива. Майже третина сірки, що циркулює в біосфері, потрапляє в атмосферу з димогазовими викидами заводів, фабрик і теплових електростанцій. Ця «зайва» сірка, розчиняючись у атмосфері з утворенням сірчаної та сірчистої кислот, випадає у вигляді кислотних дощів, які призводять до швидкої деградації природних екосистем.

Кругообіг біогенних катіонів – Na, K, Ca, Mg. Ці елементи у вигляді іонів потрапляють до живої речовини у процесі поглинання води рослинами, а також під час уживання питної води. Вони виконують різноманітні функції. Наприклад, калій необхідний для роботи калій-натрієвого насоса клітин, магній – обов'язкова складова хлорофілу, кальцій потрібний для підтримання постійного рН цитоплазми, він є головним компонентом панцирів, будиночків, скелетів багатьох тварин. Подібно до азоту, фосфору й сірки, ці елементи мігрують трофічними ланцюгами від продуцентів через консументів до редуцентів. Після загибелі організму вони швидко переходять у водні розчини і знов стають придатними для подальшого використання.

У морях кальцій і магній частково вилучаються з біологічного кругообігу і консервуються в осадових породах. Наприклад, мікроскопічні морські водорості відкладають кальцій у вигляді карбонатів на поверхні клітин, утворюючи так звані кокколіти. Після відмирання клітин кокколіти не встигають повністю розчинитися у воді і осідають на дно, формуючи крейдові осадові породи. Лише у геологічному вимірі часу, після підняття певних ділянок дна, нагромаджений у крейді

кальцій вивільняється в процесі вивітрювання і знов стає доступним для біоти. Отже, у природних водах, особливо в океані, реалізується потужна функція гідробіонтів щодо концентрації кальцію і магнію.

В.І. Вернадський, узагальнюючи відомості про міграції різних біогенів у біосфері, сформулював **закон біогенної міграції атомів**. Сутність його така: *міграція хімічних елементів на земній поверхні і у біосфері в цілому відбувається або за безпосередньої участі живої речовини, або ж вона протікає у середовищі, геохімічні особливості якого обумовлені живою речовиною – як тією, що зараз населяє біосферу, так і тією, що діяла на Землі протягом усієї геологічної історії*. Іншими словами, кожен організм обирає з навколишнього середовища необхідні йому хімічні елементи у вигляді сполук і атоми у вигляді ізотопів. При цьому біохімічні процеси розпадаються на два типи: перші пов'язані з живленням, диханням, розмноженням організмів, другі – з руйнуванням тіла відмерлих організмів і переходом живої речовини у косну матерію.

Цей закон має широке поле проявів на поверхні Землі. Йдеться про те, що *шляхи міграції основних біогенних елементів та їхня концентрація у зовнішніх сферах Землі давно вже контролюється біосферою*. Без такого регулюючого впливу Земля давно втратила б не просто кілька найменш пристосованих видів, а й усю свою біосферу. Тобто міграція хімічних елементів на земній поверхні та у біосфері в цілому здійснюється під провідним впливом живої речовини. Так відбувалося і у геологічному минулому, мільйони років тому, так відбувається і у сучасних умовах. Жива речовина або бере участь у біохімічних процесах безпосередньо, або створює відповідне, збагачене киснем, вуглекислим газом, воднем, азотом, фосфором та іншими речовинами середовище.

Закон біогенної міграції атомів має важливе практичне і теоретичне значення. Розуміння всіх хімічних процесів, що відбуваються у геосферах, неможливе без урахування дії біогенних факторів, зокрема – еволюційних. Нині люди впливають на стан біосфери, змінюють її фізичний і хімічний склад, умови біогенної міграції атомів. У недалекому майбутньому це може спричинити негативні зміни, які підривають здатність до саморозвитку, стають глобальними і некерованими (зокрема, спустелення, деградація ґрунтів, вимирання багатьох видів організмів тощо). Використовуючи цей закон, суспільство може свідомо запобігти розвитку небажаних явищ, а також керувати біогеохімічними процесами, використовуючи екологічні методи.

Залучення тих чи інших речовин у кругообіг забезпечується розвинутою системою *інформаційних зв'язків* між різними видами живої речовини – фізичних

(звук, колір, світло, температура) і хімічних (запах). Інформаційні зв'язки поєднують усі частини екосистем і сприяють збільшенню їхньої стійкості, тобто здатності залишатися у стабільному стані або швидко відновлюватися після тих чи інших зовнішніх впливів. Звісно, чим більше навантаження на екосистему, тим довшим буде період її відновлення.

Біохімічні функції біосфери дуже різноманітні, але ця різноманітність має єдину сутність: у своєму глобальному прояві «сфера життя» виступає акумулятором і також трансформатором сонячної енергії. Завдяки біосфері на всій планеті здійснюється активний зв'язок Землі з Космосом. Кількість сонячної енергії, яка акумулюється живою речовиною, величезна – щорічно у процесі фотосинтезу рослини зв'язують $7,178 \times 10^{18}$ кДж енергії. Кругообіги різних речовин і біогенів сильно різняться і швидкістю перебігу, і процесами руху елементів, але всі вони мають дві спільні риси: по-перше, вони пов'язані з потоком енергії, який проходить через кожен екосистему; по-друге, хімічні елементи, що беруть участь у біохімічних процесах обміну речовин, поперемінно переходять з косної речовини у живу і назад – у косну.

Отже, всі кругообіги хімічних елементів і речовин, які відбуваються у біосфері, є вельми складними, тому далеко не всі їхні механізми остаточно вивчені. Але абсолютно ясным є те, що усі кругообіги тісно пов'язані, переплітаються між собою, іноді зливаються, утворюючи в біогеоценозах єдиний біогеохімічний цикл, притаманний конкретній екосистемі. Ці цикли, у свою чергу, об'єднуються у єдиний потужний глобальний біотичний кругообіг біосфери, що пов'язує живу і косну речовину всієї планети. При цьому сама біосфера, як стійка жива екосистема глобального масштабу, значною мірою є результатом даного процесу.

4.5 Антропогенна трансформація біосфери

Біосфера існувала без людини мільярди років. Тільки в антропогені (2,5-3,5 млн років тому) виникли перші предки людини – презиндкантропи. Ці та наступні людиноподібні істоти функціонально вписувалися у структуру тих природних екосистем, у яких вони мешкали, і були пов'язані трофічними та іншими взаємозв'язками з усіма їхніми компонентами. І лише після появи перших виробничих навичок і знарядь праці почали формуватися якісно нові взаємовідносини між людиною та її природним оточенням. Лише *Homo sapiens* започаткував історичні зміни в біосфері, які з часом стали загрожувати як стабільності біосфери, так і нормальному існуванню самої людини.

Нині людина у біосфері є новою силою, новим фактором. Наприклад, за рахунок роботи тисяч радіостанцій, телепередавачів, релейних ліній тощо Земля випромінює енергії у радіодіапазоні (на метрових хвилях) більше, ніж Сонце. Нині внаслідок діяльності людини до біосфери потрапило вже близько 50 тисяч різновидів хімічних речовин, абсолютно не властивих природі. За Вернадським, у найбільш загальному вигляді *вплив людини на біосферу* можна звести до таких головних форм:

- Зміна структури земної поверхні відбувається внаслідок розорювання степів, вирубування лісів, створення штучних водойм тощо.
- Зміни складу біосфери, кругообігів і балансу речовин є наслідком таких дій людини, як вилучення з надр корисних копалин, викиди різних шкідливих речовин в атмосферу чи водні об'єкти тощо.
- Внаслідок бурхливої діяльності людини відбуваються зміни енергетичного балансу окремих регіонів земного шару, які є небезпечними для всієї планети.
- Значні зміни біоти відбуваються у результаті знищення деяких видів, створення нових порід тварин і сортів рослин, а також їхнього переміщення на нові місця мешкання.

Можливі наслідки антропогенно-техногенного впливу людини на біосферу відображені у Табл. 9.

Найхарактернішими рисами сучасних антропогенних перетворень у масштабах біосфери є такі: зведення лісів, розорювання, різні види ерозії ґрунтів, спустелення великих територій внаслідок нераціональної сільськогосподарської діяльності; збіднення видової різноманітності рослин і тварин; евтрофікація водних екосистем внаслідок поверхневого змиву із забруднених територій; техногенне забруднення поверхневих і підземних вод тощо. Усі антропогенні перетворення біосфери хронологічно можна поділити на такі етапи:

- ◆ Перший – *ініціальний* етап первісного впливу на чисельність особин окремих видів рослин і тварин, які людина використовувала для задоволення своїх життєвих потреб; він тривав десятки тисяч років, а почався понад 40-50 тис років до н.е. – у верхньому неоліті.

Табл. 9. Вплив антропогенних факторів на біосферу, здоров'я і добробут населення

<i>Антропогенні фактори</i>	Біосфера			Людина	
	<i>Зміна властивостей основних елементів біосфери</i>	<i>Геофізичні і геохімічні наслідки та ефекти</i>	<i>Екологічні наслідки, порушення екосистем</i>	<i>Вплив на здоров'я людей</i>	<i>Соціальні наслідки</i>
Викиди у біосферу хімічно і фізично активних речовин.	Зміна складу та властивостей атмосфери.	Зміни циркуляції в атмосфері і в океані.	Зміни наземних і водних екосистем, порушення їх стійкості.	Погіршення працездатності.	Зміни виробництва продуктів харчування.
Викиди у біосферу інертного матеріалу.	Зміна складу і властивостей вод суші.	Зміна погоди і клімату.	Зміна екосистем океану.	Естетичний збиток, погіршення настрою.	Зміна структури енергоспоживання.
Пряме нагрівання біосфери.	Зміна складу і властивостей вод Світового океану.	Перерозподіл та зміна водних і кліматичних ресурсів.	Генетичні ефекти.	Хвороби, стрес.	Зміна економіки.
Фізичний вплив (урбанізація, орання, ерозія, пожежі).	Зміна стану біоти.	Порушення озонового шару, іоносфери.	Зникнення існуючих видів та поява нових.	Генетичні ефекти.	Можливість порушення розвитку суспільства.
Біологічний вплив (розвиток агроценозів, інтродукція видів тощо).	Зміна літосфери (механічні порушення, накопичення відходів).	Зміна прозорості атмосфери, погіршення проходження сонячного випромінювання.	Падіння біопродуктивності, зменшення чисельності популяцій, деградація лісів тощо.	Зменшення тривалості життя.	
Вилучення та знищення ресурсів (відновних і невідновних).	Зміни кріосфери.	Ерозія та зміна альбедо земної поверхні.	Деградація ґрунтів, спустелення.	Зменшення темпів зростання населення.	
Антропогенні потоки речовини (транспортні).	Зміна властивостей поверхні суші і ґрунтів.	Порушення природних геохімічних циклів, кругообігів різних елементів.	Зміна здатності біосфери до виробництва ресурсів, виснаження невідновних ресурсів.	Зменшення чисельності населення у різних масштабах.	

- ◆ Другий – *материковий* етап поступового посилення впливу виробничої діяльності на структуру популяцій експлуатованих видів рослин і тварин, а також на біогеоценотичний покрив суші внаслідок розвитку мисливства, рибальства, скотарства, землеробства і різних ремесел; його тривалість – кілька тисячоліть – від бронзового віку (4-2 тисячоліття до н.е.) до промислової революції наприкінці XVIII ст.
- ◆ Третій – *океанічний* етап значної трансформації «плівки життя» у зв'язку з розвитком машинної індустрії, шляхів сполучення, транспорту, гірничодобувної промисловості, урбанізації, сільського господарства; його тривалість не перевищувала 150-170 років – у проміжку між промисловим переворотом і науково-технічною революцією середини XX ст.
- ◆ Четвертий – *глобальний* етап розпочався після науково-технічної революції, що призвела до виробництва машин і механізмів нового покоління. Це дало змогу виготовити величезні запаси термоядерної зброї, освоїти Космос і глибокі шари літосфери, приборкати різноманітні людські хвороби, а також спричинило істотне забруднення природного середовища синтетичними отруйними речовинами, важкими металами, радіонуклідами, канцерогенами тощо. З іншого боку, це також етап розгортання міжнародного співробітництва з охорони довкілля, генофонду і біологічного розмаїття Землі, управління глобальними демографічними, соціально-економічними, екологічними та іншими процесами. Саме на цьому етапі біосфера, за висловом В.І. Вернадського, перейшла у ноосферну стадію свого розвитку.
- ◆ П'ятий – *космічний* етап, започаткований наприкінці XX ст., можна назвати етапом структурно-функціональних змін біосфери. Людство не лише продовжує інтенсивну експлуатацію біотичних ресурсів і корисних функцій екосистем, але й здійснює безпосередній вплив на функціональні показники біосфери через забруднення Космосу, руйнування озонового екрану, посилення парникового ефекту. Можна говорити про перетворення «плівки життя» на об'єкт виробничого використання без огляду на її визначальну організаційну роль у біосфері. Найважливішою проблемою глобального масштабу стає забезпечення сталого розвитку і ефективного управління екологічними процесами. Це етап виходу виробничої діяльності людини *далеко за межі біосфери*.

Нині людина володіє різноманітними засобами впливу на структурно-функціональну організацію біосфери та підпорядкованих їй екосистем у межах їхнього гомеостазу. Це проявляється передусім у вирубуванні або зрідженні лісів, відстрілі мисливських тварин, заготівлі лікарської сировини тощо. Людина здатна

модифікувати або навіть перебудовувати регуляторні механізми екосистем, наприклад, схрещувати корисні види і формувати штучні популяції, змінювати домінантні види в екосистемах. Крім цього, людина навчилася створювати штучні живі системи – рисові поля у степовій зоні, космічні лабораторії для існування живих істот у космічному просторі. Але функціонувати ці системи можуть лише за умови штучного підтримування з боку людини шляхом створення відповідних умов для існування біоти.

Під впливом людини на поверхні Землі у межах первинної біосфери сформувався новий стан природи, який радянський біогеофізик Генріх Францович Хільмі назвав біотехносферою. *Біотехносфера* (техносфера, технобіосфера) – це область нашої планети, де існує жива речовина і створені людиною урбаністично-технічні об'єкти і де проявляються їхня взаємодія та сумісний вплив на зовнішнє середовище. На відміну від біосфери, біотехносфера не є самостійно керованою організованою системою, а є, навпаки, складним конгломератом багатьох підсистем, якими управляє людина. Ці підсистеми не акумулюють, а витрачають енергію, біомасу і кисень біосфери.

Прогресуючий процес освоєння природно-ресурсного потенціалу біосфери є закономірним і неминучим. Але для того, щоб людська популяція зберіглася в умовах можливих біосферних змін, спричинених антропогенним тиском, людству необхідно сформувати для себе нову екологічну нішу. Процес управління біосферними явищами має включати три етапи: по-перше, формування цілей управління; по-друге, формування програми досягнення цілей управління; по-третє, створення механізмів зворотного зв'язку, що перешкоджатимуть прояву випадкових і непередбачуваних зовнішніх впливів.

Отже, з появою на планеті Земля біологічного виду найвищої організації – людини, з її розвитком, розмноженням, міграціями, адаптацією та небаченою активізацією діяльності у біосфері почали розвиватися процеси особливого, антропогенного характеру. Із самого початку поведінка людини у довкіллі стала відрізнятися від поведінки інших вищих істот агресивністю. Людина була не рівноправним співмешканцем у середовищі існування, а підкорювачем, насильником, жадібним споживачем, не здатним до самообмеження.

У ті часи, коли кількість людей на Землі була порівняно невеликою, а їхній інтелектуальний і технічний потенціал – дуже слабким, природа практично не відчувала на собі тиску людини, тому вона легко самоочищувалася і самовідновлювалася. Сотні тисяч років тому, в епохи палеоліту, мезоліту, для людської спільноти характерним було пристосування до природи, велика повага до неї, схи-

ляння перед її силами та явищами. Люди збирали дари природи, виготовляли примітивні знаряддя праці, полювали, рибалили. Вплив людини на довкілля був мінімальним і практично не позначався на функціонуванні екосистем суші, а на екосистемі Світового океану людина не впливала взагалі.

Першого удару природі люди завдали, розпочавши інтенсивно розвивати землеробство, особливо коли для підготовки площ під сільськогосподарські угіддя стали випалювати тисячі гектарів лісу (пізній неоліт). Коли людина винайшла лук, спис та інші ефективні знаряддя вбивства, дуже швидко (можливо, за кілька тисячоліть) майже на усій планеті були винищені мамонти, шаблезубі тигри та інші великі тварини – саме тоді й почалася перша глобальна екологічна криза. З часом людська діяльність обернулася на могутню силу, здатну впливати на природу не лише у межах окремих районів і континентів, а й на планеті в цілому. Проте свого ставлення до природи, її ресурсів людина за тисячоліття не змінила, і це призвело до виникнення глобальних кризових екологічних ситуацій.

4.6 Основні ідеї вчення про ноосферу

В.І. Вернадський вважав, що під впливом наукової думки і людської праці біосфера повільно переходитиме у новий стан – **ноосферу**. Свої біосферні функції людина зможе повноцінно виконати лише в епоху ноосфери.

П'єр Тейяр де Шарден



Термін «ноосфера» запропонував у 1925 році французький теолог і філософ, священник-єзуїт, палеонтолог *П'єр Тейяр де Шарден* (1881-1955) – один з творців теорії ноосфери. Але тоді цей дещо спіритуалістичний нематеріальний термін був відокремлений від науки. Вернадський же пізніше визначив ноосферу як біосферу, що контролюється розумом людини.

Французький математик і також філософ (католицький модерніст) *Едуард Леруа* у 1927 р. трактував поняття «ноосфера» як «мислячу» оболонку, що формується людською свідомістю. Розглянувши закономірності еволюції життя, Е. Леруа дійшов висновку, що в людині біологічна еволюція себе вичерпала. Подальша еволюція живого на планеті, за його твердженням, здійснюватиметься тільки духовними засобами: суспільні відносини, мова, розум тощо. І це буде ноосфера, яка зможе замінити біосферу. Під ноосферою Леруа розумів закономірний етап розвитку органічного світу, коли провідна роль в еволюції належатиме духовній тво-



рчості людини та продуктів її праці. І у цьому його погляди відрізнялися від уявлень Тейяра де Шардена, який розглядав ноосферу як мислячий пласт, який поступово розгортається зі світу тварин і рослин та приходить на останньому етапі психогенезу до усвідомлення тотожності усього сущого з точкою «Омега» – божеством.

Е. Леруа

На думку Шардена, весь універсум охоплений процесом розвитку космогенезу. Космогенез складається з таких етапів: біогенезу (виникнення та еволюції живого), антропогенезу (становлення людини), ноогенезу (розвитку мислячої матерії) та христовгенезу (генези Христа у речах). На кожному з цих етапів відбувається специфічний розвиток: спочатку *віталізація*, тобто виникнення форм життя; далі *інтеріоризація* – виникнення спільності існування людей; потім *планетизація* – перетворення людства у надорганізм і, нарешті, *амортизація* – злиття у точці Омега любові абсолютної і особистої, Людини і Христа.

Ключові положення, які лягли в основу концепції ноосфери, опрацьовувалися задовго до її створення. Маються на увазі думки про особливу роль людини у геологічній історії Землі, які висловлювалися представниками різних галузей науки: Л. Агассісом, Ж. Бюффоном, А. Павловим, С. Подолинським, П. Флоренським, фізіократами, Ч. Шухертом. Проте безпосередніми творцями вчення про ноосферу були Е. Леруа, П. Шарден і В. Вернадський. Праці Леруа і Шардена, присвячені сфері розуму, з'явилися раніше, ніж аналогічні праці В. Вернадського, проте у своїх роботах французькі філософи ґрунтувалися на положеннях, висловлених українським вченим під час читання ним лекцій у Сорбонні 1922-1923 рр. На відміну від своїх попередників, Володимир Вернадський створив концепцію ноосфери, яка повністю відповідала критеріям науковості. Вернадський запозичив слово «ноосфера», яке йому сподобалося, але аж ніяк не його смисл.

У 1944 р. В.І. Вернадський написав статтю «Декілька слів про ноосферу», де визначив, що ноосфера – це «останній з багатьох етапів еволюції біосфери у геологічній історії – етап наших днів. Перебіг цього процесу тільки починає прояснятися з вивчення її геологічного минулого у деяких своїх аспектах. Ноосфера – нове геологічне явище на нашій планеті. У ній людина вперше стає величезною

геологічною силою. Вона може й повинна перебудувати своєю працею і думкою своє життя, перебудувати докорінно порівняно з тим, що було раніше».

Могутньою геологічною силою людину вперше назвав російський геолог і палеонтолог Олексій Петрович Павлов (1854-1929), який вказував на антропогенну еру в розвитку Землі. В.І. Вернадський підкреслював, що людство фізично являє собою надзвичайно малу масу речовини планети, але сила його пов'язана не з його матерією, а з роботою його свідомості, з його розумом і спрямованою цим розумом працею. Ноосферу В.І. Вернадський розумів як природне тіло, компонентами якого будуть літосфера, гідросфера, атмосфера і органічний світ, перетворене розумовою діяльністю людини. Вчений був переконаний у закономірному характері виникнення ноосфери: «Вибух наукової думки у ХХ ст. підготовлений усім минулим біосфери і має глибокі корені в її будові. Він не може зупинитися і піти назад. Він може хіба що сповільнитись у своєму темпі... Біосфера неминуче перейде так чи інакше, рано чи пізно, у ноосферу». В. Вернадський прийшов до концепції ноосфери в останні роки свого життя. Отже, у ній відобразилися результати його багатолітнього наукового пошуку. Головна праця, присвячена даній проблемі, – «Наукова думка як планетарне явище». Вона не була опублікована за життя вченого і вперше побачила світ у 1977 р. у збірнику «Роздуми натураліста».

Теорія ноосфери Вернадського сформувалася тоді, коли світ складався з трьох взаємопов'язаних елементів: природа – людина – суспільство. До них потім приєднується ще один суттєвий елемент – техніка, яка створена людиною і яка стала головним чинником змін на планеті, особливо з початком наприкінці 50-х років ХХ ст. науково-технічної революції як велетенського якісного стрибка у розвитку науки і техніки. Це й спричинило екологічну проблему – одну з найнебезпечніших з-поміж глобальних проблем людства; почалася руйнація гармонії відносин між людьми та їхнього ставлення до природи.

У 1943 р. Вернадський пише про ноосферу: «Те ж геологічне явище у 1930 р. було виражено інакше, більш, мені здається, чітко. Французькі вчені – математик і філософ – Е. Леруа і палеонтолог-геолог Тейяр де Шарден, виходячи з уявлень про біосферу як про особливу геологічну оболонку Землі, дійшли висновку про те, що біосфера у наш історичний момент геологічно швидко переходить у новий стан – ноосферу, тобто у такий стан, в якому мають проявлятися розум і спрямована ним робота людини як нова небувала на планеті геологічна сила».

З інших праць, зокрема з приміток В. Вернадського до статті «Деякі слова про ноосферу», відомо, що Е. Леруа вживав термін «ноосфера» вже у 1927 р., а Тейяр де Шарден – ще у 1925 р. У листі до геолога Бориса Лічкова від 7 листопа-

да 1936 р. Вернадський недвозначно зазначає: «Я приймаю ідею Леруа про ноосферу. Він розвинув глибше мою біосферу. Ноосфера витворилася у постпліоценову епоху – людська думка охопила біосферу і змінює усі процеси по-новому, і у підсумку активна енергія біосфери збільшується».

Отже, термін «**ноосфера**» (від грец. *pous* – розум, *sphaira* – куля) запропонував *П'єр Тейяр де Шарден* у 1925 р. Зміст його, розвинений Вернадським, такий: впливати на природу, змінювати біосферу слід особливо раціонально, думаючи не про нинішні вигоди, а про майбутні наслідки. Ноосфера – це сфера взаємодії суспільства і природи, у межах якої розумна людська діяльність стає визначальним чинником розвитку.

Обов'язковою умовою діяльності людини має залишатися сприятливий стан біосфери, адже людина, як і інші живі істоти, пристосована лише до тих природних умов, у яких вона виникла і живе. Саме в цьому полягає *сенс ноосфери* – не стихійне руйнівне втручання в природу, а науково обґрунтоване збереження на Землі умов для життя і щастя людей. Тобто *ноосфера* – це найвища стадія розвитку біосфери, яка характеризується збереженням усіх природних закономірностей біосфери та максимальними можливостями суспільства задовольняти матеріальні і культурні потреби людини.

Визначальним показником стосунків між біотичним і соціальним на ноосферній стадії розвитку біосфери є те, що зовнішні збурення поширилися не лише на цілу біосферу, а й на космічне середовище. Антропогенні зміни охопили усі куточки життя, а виробнича діяльність людини розповсюджується далеко за межами біосфери. Для розкриття структурно-функціональної суті системи «природа – суспільство» або «людина – біосфера» потрібні нові підходи та якісно нова інтерпретація глобальних змін.

Основні ідеї ноосферної концепції В.І. Вернадського такі:

- Еволюція біосфери спричинила появу людини, яка відрізняється мисленням і рефлексією. Мислення стає самостійним феноменом, що впливає на подальший розвиток довколишнього світу, і це відбувається певною мірою спрямовано. Останнє є сутністю поняття ноосфери.
- Людство повністю заселило біосферу. Його тиск здійснюється повсюди, має глобальний характер. Потужність впливу людини на довкілля зрівнялась із наймогутнішими природними процесами.
- Людина завжди лишається складовою природи.
- Завданням науки є свідоме формування ноосфери, регулювання через людську діяльність доцільного розподілу природних благ.

У працях Вернадського зазначено низку конкретних умов, необхідних для створення та існування ноосфери. Насамперед, йдеться про такі головні умови:

- заселення людиною всієї планети;
- різке перетворення засобів зв'язку і обміну між країнами;
- початок переважання геологічної ролі людини над іншими геологічними процесами, що відбуваються у біосфері;
- розширення меж біосфери та вихід людини у Космос;
- відкриття нових джерел енергії;
- рівність людей усіх рас і релігій;
- збільшення ролі народних мас у вирішенні питань зовнішньої і внутрішньої політики;
- свобода наукової думки від релігійного, філософського і політичного тиску;
- продумана система підйому добробуту населення з метою недопущення недоїдання, голоду і злиднів, а також послаблення хвороб;
- розумне перетворення природи Землі з метою зробити її спроможною задовольнити усі матеріальні, естетичні і духовні потреби зростаючого населення;
- виключення війн з життя суспільства.

Тепер, коли пройшло вже більше півстоліття, можна легко перевірити, наскільки виконуються ці умови у сучасному світі:

- *Заселення людиною всієї планети.* Ця умова виконана – на Землі практично не залишилося місць, де б не ступала нога людини; вона влаштувалася навіть у Антарктиді. Зараз «немає жодного куточка Землі, де б людина не могла прожити, якщо б це було їй потрібно».
- *Різде перетворення засобів зв'язку та обміну між країнами* – цю умову також можна вважати виконаною. За допомогою радіо, телебачення, Інтернету миттєво можна дізнатися про події у будь-якій точці планети. Засоби комунікації постійно удосконалюються, з'являються такі можливості, про які нещодавно важко було навіть і мріяти. Вернадський писав: «Незабаром можна буде зробити відомими для всіх події, що відбуваються за тисячі кілометрів». Безперечно, це пророцтво вченого вже збулося.
- *Переважання геологічної ролі людини над іншими геологічними процесами, що протікають у біосфері.* Цю умову також можна вважати виконаною, хоча саме переважання геологічної ролі людини у багатьох випадках призвело і продовжує призводити до негативних екологічних наслідків. Обсяг гірських порід, що вилучаються з глибин Землі всіма шахтами і кар'єрами світу, нині майже удві-

чі перевищує середній обсяг лави і попелу, які щорічно виносяться усіма вулканами планети.

- *Розширення меж біосфери та вихід у Космос.* Звичайно, це пророцтво збулося.
- *Відкриття нових джерел енергії.* Умова виконана, але, на жаль, із дуже трагічними наслідками. Атомна енергія вже давно освоєна як у мирних, так і у військових цілях. До речі, питання про використання атомної енергії глибоко хвилювало й самого Вернадського. У передмові до праці «Нариси і промови» він писав: «Недалеко той час, коли людина отримає у свої руки атомну енергію – таке джерело сили, що дасть їй можливість будувати своє життя, як вона захоче... Чи зуміє людина скористатися цією силою, спрямувати її на добро, а не на самознищення...».
- *Рівність людей всіх рас і релігій.* Ця умова якщо і не досягнута повністю, то, у всякому разі, досягається.
- *Збільшення ролі народних мас у вирішенні питань зовнішньої і внутрішньої політики.* Ця умова дотримується майже в усіх країнах з більш-менш розвинутою демократією.
- *Свобода наукової думки від релігійного і політичного тиску.* Важко говорити про виконання цієї умови в країні, де ще зовсім недавно наука перебувала під колосальним політичним тиском. Нині наука від тиску звільнилася, проте через важке економічне становище багато науковців змушені заробляти на життя не науковою працею або їхати за кордон. Проте у розвинутих країнах дійсно створений режим максимального сприяння вільній науковій думці.
- *Продумана система підйому добробуту населення.* Вернадський попереджав, що у процесі переходу біосфери до ноосфери неминучі тимчасові відступи на цьому шляху. Тому про виконання цієї умови поки що стверджувати рано.
- *Розумне перетворення природи Землі з метою задоволення усіх потреб зростаючого населення.* Цю умову не можна вважати виконаною, але перші кроки у напрямку розумного перетворення природи, безумовно, здійснюються.
- *Виключення війн з життя людства.* Цю умову Вернадський вважав надзвичайно важливою для створення та існування ноосфери. На жаль, вона й досі не виконана. З огляду на події в Україні, виникає багато сумнівів, що вона може бути виконаною будь-коли. Світове співтовариство намагається не допустити світової війни, але локальні війни ще уносять багато життів.

Таким чином, більшість із названих Вернадським умов, необхідних для переходу біосфери у ноосферу, сьогодні вже реалізовано. Разом з тим, логіка саморозвитку людства, що діє за схемою «національні держави» – «наднаціональні ци-

вілізації» – «глобальне людство», ще не вичерпала змісту свого другого етапу. Попереду людство чекає довгий історичний період створення наднаціональних, континентальних і міжконтинентальних соціально-політичних утворень, період їхньої мирної співпраці, а можливо – і конфліктного протистояння. При цьому жодна з провідних цивілізацій світу не погоджується з нехтуванням власної системи цінностей задля спільної глобальної мети. Однак глобальна екологічна криза не дає людству розкоші затягувати цей етап на століття, погрожуючи вивести параметри біосфери за межі діапазону, придатного для існування людини. Той факт, що резерву часу вже немає, примушує дійти висновку, що конфліктний сценарій розвитку цивілізаційного етапу не лише протидіє ноосферному ідеалу, але й є згубним для всього людства.

Люди мають усвідомлювати, що нині у ноосфері процвітають корупція, тероризм, алкоголізм, наркоманія, проституція; щорічно розкрадається інтелектуальна власність на мільярди доларів. В останні десятиліття зросла кількість психічно хворих людей, виявлено понад три десятки раніше не відомих тяжких інфекційних хвороб. 40% населення світу бракує питної води, а 2,5 мільярди не мають доступу до сучасних енергетичних послуг. Наступає глобальне потепління, вміст у атмосфері основного парникового чинника – вуглекислого газу – зріс удвічі. За період з 1900 р. рівень Світового океану піднявся на 10-20 см. Забруднення довкілля фізичними, механічними, хімічними і біологічними домішками перетворилося на одну з провідних причин зниження «якості» і «кількості» здоров'я людей.

Еволюція людини відрізняється від еволюції усіх інших організмів тим, що людина не пристосовувалася до природи, а ніби відокремлювала себе від неї. Знаряддя праці, одяг, житло, вогонь – усе це прийоми, за допомогою яких людина відгороджується від довкілля, створює своє власне стабільне середовище. А зберігаючи своє внутрішнє середовище, людина у дедалі більших масштабах змінює середовище зовнішнє. На жаль, обсяги цих змін такі, що вже стали загрожувати існуванню самої людини.

Антропологи і фізіологи помітили таку дивну особливість: потенційні можливості мозку людини набагато вищі за її фізіологічні потреби. Мозок людини досяг сучасного рівня складності задовго до того, як виникли культура і цивілізація. Складається враження, начебто еволюція людини задалегідь «передбачала» майбутні потреби виду *Homo sapiens* і наділила його таким «комп'ютером», який чомусь не використовується на повну силу, але, можливо, буде задіяний у майбутньому. За деякими оцінками, мозок сучасної людини реалізує лише близько 2% своїх потенційних можливостей.

Людина у біосфері Землі виступила у ролі нової сили, нового фактора. Людина вже оволоділа і продовжує оволодівати величезними силами природи, і це поставило перед нею найболючіше питання – про саму себе. «Людина вперше реально зрозуміла, – писав В.І. Вернадський, – що вона – житель планети, а тому повинна мислити і діяти у новому аспекті, не лише окремої особини, сім'ї або роду, держав або їхніх союзів, але й у планетарному аспекті».

Нині складаються принципово нові взаємовідносини у системі «людина – біосфера». Щороку людство лише у сільському господарстві перевертає, перелопачує своїми плугами і культиваторами таку масу ґрунту, яка у 200 разів більша, ніж маса піску, глини, мулу, що виносяться у Світовий океан усіма річками Землі. Людство стало провокувати справжні землетруси внаслідок підземних ядерних вибухів, а також будівництва великих водосховищ у сейсмічно небезпечних зонах. Людина не лише використовує усі елементи таблиці Менделєєва, але й створює нові, яких раніше не було на Землі, наприклад, плутоній. Усе добуто з надр людина розсіює на поверхні, колосально прискорюючи переміщення хімічних елементів, руйнуючи ті біогеохімічні цикли, які склалися протягом мільйонів років у біосфері.

Запаси енергетичної сировини, металів та інші, які природа накопичувала у своїх коморах протягом цілих геологічних періодів, людина розтрачує за лічені десятиліття. Натомість вона вносить у природу нові сполуки, здебільшого шкідливі для біосфери. За рахунок техногенної діяльності у біосферу потрапило вже близько 50 тисяч нових хімічних речовин, не властивих природі і зазвичай шкідливих для живих організмів. Люди й далі продовжують діяти у тому самому напрямку, не усвідомлюючи очевидного факту: Земля, на якій вони розвилися до сучасного рівня, – це маленька планета з обмеженими ресурсами і дуже вразливим режимом, і вона вимагає до себе тим обережнішого і дбайливішого ставлення, чим ширшими стають можливості людей порушувати цей режим.

На думку В.І. Вернадського, людина перебере на себе керівництво всіма процесами в біосфері, спрямує її розвиток у потрібному для себе руслі. На зміну «дикій» біосфері має прийти нова оболонка – ноосфера, тобто якісно новий стан біосфери, переробленої, перебудованої розумом людини та її працею. Основоположники вчення про ноосферу вірили, що її становлення приведе до упорядкування природної і соціальної дійсності, до досконаліших форм буття. Цей процес В.І. Вернадський і навіть Тейяр де Шарден пов'язували із соціалістичною організацією життя людей. У деяких випадках ноосфера розглядалася як повне усунення зла, як загальна гармонія.

Екологічні тенденції сучасності, однак, настільки тривожні, що вимагають мислити і діяти, незважаючи на теоретичні стереотипи. Потрібна докорінна зміна уявлень про ноогенез – вчення про ноосферу із самого початку несло у собі елементи утопії. Але нині існує загроза існуванню природи як самостійної цілісності. Тим часом ставлення до ноосфери продовжує залишатися переважно захопленим, ніби її розвиток не стоїть ні у якому зв'язку з кризою сучасної цивілізації. За В.І. Вернадським, «ноосфера – це гармонійне сполучення природи і суспільства, торжество розуму і гуманізму, де зіллються воедино наука, суспільний розвиток і державна політика на благо людини, це – світ без зброї, війн і екологічних проблем, це – мрія, мета, що стоїть перед людьми доброї волі, це – віра у велику місію науки і людства, озброєного наукою». Подібне некритичне ставлення до ноосфери, на жаль, й досі панує у нашій повсякденній свідомості.

Ноосфера як гармонія – *аналог політичної утопії комунізму* та інших мрінь про рай. Відповідно до духу часу вона спирається на науку. Так до неї і треба ставитися, хоча проти надій і утопій взагалі виступати немає сенсу. Вони корисні у тій мірі, наскільки пом'якшують трагічні реалії, допомагаючи жити. Коли ж утопія заважає тверезому погляду на речі, вона може стати небезпечніше за те, від чого рятує. Потрібні реалістичні надії на те, що можливий тривалий спільний розвиток біосфери і ноосфери, за якого швидкість перетворення навколишнього середовища не буде вищою за швидкість нашого пристосування до неї. За ці надії треба боротися, оскільки саме вони є умовою виживання людства.

Оцінюючи роль людського розуму і наукової думки як планетарного явища, Вернадський дійшов наступних висновків:

- Υ Хід наукової творчості є тією силою, якою людина змінює біосферу.
- Υ Ці зміни біосфери відбуваються незалежно від людської волі, стихійно, як природний процес.
- Υ А оскільки середовище життя є організованою оболонкою планети – біосферою, то входження нового чинника її зміни – наукової роботи людства – є природним процесом переходу біосфери у нову фазу – фазу ноосфери.

На шляху перетворення біосфери на ноосферу виникають нові за якістю *кругообіги речовин*, основні ознаки яких наступні:

- Збільшується обсяг матеріалу, що механічно вилучається із земної кори; це пов'язано із зростанням розробок родовищ корисних копалин.
- Відбувається масове споживання (спалювання) продуктів фотосинтезу минулих геологічних епох.

- Антропогенні процеси в біосфері призводять до розсіювання енергії, а не до її накопичення, як це було характерно для біосфери до появи людини.
- Масово створюються речовини, раніше у біосфері відсутні, зокрема, чисті метали. З'являються, хоча і у невеликих кількостях, трансуранові хімічні елементи (плутоній) у зв'язку з розвитком ядерної технології і ядерної енергетики.
- Ноосфера виходить за межі планети Земля внаслідок науково-технічної революції.

Про головну сутність ноосферної концепції В.І. Вернадського можна зробити наступні висновки:

1. Фундаментом концепції ноосфери служить створене Вернадським вчення про біосферу як цілісну планетарну оболонку.
2. Концепція ноосфери відображає стихійний процес переходу біосфери у новий еволюційний стан – ноосферу – під впливом соціальної наукової думки і праці людства. Цей процес зумовлений виникненням і різким прискоренням науково-технічного прогресу на Землі у XX ст.
3. Головним соціальним двигуном переходу біосфери у ноосферу, згідно з передбаченням В.І. Вернадського, служить різке збільшення творчої активності народних мас, їхнє прагнення до здобуття максимального наукового знання, участі у громадському житті й управлінні державою.
4. Єдиною життєздатною соціально-економічною і політичною основою побудови ноосфери є, за Вернадським, науковий соціалізм.
5. Концепція ноосфери висуває основоположною умовою її створення відсутність руйнівних війн між народами.

Успішне вирішення сучасних різноманітних глобальних екологічних проблем неможливе без звернення до учення В.І. Вернадського про біосферу і ноосферу. З появою людства стихійний історичний розвиток життя на нашій планеті постійно ставиться під загальний свідомий контроль людського розуму – це і є той самий процес, який Вернадський уявляв як перетворення біосфери на ноосферу. Він не залишив завершеного вчення про ноосферу, звідси – численні й часто невірні тлумачення самого поняття. Одні автори вважають, що це планетизований потік інформації, який підтримує або змінює структуру світу, інші ототожнюють ноосферу з техносферою, антропосферою і тому подібне. За такого розуміння ноосфери випускається з уваги найголовніше у концепції Вернадського – не лише роль свідомого у процесі перетворення природи, а й думка про творчий вплив людини на навколишнє середовище.

Необхідність оптимізації біосфери учений пов'язував не лише з чисто біосферними потребами людини. Людина сприймалася ним не тільки як чисто природна сила, «геологічний субстрат», але як сила, що оптимізує свою діяльність у природі відповідно до законів природи. Ноосфера – цілісна оболонка Землі, що формується в результаті синтезу технічної і культурної діяльності людей і природних процесів. До появи на Землі людини всі процеси у біосфері базувалися на використанні відновлюваних ресурсів. Нині 90% енергії для своїх потреб людство добуває з невідновних джерел (спалює нафту, вугілля, газ тощо). Використання ресурсів цього типу спричиняє такі порушення в біосфері, з якими вона неспроможна боротися. Наприклад, у природи немає механізмів нейтралізації радіоактивного забруднення внаслідок діяльності атомних електростанцій. Не може природа також компенсувати шкоду, заподіяну будівництвом гідроелектростанцій, коли великі ділянки суші затоплюються водою.

Зруйновані людиною біотичні спільноти самі стають джерелом забруднення природного середовища. Наприклад, через надмірне внесення у ґрунт мінеральних добрив і пестицидів порушуються склад і діяльність мікроорганізмів, що призводить до посиленого надходження в атмосферу метану і вуглекислого газу. З цієї ж причини, а також внаслідок швидкого знищення лісів, біота континентів почала виділяти у атмосферу стільки CO_2 , скільки його надходить туди ж від згоряння мінерального палива.

На жаль, мрія В.І. Вернадського про те, що людина зможе перебрати на себе керівництво усіма біосферними процесами, спрямувати їх у «розумне русло», нині виглядає нереальною. У цьому сенсі *закон ноосфери Вернадського* (1944) про те, що біосфера неминуче перетвориться у ноосферу, тобто у сферу, де розум людини буде відігравати провідну роль у системі «природа – суспільство», хоч і бачиться справедливим, насправді є мрією, вельми далекою від реальності. Вернадський створив власну оригінальну концепцію ноосфери і ноосферогенезу. Вона базується на фундаментальних ідеях, серед яких найголовнішими є: розуміння життя як явища космічного, закономірного етапу розвитку світу; тлумачення людини (ширше – розуму) як необхідного і природного породження земного життя; визнання виключно геологічної, тобто водночас вселенської, ролі живих систем і людини як такого чинника, що задає природним процесам певну спрямованість та варіативність, навіть – смисл і цінність.

За Вернадським, еволюційний процес має особливе геологічне значення тому, що він творить нову геологічну силу – наукову думку соціального людства. «Ми якраз переживаємо її яскраве входження у геологічну історію планети, – пи-

сав учений. – В останні тисячоліття спостерігається інтенсивне зростання впливу однієї живої речовини – цивілізованого людства – на зміну біосфери. Під впливом наукової думки і людської праці біосфера переходить до нового стану – ноосфери». Значимість концепції ноосфери зумовлена тим, що вона дає новий поштовх до вирішення багатьох світоглядних, теоретичних і суто практичних проблем. Зокрема, більшість ноосферних досліджень має екологічне спрямування, оскільки у концепції ноосфери фіксується принципово нова єдність суспільства і природи. Зважаючи на незавершеність концепції, щодо окремих аспектів вчення про сферу розуму точаться запеклі дискусії.

Ноосферу також можна охарактеризувати як єдність природи і культури. Сам Вернадський говорив про неї то як про реальність майбутнього, то як про дійсність наших днів, що не дивно, оскільки він мислив масштабами геологічного часу. Він відзначав, що біосфера не раз переходила у новий еволюційний стан, і зараз вона знов переходить у новий стан – ноосферу, переробляється науковою думкою соціальної людини. Таким чином, поняття «ноосфера» поєднує два аспекти: по-перше, ноосфера у стадії становлення, що розвивається стихійно з моменту появи людини; по-друге, ноосфера розвинута, яка свідомо формується зусиллями людей в інтересах всебічного розвитку людства загалом і кожної людини зокрема.

Таким чином, маємо у наявності майже всі ознаки, які, за Вернадським, відрізняють ноосферу від попередніх станів біосфери. Процес утворення ноосфери поступовий, і, мабуть, ніколи не можна буде точно визначити рік або десятиліття, починаючи з якого перехід біосфери у ноосферу можна буде вважати завершеним. Ноосферу варто сприймати як символ віри, як ідеал розумного втручання у біосферні процеси в результаті наукових досягнень.

4.7 Основні закони біосферного розвитку

Закони природничих наук не можна порушити чи відмінити, тому лише головні здобутки цих наук мають повне право називатися законами. *Закон* – це внутрішній і необхідний, всебічний та істотний зв'язок предметів і явищ об'єктивної дійсності; те стійке, що повторюється, не так часто змінюється, ідентичне у явищі. Закони екології також належать до природничих, які не можна змінити чи відмінити і характерними рисами яких є такі: *об'єктивність* (незалежність від волі й свідомості людей); *необхідність*; *обов'язковість прояву* (за наявності необхідних умов); *автономність* – відносна незалежність законів один від одного (жоден закон не відмінює інший).

Серед найзагальніших законів сучасної екології слід насамперед назвати **закон збереження маси**: у процесах життєдіяльності, які супроводжуються найрізноманітнішими хімічними реакціями, маса початкових і кінцевих речовин однакова, кількість атомів хімічних елементів залишається сталою. Для будь-яких процесів у живій і неживій природі без порушень чи виключень виконується **закон збереження енергії**: під час довільних фізичних, хімічних чи інших перетворень речовини у замкнених системах сума усіх видів енергії лишається сталою. Це формулювання беззастережно виконується лише для замкнених систем, до яких не належать ні живі організми, ні Земля.

Впливовим, але складним у практичному застосуванні, є **закон оптимальності**, який стосується ефективності діяльності окремої особини, їхніх сукупностей (популяцій), а також складніших біологічних систем. Згідно з цим законом, будь-яка система (від бактерії чи рослини аж до величезного лану) з максимальною ефективністю діє (функціонує) у певних просторових і часових межах, за певних її розмірів та інших характеристик. Іншими словами, параметри системи завжди суворо відповідають її функціям. Тобто ніяка система не може звужуватися або розширюватися до нескінченності. Ніякий цілісний організм не може перевищити певні критичні розміри, які забезпечують підтримку його енергетики. Ці розміри залежать від умов живлення і факторів існування.

Спроби людини у будь-який спосіб проігнорувати закон оптимальності дорого обходяться. Прикладом є безліч невдач при спробах створити величезні плантації, поля чи лісові насадження із однієї-єдиної культури. Такі «системі-гіганти» страшенно нестійкі. Але є й чимало прикладів того, як уся територія вміло ділиться на невеликі фрагменти, на яких висаджують такі рослини, що у даних умовах можуть забезпечити максимум біопродуктивності.

Закон оптимальності породжує *правило Бергмана*, встановлене німецьким біологом Карлом Бергманом у 1847 році. Згідно з цим правилом, у тварин одного виду або групи близьких видів розміри тіла більші у холодних зонах їхнього ареалу і менші – у теплих (розмір тіла збільшується з географічною широтою). Тому види, які мешкають у холодних регіонах (наприклад, білі ведмеді, кити), мають зазвичай великі розміри, тоді як мешканці спекотних країн (наприклад, більшість комахоїдних ссавців) зазвичай менші за розміром.

Прикладами у межах одного виду можуть бути амурський тигр з Далекого Сходу, що більший за суматранського тигру з Індонезії (Рис. 44). Або вовки: на північному острові Таймир довжина їхнього тіла досягає 137 см, маса – 49 кг, тоді як у південного монгольського вовка – 120 см і 40 кг відповідно.



Рис. 44. Приклад виконання правила Бергмана (зліва направо): амурський і суматранський тигри

Іншим висновком закону оптимальності є *правило Алена* – еколого-морфологічний закон, обґрунтований Джоелем Асафом Аленом у 1877 році. Згідно з цим правилом, у теплокровних тварин частини тіла, що виступають (вуха чи ніс), коротші у холодному кліматі, аніж у аналогічних видів – у теплому кліматі. Завдяки цьому тварини, що мешкають у холодних природних умовах, набувають меншої питомої поверхні тіла і, як наслідок, менше втрачають тепла.

Прикладом можуть бути представники родини псових з різних регіонів: найменші вуха і ніс відносно довжини тіла спостерігають у блакитного песця, що мешкає в Арктиці, а найбільші – у лисиці фенека, що мешкає у пустелях Північної Африки (Рис. 45). Правило Алена також виконується і в людській популяції: найкоротші відносно розмірів тіла руки, ноги й ніс притаманні аборигенам Гренландії, а найдовші руки і ноги – народу Масаї, розселеному у Кенії та північній Танзанії. Частково правило Алена справедливе і для вищих рослин.



Рис. 45. Приклад виконання правила Алена (зліва направо): песець (полярний вид), лисиця руда і фенек (пустельний вид)

Дуже важливим є *закон обмеженості ресурсів*, або іншими словами – «*на всіх не вистачить*». У природі діє таке правило: маса поживних речовин для всіх форм життя на Землі є *кінцевою та обмеженою*. Природні ресурси планети не є

невичерпними, і цей факт є джерелом усіх форм конкуренції і антагонізму як у природі, так і у суспільстві. *Уявлення про наявність на Землі невичерпних ресурсів помилкове.* Зокрема, в Україні ресурси прісної води вичерпані практично до дна, а те, що її все ще чимало у Бразилії чи Заїрі, українців не дуже втішає. Очевидно, що забруднення повітря теж рано чи пізно вичерпає можливості його природного самоочищення. Теоретичні дослідження енергетичного балансу Землі довели, що без порушення існуючої рівноваги не можна вилучати чи долучати більше 1% всієї енергії, що входить до енергетичного потоку біосфери. Тому важливо дотримуватися **правила 1%**, яке передбачає наступне:

- навіть оволодіння енергією синтезу гелію з дейтерію¹⁵ чи транспортування додаткової електроенергії з навіколоземних станцій не зроблять енергетичні ресурси людства безмежними;
- енергетичне обмеження робить абсолютно неможливим сподівання на те, що у майбутньому людству пощастить поєднати збільшення власної чисельності з одночасним підвищенням якості життя;
- для порятунку людей і стабілізації біосфери на тривалий час необхідне негайне припинення «демографічного вибуху» і свідоме обмеження потреб кожної особи до розумних меж.

Деякі вчені вважають сонячну енергію практично невичерпною, однак при цьому не беруть до уваги, що серйозною перешкодою для її використання є біосфера, антропогенна зміна якої понад допустиму межу (за «правилом 1%») може призвести до серйозних і тяжких наслідків: штучне привнесення енергії у біосферу вже досягло значень, близьких до граничних. Зменшення природно-ресурсного потенціалу – у межах однієї суспільно-економічної формації чи способу виробництва – призводить до того, що природні ресурси стають щораз менш доступними і вимагають збільшення затрат праці та енергії на їхні добування і транспортування.

Згідно із **законом рівнозначності умов проживання**, усі природні умови середовища, необхідні для життя, відіграють рівнозначну роль. З цього закону слідує інший – **закон сукупної дії природних факторів**: фізіологічна активність кожної живої істоти залежить не лише від одного (бодай і лімітуючого) фактору, а від повної сукупності всіх екологічних чинників одночасно. Дослідження довели,

¹⁵ *Дейтерій* – стійкий ізотоп водню, виявлений американським хіміком Гарольдом Клейтоном Юрі 1931 р., за що він отримав Нобелівську премію. Дейтерій у вигляді важкої води широко застосовується в атомній енергетиці як сповільнювач нейтронів у атомних реакторах.

що ефективність впливу кожного окремого екологічного фактору (його «вага», або коефіцієнт дії) не однакова.

Наприклад, врожайність будь-яких культур залежить не від окремого, нехай навіть дуже важливого, фактору, а від сукупності екологічних факторів; коефіцієнт дії кожного окремого фактору в їх спільному впливові різний і може бути обчислений дослідним шляхом. Особливо точно це робиться для чинників впливу на врожайність, бо крім основних чинників (температура, освітлення, опади, вміст у ґрунті азоту, фосфору і калію), враховують і додаткові (наявність поживних мікроелементів, кількість шкідливих сполук тощо).

Закон розвитку екосистем за рахунок їхнього оточення – будь-яка природна екосистема може розвиватися лише за умови використання матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища; абсолютно ізольований саморозвиток неможливий. З цього закону випливає декілька дуже важливих наслідків:

- абсолютно безвідходне виробництво неможливе;
- будь-яка високоорганізована біотична система, використовуючи та видозмінюючи своє життєве середовище, є потенційною загрозою для більш високоорганізованих систем (завдяки цьому в біосфері неможливе нове зародження життя, оскільки воно буде знищене організмами, більш високоорганізованими, ніж первісні форми живого);
- біосфера Землі як система розвивається не тільки за рахунок ресурсів планети, а й опосередковано, за рахунок і під впливом розвитку космічних систем.

Системно-генетичний закон формулюється таким чином: більшість природних систем, зокрема геологічні утворення, особини, біотичні спільноти, екосистеми тощо, у своєму індивідуальному розвитку у скороченій (узагальненій) формі повторюють еволюцію своєї системної структури. Цей закон зумовлює необхідність урахування закономірного проходження природними процесами проміжних фаз. Наприклад, вирубаний ліс не можна відновити безпосередньо. Його відновлення проходить через декілька фаз: молодняка, жердняку, середньовікового, стиглого і останньої фази – перестійного лісу. Або інший приклад: ніколи метелик не вилетить з яйця чи з гусені, тільки з лялечки. Цей загальносистемний закон дозволяє прогнозувати майбутній розвиток.

Велике теоретичне й практичне значення мають закони, сформульовані В.І. Вернадським. По-перше, це **закон про розтікання життя**, або *рух живих організмів шляхом розмноження*: «розтікання розмноженням у біосфері є одним з найхарактерніших і найважливіших проявів механізму земної кори., формою

охоплення енергією життя цілого простору біосфери.., рухом, що виражається повсюдністю життя, проявом його внутрішньої енергії, витвореної його хімічною роботою.., воно неухильно і незмінно триває без перерви і без сповільнення мільярди років – увесь час здійснюючи величезну геохімічну роботу, будучи формою проникнення енергії сонячного променю у нашу планету та її розподілу земною поверхнею».

Наступний **закон про тиск життя** формулюється так: наслідком цього розтікання є постійний «*тиск життя*» і заповнення ним усіх природних чи створених людиною ділянок. Для стримування тиску життя на вивільнені від нього «цивілізовані» ділянки земної поверхні людина повинна витратити відповідну силу і енергію. З ним тісно пов'язаний **закон про моноліт життя**: світ організмів біосфери творить єдиний моноліт життя як складну організованість, частини якої (автотрофи, гетеротрофи) виконують функції, що взаємно доповнюють одна одну і сприяють одна одній.

Закон про бережливість життя узагальнює явище бережливості у використанні живою речовиною простих хімічних речовин, включених до її складу. *Атоми, які увійшли у будь-яку форму живої речовини, будь-яким чином захоплені життєвим вихором, або з великими труднощами повертаються, або зовсім не повертаються до мертвої матерії біосфери: мікроби, паразити, симбіонти, сапробіонти негайно знову повертають до складу живої речовини тільки-що виділені відходи життя.* Таким чином, «життя бережливе в своєму витрачанні захопленої речовини, з труднощами і небажанням віддає її назад».

Відомий радянський зоолог і еколог Микола Федорович Реймерс у 1994 р. сформулював **закон внутрішньої динамічної рівноваги**: потоки речовини, енергії, інформації та сукупність окремих природних систем у їхній структурній ієрархії в біосфері взаємопов'язані настільки тісно, що неможливо суттєво змінити бодай один елемент без переведення загалом у новий стан. Наслідки дії цього закону проявляються у тому, що після будь-яких змін елементів природного середовища (речовинного складу, енергії, інформації, швидкості природних процесів тощо) обов'язково розвиваються ланцюгові реакції, які намагаються нейтралізувати ці зміни. Отже, що навіть незначна зміна одного показника може спричинити сильні відхилення інших показників усієї екосистеми.

Зміни у великих екосистемах можуть мати незворотний характер, а будь-які локальні перетворення природи викликають у біосфері та її найбільших підрозділах реакції-відповіді, які зумовлюють відносну незмінність еколого-економічного потенціалу. Штучне зростання цього потенціалу обмежене термодинамічною

стійкістю природних систем. Закон внутрішньої динамічної рівноваги – один з найголовніших для природокористування. Він допомагає зрозуміти, що у разі незначних втручань у природне середовище його екосистеми здатні саморегулюватися та відновлюватися, але коли ці втручання перевищують певні межі і вже не можуть «згаснути» в ланцюгу ієрархії екосистем (охоплюють, наприклад, цілі річкові або гірські системи), тоді вони призводять до значних порушень енергетичного і біологічного балансів на великих територіях і навіть в усій біосфері.

Величезне практичне значення має також **закон зниження енергетичної ефективності природокористування**, який свідчить, що *попри всю винахідливість людини (застосування селекції, генної інженерії тощо) з плином часу і поглибленням інтенсифікації сільського господарства доводиться витратити дедалі більшу й більшу кількість енергії на одиницю виробленої їжі*. Допустима межа вже перейдена, і шкідливі наслідки нарастають щороку. Тобто у процесі одержання корисної продукції з природних екосистем на її виготовлення зростають енергетичні витрати. Нині витрати енергії на одну людину за добу майже у 60 разів більші, ніж у часи наших далеких предків, які жили кілька тисяч років тому. Збільшення енергетичних витрат не може відбуватися нескінченно; його слід розраховувати і планувати.

Згідно із законом **історичної незворотності**, розвиток біосфери і людства як цілого не може відбуватися у напрямку від пізніших фаз до початкових, оскільки загальний процес розвитку односпрямований. Повторюються лише окремі елементи соціальних відносин (наприклад, рабство) або типи господарювання.

Закон еволюційно-екологічної незворотності за своїм нормативним змістом пов'язаний із законами внутрішньої динамічної рівноваги та екологічної кореляції і формулюється так: екосистема, яка втратила частину своїх елементів або замінена іншою екосистемою внаслідок дисбалансу компонентів, у якій втрачені старі, а натомість виникли нові функціональні зв'язки і сформована нова пристосованість видів (нова кібернетична пам'ять), не може повернутися до свого первинного стану у процесі природної сукцесії. Цей закон фактично відображає загальну спрямованість біологічної еволюції і підтверджується її незворотними наслідками від архею до наших днів.

Закон екологічної кореляції, тісно пов'язаний із законом внутрішньої динамічної рівноваги, був сформульований Ж. Кюв'є: у екосистемі, як і в будь-якому іншому цілісному природно-системному утворі за участі живого, усі живі і абіотичні компоненти відповідають один одному як за будовою, так і за функціями. Зміна однієї частини неминуче викликає зміни в інших. Втрата одного елемента

системи (наприклад, виду) спричиняє зникнення усіх тісно пов'язаних з ним елементів, а також функціональні зміни цілої системи у межах її внутрішньої динамічної рівноваги. Так само, жодна екосистема не може самостійно існувати, якщо у ній штучно створений або перебуває у стані перманентного надлишку чи нестачі один з екологічних компонентів. «Нормою» екологічного компоненту слід вважати таку, яка забезпечує екологічну, еволюційно спрямовану динамічну рівновагу цієї екосистеми.

Це далеко не повний перелік законів, закономірностей і правил, які стосуються функціонування і розвитку екологічних систем будь-якого рангу, включаючи біосферу.

4.7.1 Закони екології Коммонера

Внаслідок складності об'єктів вивчення, екологічних законів, принципів і правил сформульовано дуже багато, і серед них важко виділити найголовніші. Відомий американський біолог і еколог **Баррі Коммонер** (1917-2012) у 1974 р. сформулював свій, гранично скорочений варіант законів екології. Саме Коммонеру належить песимістичний вислів: *«Якщо ми хочемо вижити, ми маємо зрозуміти причину катастрофи, що наближається»*. Закони екології він сформулював у вигляді чотирьох вдалих афоризмів:

- *Усе пов'язано з усім* – це твердження повторює відоме діалектичне положення про загальний зв'язок речей і явищ.
- *Усе має кудись подітися* – це неформальне перефразування фундаментального фізичного закону збереження матерії.
- *Природа знає краще* – це положення розпадається на дві відносно незалежні тези: перша солідаризується з гаслом «назад до природи»; друга пов'язана із закликом до обережності у спілкуванні з нею.
- *Ніщо не дається дарма* – цей екологічний закон нібито «об'єднує» три попередніх.

Баррі Коммонер

Тепер детальніше про кожен закон. Перший закон **«Все пов'язано з усім»** звертає увагу на загальний зв'язок процесів і явищ у природі і людському суспільстві. За значенням він близький до закону внутрішньої динамічної рівноваги: зміна одного з показників системи зазвичай



викликає структурно-функціональні кількісні та якісні зміни; при цьому сама система зберігає загальну суму речовинно-енергетичних якостей.

Екологія розглядає біосферу нашої планети як складну систему з багатьма взаємопов'язаними елементами. Ці зв'язки реалізуються за принципами зворотного негативного зв'язку (наприклад, у системі «хижак – жертва»), прямих зв'язків, а також завдяки різноманітним взаємодіям. За рахунок цих зв'язків формуються гармонійні системи кругообігів речовини та енергії. Будь-яке втручання у роботу збалансованого механізму біосфери викликає відповідь одразу за багатьма напрямками, що робить екологічне прогнозування надзвичайно складною справою.

Наприклад. У водній екосистемі кожна біологічна ланка характеризується своєю швидкістю реакції, яка залежить від інтенсивності метаболічних процесів і розмноження відповідних організмів. Для появи нового покоління риб необхідні декілька місяців, водоростей – декілька днів, бактерії-розкладачі здатні розмножуватися за декілька годин. Швидкість метаболізму цих організмів (тобто швидкість, з якою вони засвоюють поживні речовини, використовують кисень або продукують відходи життєдіяльності) пов'язана зворотною залежністю з їхніми розмірами. Отже, якщо швидкість метаболізму риби прийняти за одиницю, то для водоростей ця швидкість буде дорівнювати близько 100, а для бактерій – порядку 10 000 одиниць.

Для того, щоб уся циклічна система залишалася у рівновазі, необхідно, щоб загальна швидкість її внутрішніх процесів керувалася найбільш повільною ланкою, у даному випадку – ростом і метаболізмом риб. Будь-який зовнішній вплив, що прискорює частину циклу і тим самим примушує якусь одну частину циклу працювати швидше, ніж система у цілому, призводить до несприятливих наслідків. Наприклад, якщо система перебуває у рівноважному стані, кисень продукується водоростями і надходить з атмосфери. Припустимо, що швидкість надходження у систему органічних відходів різко підскочила (наприклад, за рахунок скидання стічних вод); при цьому бактерії збільшують свою активність. В результаті швидкість споживання кисню бактеріями-розкладачами може перевищити швидкість його продукування водоростями (а також швидкість його надходження з атмосфери), тоді вміст кисню у воді наблизиться до нуля, і система загине.

Коммонер писав: «Все це слідує з простого факту: все пов'язано з усім. Система стабілізується завдяки своїм динамічним властивостям; ці ж самі властивості під впливом зовнішніх навантажень можуть призвести до драматичної розв'язки; складність екосистеми та швидкість її кругообігу визначають ступінь навантаження, яке вона може витримати, тобто невелике зрушення в одному місці може викликати віддалені, значні і довготривалі наслідки».

І природа, і суспільство перебувають у єдиній мережі системних взаємодій. Будь-яка зміна у природі, спричинена людиною, викликає цілий ланцюг наслідків – порушення однієї ланки цього ланцюга призводить до відповідних порушень у

інших ланках. Біосфера Землі є рівноважною екосистемою, у якій всі окремі ланки взаємозалежні й доповнюють одна одну. Порушення якої-небудь ланки спричиняє зміни в інших ланках. Наприклад, одним з наслідків втручання людини у природу стало зникнення видів і зменшення видової розмаїтості.

Другий закон **«Все мусить кудись діватися»** близький до вищерозглянутого, а також до закону розвитку природної системи за рахунок навколишнього середовища. Цей закон є неформальним перефразуванням фундаментального закону фізики – матерія нікуди не зникає. Його можна назвати *законом збереження маси речовини*; він є однією з найважливіших вимог раціонального природокористування. На відміну від суспільного виробництва і побуту, жива природа в цілому майже безвідходна – у ній немає сміття. Вуглекислий газ, який виділяють тварини як відходи дихання, є поживною речовиною для зелених рослин. Рослини «викидають» кисень, котрий використовується тваринами. Органічні рештки тварин служать їжею для редуцентів. А відходи останніх (неорганічні речовини – азот, фосфор, вуглекислий газ) стають їжею для водоростей. Тобто в природі продукти життєдіяльності одних організмів є «сировиною» для інших. Це означає *високий ступінь замкнутості* кругообігу речовини в біосфері.

На прикладі біологічного кругообігу добре видно, як рештки і продукти життєдіяльності одних організмів є у природі джерелом існування для інших. Людина поки ще не створила такого гармонійного кругообігу в своїй господарській діяльності. Будь-яке виробництво постійно виробляє принаймні дві речі – необхідну продукцію та відходи. Відходи самі собою нікуди не зникають: вони нагромаджуються, частково втягуються у новий кругообіг речовин і можуть призводити до непередбачуваних наслідків. Технологічні відходи суспільства зазвичай «не вписуються» у природні екосистеми, а лише забруднюють їх. З точки зору живої природи, людство виробляє переважно сміття і отруту. Будь-яке забруднення природи повертається до людини у вигляді «екологічного бумеранга».

На тлі цього народжуються різні «сміливі» проекти утилізації відходів, особливо радіоактивних, у Космосі, на інших планетах, пропонують навіть відправляти їх на Сонце. На щастя, у цих проектів є величезна кількість опонентів. Тому що другий закон Коммонера ніхто не скасовував. Ми поки ще навіть не уявляємо, якими можуть бути конкретні механізми «екологічного бумеранга» у випадку спроби «забруднити» Сонце. Але краще навіть не намагатися. Отже, ніщо у природі не зникає, а лише переходить із однієї форми існування матерії в іншу.

Третій закон **«Природа знає краще»** вказує на те, що, доки немає абсолютно достовірної інформації про механізми і функції природи, люди майже немину-

че шкодять природним екосистемам. Коммонер для кращого розуміння цього закону проводив аналогію: коли людина, незнайома з пристроєм годинника, бажає його налагодити, годинник навряд чи запрацює. Тобто будь-яка спроба наугад змінити будь-що приречена. Закон Коммонера у цьому випадку можна перефразувати так: «годинникар знає краще». Іншими словами, подібно годиннику, живий організм, на який впливають сліпі випадкові зміни, майже напевно буде не поліпшений, а зламаний.

«Живе складається з багатьох тисяч різноманітних органічних сполук, – писав Б. Коммонер, – і часом здається, що принаймні деякі з них можуть бути поліпшені, якщо їх замінити якимось штучним варіантом природної субстанції. Третій закон екології стверджує, що штучне введення органічних речовин, які не існують у природі, а створені людиною і беруть участь у живій системі, швидше завдасть шкоди». Одним з найдивовижніших фактів у хімії живих речовин є те, що для будь-якої органічної субстанції, виробленої живими істотами, у природі завжди існує фермент, здатний цю субстанцію розкласти. Тому, коли людина синтезує нову органічну сполуку, яка за структурою значно відрізняється від природних речовин, цілком імовірно, що для неї немає розкладального ферменту, і ця речовина накопичуватиметься у природі.

Тому цей закон закликає до обережності у взаємовідносинах з природою. Недарма сам Коммонер через два роки доповнив формулювання цього закону: *«Природа знає краще, що робити, а люди мають вирішувати, як зробити це найліпше»*.

Людство пройшло набагато коротший шлях розвитку, ніж біосфера Землі. За багато мільйонів років існування біосфери повністю сформувалися зв'язки та механізми її функціонування. Необдумане, безвідповідальне втручання людей у природу може привести (і призводить) до знищення окремих зв'язків між ланками екосистем і до неможливості повернення екосистем у первісний стан. Людина, самовпевнено бажаючи «поліпшити» природу, порушує хід природних процесів. Дійсно, у природі усе ідеально доцільне і функціональне. І це можна зрозуміти, адже у природі було достатньо часу, щоб відкинути всі недосконалі варіанти і залишити тільки вивірені.

Приклад. У 1991 р. група американських дослідників проводила експеримент, що дістав назву «Біосфера-2». У пустельному районі штату Аризона було споруджено комплекс ізольованих від зовнішнього середовища приміщень зі скляним дахом і стінами (ззовні надходила тільки сонячна енергія), у яких ство-

рено п'ять з'єднаних одна з одною екосистем: вологий тропічний ліс, савана, пустеля, болото і море (басейн завглибшки 8 м з живим кораловим рифом).

Комплекс «оранжерей», повністю ізольованих від навколишнього середовища (навіть атмосферного повітря) зайняв близько 1,5 га, об'єм атмосфери – близько 204 тис м³ повітря (Рис. 46). У «Біосферу-2» було переселено 3800 представників фауни і флори, причому основним критерієм їхнього відбору була користь, яку вони могли приносити людям (споживатися як їжа, очищувати повітря, давати ліки тощо). Туди ж було внесено й техносферу, що мала житлові й робочі приміщення, розраховані на вісім чоловік, спортзал, бібліотеку, город і численне технічне обладнання (дощувальні установки, насоси для циркуляції води й повітря, комп'ютер із безліччю датчиків, який мав вести моніторинг життєво важливих параметрів комплексу).

Ця штучно створена замкнута біосфера була першою масштабною спробою моделювання процесів, що відбуваються у природних екосистемах Землі. На думку авторів проекту, отримані в ході експерименту результати могли б стати у нагоді під час тривалих космічних перельотів. Метою експерименту, розрахованого на два роки, було створення замкненої екосистеми, своєрідної міні-біосфери, яка б функціонувала на основі самозабезпечення і була незалежною від «Біосфери-1» (так автори називали біосферу Землі). До цієї міні-біосфери мала б органічно увійти міні-техносфера разом з дослідниками. Автори мріяли досягти штучно підтримуваного у системі гомеостазу, тобто стабільності основних життєво важливих параметрів (температури, вологості тощо). Відходи біоти однієї екосистеми мали слугувати ресурсами для іншої. Проект був покликаний здійснити (хай і у невеликому масштабі) мрію В.І. Вернадського про перехід до управління людиною всіма процесами в біосфері.



Рис. 46. Зовнішній вигляд «Біосфери-2»

Експеримент закінчився невдало: менш як за півроку дослідників евакуювали з «Біосфери-2» назад, до рідної «Біосфери-1». Бажаного керування процесами та збалансованості техносфери і «Біосфери-2» досягти не змогли; більше того, основні параметри системи, зокрема вміст у повітрі вуглекислого газу, склад мікроорганізмів у ґрунті тощо, вийшли з-під контролю. Коли вміст CO_2 в повітрі досяг небезпечного для здоров'я людей рівня і ніякими способами знизити його не вдалося, експеримент мушили припинити.

Однією з головних проблем виявилось те, що рослини не змогли виробляти необхідну кількість кисню. Вміст кисню в атмосфері «Біосфери-2» знизився з 21 до 15%, в результаті довелося підкачувати кисень із зовнішнього середовища. Другою проблемою була нестача їжі: площі агроценозів «Біосфери-2» виявилось недостатньо, щоб забезпечити вісім чоловік їжею у достатній кількості. Для вирішення цієї проблеми довелося збільшити щільність засіву зернових, а також висадити у тропічному лісі банани і папайю.

Третьою проблемою стало неконтрольоване зростання чисельності комах-шкідників. Харчові ланцюги штучних екосистем «Біосфери-2» виявилися неповними, і чисельність комах-шкідників за відсутності ворогів почала неухильно зростати. У ізольованих від зовнішнього середовища умовах використання інсектицидів для боротьби з комахами-шкідниками не виправдане, оскільки процеси самоочищення у таких невеликих екосистемах проходять дуже повільно, а це означає неминуче отруєння хімікатами усіх мешканців, включаючи і людей. Довелося збирати вручну комах-шкідників, а також розводити їхніх природних ворогів.

Біом пустелі проіснував недовго. Вранці волога конденсувалася на скляному даху «Біосфери-2» і штучним дощем випадала вниз. Через деякий час після початку експерименту пустеля стала заростати травою. Відсутність вітру згубно позначалася на деяких видах деревної рослинності. Через відсутність тиску вітру на стовбур і гілки дерев, механічні тканини деревини виявилися недостатньо розвиненими. В результаті стовбури і гілки ставали крихкими і ламалися під тяжінням власної ваги. Величезні п'ятиметрові дерева у «джунглях» пали, ламаючи усе навколо (Рис. 47). Стоки у рибних ставках забилися, і риби ставало все менше. Через зростання кислотності «океану» гинули корали.

З 1996 р. «Біосфера-2» перебувала у віданні Колумбійського університету, який продовжував дослідження, але вже без участі людей. Деякі біоми науково-дослідного комплексу були доступні для екскурсантів. А 2005-го «Біосфера-2» була виставлена на продаж.



Рис. 47. Крах мрії

Крах експерименту «Біосфера-2» наочно довів, що повна збалансованість усіх процесів, кругообіг речовин та енергії, підтримання гомеостазу можливі лише у масштабах планети, де ці процеси відпрацьовувалися протягом багатьох мільйонів років. І ніякі комп'ютери не спроможні перебрати на себе керівництво системою, складність якої набагато вища за їхню власну. Підтвердилася також справедливність принципу, сформульованого американським математиком Джоном фон Нейманом: «Організація системи нижче від певного мінімального рівня призводить до погіршення її якості».

Отже, як усеосяжне керування «Біосферою-1», так і створення штучних біосфер на кшталт «Біосфери-2» нині (і у найближчому майбутньому) не до снаги людині. Зусилля людства мають бути спрямовані на збереження загальнопланетної біосфери – дуже складної, збалансованої системи, стійкість якої нині порушується техносферою. Нам необхідно намагатися не «перебирати на себе керівництво біосферою», а діяти так, щоб «не заважати природі», яка, за законом Б. Коммонера, «знає краще».

Трагічний егоцентризм¹⁶ у крайньому своєму прояві висловлений відомим селекціонером 30-х років XX ст. В.І. Мічуріним: «Ми не можемо чекати милості від природи; взяти їх у неї – наше завдання». Насправді діяльність людини тільки тоді буде виправдана, коли мотивація її вчинків визначатиметься передусім тією роллю, задля виконання якої людина була створена природою, коли потреби при-

¹⁶ *Егоцентризм* (від лат. *Ego* – я, *centrum* – центр) – нездатність чи невміння індивіда пристати на чужу точку зору. Сприйняття своєї точки зору як єдиної існуючої.

роди матимуть для людини більше значення, ніж потреби особисті. Тому людство має навчитися жити у гармонії з природою.

Четвертий закон **«За все треба платити, або ніщо не дається дарма»** знову торкається тих проблем, які узагальнюють закон внутрішньої динамічної рівноваги і закон розвитку природної системи за рахунок її оточення. Б. Коммонер так роз'яснював цей закон: «... Глобальна екосистема є єдиним цілим, у межах якого нічого не може бути виграно або втрачено і яке не може бути об'єктом загального поліпшення: все, що було витягнуте з неї людською працею, повинно бути відшкодовано. Платежу за цим векселем не можна уникнути; він може бути тільки відстрочений. Нинішня криза навколишнього середовища говорить лише про те, що відстрочка дуже затягнулася». І доповнив: «Ми розімкнули коло життя, перетворивши його у незліченні цикли, у лінійні ланцюги штучних подій».

Четвертий закон стверджує: природні ресурси не нескінченні. Людина у процесі своєї діяльності бере у природи в «борг» частину її продукції, залишаючи під заставу ті відходи і ті забруднення, яким не може чи не хоче запобігти. Цей борг зростатиме доти, доки існування людства не опиниться під загрозою і люди сповна не усвідомлять необхідність усунення негативних наслідків своєї діяльності. А подібне усунення потребуватиме дуже великих затрат, які й стануть сплатою цього боргу. Дійсно, нерозумна експлуатація природних ресурсів і природних благ грозить розплатою, що прийде рано чи пізно.

На сучасному етапі розвитку науки і техніки людство, здається, вже менше залежить від природи. Але залежність ця зберіглася, і не просто зберіглася, а ускладнилася, бо змінилася тільки відносна роль законів природи. Людство, як і раніше, залежить від енергетичних, мінерально-сировинних, біологічних, водних та інших природних ресурсів. Тому закони екології Баррі Коммонера, так само, як усі інші дуже важливі закони, які відображають загальні системні закономірності функціонування і розвитку об'єктивної реальності, слід пам'ятати і враховувати у своїй повсякденній діяльності.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Хто з відомих дослідників запропонував термін «біосфера», і хто з них є автором сучасної концепції біосфери?
2. Назвіть і охарактеризуйте компоненти біосфери. Який з них є головним і чому?
3. Обґрунтуйте розподіл живої речовини в біосфері. Наведіть приклади.
4. Чим визначаються верхня і нижня межі біосфери? Обґрунтуйте.

5. У чому полягає сутність і практичне значення закону фізико-хімічної єдності живої речовини?
6. Назвіть і охарактеризуйте головні властивості живої речовини біосфери.
7. Розкрийте сутність основних глобальних функцій живої речовини.
8. Як відбувалася еволюція сучасної біосфери? Чому так важливо її знати?
9. Охарактеризуйте кругообіги речовини та енергії в біосфері.
10. Чим біологічний кругообіг відрізняється від геологічного? Що їх пов'язує?
11. У чому полягає сутність закону біогенної міграції атомів? Яке його практичне значення? Обґрунтуйте.
12. Розкрийте термін «ноосфера» і той зміст, що вкладав у нього Вернадський.
13. Чому, на вашу думку, мрія Вернадського про те, що людина може перебрати на себе керівництво усіма біосферними процесами нині є нереальною?
14. Які ви знаєте закони біосферного розвитку? Розкрийте найголовніші з них.
15. Назвіть і охарактеризуйте закони екології Коммонера. Який з них вважають однією з найважливіших вимог раціонального природокористування? Обґрунтуйте.
16. Чому, на вашу думку, експеримент з назвою «Біосфера-2» не удался?

5 ПРИРОДНІ РЕСУРСИ І ПРИРОДНО-РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БІОСФЕРИ

Слово «ресурси» прийшло до нас із французької мови. Ресурс – це кількісна міра можливості виконання будь-якої діяльності; умови, що дозволяють за допомогою певних перетворень отримати бажаний результат. Ресурси (від фр. *ressource* – допоміжний засіб) – цінності, запаси, можливості, джерела доходів, до яких можна звернутися у випадку необхідності. Отже, терміном «ресурси» ми позначаємо будь-які матеріальні й нематеріальні об'єкти чи засоби, які необхідні для вдоволення потреб, досягнення мети та вирішення проблеми.

Ресурси дуже різноманітні – вони можуть бути економічними, природними, трудовими, адміністративними тощо. Зокрема, *матеріальними ресурсами* називають усі накопичені речовинні багатства, які перебувають на службі суспільства: будівлі, транспорт, засоби виробництва, що мають антропогенне походження. *Трудові ресурси* – це наявне населення, яке володіє фізичними, розумовими здібностями і знаннями, необхідними для роботи. Іншими словами, це працездатне населення (дійсне і потенційне) на території країни, адміністративної територіальної одиниці або підприємства. Йдеться, зокрема, про віковий склад і стан здоров'я цього населення, освітній рівень, інформаційне забезпечення тощо. І нарешті, *природні ресурси* – це елементи і сили природи, які використовуються або можуть бути використані для задоволення потреб суспільства. Поняття «природні ресурси» включає лише ті речовини і сили природи, які можуть бути реально використані суспільством.

Взаємовідносини людини з природою найповніше проявляються через використання природно-ресурсного потенціалу, який особливо виразно позначається на розміщенні продуктивних сил на усіх рівнях – від локального аж до глобального. Ці взаємовідносини породжують *умисний* або *неумисний вплив* людини на природне середовище. Перший виникає у процесі матеріального виробництва з метою задоволення певних потреб суспільства; він заздалегідь планується, фінансується, координується. Це, наприклад, видобування мінеральної сировини, вирубка лісів, спорудження ГЕС тощо. *Неумисний вплив* є побічним наслідком умисного впливу людини на природно-ресурсний потенціал (наприклад, спорудження ГЕС супроводжується підтопленням і заболочуванням прилеглих до водосховища територій, аграрне виробництво часто стає причиною забруднення поверхневих і підземних вод).

При цьому як умисний, так і неумисний вплив людини на природне середовище і природно-ресурсний потенціал може проявлятися прямо або опосередко-

вано. *Прямий вплив* відбувається за безпосередньої дії господарювання на природне середовище (наприклад, зрошення зволожує ґрунт, знижує температуру повітря, змінює умови зростання рослин). *Опосередкований вплив* проявляється зазвичай через ланцюги взаємопов'язаних дій (наприклад, вплив запилення атмосфери над промисловими центрами на кількість і якість сонячної радіації). Звісно, кожен з цих видів впливу людини на природне середовище у «чистому» вигляді майже ніколи не зустрічається, але сукупно вони істотно позначаються на трансформації будь-яких видів природних ресурсів; у зв'язку з цим їхня практична оцінка неможлива без урахування наслідків господарської діяльності людини.

Отже, *природні ресурси* – це сукупність об'єктів і систем живої та неживої природи, компоненти оточуючого людину природного середовища, які використовуються в процесі суспільного виробництва для задоволення матеріальних і культурних потреб. Природні ресурси не є визначальним фактором розвитку суспільства, але у той же час суспільство ні за яких обставин не може бути повністю незалежним від природи та її ресурсів. Суспільство використовує природні ресурси різними шляхами, головними з яких є наступні:

- засоби праці (земля);
- джерела енергії (енергія рік, атомне паливо, запаси горючих копалин);
- сировина і матеріали (різні мінерали, ліси);
- предмети споживання (питна вода, гриби, продукти рибальства);
- рекреаційні території (місця відпочинку);
- генетичний фонд (заповідники, виведення нових порід тварин і сортів рослин).

На сучасному етапі розвитку цивілізації першочерговою і надзвичайно гострою є проблема ресурсно-екологічної безпеки існування людства, вирішення якої полягає у радикальній перебудові взаємовідносин між людством і природою. Будь-яка країна, що стає на шлях науково-технічного прогресу та широкомасштабного використання його результатів, вже не може і не повинна ігнорувати такі об'єктивні фактори, як вичерпність багатьох природних ресурсів, вразливість навколишнього середовища, його екологічну стійкість і екологічну ємність.

Традиційно суспільство використовувало природні ресурси середовища у своїх інтересах за мінімальних суспільних витрат, беручи найбільш легкодоступні елементи ресурсів з низьким використанням їхньої фізичної маси, несучи лише незначні витрати на природоохоронні заходи. Негативні наслідки такої діяльності поступово накопичувалися, що сприяло виникненню у сучасному світі нестачі багатьох природних ресурсів. У окремих регіонах навіть досягнуто межі, за якої середовище не зможе самостійно очищуватися та відтворюватися.

5.1 Загальна характеристика і поділ природних ресурсів

Існують різні підходи до наукової класифікації природних ресурсів (ПР). Спочатку розглянемо добре відомий загальний поділ природних ресурсів за різними ознаками. Нині усе довкілля Землі перетворилося на єдиний інтегральний ресурс, який інтенсивно використовується людиною. За ознаками відновлюваності, відтворюваності, замінності й вичерпності розрізняють такі види природних ресурсів: *вичерпні* та *невичерпні* (Рис. 48); *відновні* й *невідновні*; *замінні* й *незамінні* (Рис. 49).



Рис. 48. Поділ ПР за вичерпністю



Рис. 49. Поділ ПР за різними ознаками

До *невичерпних* природних ресурсів належать водні, пов'язані єдиним кругообігом, ресурси атмосферного повітря і космічні ресурси. Вони невичерпні як фізичне тіло. Однак такі ресурси, як вода і повітря, підпадають під вплив технічного прогресу, а за їхнього сильного забруднення відбувається якісне виснаження цих видів ресурсів. Космічні ресурси, до яких належать енергія Сонця, енергія морських припливів, енергія вітру тощо, також можуть змінюватися під впливом господарської активності людини (зокрема, зміна складу атмосфери може спричинити зміни інтенсивності сонячної радіації). Отже, першочерговим завданням щодо збереження невичерпних ресурсів має бути попередження їхнього якісного виснаження.

Вичерпні природні ресурси, як відомо, скорочуються у міру їхнього використання. Їх у свою чергу поділяють таким чином:

- невідновні (мінеральні ресурси);
- відновні (ресурси рослинного і тваринного світу);

– частково невідновні – це ті, швидкість відновлення яких нижча за рівень господарського споживання (орні ґрунти, лісові ресурси).

Часто дуже важко провести чітку межу між відновними і невідновними ресурсами. Зокрема, рослини і тварини, якщо їх використовувати марнотратно, не піклуючись про наслідки, можуть повністю зникнути з обличчя Землі. У цьому випадку, безсумнівно, вони належатимуть до невідновних ресурсів. З іншого боку, рослинний і тваринний світ має здатність до самовідновлення і, за умов розумного використання, може бути збережений. Таким чином, у принципі ці ресурси відновні. Те ж саме можна сказати і про ґрунти. За умов раціонального господарювання ґрунти можуть не тільки зберігатися, а навіть поліпшуватися і підвищувати свою родючість.

Невідновні ресурси характеризуються обмеженими запасами, і використовувати їх можна лише раз. Поповнення цих ресурсів на Землі практично неможливе через відсутність умов, у яких вони виникли багато мільйонів років тому, або відновлення відбувається надзвичайно повільно. До таких ресурсів належать передусім багатства надр. Завдання щодо збереження цих ресурсів зводиться до економного витрачання і розвідки нових запасів, заміни дефіцитних ресурсів іншими, менш дефіцитними. Причому економне витрачання передбачає не зменшення видобутку, а його раціоналізацію, тобто запобігання втратам під час видобутку, транспортування і переробки.

До *відновних природних ресурсів* належать земельні (родючість ґрунту), біотичні (ліс, природні харчові угіддя, фауна суші й водного середовища), а також окремі компоненти атмосфери (кисень, азот тощо). Іноді, за нераціонального використання, деякі види відновних ресурсів можуть переходити у розряд невідновних або їхнє відновлення потребуватиме більше часу. Наприклад, родючість ґрунтів, яка підвищується за їхнього раціонального використання, може значно погіршитися у разі неправильної обробки, а супутня ерозія часто фізично зменшує ґрунтовий покрив. Те ж саме можна сказати і про ресурси рослинного і тваринного світу – їхнє хижацьке використання порушує здатність біологічних систем до самовідтворення, і тоді ці ресурси стають практично невідновними.

Отже, у багатьох випадках відновність або невідновність природних ресурсів залежить від ставлення до них людини. Головним завданням щодо відновних ресурсів є забезпечення можливості їхнього постійного відновлення, тоді вони служитимуть людині практично нескінченно. Довготривале використання цих ресурсів забезпечується тим, що у кожен відрізок часу (скажімо, за рік) вони розгля-

даються як обмежені ресурси, користуватися якими слід суворо регламентовано. У цьому полягає основний принцип їхньої охорони.

Реальні природні ресурси використовуються у виробництві на певному рівні розвитку продуктивних сил суспільства. *Потенційні* ресурси, хоч і потрібні суспільству, не можуть бути залучені у суспільне виробництво з тих чи інших причин, наприклад, через недостатню технічну оснащеність виробництва. Яскравий приклад тому – водні ресурси. Вода дефіцитна не тому, що її мало (величезні запаси води містить Світовий океан), а тому, що не вся вона може бути поки що використана людиною (наприклад, солоні води морів і океанів). Потенційні ресурси можуть переходити у реальні – та ж морська вода там, де є опріснювачі, вже стала реальним ресурсом. Ліси – це реальні ресурси, але у деяких недоступних районах вони стають потенційними. Природні ресурси, залишаючись величиною постійною, можуть набувати нового значення залежно від зміни технічного рівня виробництва і з потенційних перетворюватися на реальні.

Крім цього, за можливістю заміни природні ресурси поділяються на *замінні* (наприклад, метали можна замінити керамікою, пластмасами) та *незамінні* (прісна вода для пиття, атмосферний кисень для дихання). Незамінні ресурси – це ті, які не можуть бути замінені іншими ні зараз, ні у майбутньому, ні практично, ні теоретично.

У міру виснаження невідновних ресурсів значно збільшується технологічна складність та енергоємність їхнього видобування, тому знижується економічна ефективність. Наприклад, зараз доводиться розробляти руду, яка вміщує менш ніж 0,2% кольорових металів. Проблема полягає навіть не тільки і не стільки у фізичному виснаженні ресурсів, скільки у економічній і екологічній недоцільності їхнього добування. Тенденція до зменшення запасів відновних ресурсів виникла внаслідок зростання темпів і масштабів їхнього використання. Зокрема, ліси знищені приблизно на 60% їхньої первісної площі; за останні півстоліття внаслідок лінійної і площинної ерозії ґрунтові ресурси планети скоротилися у середньому не менш, ніж на 25%. Продовжується відчуження продуктивних земель під будівництво гідроелектростанцій, промислових підприємств, доріг тощо.

Фактично будь-який елемент природи одночасно є і ресурсом, і умовою виробничої чи іншої діяльності суспільства. Наприклад, ліс є умовою для більшості підприємств, але для лісової промисловості він служить ресурсом. Практично всі природні ресурси є вичерпними абсолютно або відносно, якщо вони використовуються досить тривалий час з високою інтенсивністю. На сучасному етапі взаємодії природи і суспільства можна говорити лише про умовну невичерпність де-

яких природних ресурсів, принципово вичерпних або вичерпних відносно. Біотичні ресурси, які вважаються невичерпними внаслідок здатності до самовідтворення, дійсно є вичерпними за умови достатньо високої інтенсивності їхнього використання, що перевищує швидкість самовідновлення. Все це дозволяє зробити такий практичний висновок: існує абсолютна або відносна межа ступеня використання будь-якого ресурсу, що і є його вичерпністю у широкому розумінні.

Виходячи з усього вищевикладеного, усі реальні й потенційні природні ресурси за *характером вичерпності* можна поділити на такі групи:

- ті, які не відновлюються у даний час або відновлюються зі швидкістю, значно меншою за швидкість їхнього прямого використання; ці ресурси можуть бути повністю вичерпані (кам'яне вугілля, нафта й газ, родючість ґрунту);
- ті, які відтворюються з високою інтенсивністю (живі організми, кисень); можуть бути практично невичерпними за умови правильного співвідношення інтенсивності використання та швидкості їхнього відтворення;
- ті, які безперервно надходять до Землі (сонячна енергія, радіохвилі космічних тіл); можуть стати вичерпними у разі повного використання тієї їхньої частини, яка є необхідною для нормального розвитку планетарної природи.

Аналогічно реальні й потенційні природні ресурси можна поділити за *здатністю до відтворення*:

- *принципово невідновні* – ресурси, які надходять до Землі з Космосу (сонячна радіація), а також ті корисні копалини, що були утворені у минулі геологічні епохи;
- *реально невідновні* – ресурси, швидкість відтворення яких набагато нижча за швидкість їхнього використання (корисні копалини, що утворилися в наш час, якість води й повітря, ґрунти, популяції організмів, доведені до критичної чисельності);
- *відновні* – ті ресурси біосфери, які раціонально використовуються і мають здатність до швидкого самовідтворення (більшість біотичних ресурсів).

Однією з багатьох класифікацій природних ресурсів є *генетична класифікація*, згідно з якою природні ресурси поділяються на такі групи:

- *Мінеральні ресурси* – це природні речовини мінерального походження, що використовуються у господарстві як різні види сировини або джерела енергії.
- *Земельні ресурси* – це землі, що використовуються або можуть бути використані у різних галузях господарства; вони характеризуються територією, якістю ґрунтів, кліматом, рельєфом, гідрологічним режимом, рослинністю тощо. Є

основою розміщення господарських об'єктів, головним засобом виробництва у сільському і лісовому господарстві, де використовується родючість ґрунтів.

- *Водні ресурси* у широкому розумінні включають води річок, озер, водосховищ, каналів, морів і океанів, підземні й ґрунтові води, води гірських і полярних льодовиків, атмосферні води, а також самі водні об'єкти (річки, озера, моря тощо); вони використовуються для судноплавства, гідроенергетики, рибного господарства, рекреації та інших галузей господарства.
- *Ресурси атмосфери* пов'язані з газовим складом атмосфери як результату історичного розвитку земної кулі. До цієї групи належать також *кліматичні й агрокліматичні ресурси*, сприятливі для життя, праці, ведення сільського господарства (температура, вологість, опади, тиск).
- *Біотичні* – це ресурси флори і фауни, найважливішою властивістю яких є здатність до самовідновлення на основі обміну речовин.
- *Генетичний фонд* – це заповідники та інші засоби збереження видової різноманітності довкілля як ресурсу для забезпечення рівноваги біосфери, виведення нових продуктивних сортів рослин і тварин.

Поділ природних ресурсів за функціональною ознакою є основою їхньої *функціональної класифікації*. Це поділ природних ресурсів за тими функціями, які вони виконують або можуть виконувати для задоволення різних потреб суспільства, а саме:

- *Сировинні ресурси* – ті, що вилучаються з природного середовища і споживаються людиною у якості сировини для матеріального виробництва (корисні копалини, ліс, інша сировина).
- *Енергетичні ресурси* – ті, що споживаються з вилученням і без вилучення для виробітки теплової та електричної енергії (паливні, енергія вітру тощо).
- *Ґрунтові ресурси* – ті, які вилучаються частково і споживаються як основний засіб виробництва у сільському і лісовому господарстві.
- *Інженерно-геологічні ресурси* – це ті, що споживаються як окремі властивості літосфери, необхідні для різних видів будівництва (геологічні умови територій, придатних для інженерного освоєння).
- *Культурно-естетичні й наукові ресурси* (окремі об'єкти і природні комплекси).

Що ж відбувається з природними ресурсами після їхнього використання людиною? Мінеральні ресурси після завершення розвідки і видобутку, а також біотичні ресурси і навіть вода й повітря стають сировиною для різноманітних галузей господарства. Сировинні матеріали, які використовуються у виробництві, перетворюються вже на економічні ресурси суспільства – капітал, трудові, інтелек-

туальні ресурси та можливості менеджменту. Зрештою, використані природні ресурси після певної технологічної обробки постають перед нами у вигляді знарядь, засобів праці та різноманітних матеріальних благ.

Розміщені природні ресурси на Землі вкрай нерівномірно. Не тільки окремі країни, а й великі регіони різняться за рівнем забезпеченості певними ресурсами. Але і у тому випадку, коли природних ресурсів у тій чи іншій країні мало, це не означає, що країна приречена на бідність, адже економічні ресурси кожної країни вимірюються не тільки кількістю наявної нафти, газу чи навіть родючих ґрунтів. Велике значення мають людські ресурси, працездатність населення, рівень його підготовки та майстерності, наявність науково-технічних ідей, досвід менеджменту і, нарешті, наявність у країні капіталу. Як приклад, можна назвати насамперед Японію, яка досягла блискучих економічних результатів, маючи вкрай обмежену природно-ресурсну базу.

5.2 Природно-ресурсний потенціал і природокористування

Від природних ресурсів слід відрізняти *природні умови* – сукупність об'єктів, явищ і факторів природного середовища, які впливають на існування людської спільноти. Природні умови можуть суттєво впливати на діяльність людини (виробничу і невиробничу), але безпосередньо у неї не залучаються. *Принципова відмінність природних умов від природних ресурсів* полягає у тому, що природні умови – це властивості природи, які можуть полегшувати чи ускладнювати розвиток суспільного виробництва, але при цьому в ньому не використовуються. Природні ж ресурси завжди беруть участь у виробництві, оскільки вони є *предметом праці*.

На сучасному етапі розвитку продуктивних сил суспільства відбувається поступове стирання межі між природними ресурсами і природними умовами. По-перше, зростають масштаби традиційного використання природних факторів як ресурсів, внаслідок чого фактор, який раніше належав до природних умов, перетворюється на природний ресурс. По-друге, значно зростає кількість функцій, які може виконувати той самий природний фактор як природний ресурс. Наприклад, ресурсна роль одного з найважливіших компонентів природного середовища – атмосфери – раніше визначалася в основному такими функціями:

- ресурс для дихання, середовище існування;
- джерело кисню для спалювання органічного палива;
- джерело вітрової енергії.

Нині функції атмосфери значно розширені: використовуються її електромагнітні, оптичні, акустичні та інші фізичні й хімічні властивості. Атмосфера, несучи інформацію про тіла і сили природи, є також інформаційним ресурсом. Як правило, чим ширше та інтенсивніше використовуються у виробництві ті чи інші властивості ресурсу, тим більше вони змінюються.

Повніше використання людиною природних факторів призводить до їхнього перетворення на єдиний інтегральний ресурс. Оскільки практично всі елементи природи так чи інакше використовуються чи можуть бути використані людиною, доцільніше розглядати природні фактори за тими функціями, які вони виконують або можуть виконувати у суспільстві. Отже, якщо природні елементи чи фактори використовуються безпосередньо у суспільному виробництві, доцільно застосовувати термін «природні ресурси». Якщо ж ці фактори виконують екологічні, фізіологічні й соціальні функції, доцільно вживати термін «природні умови».

Сполучення природних умов і природних ресурсів на конкретній території формує природно-ресурсний потенціал (ПРП). **Природно-ресурсний потенціал** – це сукупність природних ресурсів і природних умов, які знаходяться у певних географічних межах і забезпечують задоволення економічних, екологічних, соціальних, культурно-оздоровчих та інших потреб суспільства. *ПРП території* – поняття, яке дозволяє зафіксувати фрагмент реальної природи як цілісності, на відміну від окремих природних ресурсів, що складають цей фрагмент.

ПРП території визначається кількістю, якістю, поєднанням ресурсів і є важливим фактором розміщення населення і господарської діяльності. Щодо самого поняття «природно-ресурсний потенціал», думки вчених розділилися. Одні вважають, що природно-ресурсний потенціал включає усі природні ресурси; інші – що він включає тільки ті природні ресурси, які використовуються або можуть бути використані у господарській діяльності людини без нанесення шкоди навколишньому природному середовищу.

Категорія «потенціал» (від лат. *potentia* – сила) означає можливості, сукупність чогось, наявні запаси, засоби, що можуть бути використані для досягнення певних цілей, вирішення певних завдань. Ось лише деякі визначення, різні за своїм змістом, але принципових розходжень вони не містять. Отже, ПРП – це:

У Уся енергія компонентів природи, яка може засвоюватися за одиницю часу в межах територіальної організації суспільства або суспільного господарства у вигляді необхідної людству продукції чи корисної роботи без нанесення шкоди природним екосистемам.

- У Здатність природних екосистем без шкоди для себе віддавати необхідну людству продукцію або виконувати корисну функцію.
- У Сукупність природних ресурсів, доступна за певного розвитку технологій і соціально-економічних відносин.
- У Система природних ресурсів, умов, явищ і процесів, що є територіальною і ресурсною базою життєдіяльності суспільства та протистоїть йому як об'єкт антропогенного впливу.
- У Та частина природних ресурсів Землі й ближнього Космосу, що може бути залучена у господарську діяльність суспільства за умови збереження середовища проживання людства.

Природно-ресурсний потенціал є важливим фактором розміщення продуктивних сил. Основними характеристиками ПРП є географічне положення, кліматичні умови, особливості рельєфу та розміщення основних видів ресурсів. Розрізняють компонентну, функціональну, територіальну і організаційну структури ПРП. *Компонентна* структура характеризує внутрішньовидові й міжвидові співвідношення природних ресурсів (земельних, водних, лісових тощо); *територіальна* – різні форми просторової дислокації природно-ресурсних комплексів. *Організаційна* структура ПРП розглядає природні ресурси під кутом зору їхньої самоорганізації, самовідновлення, а також щодо ефективності їхньої експлуатації, охорони й відтворення. *Функціональна* структура ПРП відображає вплив природних ресурсів на формування спеціалізації територій і господарських комплексів.

ПРП має певну величину, розміри і особливості. Перехід *за межі* використання ПРП відповідає стану екологічної кризи. А головною особливістю ПРП є *безперервність*, що забезпечує можливість господарського освоєння практично будь-якої території.

Людина використовує ПРП у процесі природокористування. *Природокористування* у широкому сенсі – це використання природи, сфера виробничої і наукової діяльності, спрямованої на комплексне вивчення, освоєння, використання, відновлення, поліпшення та охорону природного середовища і природних ресурсів з метою розвитку продуктивних сил, забезпечення сприятливих умов життєдіяльності суспільства. За характером використання природних ресурсів розрізняють такі види природокористування: землекористування, водокористування, лісокористування, надрокористування тощо. Також природокористування поділяють за його основними напрямками (Табл. 10).

Табл. 10. Класифікація основних напрямів і видів природокористування

I. Використання природних ресурсів	
1.	Видобування природних ресурсів (у т. ч. виявлення, вивчення, підготовка, безпосереднє добування).
2.	Ресурсокористування (без видобування з навколишнього середовища).
3.	Використання складових природного середовища у якості резервуару відходів виробництва і споживання.
II. Конструктивне перетворення	
1.	Комплексні програми перетворення навколишнього середовища.
2.	Поліпшення окремих властивостей ресурсів (збагачення, меліорація тощо).
3.	Захист від стихійних небажаних явищ.
4.	Ліквідація негативних наслідків господарської діяльності.
III. Відновлення природних ресурсів	
1.	Безпосереднє відновлення ресурсного потенціалу (створення штучних біоценозів, функціональний розподіл лісів, опріснення морських вод тощо).
2.	Створення умов для відновлення відновлюваних ресурсів (наприклад, захист водоохоронних лісів).
3.	Відновлення властивостей, ознак, функцій навколишнього середовища (рекультивация ландшафтів, очищення річкових вод тощо).
IV. Охорона сфери життєдіяльності людини та природних ресурсів	
1.	Відвернення негативного впливу виробництва і споживання.
2.	Власне охорона (консервація) ландшафтів та екосистем.
3.	Збереження генетичного розмаїття біосфери.
V. Управління і моніторинг	
1.	Інвентаризація, контроль, облік.
2.	Регулювання стану ресурсів і навколишнього середовища.
3.	Управління процесами природокористування.

Природокористування може бути *раціональним* і *нераціональним*. У першому випадку суспільство і природні ресурси середовища перебувають у взаємовідносинах *позитивного* зворотного зв'язку: чим більше природних ресурсів, тим швидше розвивається або може розвиватися економіка. Раціональне природокористування не призводить до різких змін ПРП і негативних змін у навколишньому середовищі, оскільки техногенне навантаження на природне середовище не перевищує рівня його граничнодопустимих величин. Отже, *раціональне природокористування* – це збалансована взаємодія природи і суспільства, що забезпечує досягнення компромісу між соціально-економічними потребами суспільства і здатніс-

тю природи задовольнити їх без суттєвої шкоди для свого нормального функціонування. При цьому охорона природи є складовою частиною раціонального природокористування, без якої воно не може вважатися раціональним.

Нераціональне природокористування – це така система діяльності, яка не забезпечує збереження ПРП, оскільки природа і суспільство перебувають у стані *негативного* зворотного зв'язку: технологічно швидкий розвиток економіки без урахування екологічних обмежень на використання природних ресурсів поступово призводить до виникнення кризового стану природного середовища або його окремих компонентів. Отже, стан природного середовища у межах певної території може змінюватися залежно від того, раціональне природокористування там здійснюється чи ні (Табл. 11).

Табл. 11. Стан природного середовища у процесі природокористування

Природокористування	Назва стану	Характерні ознаки
Раціональне	<i>Природний (натуральний)</i>	Природні екосистеми не змінені безпосередньо господарською діяльністю людини; місцева природа зазнає лише незначного впливу від глобальних антропогенних процесів (напр., від глобального потепління клімату).
	<i>Рівноважний</i>	Швидкість відновлювальних процесів у природі вища або дорівнює темпу антропогенних порушень (напр., відновлення травостою за умов не надмірного випасу).
Нераціональне	<i>Кризовий</i>	Інтенсивність антропогенних порушень перевищує темпи самовідновлення природи, але докорінної зміни природних екосистем поки що не відбувається.
	<i>Критичний</i>	Під антропогенним тиском відбувається заміна існуючих екосистем на менш продуктивні (напр., часткове зпустелення після відпрацювання родовищ відкритим способом).

З природокористуванням тісно пов'язане поняття «техносфера», яке можна розглядати як екологічну нішу людства, що за багатьма просторовими параметрами співпадає з біосферою. Це обумовлює неминучу конкуренцію між елементами біосфери і техносфери, тобто між суспільним виробництвом і діяльністю живої речовини біосфери. Нині ці взаємовідносини виглядають як *конкурентне витискування біосфери техносферою*. Можна сказати, що *техносфера* – це той простір геосфер Землі, який зазнає впливу виробничої діяльності людини та є зайнятим її продуктами. Наприкінці XX ст. людина розсунула межі техносфери *далеко за межі біосфери* – у ближній і далекий Космос, у глибини земної кори і навіть під дно океану.

Будь-який виробничий процес у техносфері починається з того, що природний ресурс вилучається із навколишнього середовища. А завершується цей процес поверненням у середовище різноманітних відходів, а також тих готових виробів, які відслужили свій термін. Цей процес незамкнений, на відміну від обмінних біосферних процесів, у техносфері він має *кінцевий* (лінійний) характер. Ці відмінності породжують істотні протиріччя у їхній взаємодії – антропогенна діяльність порушує розвиток природних циклів, виводячи їх зі стану стійкої рівноваги.

Розвиток ПРП території у часі має циклічний характер і веде до формування ресурсних циклів, які відображають життєдіяльність потенціалу природних ресурсів. Під *ресурсним циклом* розуміється сукупність перетворень і просторових переміщень певної речовини або групи речовин, що присутні на всіх етапах їхнього використання людиною в межах суспільної ланки загального кругообігу речовин на Землі. Концепція ресурсних циклів була розроблена у 1975 р. російським вченим Ігорем Комаром. Він вважав, що обмін речовин між суспільством і природою має добре виражений циклічний характер, аналогічний природним кругообігам. А сумарний потік цього обміну можна розчленувати на окремі ресурсні цикли.

Відмінною рисою ресурсного циклу є незамкнений характер, тобто утворення маси відходів на всіх етапах – від видобутку до кінцевого використання природної речовини. Підраховано, що наприкінці ХХ ст. з кожної тони видобутого природного ресурсу до готового продукту в середньому доходило лише від 5 до 15%, інша частина ресурсу переходила у відходи. Кардинальні відмінності між природними і технологічними процесами породжують у сучасному суспільстві суперечності, які дедалі більше загострюються, коли, з одного боку, спостерігається брак ресурсів, а з іншого, – збільшення потреби у них, зумовлені стрімким зростанням населення і невгамовним бажанням людей жити з більшим комфортом (наприклад, мати в одній родині не один, а два автомобілі).

Ресурсний цикл зазвичай починається з виявлення природних ресурсів, потім відбувається їхня підготовка до експлуатації з наступним вилученням із природного середовища; далі йде перероблення ресурсів та їхнє споживання людиною; завершується цикл поверненням відходів у природу (Рис. 50).

Ресурсні цикли різняться за видом головної речовини чи групи речовин, які беруть у них участь. У кожному циклі виділяються окремі фази – від освоєння і видобутку до переробки і споживання, – які характеризуються особливим типом впливу на природу, способом обробки ресурсів, нормами витрат сировини, палива, енергії, води, виходу готової продукції, а також обсягами і видами відходів.

Тому ресурсні цикли поділяють на групи залежно від використовуваних ресурсів. Кожна група, у свою чергу, містить різні цикли і підцикли (Табл. 12).



Рис. 50. Основні фази ресурсного циклу

Табл. 12. Основні ресурсні цикли і підцикли

Ресурсні цикли на основі використання корисних копалин					
Енергоресурсів та енергії		Металорудних ресурсів і металів	Неметалевої викопної сировини		
Підцикли					
енергохімічний	гідроенергетичний	коксохімічний	гірничо-хімічний	мінеральних будматеріалів	цінних і рідкісних корисних копалин
Ресурсні цикли на основі використання відновних ресурсів					
Ґрунтово-кліматичних ресурсів і сільськогосподарської сировини		Лісових ресурсів і лісоматеріалів		Флори і фауни	

Зокрема, одним з найдавніших є *цикл ґрунтово-кліматичних ресурсів і сільськогосподарської сировини* – за кількістю корисних продуктів, які людина вилучає з природного середовища, він посідає одне з провідних місць з усіх ресурсних циклів. Значно меншими обсягами вилучення речовини з природи відрізняється від сільськогосподарського *цикл лісових ресурсів і лісоматеріалів*. Початковими і частково середніми фазами циклу є рубки лісу, первинна обробка деревини (очистка від хвої і суччя, сушка), трелювання (від нім. *treilen*, англ. *trail* – тягнути, волочити) – збір і транспортування деревини від місця заготівлі до вантажних пунктів, а також її доставка до споживачів (Рис. 51).



Рис. 51. Приклад ресурсного циклу лісоматеріалів¹⁷

Концепція ресурсних циклів має стати основою розробки шляхів переходу до так званого «циклічного» природокористування. Поняття «циклічна» економіка було запропоновано на симпозіумі Європейської економічної комісії ООН ще у 1971 р. Йдеться про таку організацію природокористування, що забезпечує різке зниження кількості некорисних відходів та можливість максимального *нового включення* використаних (спожитих) матеріалів і виробів у виробничий або природний цикл.

Низка розвинутих країн демонструє позитивну тенденцію поступової трансформації ресурсних циклів на основі природних принципів взаємозв'язку і замкненості. Така організація ресурсних циклів має вести до *безвідходного виробництва*, тобто до такої організації технологічних процесів, коли відходи одних використовуються як сировина для інших, що забезпечує повну утилізацію відходів. Але поки що у більшості виробництв утворення тих чи інших відходів неминуче. Тому зараз реальною метою є перехід до маловідходних виробництв, які характеризуються максимально можливою утилізацією відходів.

Діяльність людини додає до ПРП території якісно нову ознаку: поряд із самоорганізованою він стає керованою системою, спрямованість функціонування якої підпорядкована не лише саморегуляції потоків речовини, енергії та інформа-

¹⁷ *Тартак* – підприємство для поздовжнього розпилювання круглих лісоматеріалів та брусів на пиломатеріали потрібних розмірів та якості. *Камедь* – густий сік, затверділі виділення слизистих, вуглеводистих речовин (полісахарид), які виступають на поверхні кори за її пошкодження.

ції, а й економічним інтересам. Маючи безпосередній зв'язок із суспільним виробництвом, із задоволенням потреб людей, ПРП території великою мірою є фактичним потенціалом усього подальшого прогресу суспільства.

5.2.1 Поняття екологічного потенціалу

Частиною ПРП є *екологічний потенціал території* – здатність природного середовища відтворювати певний рівень якості протягом досить тривалого часу. Сама ідея екологічного потенціалу з чітким визначенням сутності поняття та сфери його використання, а також пов'язаних з ним похідних і допоміжних понять може бути плідною як для розкриття суті сучасних антропогенних змін у структурно-функціональній організації екосистем, так і для обґрунтування напрямів господарської діяльності, спрямованої на ефективне використання цього потенціалу. На думку деяких авторів, *екологічний потенціал* – це сукупність речовинно-енергетичних ресурсів і властивостей екосистем, що забезпечують їхні максимально можливі структурно-функціональні параметри (енергетичні, біогеохімічні, середовищевісні) і корисні функції (захисні, продуктивні, рекреаційні, ресурсні, естетичні), які можуть бути використані людиною.

Термін «екологічний потенціал» може бути використаний виключно для характеристики первинних (корінних) екосистем. Проте величезні площі земної поверхні зайняті вторинними, зміненими людиною, штучно створеними і піонерними екосистемами. У зв'язку з цим постає потреба оцінювати також їхні потенціальні можливості та величини відхилень від екологічного потенціалу корінних екосистем, на місці яких вони виникли та існують. Для цього запропоновано використовувати поняття «вторинний потенціал екосистеми». Звісно, його речовинно-енергетичною базою завжди служить екологічний потенціал екосистеми, на місці якої існує вторинна екосистема.

Під *вторинним потенціалом екосистеми* слід розуміти сукупність її речовинно-енергетичних ресурсів і властивостей, сформованих під впливом господарської діяльності, яка визначає теперішні структурно-функціональні параметри і корисні функції цієї екосистеми. Основними критеріями для визначення екологічного потенціалу і вторинного потенціалу екосистем є такі:

- загальна біопродуктивність екосистеми і запаси у ній біотичної продукції як результат реалізації речовинно-енергетичного потенціалу певної ділянки земної поверхні – визначається за кількістю продукції на одиниці площі, виробленої за одиницю часу;

- загальна енергетична здатність екосистеми – визначається за кількістю енергії, накопиченої у екосистемі на одиниці площі за одиницю часу;
- загальна водо-трансформаційна здатність екосистеми – визначається за кількістю опадів, трансформованих (тобто повернених у атмосферу шляхом випаровування, перетворених у ґрунтовий стік і запаси води у ґрунті) екосистемою на одиниці площі за одиницю часу.

Кожна екосистема містить певну кількість структурно-функціональних блоків (продуцентів, консументів, редуцентів, автотрофів, гетеротрофів, ґрунтів тощо), у її складі бере участь певна кількість популяцій рослин і тварин. Для позначення їхніх потенційних можливостей (на відміну від екологічного потенціалу як властивості цілої системи) застосовується термін «біотичний потенціал». *Біотичний потенціал* – це генетично зумовлена здатність організмів, видів, популяцій, структурних чи функціональних блоків екосистеми існувати у певному діапазоні екологічних факторів та підтримувати структурно-функціональну організацію екосистеми, у складі якої вони знаходяться.

Для структурних блоків екосистеми еталонним можна вважати такий стан (величину) біотичного потенціалу, який відповідає первинній екосистемі конкретної ділянки земної поверхні. Загалом же екологічний потенціал можна розглядати як сукупність біотичних потенціалів екосистеми, а саме: автотрофного (фітоценозу, популяцій рослин), консументного (різних груп і популяцій другого і вищих трофічних рівнів), редуцентного (трофічних груп безхребетних і мікроорганізмів) блоків загалом, або підпорядкованих їм структур (популяцій, трофічних груп) зокрема.

Різниця між екологічним потенціалом і вторинним потенціалом екосистеми свідчить, з одного боку, про рівень використання екологічного потенціалу вторинною екосистемою, з іншого – про втрату або примноження цього потенціалу під впливом антропогенного навантаження (ерозії ґрунтів, внесення добрив тощо). Наприклад, якщо взяти екологічний потенціал за 1, то вторинний потенціал досліджуваної екосистеми може дорівнювати 0,7, тобто рівень використання першого становитиме 70%, а його втрата – 30%.

Послідовність операцій або дій, необхідних для визначення екологічного і вторинного потенціалів, узагальнено можна уявити таким чином:

- спочатку на великомасштабних картах корінного і сучасного біогеоценотичного покривів певної екосистеми чи її частин (полігону) визначаються площі зображених біогеоценозів та їхніх екологічних груп, а також інших, не зайнятих рослинністю, виділів (доріг, забудов, кар'єрів тощо);

- потім робиться зведена експлікація¹⁸ площ, для кожного виділу встановлюється величина екологічного (для первинного покриву) і вторинного (для сучасного покриву) потенціалів за показниками запасів біомаси, продуктивності, енергетики тощо;
- остаточно визначаються сумарні показники потенціалів для досліджуваної екосистеми чи полігону і на підставі їх порівнянь визначається рівень використання екологічного потенціалу за сучасних умов ведення господарства.

Оцінка екологічного потенціалу кожної однорідної ділянки земної поверхні, кожної екосистеми має стати передумовою раціоналізації ведення лісового, сільськогосподарського, рекреаційного, водного та інших галузей господарства. Ця робота набуває особливої актуальності у зв'язку з нагальною потребою реалізації стратегії сталого розвитку територій.

5.3 Мінеральні ресурси

Мінеральні ресурси, утворені в надрах і на поверхні Землі, із стародавніх часів широко використовувалися людством, і тому вони отримали назву *корисні копалини*. Процеси переробки корисних копалин відомі людині декілька тисяч років. Ретроспективний аналіз дозволяє визначити основні дати розвитку гірництва. Зокрема, добування нерудної сировини розпочалося у 7 тисячолітті до н.е., між 7-м і 5-м тис. до н.е. почали добувати кольорові метали – мідь, золото, олово. Початком видобутку залізних руд вважають IX-XVIII ст. до н.е., у античну добу і потім у середні віки почали розробляти поклади вугілля і нафти, а у XX ст. – радіоактивні мінерали. Крім власно копалин (твердих, рідких, газоподібних), людство використовує хімічні та інші речовини з озер і заток, океанів, поверхні Землі, а також з атмосфери.

Отже, до *мінеральних ресурсів* належать природні речовини мінерального походження, які використовуються для одержання енергії та різноманітних матеріалів шляхом їхніх видобутку і наступної переробки, а саме:

- будівельні матеріали і сировина для них, які видобуваються з неживої природи;
- різні види палива (вугілля, торф, нафта, природний газ, уран тощо);
- матеріали для виробництва машин, знарядь та предметів побуту (метали, глина, пісок);
- сировина для хімічної промисловості;

¹⁸ *Експлікація* (від лат. *explico* – пояснюю, розгортаю) – роз'яснення умовних позначень, що вживаються на картах і планах.

- продукти споживання (мінеральна вода, харчова сіль).

Переважає більшість корисних копалин утворилася у минулі геологічні епохи, тому зараз вони не відновлюються. Певну здатність до відновлення мають торф, відкладення солей у озерах і морських затоках, сучасні донні відклади річкового піску і гравію. З них лише торф відтворюється за рахунок фотосинтезу і мінеральних речовин води, а деякі донні відклади – за рахунок трупів рослинних і тваринних організмів. Інші корисні копалини відновлюються за рахунок руйнування гірських порід і перевідкладення утвореного матеріалу. Швидкість відтворення корисних копалин невелика, особливо з урахуванням інтенсивності їхнього використання. Таким чином, корисні копалини практично не мають здатності до самовідновлення і тому належать до *типових вичерпних ресурсів*.

Поняття «мінеральні ресурси» охоплює надзвичайно широке коло природних речовин мінерального походження. З їхнім видобуванням пов'язані найрізноманітніші екологічні ускладнення – від вичерпності окремих родовищ і порушень природних екосистем до катастрофічних забруднень навколишнього середовища. Не зважаючи на розмаїття хімічного складу, фізичної будови, генезису, способів добування і переробки, а також можливих напрямів виробничого використання, усі мінеральні ресурси мають такі спільні характерні риси:

- У *Невідновність* практично усіх видів корисних копалин (за винятком торфів, алювіальних наносів, продуктів вивітрювання).
- У *Нерівномірність та обмеженість* територіального поширення окремих видів ресурсів – одні види можуть зустрічатися практично повсюди, інші (їх переважна більшість) – лише в окремих точках планети.
- У *Стабільність використання у часі*. Оскільки у кожному випадку йдеться про видобуток вже сформованих запасів того чи іншого мінерального ресурсу, загальна природна ситуація мало впливає на ритм розробки, а річні й сезонні коливання видобутку сировини визначаються виключно економічними чинниками.
- У *Однозначність використання*. Незалежно від спрямування подальшої переробки і кінцевого споживання, кожен вид мінеральних ресурсів передусім має бути добутий, тобто вилученим із свого природного оточення, і лише тоді він стає предметом праці. Усі наступні етапи використання цих ресурсів перебувають вже за межами поняття «мінеральні ресурси» і тому є варіантами *утилізації* одержаної сировини.

Конкретним об'єктом вивчення мінеральних ресурсів є *родовище корисних копалин* – ділянка земної кори, де внаслідок тих чи інших геологічних процесів

відбулося нагромадження мінеральної сировини, за кількістю, якістю і умовами залягання придатної для промислового використання. Кожне родовище характеризується *запасами корисних копалин*, тобто кількістю мінеральної речовини у надрах. Запаси різної мінеральної сировини оцінюються по-різному: благородні метали – у кілограмах, дорогоцінне каміння – у каратах, металорудна і хімічна сировина – у тонах, будівельні матеріали і природний газ – у кубометрах.

Нині відомо близько 250 видів корисних копалин. Зважаючи на цю різноманітність, їх поділяють на такі групи:

- *Горючі корисні копалини* (паливні та енергохімічні) – газоподібні (природний газ); рідкі (нафта, конденсат); тверді речовини (вугілля, торф, горючі сланці).
- *Металеві корисні копалини* (рудні) – *чорні метали* (залізо, марганець, хром); *кольорові метали* (алюміній, магній, миш'як, мідь, нікель, свинець, титан, цинк); *рідкісні метали* (Берилій, ванадій, вісмут, вольфрам, цезій тощо); *благородні метали* (золото, іридій, паладій, платина, срібло); *розсіяні метали* (германій, селен, талій, телур); *рідкісноземельні метали* (європій, ітрій, лантан); *радіоактивні метали* (торій, уран).
- *Неметалеві корисні копалини* (нерудні) – *сировина для металургії* (вогнетривкі глини, флюсовий каолін, пісок); *гірничохімічна сировина* (йод, крейда, самородна сірка, апатит); *гірничорудна сировина* (азбест, графіт, озокерит); *сировина будівельна* (каолін, вапняк, гіпс, глина, облицювальний камінь тощо).
- *Води* (гідротермальні) – підземні води (мінеральні, прісні, промислові, термальні) і поверхневі води (ропа – насичений соляний розчин у водоймах, підземних пустотах чи порах донних відкладів соленосних озер).
- *Інертні гази* – компоненти повітря, які представляють окрему господарську цінність (аргон, гелій, криптон, неон).

Запаси мінерально-сировинних ресурсів, особливо тих, що зосереджені у надрах, не безмежні й практично невідновні. Прогнози на перспективу щодо можливого виснаження запасів мінеральної сировини оцінюються фахівцями неоднозначно. Деякі розрахунки свідчать, що, починаючи з 2000 року, запасів вугілля, залізних, марганцевих і хромових руд, фосфатної сировини і калійних солей, за умов споживання на сучасному рівні, має вистачити ще на 100-300 років. Запасів поліметалічних руд, що містять нікель, кобальт, вольфрам, молібден, мідь, свинець, цинк, олово, а також азбесту і самородної сірки залишається тільки на 30-60 років. Якщо врахувати ще й прогнозні запаси, то час повного вичерпання мінеральних ресурсів відсувається на триваліший термін.

Родовища різних корисних копалин розміщені на планеті дуже нерівномірно. Так, США, Канада, Австралія, Китай і Росія володіють найбільшими запасами металевих корисних копалин. У країнах Близького і Середнього Сходу зосереджено більше половини світових запасів нафти. У надрах країн, що розвиваються, залягає 90% запасів кобальту, близько 90% олова, 75% бокситів, 60% міді. Багато країн володіють запасами світового значення одного або кількох видів корисних копалин.

Розміри нашої планети і відповідно кінцевий обсяг викопних ресурсів обумовлюють їхню неминучу вичерпність. Терміни повного виснаження окремих видів таких ресурсів залежать від їхніх запасів і темпів використання. Справжні запаси багатьох невідновних ресурсів *ще не встановлені*. Сучасні надглибокі геологорозвідувальні свердловини спроможні досягати глибин земної кори понад 12 км. Відомості про склад і будову глибших зон літосфери можна отримати лише за допомогою непрямих методів – сейсмічної та електророзвідки, гравіметрії та інших. Недослідженими також залишаються величезні ділянки дна Світового океану, що у декілька разів перевищують поверхню суші; лише у небагатьох країнах почали активно освоювати континентальний шельф.

Видобування і переробка мінеральних ресурсів призводить до утворення маси відходів. Вони забруднюють навколишнє середовище, знижують цінність ще не використаних ресурсів. Раціональне використання корисних копалин передбачає їхнє комплексне освоєння, застосування у виробництві енерго- і ресурсозберігаючих технологій, активне упровадження оборотного (або повторного) використання ресурсів. У багатьох економічно розвинутих країнах послідовно реалізується саме така політика. Виробництво з використанням повторних ресурсів чорних і кольорових металів, паперово-картонних виробів, будівельних матеріалів, скла та інших дає значну економію мінеральних, інших ресурсів та енергії.

Подальша розробка деяких видів сировини є реальною загрозою для навколишнього середовища і навіть існування людини. Таким чином, проблема є не тільки і навіть не стільки у фізичному виснаженні відомих видів ресурсів, скільки у економічній і екологічній недоцільності їхнього видобування. Важливою умовою збереження корисних копалин є геологічна розвідка з метою подальшого раціонального освоєння запасів сировини і палива, що включає:

- *Повне використання усіх корисних компонентів з родовищ (наприклад, контурне обводнення нафтових пластів для підняття нафти; перехід від шахтного способу видобутку до відкритого – кар'єри, розрізи тощо).*

- *Комплексне використання* багатокomпонентних руд (наприклад, порожня порода, яка залишається на відвалах міднорудних басейнів, містить золото, срібло, кобальт та інші компоненти, вартість яких часто перевищує вартість міді).
- *Утилізація відходів* збагачення і спалювання корисних копалин (наприклад, пилоподібний попіл і шлаки, відвали яких займають величезні території, можуть служити будівельною сировиною).
- *Використання вторинних продуктів* переробки мінеральної сировини (наприклад, 1 т чавунного і сталевого лому зберігає 3,5 т мінеральної сировини).
- *Пошук та освоєння нових джерел* корисних копалин (океанічне дно на глибині більше 1-2 тис м зберігає поклади мінеральної сировини, сконцентрованої у залізо-марганцевих конкреціях, які, за орієнтовними оцінками, містять 358 млрд т марганцю, 207 млрд т заліза, 40 млрд т нікелю, 25 млрд т магнію).
- *Освоєння нових енергетичних ресурсів.*

5.3.1 Гірничопромислові ландшафти і рекультивація земель

Видобування мінеральної сировини призводить до формування специфічних антропогенних ландшафтів, які називають *гірничопромисловими*. Своєю площею вони поступаються іншим рукотворним ландшафтам, зокрема сільськогосподарським, але в окремих гірничих районах досягають значних площ.

Масштаби впливу на природу в гірничопромислових комплексах величезні. Найбільш небезпечними за ступенем негативного впливу на довкілля є гірничі підприємства, які здійснюють відкриту розробку родовищ, – *кар'єри*. Їхні розміри – глибина і ширина кар'єрного поля – можуть досягати значних величин, а розміщення розкривних порід потребує площі у багато тисяч гектарів. Деякі кар'єри заглиблюють на сотні метрів. Наприклад, кар'єр у США «Бінгем-Каньйон», відомий також як Kennecott Copper Mine, де добуваються золото і мідь (Рис. 52). Його глибина сягає майже кілометра, діаметр – близько 4 км. Або гігантський мідний кар'єр «Чукікамата» (Chuquicamata) у Чилі глибиною 850 м (Рис. 53).

Результатом добування корисних копалин відкритим способом є порушення літогенної основи ландшафтів; на поверхні опиняються глибинні породи, що призводить до зміщення багатьох хімічних процесів. видобуток корисних копалин відкритим способом завжди супроводжується інтенсивним забрудненням і запиленням атмосферного повітря у зоні розробок, а також зміною гідрогеологічних умов не тільки у самому кар'єрі, але й на прилеглих територіях.

Під впливом відкритих розробок відбувається повне або часткове знищення первинної рослинності, ґрунтів, різке порушення біологічної продуктивності еко-

систем. Нові біоценози зазвичай є одноманітними та випадковими за складом видів, примітивними за структурою, малостійкими і часто не здатними до самовідтворення. Буває, що нові екотопи освоюються організмами не на ґрунті, а на специфічному мінеральному субстраті.



Рис. 52. «Бінгем-Каньйон» (США)



Рис. 53. Кар'єр «Чукікамата» (Чилі)

У гірничопромислових ландшафтах відбувається активна перебудова поверхні, внаслідок чого формується так званий *техногенний неорельєф*. Масштаби цієї перебудови настільки значні, що у науці з'явилося поняття про «антропогенний орогенез¹⁹». Виділяють два типи форм техногенного рельєфу:

- *позитивний* (акумулятивний) – відвали, терикони, насипні й намівні поверхні;
- *негативний* (вироблений) – шахти, кар'єри, виїмки, траншеї.

Відкриті розробки спричиняють істотні зміни гідрологічного режиму території. Самі кар'єри витрачають величезну кількість води, з чим пов'язане висихання і виснаження ґрунтових вод у районах діючих кар'єрів, причому зміни охоплюють території, приблизно у 25 разів більші, ніж сам кар'єр. У рівнинних районах, навпаки, часто виникає локальне заболочування території, яке посилюється порушенням природного стоку акумулятивними формами неорельєфу. І нарешті, для регіонів з відкритими розробками характерно забруднення усіх компонентів природного середовища продуктами вивітрювання глибинних порід, а також промисловими викидами, пожежними газами відвалів і палаючих териконів (Рис. 54).

Після завершення гірничих робіт на порушених територіях має здійснюватися їхнє відновлення, тобто рекультивація (лат. *re* – відновлення і *cultus* – обробіток, дослівно – введення у використання, повторне використання). *Рекультивація земель* – це комплекс робіт, спрямованих на відновлення продуктивності та

¹⁹ *Орогенез* – сукупність інтенсивних висхідних вертикальних тектонічних рухів, з якими пов'язане виникнення і розвиток гірського рельєфу.

господарської цінності порушених земель, а також на поліпшення умов довкілля відповідно до інтересів суспільства. Будь-яке будівництво, добування корисних копалин, геологорозвідка тощо не мають починатися, доки не буде розроблено проект рекультивації порушеного ґрунтового покриву. Отже, рекультивація земель є ефективним заходом щодо раціонального природокористування і охорони природи. Рекультивації підлягають усі землі, що зазнають змін у рельєфі, ґрунтовому покриві, материнських і підстильних породах, які відбуваються або вже відбулися у процесі гірничих, будівельних, гідротехнічних, геологорозвідувальних та інших робіт.



Рис. 54. Палаючий терикон (ліворуч) і отруєна вода у підніжжя терикону

Основне завдання рекультивації полягає у приведенні порушених земель до стану, придатного для їхнього подальшого використання у сільському, лісовому, рибному господарстві, для промислового та іншого будівництва, створення тепличних господарств і зон відпочинку, тобто за призначенням. Головною метою рекультивації є відновлення продуктивності порушених територій і повернення їх у різні види використання, що передбачає проведення комплексу інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, сільськогосподарських та інших робіт.

Перші спроби рекультивації територій, порушених гірничою промисловістю, розпочалися ще у середині XIX ст. у Германії. З початку XX ст. подібні роботи проводилися у США і Англії. Після другої Світової війни вони були розповсюджені як у США, так і практично в усіх європейських країнах.

Об'єкти рекультивації дуже різноманітні – це можуть бути відвали і кар'єрні виїмки відкритих розробок, різних розрізів чи рудників з найрізноманітнішими системами відвалоутворення; території, порушені підземним видобуванням корисних копалин; відвали золи і лінійні порушення поверхні внаслідок буді-

вництва трубопроводів, доріг та інших комунікацій. Рекультиваційні роботи здійснюються у декілька послідовних етапів, зокрема:

- *Підготовчий* етап включає дослідження і типізацію порушених територій, вивчення специфіки умов на землях, що підлягають рекультивації, визначення можливості подальшого використання земель після завершення рекультивації.
- *Гірничотехнічна* рекультивація (інженерна підготовка території до різних видів подальшої рекультивації) здійснюється після повної підготовки території, що підлягає рекультивації.
- *Біологічна* рекультивація і перехід до цільового використання рекультивованих територій. Роботи на цьому етапі спрямовані на остаточне відновлення родючості й біологічної продуктивності порушених земель, створення сільськогосподарських чи лісгосподарських угідь тощо.

Гірничотехнічна рекультивація включає цілий комплекс таких інженерних робіт:

- знімання і складування родючого шару ґрунту чи потенційно родючих порід (Рис. 55);
- формування відвалів шахт і кар'єрів;
- вирівнювання поверхні (Рис. 56), терасування і закріплення укосів відвалів, бортів і кар'єрів, засипання шахтних провалів, закріплення їхніх бортів;
- хімічна меліорація токсичних ґрунтів;
- покриття вирівняної поверхні шаром родючого ґрунту або потенційно родючих порід;
- інженерне упорядкування рекультивованої території (дренажна мережа, дороги, виїзди тощо);
- вирівнювання дна і бортів кар'єру при створенні водойм.



Рис. 55. Зняття родючого шару ґрунту



Рис. 56. Вирівнювання поверхні

Обсяг робіт гірничотехнічного етапу рекультивації залежить від стану порушених земель і виду запланованого подальшого використання території. Знімання родючого шару ґрунту є обов'язковим для всіх видів робіт з добування корисних копалин, будівництва промислових і житлових об'єктів, доріг і гідротехнічних споруд. Знятий шар ґрунту складують або вивозять на малопродуктивні землі, розміщені неподалік (еродовані, піщані, солонці) для подальшого відновлення родючості порушених земель.

Біологічна рекультивація передбачає комплекс заходів щодо створення сприятливого водно-повітряного і поживного режимів ґрунту для сільськогосподарських і лісових культур. Біологічна рекультивація може бути двох видів – сільськогосподарською або лісовою. *Сільськогосподарська* рекультивація має на меті підготовку земель під рілля, багаторічні насадження чи природні кормові угіддя. Найсуворіші вимоги висуває біологічна рекультивація земель, які відводять під рілля. Наприклад, у зоні поширення родючих чорноземів під рілля слід рекультивувати не більше 70% порушених земель. Решту 30% земель відводять під укоси відвалів, терасоподібні уступи, під'їзні шляхи, протиерозійні споруди, які заліснюють або залужують травами.

Сільськогосподарська рекультивація проводиться передусім у тих районах, де землеробство має велике господарське значення, а ґрунтово-кліматичні умови найбільш сприятливі. *Сільськогосподарська* рекультивація здійснюється на великих за площею відвалах чи кар'єрах (Рис. 57). Це найдорожчий вид рекультивації, оскільки до земель, де мають вирощуватися сільськогосподарські культури, ставляться найвищі вимоги (зокрема, кут нахилу місцевості не може перевищувати 3° тощо).

Лісова рекультивація застосовується частіше, оскільки вона потребує менших витрат, може бути здійснена на токсичних ґрунтах і у складних умовах рельєфу. При виборі деревних і чагарникових порід для посадки на відвалах найбільш придатними є місцеві види, пристосовані до умов даного регіону. Спочатку висаджують піонерні види, тобто породи підготовчого періоду, а потім – цінні породи, які у майбутньому придатні для лісорозробок. Лісові насадження на відвалах виконують важливу меліоративну, ґрунтозахисну і оздоровчу роль. Лісгосподарська рекультивація проводиться здебільшого там, де є можливість відновити ділянки лісу з цінними сортами дерев.



Рис. 57. Поверхня вугільної копальні до і після рекультивації

На місці старих кар'єрів також може здійснюватися *водна рекультивація*, яка має на такі завдання:

- створення резервів промислових вод для потреб хімічної, металургійної, текстильної промисловості, енергетики і сільського господарства;
- створення резервів питної води;
- створення рекреаційних зон.

Затопленню підлягають також кар'єри з високотоксичними ґрунтами, непридатні для інших видів рекультивації. У поєднанні з лісопосадками на відвалах вони можуть бути перетворені на зони відпочинку. Водогосподарська рекультивація стосується здебільшого тих кар'єрів, які після відпрацювання заповнюються ґрунтовими й дощовими водами. Такі штучні озера упорядковуються, до них запускається риба, їхні береги озеленюються.

Рекреаційна (від лат. *recreatio* – відновлення сил, відпочинок) рекультивація виконується неподалік населених пунктів з метою створення зон відпочинку. Здебільшого вона поєднується з водогосподарською і лісогосподарською рекультивацією (озера у кар'єрах упорядковують, на берегах споруджують пляжі, бази відпочинку, висаджують дерева, кущі). *Санітарно-гігієнічна* рекультивація здійснюється для консервації порушених земель, припинення шкідливої дії кар'єрів, відвалів на природне середовище (скажімо, аби звалище не забруднювало повітря і підземні води), якщо з якихось причин використання порушених земель вважається недоцільним.

Будівельна рекультивація має на меті підготовку порушених земель під спорудження житлових будинків, спортивних майданчиків, промислових підприємств, складів. Кар'єри при цьому засипаються відвальними породами, їхні стінки вирівнюються, підводяться дороги, теплотраси, виконуються меліоративні роботи

(дренаж тощо). Що стосується підземних виїмок, то вони після рекультивації можуть використовуватися як господарські приміщення для розміщення складів, архівів, сховищ газу, рідкого палива.

Коли корисні копалини добуваються підземним (шахтним) способом, порожня порода знов повертається у вироблені штреки. У разі неможливості повернення її у штреки створюють зовнішні відвали (терикони), під які відводять малопродуктивні землі чи яри. Після 2-3-річного осідання відвали вирівнюють, покривають потенційно родючою породою, шаром ґрунту і передають для біологічної рекультивації. Якщо внаслідок осідання деформується поверхня ґрунту, у межах шахтного поля на поверхні знімають шар ґрунту, провали засипають, розрівнюють і після остаточного осідання знов вирівнюють і покривають шаром ґрунту.

Під час геологорозвідувальних робіт гумусовий шар ґрунту слід знімати повністю. Крім того, варто знімати ще й півметра горизонту, перехідного до породи, окремо складувати, а промивну рідину, яку використовують у процесі буріння, зберігати у спеціальних резервуарах. Після закінчення буріння зняті шари ґрунту і підґрунтя повертають на попереднє місце. За необхідності потребується хімічна меліорація і внесення підвищених норм органічних добрив.

Отже, зробимо деякі висновки. Надра Землі використовуються людиною з різними цілями, зокрема для:

- видобування корисних копалин;
- зберігання рідких і газоподібних корисних копалин у природних і штучних сховищах;
- будівництва різних споруд, сховищ і навіть цілих заводів;
- прокладання транспортних комунікацій (метро, трубопроводи);
- поховання токсичних промислових і стічних вод.

Провідним напрямом використання надр є, звісно, добування мінеральної сировини. Серед численних видів діяльності людини є два, що мають особливе значення, оскільки від них залежить саме існування суспільства: по-перше, це сільське господарство, яке виробляє продукти харчування; по-друге, видобування з надр Землі енергетичної і мінеральної сировини, без чого неможливе функціонування усіх інших галузей господарства. При цьому, якщо збільшення виробництва продуктів харчування прямо пропорційне зростанню чисельності населення, то підвищення енергоємності і матеріаломісткості сучасного виробництва набагато його випереджає. Як свідчать статистичні дані, при збільшенні населення у 4,5 рази енергоспоживання зростає у 12 разів, а вилучення мінералів з надр Землі – у 9 разів.

За даними ООН, щорічно з надр Землі видобувається близько 20 млрд т корисних копалин. Разом з ними з надр на поверхню піднімається набагато більше порожніх порід (за оцінками, 150 млрд т щороку). Усього ж за всю історію людства, починаючи від бронзового віку, було виплавлено приблизно 16 млрд т різних металів, у т. ч. упродовж останнього півстоліття – 11 млрд т. Від середини XVI до середини XX ст. споживання людством заліза зросло у 5 тис разів, і темпи його видобування подвоюються кожні 10 років.

За сучасних технологій добування і переробки корисних копалин лише 1-5% речовини, що добувається з надр, використовується у вигляді продукції, а решта йде у відвали і відходи. За даними науковців, у верхній десятикілометровій товщі літосфери 99% її маси становлять 12 хімічних елементів: O, Si, Al, Pb, Ca, Nb, K, Mg, H, Ti, C і Cl. Решта елементів містяться у дуже незначних концентраціях. Тим часом людство використовує всі елементи таблиці Менделєєва, але у різних кількостях. За останні десятиліття найбільшого значення для економік усіх країн набули нафта, газ, алюміній, титан, хром, нікель, кобальт, уран, манган, свинець і олово. Міжнародні експерти вважають, що за таких темпів споживання розвідані запаси цих корисних копалин на материках будуть вичерпані за кілька найближчих десятиліть.

Однак ще не усі родовища корисних копалин відкрито та узято на облік. Особливо це стосується шарів літосфери глибше за 3-4 км, вивчених недостатньо. Крім того, величезні запаси мінералів містить Світовий океан, де є родовища нафти й газу, залізо-марганцеві й фосфоритові конкреції, розсіпні родовища золота, платини, алмазів, рідкісних металів тощо. Поки що ці багатства використовуються у незначних обсягах.

У зв'язку з вичерпанням родовищ у багатьох випадках стає економічно вигідним переробляти так звані некондиційні руди з низьким умістом корисних компонентів, які раніше йшли у відвали. Наприклад, до Другої світової війни у Криворізькому залізорудному басейні залізо добувалося з руд, що містили не менше 50% цього елемента, бідніші руди йшли у відвали. Після війни кондиційними стали вважатися руди з умістом 46% заліза. Тому стало економічно вигідним переробляти відвали, яких тут нагромадилася величезна кількість.

Інший приклад. У США є великі запаси бітумінозних пісковиків, з яких можна добувати нафту. За нинішніх світових цін на нафту її добування з пісковиків економічно нерентабельне. Але нафтова криза, що вибухнула у 70-ті роки XX ст., змусила вчених США впритул заходитися розробляти технологію добування палива з бітумінозних пісковиків. У наукові дослідження було вкладено великі кош-

ти, в результаті чого собівартість нафти, що добувається таким способом, удалося знизити у кілька разів. Якщо у майбутньому збільшиться собівартість нафти із звичайних родовищ, стане економічно вигідно добувати її з пісковиків.

Можливості економії та раціональнішого використання ресурсів криють у собі й родовища, які нині розробляються у світі. Йдеться передусім про зниження кількісних і якісних втрат корисних копалин під час їхнього видобування. Кількісні втрати зумовлені тим, що частина руди чи вугілля залишається під землею – на ділянках між блоками чи між шахтами, у так званих охоронних ціликах (стовпах породи, не вилученої в цілях запобігання обвалам покрівлі). Якісні втрати спричинюються тим, що під час вилучення корисної копалини частина руди змішується з пустими породами, внаслідок чого вміст металу в руді виявляється нижчим, зростає зольність вугілля.

У разі добування корисних копалин відкритим способом втрати значно менші (10-12%), ніж за підземного способу (30-40%). Однак не кожне родовище можна розробляти відкритим способом, а крім того, при цьому виникають інші порушення природного середовища. Чималу економію ресурсів дає застосування новітніх технологій видобування корисних копалин: свердловинного гідродобування і вилуговування, підземного виплавляння сірки, газифікації вугілля у надрах тощо. Дуже перспективними вважаються мікробіологічні методи добування корисних копалин: виведено такі штами бактерій, які, розкладаючи сульфідів та інші сполуки металів з дуже бідних руд, переводять їх у розчинну у воді форму, звідки вони після цього можуть бути вилучені економічно вигідним способом.

Мінеральні ресурси кінцеві; їхня гранична величина визначається вмістом того чи іншого елемента у земній корі та Світовому океані. Це змушує шукати нові ареали, об'єкти і способи видобутку і переробки копалин для отримання сировинних і енергетичних ресурсів. Необхідна відмова від філософії «суспільства споживання» і значне скорочення необов'язкових витрат, що продовжить термін користування мінеральними ресурсами Землі.

5.3.2 Відходи як вторинні ресурси

Одноразове використання матеріалів і ресурсів призвело до масового накопичення відходів та виробництва стійких забруднювачів природного середовища. *Відходами* називають будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їхній власник повинен позбутися шляхом утилізації або видалення. До відходів належать:

- Υ залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, утворені під час виробництва, які втратили цілком або частково вихідні споживчі властивості (*відходи виробництва*);
- Υ розкривні й супутні гірничі породи, що видобуваються у процесі розроблення родовищ корисних копалин;
- Υ залишкові продукти збагачення сировини (шлам, пил тощо);
- Υ нові речовини та їхні суміші, утворені у термічних, хімічних та інших процесах (шлак, зола, інші утворення, а також рідини і аерозолі);
- Υ залишкові продукти аграрного виробництва (у т. ч. й тваринництва);
- Υ бракована, некондиційна продукція усіх видів економічної діяльності або продукція, забруднена небезпечними речовинами і непридатна до використання;
- Υ не ідентифікована продукція, застосування чи вживання якої може спричинити непередбачувані наслідки (мінеральні добрива, отрутохімікати);
- Υ зіпсовані (пошкоджені), фізично або морально зношені вироби, які втратили свої споживчі властивості (*відходи споживання*);
- Υ залишки продуктів харчування, побутових речей, пакувальних матеріалів тощо (*побутові відходи*);
- Υ осади очисних промислових споруд, комунальних та інших служб;
- Υ залишки від медичного і ветеринарного обслуговування, медичної чи хіміко-фармацевтичної промисловості, аптечної справи;
- Υ матеріальні об'єкти і субстанції, радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені чинними нормами (*радіоактивні відходи*).

У окрему категорію відходів виділяють *небезпечні відходи*, що мають такі фізичні, хімічні, біологічні чи інші небезпечні властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я людини і тому потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними. До небезпечних відходів належать зокрема непридатні для використання матеріали або продукція, які містять токсичні речовини і мають бути вилучені зі сфери споживання (застарілі пестициди і отрутохімікати, непридатні для вжитку ліки тощо).

Поводження з відходами передбачає дії, спрямовані на запобігання утворенню відходів, їхнє збирання, перевезення, зберігання та інші, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення відходів. Серед методів поводження з відходами виділяються утилізаційні й ліквідаційні. *Утилізаційні методи* спрямовані на економію паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів, а також на підвищення ступеня замкненості виробничих (ресурсних) циклів, що пе-

редусім сприяє екологізації виробництва. *Ліквідаційні методи* застосовуються зазвичай через неможливість на даному етапі розвитку технології утилізувати відходи як вторинне джерело сировини. Вони спрямовані на те, щоб захоронення відходів максимально відповідали екологічним і санітарно-гігієнічним вимогам.

Основним напрямом вирішення проблеми позбавлення відходів є застосування у всіх галузях господарства *безвідходної технології*, тобто перехід на утилізаційні методи. На жаль, поки що для переважної більшості підприємств можна говорити лише про застосування *маловідходної технології*, і тому утворені відходи доводиться складувати. Форми складування відходів дуже різноманітні – це терикони і відвали гірничодобувних підприємств, хвостосховища збагачувальних фабрик, полігони й звалища побутового сміття.

Недоліки простого складування сміття очевидні: площі для смітників завжди обмежені, а ризик проникнення токсичних відходів у ґрунтові води чи самозаймання звалищ дуже великий. Серед усіх аспектів негативного впливу звалищ на довкілля можна виділити два найголовніші: по-перше, вилучення величезних площ родючих земель для захоронення сміття на полігонах; по-друге, значне забруднення природного середовища навколо цих полігонів.

Саме утилізаційний шлях передбачає використання відходів як вторинних ресурсів. Коли йдеться про *відходи як вторинну сировину*, маються на увазі лише ті відходи, для утилізації і переробки яких існують відповідні технології, а також виробничо-технологічні та економічні передумови. При цьому загальна схема використання вторинних ресурсів виглядає таким чином:

- ✓ відмова від використання матеріалів, без яких можна обійтись;
- ✓ повторне використання матеріалів як вторинних ресурсів;
- ✓ переробка вторинних ресурсів для виробництва інших продуктів;
- ✓ безпечне спалювання вторинних ресурсів з метою виробництва енергії;
- ✓ захоронення відходів, які не можна повторно використати будь-яким шляхом.

В усіх розвинених країнах існує конкуренція за право працювати з відходами, там утилізація й переробка сміття стала рентабельною індустрією економіки. Зокрема, у Німеччині її річний обіг становить більше 70 млрд євро, і з відходами працюють біля 300 тисяч платників податків. У Фінляндії застосовують пільгову мотивацію: наприклад, якщо сміттєпереробний завод (компанія) хоче придбати спеціальне обладнання, достатньо пред'явити документи, і державний банк надасть необхідні кошти у вигляді безпроцентної позики на 15 років.

Нині розроблено багато способів переробки відходів – спалювання, компостування, піроліз (спалювання без доступу повітря), складування і сортування з

повторною переробкою. Найбільш перспективним вважається *піроліз* – процес комплексної термохімічної переробки будь-яких твердих відходів за дуже високої температури без доступу кисню, що виключає горіння. В результаті зі сміття виділяються пірогаз, вуглекислий та інші гази, які легко проходять хімічне очищення і утворюють паливний газ. Розплавлені мінеральні складові зливають, виділяють з них шлаки і надалі використовують як будівельні матеріали. Існує низка схожих процесів, навіть плазмового нагрівання, коли сміття «розжарюють» ще сильніше.

Не припиняється пошук альтернативних способів переробки відходів. «Одноповерхова Америка» активно використовує компостні ями та інші біотехнології. Використовуються й живі винищувачі – червоні хробаки, яких можна «годувати» самим різним сміттям. Півкіло таких хробаків з’їдає до 250 г відходів за день. Червоний каліфорнійський черв’як довжиною до 10 см і масою тіла близько 1 г пропускає через свій кишечник органічні відходи, розкладає, перетравлює їх і перетворює на копроліт (біогумус).

Після того, як основним пакувальним матеріалом став пластик, сміттєва проблема тільки загострилася, оскільки пластик у природі дуже повільно розкладається. І хоча технологія повторної переробки пластика дуже складна і дорога, вона надзвичайно важлива не лише для навколишнього середовища, але й для заощадження тисяч тон первинної сировини, виробництво якої потребує відновних природних ресурсів. Таким чином уже непотрібне поліетиленове пакування, завдяки складним технологічним процесам, перетворюється на корисні вироби: мішки для сміття, труби, каністри, черепицю, пластикові листи. Отже, із сміття можна «робити» чималі гроші!

Використання вторинних ресурсів є важливим напрямом економії мінеральної сировини. За деякими розрахунками, повторно можна використовувати майже 70% основних металів. Нині ж промисловість використовує у кращому разі лише 30-40% міді, заліза та інших металів, решта незворотно втрачається, нагромаджується у звалищах, розсіюється, забруднюючи біосферу. Крім цього, для добування сировини із вторинних ресурсів потрібно набагато менше затрат, у т. ч. і енергетичних, ніж для вилучення тієї ж сировини з первинних руд. Наприклад, добування скла шляхом переплавлення битих скляних виробів, пляшок потребує учетверо менших витрат електроенергії, ніж добування того ж скла з піску, поташу тощо. Отже, переробка вторинних ресурсів ще й дає чималий прибуток.

Дедалі ширше у різних галузях господарства починають використовуватися *замінники* дефіцитних ресурсів. Зокрема, у машинобудуванні 1 т полімерних матеріалів може замінити 3 т дефіцитної бронзи. Полімерами замінюють свинець,

мідь, олово та інші гостродефіцитні метали. Важкі багатотонні опори для верстатів-велетнів, які раніше виготовлялися з чавуну, сьогодні з успіхом замінюють бетонними. Наприклад, застосування нових конструкційних матеріалів – композитів – дало змогу конструкторам найбільшого у світі українського літака «Мрія» знизити його вагу на 3 т, а це означає економію 18 тис т дефіцитного авіаційного палива за період експлуатації кожної такої машини.

Нині у світі спостерігається тенденція до зменшення обсягів використання природних ресурсів. Учорашнім днем промисловості поступово стають металургійні гіганти, які поглинають мільйони тон руди, коксу і при цьому випускають мільйони тон низькоякісного чавуну і сталі. Економіка найрозвиненіших країн світу дедалі більше базується на малотоннажному виробництві, а основними галузями стають складне сучасне машинобудування, електроніка, обчислювальна техніка. Зменшення обсягів видобутку мінеральних ресурсів з надр Землі досягається також їхнім комплексним використанням. Практично усі родовища твердих корисних копалин комплексні – крім основного компонента, вони містять цілу низку супутніх. Іноді супутні корисні компоненти виявляються ціннішими за основні.

Світові тенденції у сфері поводження з відходами свідчать про зміну акцентів – від ліквідації негативних наслідків антропогенного впливу до переходу на «чисте» виробництво (зміни технології з метою зведення до мінімуму обсягів утворення відходів). Йдеться про можливість переробки кожного конкретного виду відходів, і лише за відсутності економічно прийнятних рішень – його видалення чи знешкодження.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Розкрийте поняття «природні ресурси» й ті шляхи, якими суспільство їх використовує. Наведіть приклади.
2. За якими ознаками здійснюється загальний поділ природних ресурсів? Обґрунтуйте цей поділ.
3. Чому на сучасному етапі взаємодії природи і суспільства можна говорити лише про умовну невичерпність природних ресурсів?
4. Як класифікують природні ресурси за генетичними і функціональними ознаками? Наведіть приклади.
5. Розкрийте поняття «природно-ресурсний потенціал». У чому полягає принципова відмінність природних ресурсів і природних умов?
6. Яким чином взаємодіють суспільство і природні ресурси у випадку раціонального природокористування? Обґрунтуйте.

7. Які суперечності у суспільстві породжують кардинальні відмінності між природними і технологічним (ресурсними) циклами? Наведіть приклади.
8. З якою метою і яким чином визначають екологічний і вторинний екологічний потенціали екосистем? Обґрунтуйте, як це пов'язано з реалізацією стратегії сталого розвитку територій.
9. Дайте загальну характеристику мінеральним ресурсам. Чому, на вашу думку, корисні копалини належать до типових вичерпних ресурсів?
10. Назвіть і охарактеризуйте відомі вам групи мінеральних ресурсів. Наведіть приклади.
11. Які з гірничопромислових ландшафтів є найбільш небезпечними за ступенем негативного впливу на природне середовище?
12. Назвіть і охарактеризуйте послідовні етапи рекультивації. Які види рекультивації вам відомі?
13. Обґрунтуйте, чому утворення тих чи інших відходів неминуче. Які способи переробки відходів ви знаєте?

5.4 Земельні ресурси

Це вид відновних природних ресурсів, які характеризуються територією, якістю ґрунтів, кліматом, рельєфом, гідрологічним режимом, рослинністю тощо. Земельні ресурси є основою розміщення господарських об'єктів, головним засобом виробництва у сільському, лісовому та інших господарствах, де головну роль відіграє родючість ґрунтів. Земельний фонд становить 133,9 млн км², або 26,3% загальної площі планети Земля. Сільськогосподарськими землями (включаючи рілля, луки, пасовища, сади, плантації) зайнято близько 35%, лісами і чагарниками – понад 30%, населеними пунктами, промисловістю і транспортом – 3% земельного фонду світу. Тенденція зростання кількості населення і зниження землезабезпеченості загострюють необхідність розширення загальної площі сільськогосподарських земель.

Використання ґрунтів людиною в інтересах землеробства розпочалося ще у неоліті близько 12 тисяч років тому, коли з'явилося мотичне рільництво. З розвитком поселень ґрунти стали широко використовуватися під забудову. Примітивна агротехніка, екстенсивне використання ріллі за одночасного зростання щільності населення спричинили руйнування ґрунту під впливом води і вітру. Тому вже більш ніж 2 тис років тому розпочався захист ґрунтів від ерозії (у Китаї, наприклад).

У сучасному розумінні, *земельні ресурси* – складне поняття, що характеризується ознаками просторового й інтегрального ресурсу (протяжністю, рельєфом, надрами, водами, ґрунтовими покривом, рослинністю, іншою біотою) і при цьому є об'єктом господарської діяльності і розселення людей. Іншими словами, це сукупні ресурси земної території, просторовий базис господарської діяльності і розселення, засіб виробництва, біологічної продуктивності й екологічної стабільності середовища життя.

Відтворення ґрунтового покриву відбувається дуже повільно, зі швидкістю 0,2-2 см за 100 років, тобто на утворення мінімально необхідного для землеробства шару ґрунту потужністю 18 см потрібно не менше тисячі років. Головна і найбільш серйозна проблема – спустелення земель внаслідок вирубування лісів, знищення природного рослинного покриву, розорювання, неправильної експлуатації, надмірного випасання худоби, промислового забруднення ґрунтів і водойм, що негативно позначається на рослинному покриві. За даними ООН, нині понад 40% земної поверхні стали пустелями або перебувають під загрозою спустелення.

Сучасний розподіл земельних ресурсів найбільшими регіонами світу має приблизно такий вигляд. Площа земельного фонду країн Західної і Центральної Європи (без країн колишнього СРСР) становить 473 млн гектарів, з яких 147 млн га (близько 30%) зайняті ріллею і плантаціями. У цілому, незважаючи на значну густоту населення, земельні ресурси цієї території використовуються досить ефективно, чому сприяє найнижча серед усіх частин світу частка неродючих і незручних земель, а також переважно сприятливий для сільського господарства клімат і рельєф. Частка сільськогосподарських земель становить 48% загального земельного фонду.

Структура земельного фонду Азії (без країн колишнього СРСР) значною мірою визначається наявністю посушливих або перезволожених територій, які займають майже 60% території Азії, до того ж на гірський рельєф припадає близько 50% її площі. Площа земельного фонду Азії – 2 679 млн га, з яких 456 млн га припадає на ріллю і плантації. Гострий дефіцит земельних ресурсів відчувається у країнах з найбільшою густотою населення (Сінгапур, Японія, Індія, Китай, Бангладеш, Республіка Корея).

Африка відрізняється дуже посушливим кліматом, тому земельні ресурси материка мають низький потенціал. Площа земельного фонду тут становить 2 965 млн га, з яких тільки 183 млн га зайнято ріллею і плантаціями. Площа земельного фонду Північної Америки становить 2 139 млн га, з яких 273 млн га займають рілля і плантації. Більша частина земельного фонду материка припадає на США і

південь Канади. Значні території у високих широтах (Канадський Арктичний архіпелаг, Гренландія) не входять до складу продуктивних земель. На Південну Америку припадає 13,5% світового земельного фонду. Площа її земельного фонду становить 1 754 млн га, з яких 139 млн га припадає на ріллю та пасовища.

Площа земельного фонду Австралії та Океанії становить 843 млн га. З них обробляються 48 млн га. Пасовища займають значну територію – 460 млн га (понад 54% площі земельного фонду). Незважаючи на переважно рівнинний рельєф Австралії і значну теплозабезпеченість, земельні ресурси цього материка мають у цілому незначний потенціал продуктивності через нестачу вологи.

5.4.1 Ґрунти та їхнє значення для агроєкосистем

Ґрунти є природними утвореннями, які характеризуються *родючістю* – здатністю забезпечувати рослини речовинами, необхідними для їхньої життєдіяльності, а також накопиченими водою і повітрям. Крім того, ґрунти є багатфункціональними системами, оскільки виконують такі важливі екологічні функції:

- середовища існування;
- акумулятора і джерела речовини та енергії для організмів;
- проміжного ланцюга між біологічним і геологічним кругообігами;
- захисного бар'єра;
- умов нормального функціонування біосфери в цілому.

Названі функції ґрунтів утворюють їхній *екологічний потенціал*. Його складовою є *агроєкологічний потенціал*, тобто здатність ґрунтів виконувати функцію сільськогосподарських угідь, створювати оптимальні умови для росту і розвитку сільськогосподарських рослин, а також підтримувати екологічну рівновагу в агроєкосистемах. Агроєкологічний потенціал ґрунтів визначається за такими основними показниками:

- ✓ потужність гумусного шару ґрунту;
- ✓ вміст поживних речовин (фосфор, калій);
- ✓ рівень і мінералізація ґрунтових вод;
- ✓ біотичний потенціал або біопродуктивність земельних угідь (середньорічне продуктивне зволоження, період вегетації, середньорічний радіаційний баланс);
- ✓ стійкість ґрунтів до забруднення (суми активних температур, крутизна схилів, кам'янистість, структурність, питомий опір, механічний склад, вміст гумусу, тип водного режиму, реакція рН, ємність іонів, залісненість, розораність, господарська освоєність);

- ✓ забрудненість радіонуклідами (цезій, стронцій, плутоній, америцій), важкими металами (валовий вміст у ґрунті бору, молібдену, марганцю, цинку, кобальту, нікелю, міді, хрому, свинцю), пестицидами і мінеральними добривами з урахуванням природних особливостей ґрунтів;
- ✓ несприятливі природно-антропогенні процеси (ступінь ураженості територій яружною і площинною ерозією, зсувами, суфозією лесових порід, дефляцією, карстом, селями, засоленням, підтопленням, просіданням і обваленням над гірничими виробками).

Отже, ґрунт – це базис для створення будь-якої агроєкосистеми, концентрації процесів трансформації потоків речовини та енергії. Фізико-хімічні процеси, які відбуваються в агроєкосистемах, істотно відрізняються від аналогічних процесів у природних екосистемах внаслідок наявності елементів антропогенного регулювання. Принципова відмінність навіть спрощених агроєкосистем від природних екосистем полягає у періодичному виносі з врожаєм поживних речовин, які акумулюються у вирощеній продукції. Але це не єдина їхня відмінність.

Родючість ґрунту, яка визначається переважно запасами гумусу, є не тільки головною економічною і екологічною характеристикою агроєкосистем. Зменшення вмісту гумусу погіршує умови розвитку корисної мікрофлори, призводить до втрати запасів внутрішньогрунтової вологи, елементів мінерального живлення, посилення процесів змиву і вимивання, тобто обумовлює деградацію базису. З усіх типів ґрунтів найродючішими і найпотужнішими є чорноземи.

Зосереджені на поверхні суші, ґрунти відіграють виключно важливу роль у процесах взаємодії літосфери з атмосферою і гідросферою, безпосередньо (через рослин) або опосередковано (через тварин) обумовлюють існування біосфери. Усі ґрунти мають відому здатність до самовідтворення в ході процесу *ґрунтоутворення*. Людство використовує ґрунти прямим і опосередкованим шляхами. *Пряме* використання відбувається під час руху наземного транспорту, різного роду будівництва, влаштування промислових і побутових звалищ тощо. При цьому ґрунти гинуть. *Опосередковане* використання має ширші масштаби і, за умов правильної організації, не призводить до зникнення або різкого погіршення властивостей ґрунтів. Найважливішим, звісно, є використання ґрунтів для вирощування культурних рослин. Людина також опосередковано використовує ґрунти через промислових і свійських тварин (вони поїдають рослини, які ростуть на ґрунті).

Рівень, тривалість використання родючості й продуктивність ґрунтів залежать від їхніх властивостей, клімату, соціально-економічних умов господарюван-

ня, розвитку науки і техніки. Теоретичною основою високої продуктивності ґрунтів є врахування біологічних вимог вирощуваних культур до тепла і вологи.

Ґрунт є найскладнішою системою, одним з основних компонентів якої є живі організми, що її населяють. Від діяльності ґрунтових організмів залежать інтенсивність фіксації основного біогенного елементу – атмосферного азоту, здатність ґрунту до самоочищення тощо. В останні часи значення ґрунтової біоти істотно збільшилося, і не тільки через її незамінну роль у формуванні родючості ґрунту. Враховуючи техногенне забруднення всіх компонентів біосфери, ґрунтова біота виконує ще й функцію детоксикації шкідливих речовин, присутніх у ґрунті.

Ґрунтовий покрив планети є самостійною земною оболонкою, що має назву *педосфера*. Ґрунт є продуктом сумісного впливу клімату, рослинності, тварин і мікроорганізмів на поверхневі шари гірських порід. У цій найскладнішій системі безперервно відбуваються синтез і руйнування органічної речовини, кругообіг елементів зольного і азотного живлення рослин, детоксикація різних забруднювальних речовин, що надходять у ґрунт. Ці процеси здійснюються завдяки унікальній будові ґрунту, яка є системою взаємопов'язаних твердої, рідкої, газоподібної і живої складових. Зокрема, повітряний режим ґрунту тісно пов'язаний з його вологістю; оптимальне співвідношення повітряного режиму і вологості сприяє кращому розвитку вищих рослин. Тверда фаза ґрунту, в якій переважно містяться джерела поживних і енергетичних речовин (гумус, органо-мінеральні колоїди), тісно пов'язана з ґрунтово-біотичним комплексом.

Важливе значення ґрунту для агроєкосистем можна представити так:

- Υ Ґрунт є головним засобом аграрного виробництва – людство отримує з ґрунту близько 95% усіх продуктів харчування.
- Υ Ґрунт – це життєвий простір, який забезпечує проживання живих організмів.
- Υ Ґрунт є механічною опорою рослинності, яка на ньому росте.
- Υ Ґрунт має здатність зберігати насіння протягом декількох років, що підтримує природне біорізноманіття і здатність до оновлення рослинних популяцій.
- Υ Ґрунт акумулює необхідні для життєдіяльності організмів воду, поживні й енергетичні речовини, що значною мірою визначає його родючість.
- Υ Ґрунт регулює гідротермічний режим, що дозволяє ґрунтовими організмам підтримувати свою життєдіяльність за певних значень температури і вологості.
- Υ Ґрунт виконує санітарну функцію – завдяки здатності до самоочищення за рахунок ґрунтової біоти забезпечується знешкодження багатьох патогенних мікробів і токсикантів, що позитивно впливає на якість сільськогосподарської продукції і стан природного середовища у цілому.

Грунти також виконують інформаційну функцію – наприклад, перехід температури через $+5^{\circ}\text{C}$ навесні стимулює активізацію азоту, фосфору, калію, що слугує своєрідним сигналом для рослин про початок вегетаційного періоду.

Однак усі ці функції ґрунту не безмежні і можуть порушуватися внаслідок виробничої та іншої діяльності людини. Одним з таких порушень є так зване «*ґрунтостомлення*», зовнішні прояви якого виражаються у різкому зниженні врожайності сільськогосподарських культур. Це відбувається, наприклад, якщо з року в рік вирощувати одні й ті ж культури. Основними причинами ґрунтостомлення є накопичення у ґрунті токсичних речовин, які виділяють коріння рослин і мікроорганізми, а також розклад специфічних шкідників, збудників хвороб і бур'янів. Для запобігання ґрунтостомленню необхідно додержуватися сівозмін, регулярно оздоровляти ґрунт шляхом внесення органічних добрив, вирощувати стійкі сорти.

5.4.2 Основні причини погіршення якості земельних ресурсів

Порушення (руйнування) ґрунтів є складним комплексом антропогенних і природних процесів зміни фізико-хімічних і механічних характеристик ґрунту. Першопричиною таких порушень є передусім процеси, ініційовані діяльністю людини – механічна обробка ґрунтів, трансформація їхніх шарів у будівництві, переущільнення внаслідок руху транспорту, випасу худоби, забруднення ґрунтів тощо. Наслідки цих первинних змін можуть багаторазово посилюватися під впливом природних чинників – вітру, дощових потоків тощо. Тобто ґрунт є дуже складною і вразливою системою, що формувалася протягом століть, але може бути зруйнована необачними діями людини за лічені роки, місяці й навіть дні.

Найбільш руйнівною причиною погіршення якості земельних ресурсів є ерозія, тобто захоплення часток ґрунту та їхній виніс водою або вітром. **Ерозія ґрунтів** (від лат. *erosio* – роз'їдання) – це процес руйнування верхніх, найродючіших, шарів ґрунту і підстильних порід під впливом природних і антропогенних чинників. Внаслідок ерозії ґрунт може втрачати родючість доти, доки не перетвориться на справжню пустелю. Залежно від переважання тих чи інших факторів, які впливають на хід ерозійних процесів, розрізняють декілька форм ерозії – водна, вітрова, будівельна, пасовищна тощо.

Водна ерозія проявляється у змиванні верхнього шару ґрунту або розмиванні його у глибину під впливом талих, дощових і поливних (іригаційних) вод. Вона починається зазвичай з *крапельної* ерозії, коли дощові краплини розбиваються об ґрунт, внаслідок чого шпари (тріщини) ґрунту забиваються мулистими фракціями, зменшуючи водопроникність, посилюючи поверхневий стік і змив ґрунту. Коли

вода стікає поверхнею, вона підхоплює і уносить ґрунтові частки. Таке рівномірне вимивання з поверхні ґрунту називається *площинною* ерозією. Якщо внаслідок такого вимивання утворюється багато дрібних річищ, ерозію називають *струминною*, а коли утворюється декілька крупних – *яружною*, або лінійною, ерозією (Рис. 58). Виділяють ще *іригаційну* ерозію, яка виникає в умовах нераціонального організованого зрошення, коли по лінії течії поливної води розташовані схили, здатні до розмивання. Розвиток водної ерозії тісно пов'язаний з рельєфом місцевості; здебільшого руйнування ґрунтів починається на схилах крутизною 1-2°.



Рис. 58. Прояви лінійної ерозії

Вітрова ерозія (дефляція) відбувається внаслідок перевідкладення ґрунтових частинок повітряними потоками; ґрунт видувається сильним вітром. Інтенсивність видування ґрунту значною мірою залежать від його гранулометричного складу і вмісту в ньому гумусу. Зокрема, на супіщаних ґрунтах вітрова ерозія починається за швидкості вітру 3-4 м/с, на легкосуглинкових – 4-6, на важко суглинкових – 5-7 і на глинистих – за швидкості вітру 7-8 м/с. Якщо збільшується сила вітру, зростає інтенсивність вітрової ерозії.

Розрізняють зони дефляції, звідки видувається ґрунт, і зони акумуляції, де він нагромаджується. У зоні акумуляції на суглинкових ґрунтах утворюються наносні ґрунти, а під час розвіювання пісків – похований під них ґрунт. Розрізняють два різновиди вітрової ерозії: повсякденну і пилові бурі. *Повсякденну дефляцію* спричинюють навіть незначні вітри (5 м/с), відбувається вона повільно і непомітно, переважно на піщаних, супіщаних і карбонатних ґрунтах (Рис. 59). При цьому може відбуватися оголення насіння, загорнутого у ґрунт, а також пошкодження молодих сходів рослин. Найсильніше повсякденна дефляція проявляється на схилах, не захищених лісосмугами. Проте найактивніший і найшкідливіший вид дефляції – *пилові, або чорні, бурі*. Вони виникають під впливом сильного вітру (зі швидкістю понад 12-15 м/с) і можуть поширюватися на значні території, знищу-

вати посіви та зносити багато родючого ґрунту. Піднятий під час бур пил може переноситися на великі відстані (Рис. 60).



Рис. 59. Повсякденна дефляція



Рис. 60. Пилова буря

Механічна (агротехнічна) ерозія зводиться до переміщення ґрунту під час його механічного обробітку. Побічним наслідком може бути систематичне зрушення ґрунту вниз по схилу під час оранки. Надзвичайно небезпечною є механічна обробка ґрунтів уздовж схилу, оскільки після глибокої оранки дощ, вітер і гравітаційні сили можуть зруйнувати ґрунт за лічені місяці (а за сильної зливи навіть за годину можуть вимити яр). Під час оранки упоперек схилу внаслідок неповного перевертання скиби вгору може відбуватися осипання землі схилом униз. Ґрунт на схилах частково переміщується донизу і під час культивуації, боронування, сівби.

Транспортна ерозія є наслідком порушення рослинності транспортними засобами; особливо відчувається у пустелі й тундрі. Рослинний покрив виконує ґрунтозахисну роль – чим краще він розвинений, тим слабше проявляється ерозія. Корені рослин міцно скріплюють ґрунтові частинки і перешкоджають змиву, розмиву та розвіюванню ґрунту. Крім цього, рослини приймають на себе ударну силу дощових крапель, уберігаючи тим самим структурні елементи ґрунту від руйнування дощовими краплями або ослаблюючи їхню дію. Густа рослинність різко сповільнює швидкість поверхневого стоку, сприяючи кращому поглинанню води, а також затримує ґрунтові частинки, які змиваються з верху схилів.

Пасовищна ерозія полягає у механічному руйнуванні й переміщенні ґрунту копитами тварин на схилах балок внаслідок збільшення навантаження на обмежену площу пасовища. Відбувається передусім через ослаблення трав'яного покриву під впливом витоптування чи виїдання тваринами. *Технічна (технологічна) ерозія* відбувається під час добування відкритим і підземним способами різних корисних копалин, засипання ґрунту шаром будівельного сміття під час будівництва житло-

вих і промислових об'єктів, використання ґрунту для прокладання транспортних шляхів тощо. *Будівельна ерозія* спричиняється порушенням трав'яного покриву будівельними роботами будь-якого типу. *Хімічна ерозія* є наслідком нагромадження у ґрунті окремих хімічних компонентів (у складі мінеральних добрив, отрутохімікатів), які руйнують структуру ґрунту.

За інтенсивністю прояву розрізняють нормальну і прискорену ерозію ґрунтів. *Нормальна*, або геологічна, ерозія проявляється у природних умовах (без втручання людини) і відбувається повільніше, ніж формування профілю ґрунту під час процесів ґрунтоутворення. Вона спостерігається на цілих землях, у лісах, на луках і, як правило, не призводить до утворення еродованих ґрунтів. *Прискорена* (антропогенна) ерозія виникає внаслідок нераціональної діяльності людини і відбувається набагато інтенсивніше, ніж процеси ґрунтоутворення. Вона призводить до утворення еродованих земель і навіть до повного руйнування ґрунтів. При цьому втрати компонентів ґрунту не компенсуються і різко знижується його родючість. Руйнування ґрунту відбувається у сотні і навіть тисячі разів швидше, ніж за природного перебігу ерозійних процесів. У природних умовах родючість ґрунту постійно підтримується тим, що узяті рослинами поживні речовини повертаються у нього з опадом, мінералізуються і знову збагачують ґрунт. В умовах сільськогосподарського використання у ґрунт повертається лише незначна частина біомаси, решта ж збирається з врожаєм. Особливо сильно виснажують ґрунт монокультури. Розвитку ерозії також сприяє знищення лісів, яке лишає ґрунт захисного шару.

Крім того, однією з найвагоміших причин, що призводять до ерозії та зпустелення, є надмірний випас худоби – так званий «перевипас». Він визначається тим, що трава з'їдається швидше, ніж може відновлюватися; результатом є оголення ґрунту і дія на нього ерозії. У середньому ґрунт формується зі швидкістю приблизно 12,5 т/га щороку, що дорівнює його шару товщиною близько 0,4 см. Отже, ґрунти можуть витримати ерозію з такою ж швидкістю, залишаючись у стані рівноваги. Нині для переважної більшості ґрунтів цей баланс порушений.

Шкода, яку наносить ерозія ґрунтів, надзвичайно велика і дуже різноманітна. Насамперед, еродований ґрунт втрачає значну кількість гумусу. Доведено, що із змиванням кожного сантиметра гумусового горизонту потенційна врожайність зерна знижується на 0,5-2,0 ц/га, а з втратою 1 т гумусу запаси корисної енергії у ґрунті зменшуються на 0,9-1,1 кДж/га. В еродованих ґрунтах істотно знижується вміст макро- і мікроелементів, особливо марганцю і міді. Лінійна ерозія зменшує площу орних земель за рахунок розвитку ярів.

Небезпека водної ерозії полягає не лише у зниженні родючості орного горизонту, а й у замулюванні річок, ставків, інших водойм, заплавлених земель. Цей вид ерозії поширений на схилах, переважно розораних, і найбільш небезпечний у гірських районах, де знищений лісовий покрив. Дуже небезпечною є яружна ерозія, боротися з якою можна лише залісненням і будівництвом спеціальних гідротехнічних споруд. Річкова ерозія, за сприяння швидкої течії, зносить ґрунт з дна і незакріплених берегів. Щоб запобігти цьому, слід зберігати лісові насадження у прирусловій смузі, закріплювати береги за допомогою спеціальних гідротехнічних прийомів.

Отже, збереження ґрунту, рослинного покриву і вологи тісно пов'язані між собою. Рослинність переводить поверхневий стік у ґрунтовий і тим самим сприяє кращому збереженню і використанню вологи, нормалізує гідрологічний режим водних артерій, перешкоджає виникненню ерозійних процесів. У районах з незначними порушеннями рослинного покриву руйнівна дія водної ерозії незначна. Вітрова ерозія поширена передусім там, де немає перешкод сильним вітрам, і де відсутній природний рослинний покрив, що захищає поверхневий шар ґрунту, розораного на великих площах.

Оскільки ерозія є тим найбільшим руйнівником ґрунтів, від якого залежить ґрунтово-земельний потенціал багатьох країн, у світі здійснюється цілий комплекс заходів щодо запобігання ерозії та боротьби з нею. Ці заходи умовно поділяють на чотири групи: організаційно-господарські, агротехнічні, гідротехнічні й лісомеліоративні. *Організаційно-господарські* заходи передбачають використання ґрунтів, виходячи лише з їхньої придатності для тих чи інших цілей. Вони мають забезпечувати протиерозійну організацію території і упровадження ґрунтозахисних сівозмін, а також обґрунтоване обмеження випасу. Ця група заходів включає профілактичні й спеціальні заходи.

Профілактичні заходи спрямовані на часткову чи повну заборону використання авіації для внесення добрив і обробки пестицидами; застосування легкокорозійних отрутохімікатів і мінеральних добрив; розорювання земель та знищення деревно-чагарникової або трав'янистої рослинності на ерозійно небезпечних ділянках; внесення добрив на сніговий покрив і мерзлий ґрунт; складування добрив на полях тощо. *Спеціальні заходи* передбачають раціональну організацію території і комплексне водорегулювання у межах водозабору.

Протиерозійні агротехнічні заходи спрямовані на підвищення поглинальної здатності ґрунту, його стійкості до розмиву і видування, послаблення поверхневого стоку і його переведення у внутрішньогрунтовий. З цією метою обробіток ґру-

нту здійснюється паралельно горизонталям місцевості (так зване «контурне» землеробство), упоперек схилу насипають валки ґрунту 15-25 см заввишки, проводять снігозатримання, щілювання²⁰ і кротування²¹ ґрунту, обробіток плоскорізами, застосування органічних і мінеральних добрив, вузькосмужний посів, терасування схилів тощо (Рис. 61).



Рис. 61. Терасування схилів

Зокрема, забороняється розорювання схилів крутизною понад 7° (крім ділянок для залуження, залісення чи здійснення ґрунтозахисних заходів). На схилах крутизною від 3 до 7° обмежується розміщення просапних культур, чорного пару. Для боротьби з водною і вітровою ерозією з успіхом застосовують мульчування²² ґрунтів. Матеріалом для мульчі може бути стерня, післяжнивні й післязбиральні рештки, стружка, тирса, спеціальний папір, пластмасова плівка тощо.

Протиерозійні гідротехнічні заходи спрямовані на забезпечення повного або часткового затримання поверхневого стоку, запобігання концентрації водних потоків, що викликають водну ерозію. Для цього передбачається будівництво спеціальних протиерозійних гідротехнічних споруд – розпилювачів стоку, водозатримуючих валів, валів-терас, гребель, перепадів, лотків-швидкотоків, ставків у балках і ярах (Рис. 62). Вони використовуються у комплексі з протиерозійними насадженнями і застосовуються передусім у тих випадках, коли інші заходи не дають належного ефекту. Для перехоплення зливових вод споруджуються спеціа-

²⁰ Щілювання – це прорізування вузьких щілин (глибиною 40-60 см, на відстані одна від одної 100-150 см) на схилових і рівнинних землях з метою якнайбільшого вбирання ґрунтом талих і зливових вод.

²¹ Кротування – це нарізування густої (паралельно через 0,8-2 м) мережі кротовин на глибині 35-40 см упоперек розміщення дрен.

²² Мульчування – укривання поверхні ґрунту соломною, перегноем, мульчпапером тощо для захисту ґрунту від пересихання і перегрівання.

льні колектори, які відводять поверхневий стік. У руслах річок, де швидка течія води руйнує береги, використовують берегоукріплювальні бетонні плити, блоки (Рис. 63).



Рис. 62. Лотки-швидкотоки



Рис. 63. Конструкції для укріплення схилів

З метою поліпшення мікрокліматичних умов, ефективного снігозатримання і боротьби з вітровою ерозією також застосовують *агролісомеліоративні* й *луко-меліоративні* заходи. На роль полезахисного лісорозведення у боротьбі з ерозійними процесами вказував ще В.В. Докучаєв. Щоб зменшити руйнівну дію зливових і талих вод на полях, прилеглих до балок і ярів, створюють прибалкові і прияружні лісосмути. Яружні системи заліснюються кущовими породами, які своїм корінням захищають ґрунт від подальшого розмивання. Захисна роль лісів, особливо на гірських схилах, винятково важлива, її не можна замінити ніякими гідротехнічними спорудами.

Ерозія, хоч і найсильніша руйнівна причина погіршення якості земельних ресурсів, проте не єдина. Крім ерозії, серед інших причин можна виділити ***вторинне засолення ґрунтів***, що передусім є наслідком зрошування земель в умовах посушливого клімату і підйомом мінералізованих ґрунтових вод до земної поверхні. Високе піднімання мінералізованих ґрунтових вод відбувається через порушення водного балансу територій фільтраційними водами, коли водний баланс наближається до межі. Ґрунтові води, що залягають неглибоко від земної поверхні і містять солі, починають при цьому інтенсивно випаровуватися, внаслідок чого ґрунт насичується надмірною кількістю водорозчинних солей. Зазвичай мінералізація води для зрошування становить 0,2-0,5 г/л. Підвищення мінералізації призводить до зростання площ засолених земель; сприяє цьому й надмірне застосування мінеральних добрив.

Вторинне засолення ґрунтів може відбуватися і за умови відносно глибокого залягання підґрунтових вод, коли поливна волога проникає до глибини залягання материнської засоленої породи і розчиняє солі, які піднімаються до поверхні у вигляді розчину і випадають з нього у процесі випаровування вологи. Засолення і осолонцювання зрошувальних земель – це ті фактори, що обмежують родючість ґрунтів і перешкоджають їхньому ефективному використанню у аграрному виробництві. Засолення ґрунтів вважається однією з форм забруднення і визначається як підвищення вмісту в ґрунті легкорозчинних солей (карбонату натрію, хлоридів, сульфатів). Ґрунти вважаються засоленими, якщо вміст токсичних для рослин солей перевищує 0,1% їхньої ваги.

Існують різні методи і прийоми меліоративного поліпшення солонцевих ґрунтів: агротехнічні, хімічні й комплексні. Ефективним прийомом поліпшення властивостей зрошуваних засолених земель є *хімічна меліорація* за допомогою фосфогіпсу у комплексі з органічними добривами. На зрошуваних засолених ґрунтах застосовують також інший меліорант – кальцієву селітру. До того ж, меліорація цих ґрунтів потребує насамперед такого радикального засобу, як *осушення* за допомогою дренажу. Тільки після зниження рівня підґрунтових вод до глибини більше критичної межі можливі їхня хімічна меліорація і окультурення.

Негативний вплив засоленості на врожайність сільськогосподарських культур можна певною мірою зменшити, висіваючи на цих ґрунтах більш солестійкі культури – цукрові й кормові буряки, гірчицю, кавуни; середньостійкі – пшеницю, жито, ячмінь, просо, овес, картоплю, помідори, гарбузи, редьку; слабостійкі – кукурудзу, огірки, редис, горох, боби.

Отже, серед заходів щодо боротьби із вторинним засоленням ґрунтів можна назвати такі основні:

- Рациональний обробіток ґрунту для підтримки його грудкувато-зернистої структури.
- Правильний режим зрошування і раціональна організація витрачання води з метою запобігання її втратам (так званий оптимальний режим зрошування).
- Меліоративні заходи – створення дренажних сіток, хімічна меліорація, лісопосадки.

Ще однією серйозною причиною погіршення якості земельних ресурсів є підтоплення. **Підтоплення земель** – це процес збільшення природної вологості ґрунтів понад 80% їхньої повної вологоємності, що відбувається під впливом примусового підйому рівня ґрунтових вод у зону аерації. До підтоплення призводить не тільки бездумне спорудження водосховищ. Значна частина підтоплених

земель утворюється через порушення норм поливу при зрошенні, витік води у зрошувальних мережах, технічну недосконалість проектів зрошення. Особливо інтенсивно підтоплення відбувається у перші 2-3 роки після початку функціонування зрошувальної системи.

Серед причин підтоплення можна виділити такі основні:

- Υ Спорудження водосховищ і ставків, що спричиняє підпір рівня ґрунтових вод і зниження природного дренажу території.
- Υ Порушення природного стоку на забудованих територіях.
- Υ Втрати води у системах водопостачання і водовідведення (до 20-40% загального обсягу водокористування).
- Υ Незадовільне функціонування чи повна відсутність у населених пунктах зливової мережі та інших систем водовідведення.
- Υ Зрошення орних земель без відповідного дренажу.
- Υ Виведення з експлуатації вугільних шахт чи кар'єрів шляхом повної ліквідації або часткового затоплення гірничих виробок.
- Υ Скорочення площ лісових насаджень.

Чимало земель виявляються підтопленими внаслідок створення котлованів, траншей та інших земляних споруд. В них накопичуються поверхневі й дощові води, які потім з'єднуються з підземними, проникають у породи, викликають їхнє обводнювання та підвищують рівень ґрунтових вод. Крім цього, до підтоплення можуть призводити й різні земляні роботи, за яких створюються насипні об'єкти (насипи, відвали). У насипних ґрунтах виникають сприятливі умови для конденсації водяної пари; крім того, такі об'єкти можуть перешкоджати природному стоку поверхневих вод і фактично вести до виникнення штучних джерел водозбору. Підтопленню також сприяє порушення структури верхнього шару ґрунту внаслідок зняття рослинного покриву, викорчовування кореневої системи. Поверхневі ґрунти втрачають свій природний захисний шар, що призводить до збільшення кількості вологи у породах через кращу проникність поверхневих ґрунтів і до збереження вологи у породі внаслідок відсутності її транспірації рослинністю (Рис. 64). Якщо процеси стійкого підтоплення земель тривають достатньо довго, відбувається їхнє заболочування.

Як боротися з підтопленням? Для цього існує цілий комплекс заходів і прийомів, насамперед такі:

- відведення поверхневих вод у зонах підтоплення, проведення меліоративних робіт;

- розчищення річищ річок, підтримання необхідного рівня їхньої дренажної спроможності;



Рис. 64. Підтоплення земель

- створення контурно-меліоративної системи території, що передбачає диференційоване використання земель залежно від рельєфу і ґрунтово-екологічних умов;
- збільшення лісистості до оптимальних відсотків;
- здійснення агротехнічних протиерозійних заходів щодо запобігання замулюванню водних джерел продуктами ерозії;
- створення і упорядкування водоохоронних зон і прибережних захисних смуг;
- залуження і заліснення прибережних захисних смуг, схилів, балок і ярів;
- інженерно-технічне облаштування окремих ділянок берегової зони задля безпечного проживання і господарської діяльності населення та запобігання ризику активізації екзогенних процесів унаслідок експлуатації водосховищ;
- упровадження нормованого водокористування на основі планування водозберігаючих поливних режимів, урахування умов дренажності території;
- розроблення науково обґрунтованих водозберігаючих норм і режимів поливу;
- здійснення природоохоронних заходів на особливо небезпечних накопичувачах промислових відходів і стоків підприємств;
- здійснення екологічно безпечної ліквідації гірничих виробок.

Небезпечним явищем, що також призводить до погіршення якості земельних ресурсів, є процес, прямо протилежний підтопленню, – висушування. **Висушуванням земель** називають процес появи у літологічному профілі повітряно-сухих ґрунтів і зниження їхньої природної вологості до показника менше 60% повної вологоємності. Висушування призводить до зниження родючості ґрунту, сприяє розвитку ерозійних процесів. Його негативний вплив на сільськогосподар-

ські землі починається при зниженні рівня ґрунтових вод до позначки 1,8 м. Причинами висушування земель можуть бути гірничі роботи, які супроводжуються утворенням западин і балок, а також недоліки у меліоративному проектуванні.

Також до висушування земель можуть призводити регулювання стоку річок та збільшення глибини водойм, що інтенсифікує підземні стоки і тим самим спричиняє зменшення обводнювання. Ще однією причиною можливого висушування є вирубка лісових насаджень, що веде до активізації процесів випаровування з поверхні, а отже, і до зниження рівня ґрунтових вод.

Одним з найбільш негативних наслідків діяльності людини, що спричинює погіршення якості земельних ресурсів, є **забруднення ґрунтів** – наслідок техногенної міграції різних хімічних елементів. Оскільки самоочищення ґрунтів практично не відбувається або швидкість його дуже мала, токсичні речовини накопичуються, що призводить до поступової зміни хімічного складу ґрунтів. Звідти токсичні речовини потрапляють у організми тварин і людей. *Забруднення ґрунтів* – це процес привнесення у ґрунт нових, зазвичай нехарактерних для нього фізичних, хімічних чи біологічних агентів, або перевищення за певний час середнього багаторічного природного рівня концентрації цих агентів. Забруднення відбувається тоді, коли у ґрунт потрапляють шкідливі хімічні речовини, відходи аграрного і промислового виробництва, побутові відходи тощо.

У результаті діяльності людини утворюються продукти різних технологічних процесів: метали, металоїди, хімічні речовини (кислоти, солі, основи), мул станцій з очищення відходів, мінеральний пил, зола, хімічний шлам, шлаки, скло, кераміка. Забруднення ґрунтів промисловими викидами спричинює виділення вуглекислоти протягом усього вегетаційного періоду, а це, у свою чергу, послабляє інтенсивність біологічних процесів. Про це свідчать зміни чисельності та ослаблення ферментативної активності мікроорганізмів у забруднених ґрунтах.

Унаслідок забруднення ґрунтів фенольними сполуками змінюється їхня структура, руйнуються деякі мінерали, що негативно впливає на життєдіяльність ґрунтової мікрофлори, на біологічну активність ґрунтів та їхню родючість. Ґрунти забруднюються з атмосфери за рахунок як природних, так і антропогенних джерел. Наприклад, теплоенергетичні станції є джерелом забруднення ґрунтів вугільним пилом, золою, димом і деякими токсичними твердими частками, газами (SO_2 , SO_3 , H_2S , NO_2), деякими миш'яковими і фтористими сполуками, циклічними вуглеводами; чорна металургія – рудним і залізистим пилом, оксидами заліза, марганцю, золи, сажі, сполуками свинцю; транспорт – вуглеводнями, натрієм, свинцем, вугільним пилом, золою тощо.

З атмосфери отруйні речовини осідають на ґрунт і проникають у нього безпосередньо або з опадами. Вони забруднюють ґрунт і рослинну продукцію, знижують урожай і можуть навіть спричинити руйнування цілої екосистеми. Велику проблему створюють кислотні опади, пов'язані з викидами в атмосферу сірчаної і азотної кислот. Кислотні дощі, з одного боку, призводять до вимивання з ґрунту поживних елементів, а з іншого – до підкислення ґрунту. Підкислення у свою чергу впливає на розчинність поживних елементів, а також на ріст і життєдіяльність мікроорганізмів у ґрунті.

Серед усіх забруднювальних речовин за масштабами забруднення та силою впливу на біологічні об'єкти особливе місце посідають *важкі метали*. Найчастіше ґрунт забруднюється таким важкими металами, як залізо, марганець, мідь, цинк, молібден, кобальт, ртуть, свинець, кадмій. Вони необхідні рослинам у невеликих кількостях, але у високих концентраціях викликають забруднення ґрунтів, шкідливо впливаючи на агроекосистеми. Токсична дія важких металів може бути як прямою, так і опосередкованою. небезпека, яку створює забруднення важкими металами, посилюється ще й слабким їхнім виведенням з ґрунту.

Забруднення ґрунтів важкими металами негативно позначається на життєдіяльності живих організмів. У тих випадках, коли концентрація важких металів (за винятком молібдену і селену) у ґрунті перевищує допустимі межі, їхню токсичність можна блокувати шляхом зміни рН ґрунту до нейтральної або слабо лужної реакції, застосовуючи вапнування кислих ґрунтів, вносячи вапнякові матеріали. Крім того, для зниження концентрації важких металів рекомендується плантажна оранка²³ з винесенням на поверхню нижніх горизонтів ґрунтів, які містять менше важких металів. До радикальних заходів боротьби із забрудненням ґрунтів належить видалення поверхневого забрудненого шару ґрунту, покриття його незабрудненим шаром не менше 30 см, який би виключав переміщення металів із ґрунту в рослини. Можливе також застосування деяких рослин, які осаджують і знешкоджують надлишок важких металів у ґрунті.

До *агротехнічних* прийомів боротьби із забрудненістю ґрунтів важкими металами належать вапнування і внесення органічних добрив. Завдяки вапнуванню вдається у декілька разів зменшити вміст свинцю у сільськогосподарських культурах, які вирощують на забруднених ґрунтах. Вапно найбільш ефективно на ґрунтах, забруднених кадмієм. Велику роль у локалізації важких металів відіграють зелені насадження. Зокрема, насадження суцільною смугою з глоду і клена польо-

²³ *Плантажна оранка* – глибока оранка з обертанням пласта на глибину 50-70 см і більше.

вого уздовж автомагістралей знижує вміст свинцю у овочах на 30-50%. Існують і біологічні методи, наприклад, вирощування рослин, які слабо реагують на надлишок важких металів у ґрунті; або вирощування на забруднених ґрунтах культур, які не вживаються тваринами і людьми. Найбільш забруднені ділянки необхідно відводити під заліснення чи вирощування декоративних рослин.

Застосування високих доз мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин супроводжується забрудненням ґрунту баластними речовинами (хлоридами, сульфатами), накопиченням отрутохімікатів у ґрунті й підґрунтових водах. Ґрунти забруднюються відпрацьованими газами тракторів, комбайнів, автомобілів, мастилами і паливом, які витікають з них під час роботи на полях, а також техногенними викидами промислових підприємств – сульфатами, оксидами азоту, важкими металами, радіонуклідами. Потенційними джерелами радіоактивного забруднення можуть бути аварії на атомних установках. Проте іонізуюче випромінювання космічних елементів у природі існувало завжди; також земна кора містить багато радіоактивних елементів, які постійно випромінюють радіацію. Радіоактивні елементи у ґрунті мігрують переважно двома шляхами: перший зумовлений їхнім переміщенням внаслідок господарської діяльності людини, а другий – фізико-хімічними властивостями ґрунту і окремих ізотопів.

Екскременти тварин, незважаючи на високий вміст органічних і поживних речовин (фосфор, калій, мікроелементи), можуть з добрив перетворюватися на забруднювальні речовини. Це відбувається за їхнього внесення у дозах, які перевищують потреби рослин, що веде до порушення механізму перетворення і може погіршити властивості ґрунту (водопроникність, вміст кисню), а отже, і його родючість. Одночасно з основними поживними елементами, що містяться у екскрементах тварин, у ґрунт можуть потрапити й інші сполуки, які негативно впливають на життєдіяльність ґрунтової фауни і рослин.

Серед усіх забруднювачів ґрунтів чи не найбільшу небезпеку становлять *пестициди* (від лат. *pestis* – зараза і *caedo* – убиваю) – токсичні речовини, їхні сполуки, суміші речовин хімічного чи біологічного походження, призначені для знищення, регуляції та припинення розвитку шкідливих організмів. Вони призначені для боротьби із шкідливими комахами (інсектициди), хворобами рослин (фунгіциди), бур'янами (гербіциди) тощо. Застосування пестицидів передусім спрямоване на зменшення шкідливих організмів і підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Проте внаслідок хімічних обробок гинуть не тільки шкідливі організми, а й багато корисних видів. А їхнє зникнення може призвести до значних змін функціонування агроєкосистеми загалом. Під впливом пестицидів, які

надходять у агрофітоценози, змінюється склад шкідливих комах, при цьому на зміну одним шкідливим організмам можуть приходити інші.

Систематичне застосування пестицидів у землеробстві призводить до того, що вони стають постійним екологічним чинником. Крім того, пестициди здатні мігрувати у ґрунтовому профілі, створюючи небезпеку забруднення ґрунтових вод. Негативні наслідки застосування пестицидів для навколишнього середовища зумовили активний пошук шляхів їхнього безпечного застосування.

Постійно удосконалюють асортимент пестицидів за рахунок включення до них менш токсичних препаратів, розробляють і упроваджують нові технології, які дозволяють знизити вміст залишків недостатньо «екологічних» за своїми характеристиками пестицидів та їхній негативний вплив на агрофітоценози, тварин і людей. Найбільш перспективними пестицидами можуть бути органічні сполуки фосфору, похідні аліфатичних карбонових кислот (мурашиної, оцтової). Для захисту ґрунту від забруднення удосконалюють також способи застосування пестицидів. Асортимент зокрема збільшується за рахунок емульсій і змочуваних порошків, які застосовуються шляхом обприскування, а також препаратів у вигляді гранул.

Сучасне землеробство базується на широкому використанні *мінеральних добрив* як основного засобу підвищення родючості ґрунту і одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур. Проте надмірне, недостатньо обґрунтоване їхнє використання призводить до забруднення ґрунту, а також накопичення у продовольчих товарах, кормах, поверхневих і підґрунтових водах. Враховуючи це, потрібний чіткий контроль за їхнім правильним використанням. Наприклад, застосування добрив можна регламентувати санітарно-гігієнічними і агротехнічними нормативами, нормою добрив на одиницю площі, співвідношенням поживних елементів для окремих культур, строками і способами внесення тощо.

Для запобігання накопиченню у рослинах нітратів, азотні добрива слід вносити частинами у суворій відповідності до потреб окремих культур на підставі даних ґрунтово-рослинницької діагностики. Доведено, що недоцільно застосовувати деякі азотні добрива на дуже кислих ґрунтах, а також на територіях першого поясу зони санітарної охорони централізованого водопостачання, на мерзлоталому ґрунті. Значно зменшити надлишок нітратів у ґрунті й рослинах можна за рахунок одночасного внесення органічних і мінеральних добрив, соломи, сидерації. Забруднення ґрунту зумовлюється не тільки кількістю внесених мінеральних добрив, але й низькою культурою землеробства, використанням недосконалих технологій і техніки.

Рівень забруднення ґрунтів контролюється різними нормативами; постійно розробляються нові принципи нормування вмісту хімічних забруднювальних речовин у ґрунті. Зокрема, в основі *санітарно-гігієнічного* нормування лежать гранично допустимі концентрації (ГДК) – кількість шкідливих речовин, яка практично не впливає на здоров'я людини та її потомства. В основі *екологічного* нормування – дія забруднювальних речовин не на окремі організми, а на екосистему в цілому. Критерієм впливу служить показник гранично допустимого екологічного навантаження (ГДЕН), тобто такий рівень навантаження, за якого зберігається нормальне функціонування екосистеми.

Отже, підсумуємо. Незважаючи на певну здатність ґрунтово-земельні ресурсів до самовідновлення у процесі ґрунтоутворення, інтенсивність їхнього використання людиною набагато перевищує швидкість самовідновлення. Ґрунт є продуктом сумісної дії клімату, рослинності, тварин і мікроорганізмів на поверхневі шари гірських порід. Середовищетвірні й інші функції ґрунту (як засобу аграрного виробництва, життєвого простору для організмів, регулятора гідротермічного режиму тощо) значно порушені внаслідок діяльності людини. Основними причинами погіршення якості ґрунтово-земельних ресурсів є передусім ерозія, вторинне засолення, підтоплення, висушування і антропогенне забруднення ґрунтів. В агроєкосистемах у ґрунт повертається лише незначна частина біомаси, решта ж збирається з врожаєм. Тому слід пам'ятати, що ресурси біосфери, у т. ч. й ґрунтово-земельні, не безмежні; «за все треба платити».

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Розкрийте поняття «земельні ресурси». Який виглядає сучасний розподіл земельних ресурсів найбільшими регіонами світу? Обґрунтуйте.
2. Назвіть і охарактеризуйте основні екологічні функції ґрунтів. Яку роль відіграють ґрунти у агроєкосистемах? Наведіть приклади.
3. Назвіть основні причини погіршення якості земельних ресурсів, викликані діяльністю людини.
4. Які ви знаєте форми ерозії ґрунтів? Назвіть найбільш ефективні заходи щодо запобігання розвитку ерозійних процесів.
5. Назвіть відомі вам заходи і прийоми боротьби із вторинним засоленням, підтопленням та висушуванням земель.
6. Чому, на вашу думку, антропогенне забруднення ґрунтів вважається одним з найбільш негативних наслідків діяльності людини? Які забруднювачі і джерела забруднення є найбільш небезпечними?

5.5 Водні ресурси

Вода – основна складова всіх живих організмів (тіло людини, наприклад, на 70% складається з води, а деякі організми, такі як медуза або огірок, – на 98-99%). Використання водойм для різних потреб розпочалося з появою на Землі людини. Воно різко збільшилося з виникненням і розвитком поливного землеробства (IX-X ст. до н.е.), а потім і промисловості (XV-XVI ст.). Перші місцеві заходи з охорони водних ресурсів почали здійснювати ще у I ст. до н.е. у Римській імперії. Нині вже усім зрозуміло, що без надійної охорони вод людство швидко опиниться у стані *водного голоду* внаслідок якісного і кількісного виснаження водних ресурсів.

За запасами вільної води Земля є найбільш «водною» планетою Сонячної системи. Гідросфера, або водяна оболонка Землі, – це її моря і океани, крижані шапки полярних районів, річки, озера і підземні води. Увесь об'єм гідросфери планети становить майже 1,45 млрд км³ (0,025% її маси), причому 96% припадає на води Світового океану. Проте це переважно гірко-солоня морська вода, непридатна для пиття і технологічного використання. Об'єм підземних вод становить понад 23 млн км³; у льодовиках міститься 24 млн км³; у озерах – 176 тис км³; у болотах – 12 тис км³; у річках – більш як 2 тис км³. Об'єм прісної води гідросфери становить усього 2% від її загального об'єму, причому 85% її зосереджено у льодовикових щитах Гренландії і Антарктиди, айсбергах і гірських льодовиках. Доступною для використання є прісна вода, яку містять річки, озера і підземні води; саме ці джерела й використовує людство для своїх потреб – усього 0,3% об'єму гідросфери. У багатьох районах великі річки і озера приурочені до порівняно мало освоєних територіях. Наприклад, повноводна Амазонка (Рис. 65) або річки Канади, що впадають у Північний Льодовитий океан (Рис. 66).

Рухомою силою відновлення ресурсів прісної води є кругообіг води, який пов'язує воедино усі частини гідросфери. Кругообіг води часто порівнюють з вічним двигуном, який «качає» воду з океану на материки протягом мільярдів років. У планетарному масштабі розрізняють великий і малий кругообіги води. Великий включає вивільнення частини хімічно пов'язаної води з гірських порід та виділення вільної води в ході вулканічної діяльності. Наслідком перебігу цього кругообігу протягом усієї геологічної історії Землі є утворення Світового океану. Малий кругообіг відбувається набагато швидше за такою схемою: випаровування – опади – інфільтрація – стік. Його наслідком є безперервний поверхневий і підземний стік з материків у океан, поповнення підземних вод, а також збереження «замороженої» води у льодовиках.



Рис. 65. Річка Амазонка



Рис. 66. Річка Атабаска (Канада)

Світовий океан – безперервна водна оболонка земної кулі. Із 510 млн км² поверхні Землі 361 млн км² (70,8%) припадає на океани і моря та 149 млн км² (29,2%) – на сушу. Розподіл суші й водного простору на поверхні земної кулі дуже нерівномірний. У північній півкулі на океани припадає 60,7%, у південній – 80,9%. Найбільшим за площею є Тихий океан (178684 тис км², максимальна глибина – 11034 м), найменшим – Північний льодовитий (14750 тис км², максимальна глибина – 5449 м). Світовий океан виконує цілу низку найважливіших глобальних функцій, серед яких середовищетвірна, сировинна, енергетична тощо.

Середовищетвірна функція Світового океану визначається його значенням у формуванні клімату і газового складу атмосфери, а також у здійсненні кругообігів мінеральних речовин. Океан впливає на формування метеорологічних процесів. Наприклад, водні маси низьких широт, у районі тропіків, накопичують тепло, отримане від Сонця, а виникаючі течії переносять його у високі широти. Перерозподіл тепла, у свою чергу, збуджує атмосферну циркуляцію. Обмін тепла між Океаном і атмосферою остаточно визначає клімат і погоду. У газовому балансі атмосфери значну роль відіграє фітопланктон Світового океану (мікроскопічні рослини, які мешкають на дні морів, океанів і прісних водойм) – він визнаний найважливішим джерелом кисню. Майже половина вуглекислого газу антропогенного походження, що надходить у біосферу, поглинається саме живою речовиною Океану.

Важко переоцінити ***промислову функцію*** Світового океану. Чверть усього тваринного білка, що йде у їжу людини, припадає на продукти, одержані з Океану. Щодо жителів, наприклад, М'янми, Японії, Китаю, то більше половини тваринних білків їм дає море. Океан з'явився на планеті «колискою життя» і досі у цьому сенсі є його екологічною першоосновою. Активно розвивається марикультура (від англ. *marine* – морський) відкритого Океану, так звані океанські «ранчо». Марикультура – це промислове розведення і вирощування корисних водоростей,

моллюсків, риб та інших організмів у морях, лиманах, річкових естуаріях. За статистичними даними, найбільшою у світі нині є аквакультура Китаю, де щороку вирощують і ловлять більше 32 млн т морепродуктів, або $\frac{2}{3}$ усього світового виробництва (Рис. 67). Кожного року є лише три місяці, протягом яких діє заборона на вилов з метою надання рибним запасам шанс на відновлення.



Рис. 67. «Плавуче село» у Китаї (провінція Фуцзянь)

Біотичні ресурси (водні тварини, риба, зоо- і фітопланктон) – головне багатство Світового океану. Тут нараховується 150 тис видів тварин і 10 тис видів водоростей, а загальний об'єм біомаси оцінюється у 35 млрд тонн, чого цілком може вистачити, щоб прогодувати 30 млрд чоловік. Виловлюючи щорічно 85-90 млн т риби, моллюсків, водоростей, людство забезпечує близько 20% своїх потреб у білках тваринного походження. Тобто живий мир Океану – це величезні харчові ресурси, які можуть бути невичерпними за умов їхнього дбайливого використання. Багато видів риб, китів, ластоногих внаслідок непомірного полювання майже зникли з океанських вод, і невідомо, чи відновиться коли-небудь їхнє поголів'я. Населення Землі зростає бурхливими темпами, потребує усе більше морської продукції.

Життя у водному середовищі багатше і різноманітніше, ніж на суходолі. Тут представлені усі типи тваринного світу; на материки поширилися лише деякі з них, а масово заселили лише членистоногі й хребетні. Загалом же трофічний ланцюг у водних екосистемах починається з дрібного фітопланктону і завершується величезними гетеротрофними організмами, тобто там *переважає тваринне життя*. У наземних же екосистемах домінує життя рослинне. Первинна продукція Світового океану представлена нижчими рослинами – найпростішими одноклітинними (діатомові, джгутикові водорості) і багатоклітинними (бурі, червоні водорості), а також вищими – квітковими рослинами.

Серед морських тварин – одноклітинні (форамініфери, радіолярії), багатоклітинні (губки), кишковопорожнинні (медузи, поліпи), червоподібні, молюски, членистоногі (рачки, краби, омари), голкошкірі (морські зірки, їжаки), хордові (риби, рептилії, ссавці). *Бактерії* – одноклітинні організми, які не мають ядра і оточені щільною напівпроникною оболонкою; вони бувають *аеробні* (споживають кисень) і *анаеробні* (існують, не споживаючи кисень). Усіх мешканців Світового океану називають гідробіонтами. Залежно від того, яке місце вони займають у водному середовищі, їх поділяють на такі екологічні групи:

Υ *Пелагос* – це різноманітне населення товщі води (пелагіалі), зокрема:

- *нейстон* – мешканці поверхневої плівки води, які бігають і плавають;
- *планктон* – дрібні організми, завислі у воді «пасивні плавці», що рухаються разом з водою;
- *нектон* – вищі хордові тварини і головоногі молюски, які можуть активно плавати.

Υ *Бентос* – це населення дна водойм (бенталі). До цієї групи належать організми, які живуть не лише на морському дні, а й на днищах суден, гідротехнічних підводних спорудах (голкошкірі, ракоподібні, молюски тощо). Розрізняють:

- *епібентос* – водні організми, що лежать на дні або прикріплені до нього;
- *інбентос* – ґрунтові організми, які живуть у товщі донних відкладів.

Υ *Проміжна* група гідробіонтів:

- *планктобентос* – це планктон придонного шару води;
- *нектобентос* – це нектон придонного шару води.

Υ *Особливі* групи гідробіонтів:

- *епібіоз (перифітон)* – організми «обростання» твердих субстратів (скель, кораблів тощо);
- *фітофільні гідробіонти* – мешканці прибережних заростей вищих водних рослин.

Завдяки обміну речовин здійснюється безперервне оновлення організмів і надходження енергії, необхідної для всіх життєвих процесів. Цикл кругообігу органічних речовин, розпочатий у процесі фотосинтезу, завершується розкладом морських рослин і трупів тварин бактеріями, внаслідок чого органічні сполуки знов переходять у неорганічні. Життєдіяльність організмів має величезний вплив на фізико-хімічні властивості вод океанів і морів. Організми вилучають з морської води велику кількість вуглекислого кальцію і кремнію для побудови власних скелетів. В результаті ці речовини, що надходять у морську воду з річковим стоком, перебувають у стійкій рівновазі. Також біологічні процеси відіграють величезну

роль у очищенні морської води поряд з фізико-хімічними процесами її самоочищення, особливо за органічного забруднення вод.

Біотичні ресурси Світового океану приблизно учетверо перевищують аналогічні ресурси суші. Однак все ж такі потреби людства у їжі на 90% забезпечуються сільським господарством, і тільки близько 10% дає морський промисел. Подальше розширення рибного промислу може порушити процеси відтворення рибних ресурсів. Якщо ж врахувати ще й зростаюче забруднення океану, стає очевидним, що збільшення видобутку морепродуктів призведе до вичерпання біологічних ресурсів океану.

Більше 60% площі Світового океану *подібні до пустель* на суші. Головну промислову цінність має область шельфу, на яку припадає близько 90% усього видобутку. Промисел ведеться передусім до глибини 500 м, рідше – до 1000 м. Продуктивність, якщо під нею розуміти видобуток органічних ресурсів з одиниці поверхні Світового океану, у середньому дорівнює 184 кг/км², у відкритому океані – 7, на материковому схилі – 65, на шельфі – 2054 кг/км². Провідне місце у світовому рибному промислі належить оселедцевим, широко розповсюдженим у Атлантичному і Тихому океанах, де виловлюється третина усього вилову.

Нині вкрай необхідні дієві заходи щодо регулювання та обмеження промислу морських організмів. Це робиться шляхом укладання міжнародних договорів і конвенцій, введення «економічних зон» – районів відкритого моря, прилеглих до територіальних вод тієї чи іншої країни. Промисел у цих зонах і навіть дослідницькі роботи можна вести лише за погодженням держави-суверена. Введення економічних зон вимагає розвитку промислів у відкритому океані, а відповідно, і розширення океанологічних досліджень.

Існує кілька шляхів підвищення біопродуктивності Океану. Перший – вилучати з нього не тільки рибу, а й зоопланктон, частина якого – антарктичний криль – уже пішла у їжу. Можна без усякого збитку для Океану виловлювати його у набагато більших кількостях, ніж уся риба, що добувається сьогодні. Інший шлях – використання біологічних ресурсів відкритого Океану. Біологічна продуктивність Океану особливо велика в області підйому глибинних вод. Підйом вод з глибин до поверхні – апвелінг – викликається стійкими вітрами, які зганяють поверхневі води у бік відкритого моря, а на поверхню піднімаються води нижніх шарів. Один з таких апвелінгів, розташований на узбережжі Перу, дає 15% світового видобутку риби, хоча його площа становить не більше 0,02% від усієї поверхні Світового океану. Нарешті, третій шлях – культурне розведення живих організмів (марикультура), здебільшого у прибережних зонах. Усі ці способи успішно випробувані у

багатьох країнах світу, але локально, і тому триває згубний за обсягами вилов риби.

Ще однією важливою функцією Світового океану є *сировинна*, а основним ресурсом – морська вода. Вода містить 75 хімічних елементів, серед яких уран, калій, бром, магній. І хоча основним продуктом морської води залишається поварена сіль – 33% від світового видобутку, вже успішно добуваються магній і бром, давно запатентовані методи одержання цілої низки металів, серед них і необхідні промисловості мідь і срібло, запаси яких на суші неухильно виснажуються, тоді як у океанських водах їх утримується до півмільярда тонн. Кажуть про непогані перспективи щодо видобутку урану і дейтерію з вод Світового океану, тим більше, що запаси уранових руд на суші зменшуються, а в Океані його 10 млрд тонн, а дейтерій взагалі практично невичерпний – на кожні 5000 атомів звичайного водню доводиться один атом важкого.

Крім виділення хімічних елементів, морська вода може бути використана для одержання необхідної людині *прісної води*. Існує багато промислових методів опріснення, зокрема застосовуються хімічні реакції видалення домішок з води, солону воду пропускають через спеціальні фільтри, нарешті, застосовується звичайне кип'ятіння. Проте опріснення – не єдина можливість одержання питної води. Існують донні джерела, які все частіше виявляються на континентальному шельфі, тобто в областях материкової мілини, прилеглої до берегів. Одне з таких джерел розташоване у берегів Франції – у Нормандії; воно дає таку кількість води, що його називають підземною річкою.

Мінеральні ресурси Світового океану представлені не тільки морською водою, а й тим, що «під водою». Надра океану, його дно багаті покладами корисних копалин. На континентальному шельфі розповсюджені розсипні родовища золота й платини; зустрічається і дорогоцінне каміння – рубіни, алмази, сапфіри, смарагди. Наприклад, поблизу Намібії вже з 1962 р. йдуть підводні розробки алмазного гравію. На шельфі й частково материковому схилі Океану відкриті родовища фосфоритів, які можна використовувати як добрива, причому запасів вистачить на найближчі кілька сотень років. Найцікавішим видом мінеральної сировини Світового океану є залізо-марганцеві конкреції, якими вкриті величезні за площею підводні рівнини. Конкреції є своєрідним «коктейлем» з металів: туди входять мідь, кобальт, нікель, титан, ванадій, але, звісно, найбільше заліза й марганцю. Місця їхнього розташування загальновідомі, але результати промислової розробки поки ще доволі скромні.

Людство щорічно споживає близько 22 млн т *кухонної солі*, третина якої добувається з морської води. Зокрема, у Японії 50% потреби у кухонній солі забезпечує море. Морська сіль – це цілий комплекс різних солей, які містяться у морській воді. З 10 тонн морської солі можна отримати 1,73 тис кг сирого гіпсу, 370 кг калійних добрив, 26 кг бромів та інші хімічні речовини. Повним ходом іде розвідка та видобуток океанської *нафти й газу* на прибережному шельфі – їхні запаси становлять від половини до $\frac{2}{3}$ світових запасів. Особливо великих розмірів досягла розробка родовищ у Перській, Венесуельській, Мексиканській затоках, у Північному морі; нафтові платформи простягнулися у берегів Каліфорнії, Індонезії, у Середземному і Каспійському морях. Мексиканська затока до того ж відома відкритим під час розвідки нафти родовищем *сірки*, що витоплюється із дна за допомогою перегрітої води. А гарячі й важкі «розсоли» Червономорської западини містять величезні запаси срібла, олова, міді, заліза та інших металів. Навколо Японії, приміром, відсмоктують трубами підводні залізовмісні піски, країна добуває з морських шахт близько 20% вугілля – над покладами породи споруджують штучний острів і бурять стовбур, що розкриває вугільні шари.

Підраховано, що у Світовому океані розчинено $1,4 \cdot 10^{16}$ т натрію, $1,8 \cdot 10^{15}$ т магнію, $5,6 \cdot 10^{14}$ т кальцію, $5,3 \cdot 10^{14}$ т калію, близько 20 млрд т урану, 15 т міді, 500 кг срібла і від 8 до 10 млн т золота. Освоєно виробництво з морської води магнію, бромів (99% світових запасів бромів зосереджено у цьому гігантському розчині). На шельфі Туреччини, Китаю, Австралії, Арктики, США розвідані родовища вугілля. На Океан припадає 4% світового виробництва сірки. Загальні запаси фосфоритів на океанському шельфі становлять не менш 30 млрд т. Підводний видобуток алмазів ведеться на шельфі Намібії. На поверхні дна Океану виявлені великі скупчення полімінеральних руд, у яких вміст окремих мінералів на порядок перевищує їхні запаси у родовищах суші.

Не менше значення має також **енергетична функція** – Світовий океан є величезним невичерпним джерелом енергії: це енергія припливів і океанських течій, хвильова енергія тощо. Енергія припливів і відпливів використовувалася у Франції ще у середньовіччя: у XII ст. будувалися млини, колеса яких рухалися припливною хвилею. Першу припливну електростанцію було збудовано в Англії біля Ліверпуля у 1913 р. Перша така електростанція промислового значення потужністю 240 тис кВт запрацювала у 1967 р. в бухті Сен-Мало на Атлантичному узбережжі Франції, в усті річки Ранс. Відтоді їх споруджено у різних країнах багато; тільки у Китаї діє понад 100 малопотужних припливних електростанцій. Найпотужнішу електростанцію задумано побудувати на північному заході Франції на півострові

Котантен. Її потужність становитиме 50 млн кВт, що забезпечуватиме енергією Францію, Норвегію і Швецію. За деякими оцінками, загальна потужність хвиль Океану, переведена у енергію, наближається до 900 млрд кВт. Світовий потенціал припливної енергії ще вищий – 1 трлн 200 млн кВт. За підрахунками, енергія припливів у 2000 разів перевищує енергетичний запас усіх річок світу. Однак припливні електростанції технічно доцільно будувати лише там, де рівень між припливами і відпливами більше 5 м.

Океанічні й морські течії – це гігантські потоки шириною до сотень і навіть тисяч кілометрів, кожна з яких несе потік води, у сотні разів більший, ніж усі річки планети. До реалізації проектів використання енергії хвиль наблизилися Японія, США, Швеція, Австралія. Проекти різні, але усі вони базуються на розрахунках потужності фронту хвилі. Що більша хвиля, то краще. Наприклад, у Японії понад 300 буїв і маяків живляться електроенергією хвилевих станцій.

У США розроблено проекти будівництва на шельфі Мексиканської затоки висотних вітряних вишок, на яких буде встановлено двигуни, що вироблятимуть не тільки електроенергію, а й водень. У тропічних широтах вже почали добувати термальну енергію моря, джерелом якої є різниця температур води на поверхні та у її товщі. Причому ця різниця має бути не меншою 20°C, та ще й на інтервалі глибин до 100 м. Теплу воду закачують у плавучу електростанцію, де вона нагріває рідину, що випаровується і виринається на лопаті турбіни. Такі електростанції невеликої потужності почали будувати з початку 80-х рр. біля Гавайїв, у Японському морі. За підрахунками, запаси термальної енергії у Світовому океані становлять 30 000 млрд кВт.

І, нарешті, ще одне джерело енергії – важка вода. Це ізотопний різновид води, у якій звичайний водень замінений важким воднем (дейтерієм). Важкою її назвали тому, що вона справді важча від звичайної води. І хоч її частка у Світовому океані становить $\frac{1}{5600}$, цього достатньо, щоб заповнити улоговину Чорного моря. Лише 1 г дейтерію, перетвореного у реакторі на гелій, вивільнює 100 000 кВт енергії.

Щодо інших функцій. Дуже важливою є **транспортна функція** Світового океану, тобто він є безкоштовною і зручною дорогою, що пов'язує віддалені континенти і острови. Морський транспорт забезпечує майже 80% перевезень між країнами, що розвиваються. Морська транспортна діяльність відрізняється високим ступенем динамізму і відносно низкою вартістю. Океан та його узбережжя мають величезне **рекреаційне значення**. Мільйони людей відпочивають на океанічному узбережжі, де розташовані курорти світового значення, а також подоро-

жують океаном. Не менш важливою є й **наукова функція**: саме у Океані відкриті явища планетарного масштабу, дослідження яких допомагає зрозуміти походження і розвиток Землі в цілому. Зокрема, глибинне буравлення, яке проводило спеціальне судно «Гломар Челленджер», підтверджує факт розширення океанів, розсування земної кори у рифових зонах, звідки починається безперервне «омолодження» океанічного дна. Значимість Океану для розвитку світового господарства нині пов'язана із серйозними екологічними проблемами, які розглядатимуться нижче.

Світовий океан може також служити *переробником відходів*. Завдяки хімічному і фізичному впливу своїх вод і біологічному впливу живих організмів, він розсіює та очищує основну частину відходів, зберігаючи при цьому відносну рівновагу екосистем. Протягом трьох тисяч років у результаті кругообігу води уся вода Світового океану оновлюється. Тому теоретично водні ресурси *невичерпні*. Однак споживання води зростає такими темпами, що проблема чистої води і дефіциту водних ресурсів є нині однією з найбільш актуальних.

5.5.1 Забруднення Світового океану

Результатом антропогенної діяльності є кількісні й якісні зміни гідросфери. Кількісні – це зменшення кількості води, придатної для використання, якісні – це різні види забруднення. Особливо гостро проблема нестачі води і тотального забруднення вод річок і озер постає у густозаселених регіонах Землі (Рис. 68). Брудна вода стає непридатною для пиття, використання у виробництві чи побуті, зрошення сільськогосподарських земель (Рис. 69).



Рис. 68. Річка Чітарум на о-ві Ява – найбільш забруднена річка у світі



Рис. 69. Річка Янцзи (Китай)

Саме поняття «забруднення» складне і багатоаспектне. У загальному вигляді його можна визначити як внесення людиною прямо чи опосередковано у водне середовище речовин та енергії, що викликає такі шкідливі наслідки, як збитки

живим ресурсам, небезпеку для здоров'я людей, ускладнення морської діяльності, включаючи рибальство, погіршення якості води та зменшення її корисних властивостей. Це визначення охоплює забруднення токсичними речовинами, патогенними мікроорганізмами, твердими відходами, завислими речовинами, біогенними сполуками, теплове забруднення. З погляду господарського використання, водні об'єкти вважаються забрудненими, якщо вони стали частково або повністю непридатними хоча б для одного з видів водокористування.

Щодо водного середовища, *джерелом забруднення* вважається джерело, що вносить у водні об'єкти забруднювальні речовини, мікроорганізми або тепло. *Забруднювальною речовиною* називається речовина, яка викликає погіршення якості води. До джерел забруднення належать промислові підприємства, відходи морського транспорту, промислові й побутові стічні води, аграрне виробництво. У водне середовище забруднювальні речовини можуть потрапляти водним, підземним і повітряним (еоловим) шляхами.

Забруднення водного середовища за своєю природою доволі різноманітне. Доцільно виділити такі його види – хімічне, фізичне, біологічне і теплове. *Хімічне забруднення* води відбувається внаслідок надходження у водойми шкідливих домішок неорганічної (кислоти, мінеральні солі, луги) і органічної (нафта і нафтопродукти, миючі засоби, пестициди) природи. Більшість з них є отруйними для мешканців водойм; вони поглинаються живими організмами і накопичуються в них. Кількість хімічних забруднювачів води увесь час зростає. Їхня дія може виявлятися у наступних поколіннях організмів у вигляді появи шкідливих мутацій чи генетичних розладів.

Шкідливий вплив токсичних речовин, що потрапляють у водойми, посилюється за рахунок так званого кумулятивного ефекту, коли збільшення вмісту шкідливих сполук у кожній наступній ланці трофічного ланцюга прогресує. Зокрема, концентрація шкідливої речовини у фітопланктоні часто виявляється у десятки разів вищою, ніж у воді; у зоопланктоні (личинки, дрібні рачки) – у десятки разів вищою, ніж у фітопланктоні; у рибі, яка харчується зоопланктоном, – ще у десятки разів вищою. А в хижих рибах (щука, судак) концентрація отрути збільшується ще у десять разів і, отже, буде у десять тисяч разів вищою, ніж у воді.

До основних джерел забруднення води належать хімічні, нафтопереробні і целюлозно-паперові комбінати, великі тваринницькі комплекси, гірничорудна промисловість. Серед забруднювачів води особливе місце посідають синтетичні мийні засоби – надзвичайно стійкі, зберігаються у воді роками. Забруднення води речовинами, що містять фосфор, сприяє бурхливому розмноженню синьо-зелених

водоростей і «цвітінню» водойм, яке супроводжується різким зниженням у воді вмісту кисню, «заморами» риби, загибеллю інших водних тварин (Рис. 70). Під час «цвітіння» водойм стоїть сморід, а хвилі викидають на берег трупи риби, що задихнулася.



Рис. 70. «Цвітіння» води

Фізичне забруднення пов'язане зі зміною фізичних показників якості води – прозорості, вмісту суспензій та інших нерозчинних домішок, радіоактивних речовин, запаху, смаку, забарвлення, електропровідності тощо. Тверді частинки різко знижують прозорість води, пригнічують процеси фотосинтезу водних рослин, погіршують смакові якості води. Фізичне забруднення води відбувається внаслідок накопичення у ній нерозчинних домішок (піску, глини, мулу) в результаті змивання дощовими водами з розораних ділянок (полів); надходження суспензій з підприємств гірничорудної промисловості; потрапляння пилу, що переноситься вітром за сухої погоди. Тверді частинки пригнічують розвиток водних рослин, забивають зябра риби, іноді роблять воду взагалі непридатною для споживання.

Біологічне забруднення водойм полягає у надходженні до них зі стічними водами різних мікроорганізмів (бактерій, вірусів), спор грибів, яєць гельмінтів тощо, багато з яких є хвороботворними для людей, тварин і рослин. Серед біологічних забруднювачів провідне місце посідають комунально-побутові стоки (особливо, якщо вони не очищені або очищені недостатньо), а також стічні води цукрових заводів, м'ясокомбінатів, підприємств з обробки шкір, деревообробних комбінатів. Особливо небезпечне біологічне забруднення водойм у місцях масового відпочинку людей – у курортних зонах та на узбережжях. Наприклад, через поганий стан каналізаційних систем і очисних споруд нерідко закриваються пляжі

в Одесі та інших курортних містах, оскільки у морській воді виявляються збудники таких небезпечних захворювань, як холера, дизентерія, вірусний гепатит.

Щодо біологічного забруднення, то йдеться про зміну біологічних показників – наявності водних організмів, які мешкають на поверхні води (планктон), у її товщі (нектон) або на дні водойм чи на поверхні підводних предметів (бентос). Важливу роль у очищенні води відіграють біологічні процеси. Наприклад, деякі мікроорганізми повністю руйнують нафту до CO_2 і H_2O , а двостулкові молюски у процесі живлення профільтровують за добу до 70 л води.

Теплове забруднення води відбувається внаслідок скидання у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших енергетичних об'єктів. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм, шкідливо впливаючи на їхніх мешканців. Як показали дослідження гідробіологів, вода, нагріта до температури 26-30°C, діє на гідробіонтів пригнічено, а якщо температура води піднімається до 36°C, риба гине. Найбільшу кількість теплої води скидають у водойми атомні електростанції.

Тепер детальніше про найбільш поширені й небезпечні забруднювачі води. Серед них передусім *важкі метали* (ртуть, свинець, кадмій, цинк, мідь), які застосовуються у різних промислових виробництвах і надходять у водні об'єкти через стічні води і з атмосфери. Зокрема, близько половини річного виробництва ртуті різними шляхами потрапляє в океан, з них близько третини – через атмосферу. *Хлоровані вуглеводні й фосфорорганічні сполуки* застосовуються для боротьби з шкідниками рослин і тварин. *Детергенти* – синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) – входять до складу різноманітних миючих засобів і є обов'язковою складовою частиною стічних вод, які потрапляють у водне середовище. Практично усі вони є токсичними і здатні концентруватися у живих організмах.

До найшкідливіших забруднювачів Світового океану належать *нафта і нафтопродукти*. Щороку їх потрапляє туди 5-10 млн т, здебільшого у результаті втрат під час добування нафти з морських родовищ, аварій танкерів, берегового стоку. Наприклад, унаслідок аварії танкера «Екссон валдіз», що сталася у 1990 р. поблизу узбережжя Аляски, в море потрапило 40 тис т нафти. Величезні нафтові плями рознесли морськими течіями й вітром далеко від місця аварії, забруднивши великі ділянки узбережжя, островів і спричинивши загибель тисяч тюленів, морських птахів, риби. У 1991 р. під час війни між Кувейтом та Іраком (відомої як операція «Буря в пустелі») нафта, що вилилася з підірваних танкерів і нафтопроводів, вкрила 1550 км² поверхні Перської затоки і 450 км берегової смуги, де загинуло багато морських черепах, птахів, крабів та інших тварин (Рис. 71). 2013 р. у Південно-Китайському морі трапилася аварія нафтового танкера компанії «РТТ

Global Chemical». Утворилася пляма шириною 800 км, довжиною 2,5 км. Розлита нафта підійшла до пляжу Ао Прао на заході острова Самет, що входить до складу національного парку в Сіамській затоці (Рис. 72).



Рис. 71. Морська черепаха у нафті



Рис. 72. Нафтова пляма у Південно-Китайському морі

Нафтова плівка на поверхні моря пригнічує життєдіяльність морського фітопланктону – одного з головних постачальників кисню в атмосферу, порушує тепло- і вологообмін між океаном і атмосферою, губить мальків риб та інші морські організми. Згустки мазуту, осідаючи на дно, вбивають донні мікроорганізми, які беруть участь у процесі самоочищення води. Внаслідок гниття донних осадів, забруднених органічними речовинами, виділяються шкідливі сполуки, зокрема сірководень, що отруюють усю воду водойми. Більш як половину екологічної піраміди, яку вінчає людина, становлять морські організми. Якщо вони загинуть, піраміда завалиться, зникне усяка основа життя на суші й у повітрі. Наземне життя дедалі більше залежить від життя в океані: «мертвий океан – мертва планета» (Тур Хейєрдал²⁴).

Крім того, нафта є ще й найстійкішим забруднювачем океанічних вод. Відомо, що 1 тонна нафти при розтіканні утворює на поверхні пляму площею 12 км². Кількість нафтових вуглеводнів, яка надходить щорічно у океан, становить 0,25% світового річного видобутку нафти. Найбільші втрати нафти пов'язані з її транспортуванням. Значними також є втрати при бурінні й скиданні нафти у резервуари, а також винесення в океан материкових вод, які містять нафтопродукти у відходах промисловості й судноплавства. Отже, найбільш негативні наслідки нафтового забруднення вод Світового океану такі:

²⁴ Тур Геєрдал (Хейєрдал) – норвезький мандрівник і вчений, дослідник культури та походження різних народів світу.

- порушення обміну в системі «Океан – атмосфера»;
- загибель насамперед ікри, мальків, молоді риб;
- накопичення канцерогенів²⁵ ланцюгами живлення, у кінцевому результаті – отруєння людини;
- порушення процесу фотосинтезу, що призводить до зниження первинної біопродуктивності на 10%;
- зміна структури популяцій морських організмів, зменшення біорізноманіття та зниження стабільності екосистем;
- зниження товарної якості риби внаслідок живлення насиченим нафтою планктоном;
- масова загибель водної флори і фауни (особливо птахів) через катастрофічні розливи нафти у прибережних районах.

Моря і океани забруднюються також *твердими відходами* – промисловими і побутовими. Їх у Світовому океані нагромадилося вже понад 20 млн т. Більшість з них містять сполуки важких металів та інші шкідливі речовини, які згубно діють на морську біоту. Крім цього, у Світовий океан потрапляє (і вже потрапило) дуже багато *радіоактивних* речовин унаслідок випробувань атомної зброї, роботи атомних реакторів військових підводних човнів і криголамів, скидання контейнерів з відходами атомних електростанцій тощо. Загальне радіоактивне забруднення Світового океану з вини людини сьогодні вже перевищило забруднення внаслідок Чорнобильської аварії майже у 300 разів.

Найсильнішого забруднення зазнає мілководна зона Світового океану. Шельф океану – це район, де морські організми проводять більшу частину свого життя; до того ж саме тут рибалки заробляють собі на хліб насущний, а мільйони людей відпочивають. Глобальні кліматичні зміни, зокрема потепління морських вод, спричиняють негативні процеси у морських екосистемах. Наприклад, восени 2002 р. у центральній частині Японського моря виявлено медуз-мутантів незвичайних розмірів. Одна з найбільших медуз була діаметром 3 м і масою понад 150 кг. Екземпляри близько 1 метра у діаметрі тисячами потрапляють у рибальські сітки. Тому захист Світового океану нині стосується усіх країн, навіть тих, які не мають безпосереднього виходу до океану.

Усі природні водойми здатні самоочищатися, однак ця здатність має свої межі. Нині у водойми надходить така величезна кількість забруднених стічних

²⁵ *Канцерогени* (від лат. *cancer* – рак, *gen* – утворення, створення) – хімічні речовини або фізичні чи біологічні агенти, які є причиною виникнення злоякісних новоутворень (раку).

вод, що багато з них втрачають здатність очищуватися і деградують. Середня періодичність природного очищення вод виглядає приблизно так:

- Світовий океан – кожні 2500 років;
- підземні води – 1400 років;
- вода полярних льодовиків – 9700 років;
- вода гірських льодовиків – 1600 років;
- підземний лід районів вічної мерзлоти – 10 000 років;
- ґрунтова волога – 1 рік;
- води озер – 17 років;
- води боліт – 5 років;
- води у руслах річок – 16 днів;
- волога атмосфери – 8-10 днів;
- вода у живих організмах – кожні кілька годин.

5.5.2 Водоспоживання та відновлення ресурсів прісної води

Коли водні ресурси (або водні об'єкти) використовуються для задоволення потреб населення, промисловості, сільського господарства, транспорту та інших галузей господарства, включаючи право на забір води, скидання стічних вод тощо, йдеться про таке поняття, як *водокористування*. Відповідно галузі господарства, які користуються водою, але безпосередньо не використовують воду як продукт, називаються водокористувачами. Іншим важливим поняттям є *водоспоживання*, тобто використання води підприємствами переважно для технічних і господарсько-побутових цілей. Відповідно і галузі, які використовують воду безпосередньо як продукт, є водоспоживачами. Наприклад, водокористувачами є гідроенергетика, водний транспорт, рибне господарство; водоспоживачами – водопостачання, зрошення.

Проблема виснаження водних ресурсів пов'язана з двома групами причин: по-перше, з безперервним збільшенням водозабору для господарських і побутових потреб (кількісне виснаження); по-друге, з постійно зростаючим забрудненням води (якісне виснаження). Найбільшу небезпеку, як вже було відмічено раніше, становлять промислові стоки, серед яких основними забруднювачами є нафта і нафтопродукти, а також детергенти – токсичні синтетичні речовини, стійкі до біологічного розкладу. Інші інгредієнти – важкі метали, радіоактивні елементи, отрутохімікати, пестициди тощо.

Нині майже чверть населення Землі постійно відчуває *нестачу питної води*. Прісна вода становить усього 3% від її загальних запасів, при цьому $\frac{3}{4}$ прісної во-

ди – це криги Арктики і Антарктиди. П'ята частина – підземні води, і лише 1% циркулює в річках і озерах. Загальне споживання прісних вод зростає з року в рік в усіх регіонах світу. Якщо на початку минулого сторіччя людство споживало 400 км³ води щороку, то зараз йому необхідно вже близько 4000 км³, або приблизно 10% об'єму світового річкового стоку.

Одним з найбільших споживачів прісної води є *сільське господарство* (особливо землеробство). Наприклад, на вирощування 1 т цукрових буряків витрачається 130-160 м³ води, 1 т пшениці – 800-1200, 1 т бавовни-сирцю – 4000-5000, рису – 5000-7000 м³. Щодо зрошення, то лише на три країни – Китай, Індію і Пакистан – припадає більше $\frac{2}{3}$ всієї зрошувальної площі Азії та витрачається майже 1000 км³ води.

Багато води споживає і промисловість. На виробництво 1 т бавовняної тканини витрачається близько 250 м³ води, 1 т аміаку – близько 1000 м³. До найбільших споживачів води належать також теплові електростанції. На потреби *промисловості та енергетики* витрачається у середньому 760 км³ води (більше витрачає лише зрошення). Наприклад, у кольоровій металургії для виплавляння 1 т нікелю потребується 4000 м³ води. У *комунально-побутовому* водоспоживанні сумарний об'єм води, що споживається населенням, перевищує 250 км³ на рік. Але лише 4% населення світу користуються водою у достатній кількості, тобто 300-400 літрів на добу, а для $\frac{2}{3}$ населення, яке проживає головним чином у Африці й Азії, питоме споживання води удесятеро менше. У країнах, що розвиваються, кожен третій мешканець потерпає від нестачі питної води. Майже 80% усіх хвороб і третина смертельних випадків тут викликані споживанням забрудненої води.

Величезні обсяги води витрачаються на спорудження *водосховищ*. Всього у світі їх споруджено більше 30 тисяч загальним об'ємом близько 6 тис км³ і площею 400 тис км², що відповідає територіям таких держав, як Норвегія чи Парагвай. З поверхні водосховищ випаровується до 240 км³ води. Для такого континенту, як, наприклад, Африка, цей вид витрачання води є другим після зрошення і у п'ять разів перевищує промислове водоспоживання. Крім цього, створення штучних водойм впливає на природу прилеглих регіонів наступним чином:

- Затоплюються і підтоплюються величезні площі сільськогосподарських земель і лісових масивів. Ширина зони підтоплення може досягати десятків кілометрів. Наслідками підтоплення є заболочування, засолення ґрунтів, підтоплення будинків і споруд, погіршення санітарного стану місцевості.
- Коливання рівня води, вітрове хвилювання і берегові течії зумовлюють розмивання і обрушення берегів, тобто відбувається переформування берегів (абра-

зія) і дна водосховищ (Рис. 73). Ці процеси призводять до відступу берегів на десятки і сотні метрів, зміни глибин, замулення та зміни об'єму і площі водосховища.

- Створення водосховищ часто спричинює необхідність переселення значної кількості людей та перенесення господарських об'єктів, що пов'язано з великими витратами матеріальних ресурсів.



Рис. 73. Абразія берегів водосховищ

- Перерозподіл водосховищами річкового стоку у часі й за територією порушує умови існування, живлення, пересування і розмноження риб.
- Водосховища вносять помітні зміни у місцевий метеорологічний режим: навесні охолоджують прибережні території, а у другій половині теплого періоду підвищують температуру. У районах великих водосховищ дещо збільшуються кількість опадів, швидкість і повторюваність вітрів.
- Постійне і глибоке (понад 2 м) затоплення території призводить до повної загибелі наземної рослинності, яка раніше там існувала.
- Під час заповнення водосховищ (яке іноді триває кілька років) помітно знижується чисельність багатьох видів тварин через загибель молоді та знищення місць мешкання тварин.

Нині існує багато різноманітних методів і засобів щодо боротьби і запобігання якісному й кількісному виснаженню водних ресурсів. У загальному вигляді ці заходи умовно можна об'єднати у три групи:

У *Профілактичні* (запобіжні) заходи спрямовані на запобігання чи обмеження забруднення, засмічення і виснаження вод. Вони насамперед передбачають:

- розробку схем комплексного використання і охорони водних ресурсів на певній території;
- раціональне розміщення об'єктів – водокористувачів;

- розробку нових та вдосконалення існуючих технологій виробництва.

У *Діагностичні* заходи передусім спрямовані на виявлення складу та обсягів можливого забруднення (виснаження) водних ресурсів і включають такі дії:

- нормування водопостачання і водовідведення;
- нормування гранично допустимих концентрацій різних речовин у водах питного, рибогосподарського та іншого призначення;
- контроль за скиданням стічних вод та екологічним станом водних об'єктів і прилеглих територій.

У *Процедурні* заходи застосовуються тоді, коли водні об'єкти уже забруднені або виснажені, і тому спрямовуються на усунення існуючого забруднення. До цієї групи заходів, зокрема, входять такі:

- організація безстічного виробництва;
- застосування зворотного водопостачання;
- заміна водного охолодження повітряним;
- очищення снігових і зливових вод;
- накладання штрафних санкцій за забруднення, засмічення і виснаження вод аж до повного закриття підприємств – джерел забруднення.

Серед *технічних засобів* захисту водного середовища від забруднення, засмічення і виснаження можна виділити такі основні:

- Очистка і нейтралізація газових викидів суднових енергетичних установок.
- Механічні й біологічні (наприклад, за допомогою окислення бактеріями) методи усунення розливої нафти.
- Очистка побутових і виробничих стічних вод із застосуванням механічних, хімічних, фізико-хімічних, біохімічних, термічних і комбінованих методів.

Існує велика кількість способів очищення стічних вод, серед яких найпоширенішими є механічний, фізико-хімічний і біологічний. Кожен з них передбачає застосування цілої низки методів, що обираються залежно від агрегатного стану, складу і концентрації забруднювальних речовин. Забір води для побутових потреб потребує її очищення на водоочисних станціях. *Водоочисні споруди* – це складні господарські комплекси, де поєднуються різні методи і способи очищення води та поліпшення її якості. Склад і конструкція цих комплексів визначається передусім функціональним призначенням очисних споруд. Найбільш повно і глибоко водоочисні заходи здійснюються на спеціальних очисних станціях водопровідних мереж.

Вибір способів і методів очищення залежить від якості води та її призначення. За кожним з них стоїть складний, тривалий процес, що відбувається у ве-

личезних (інколи на сотню тисяч кубічних метрів) спеціалізованих залізобетонних спорудах. Вони сполучені трубами, мають помпи, фільтри, мішалки, уловлювачі й багато чого ще. Перед подачею води у водогін її прояснюють, тобто вилучають з неї завислі колоїдні частинки, знезаражують і знебарвлюють, а за потреби – дегазують, дезодорують і дезактивують. Прояснення води здійснюється шляхом відстоювання, фільтрування і коагуляції. Знезараження води відбувається за допомогою дії рідкого хлору, хлорного вапна або озону; одночасно відбувається знебарвлення води. Пом'якшення води здійснюється вапнуванням надлишку солей кальцію і магнію. Такий метод називається реагентний.

Зменшення вмісту заліза у воді досягається аерацією – збагаченням води повітрям, внаслідок чого кисень повітря окислює розчинені у воді солі двовалентного заліза (Fe_2^+) до тривалентного (Fe_3^+). Дегазація відбувається за допомогою аерації та фільтрування води через шар активного оксиду амонію. Таким методом виділяють з води сірководень, метан, надлишок фтору, вуглекислого та інших газів. Виділення з води речовин, що надають їй певного смаку і запаху (дегазація), здійснюють за допомогою активованого вугілля, озону, діоксиду хлору або перманганату калію.

Очищення стічних вод потребує спеціальних очисних споруд і агрегатів, за допомогою яких виділяють, знезаражують або знешкоджують забруднювальні домішки. Побутові стічні води очищають механічним і біологічним способами. Виробничі стічні води очищають разом з побутовими, але якщо концентрація забруднювальних речовин перевищує допустиму або стічні води містять високотоксичні речовини, тоді такі води попередньо очищують на очисних спорудах відповідних підприємств і тільки після цього скидають у загальні очисні споруди. Перед скиданням очищених стічних вод у водойми їх обов'язково знезаражують.

Отже, очищення стічних вод передбачає руйнування або видалення з них забруднювачів і знищення хвороботворних мікробів (стерилізація). Наразі застосовуються два основні шляхи очищення стічних вод: у штучних умовах (у спеціально створених спорудах) і у природних (на полях зрошення, у біологічних ставках). Забруднені стічні води послідовно піддають механічному, хімічному і біологічному очищенню.

Механічне очищення води застосовується для усунення з води нерозчинних домішок (піску, глини, мулу), а також жирів і смол. Для цього використовуються відстійники, сита, фільтри, центрифуги тощо. У відстійниках осідають важкі частинки щільністю більше 1 г/см^3 , а легші спливають на поверхню. Проціджування стічних вод забезпечує затримання порівняно великих частинок, розміри яких пе-

ревищують 15-20 мм. Фільтрування вод використовують для затримання найдрібніших нерозчинних завислих фракцій. Для цього застосовують піщано-гравійні фільтри або спеціальні сітки.

Очищення стічних вод від механічних домішок здійснюють також за допомогою гідроциклону – агрегату, який у процесі обертання цистерни з водою внаслідок дії відцентрованих сил вилучає з води завислі частинки забруднювальних речовин (Рис. 74). З метою інтенсифікації процесу механічного очищення побутових стічних вод проводять їхню аерацію, або ж аерацію поєднують з відстоюванням у просвітлювачі чи коагуляторі (Рис. 75). Передові методи із застосуванням найкращих сучасних установок дають змогу видаляти із стічних вод за допомогою механічної очистки до 95% твердих нерозчинних забруднювачів.



Рис. 74. Гідроциклон



Рис. 75. Коагулятор

Після механічного очищення стічних вод здійснюється їхнє *хімічне очищення* – коагуляція і нейтралізація забруднювальних речовин. Коагуляція передбачає додавання до стічних вод речовин-коагулянтів, що прискорюють виділення тих нерозчинних і частково розчинних речовин, які за відстоювання не випадають у осад. Окремі нерозчинні речовини у процесі коагуляції переходять у нешкідливі розчинні сполуки. Коагуляція зумовлює поступове осідання дисперсних часток та їхнє виділення з розчину у вигляді осаду. Цей процес називають седиментацією. Нейтралізація – це реакція, що призводить до знищення кислотних властивостей розчину за допомогою лугів, а лужних – навпаки, за допомогою кислот. Методи хімічної очистки дозволяють довести ступінь очистки води за сумою нерозчинних речовин до 80-85%.

Фізико-хімічні й біологічні способи очищення вод поділяються на дві групи: регенеративні та деструктивні. Перші дають змогу вилучати і утилізувати зі стіч-

них вод цінні елементи і речовини. Деструктивні методи передбачають руйнацію забруднювальних речовин або їхнє знешкодження. До регенеративних методів очищення належать: сорбція, екстракція, евапорація, флотація, іонний обмін, електроліз, кристалізація, випаровування тощо.

Сорбція передбачає поглинання певною речовиною (сорбентом) зі стічних вод газів, пари і розчинних речовин. *Екстракція* – це введення у стічні води речовин, здатних розчиняти забруднювачі, тобто процес переведення речовин із водної фази у органічну. *Евапорація* передбачає випаровування летких забруднювальних речовин пропусканням пари через нагріті до 100°C стічні води. *Флоатація* – це пропускання через стічні води повітря, бульбашки якого при піднятті вгору захоплюють із собою і виносять з потоку води забруднювальні речовини.

Метод *іонного обміну* широко застосовують для технологічного і аналітичного розділення сумішей неорганічних іонів. Це поглинання забруднювальних речовин фільтруванням через іонні смоли. *Електроліз* полягає у тому, що через занурені у воді електроди пропускають струм, підсилюють розчинення матеріалу електродів і утворення згустків коагуляту, що сприяє осадженню забруднень. *Кристалізація* ґрунтується на утворенні кристалів забруднювальних речовин внаслідок природного або штучно прискореного випаровування рідини. *Випаровування* застосовується переважно при очищенні радіоактивно забруднених вод. У цілому фізико-хімічні способи забезпечують ступінь очищення води за сумою нерозчинних речовин до 90%.

Біологічна очистка проводиться шляхом біологічного окислення забруднень у природних умовах – на полях зрошення, у спеціальних біологічних ставках, а також у штучних умовах – за допомогою біологічних фільтрів. При цьому вилучається лише 10-40% неорганічних речовин і практично не вилучаються солі важких металів.

Біологічне очищення стічних вод зазвичай є завершальним етапом. Органічна речовина, що міститься у стічній воді, окислюється аеробними бактеріями до вуглекислого газу і води, а також споживається гетеротрофами (передусім найпростішими). Чим більше у очищуваній воді гетеротрофів і чим вища їхня біологічна активність, тим інтенсивніше відбувається процес очищення. Крім того, організми-фільтратори, поглинаючи і згодом осаджуючи різні суспензії, сприяють їхньому похованню на дні і таким чином освітлюють воду. Біологічне очищення здійснюють у спеціальних гідротехнічних спорудах і установках – на полях зрошення, на полях фільтрації, на біофільтрах, у аеротенках. Іноді ці споруди штучно заселяють спеціально підібраними або виведеними штамми бактерій і культура-

ми найпростіших чи водоростей. Комплекс організмів, що беруть участь у процесах біологічного очищення, називають активним мулом.

Отже, методи біологічного очищення ґрунтуються на здатності мікроорганізмів використовувати у процесі життєдіяльності органічні й неорганічні сполуки і видаляти їх із стічних вод. Властивості мікроорганізмів використовуються у очисних спорудах за участю кисню (аеробні процеси) – аеротенки (активний мул), біофільтри; за відсутності кисню (анаеробні процеси) – метантенки для зброджування осадів стічних вод (Рис. 76). Зокрема, біологічний метод використовується для очищення стічних вод збагачувальних фабрик від поверхнево-активних речовин.



Рис. 76. Аеротенки (ліворуч) і метантенки (праворуч)

Усі розглянуті методи очищення води є традиційними; вони потребують величезної кількості енергії, численних pomp, електродвигунів, великих басейнів та різноманітних хімічних речовин (хлору, озону тощо). Якість очищеної води оцінюється невисоко, адже вона містить чимало солей, багато різних елементів. Зокрема, цими способами досі не вдавалося отримати справді чисту воду для потреб електроніки чи деяких сучасних технологій.

Тому на тих виробництвах, де традиційними способами неможливо одержати воду потрібної чистоти, використовують інші, нетрадиційні методи. Наприклад, незамінним у таких випадках є перевірений у лабораторіях і поза ними *ядерно-мембранний метод* прямого очищення води від усіх домішок (Рис. 77). Сутність його наступна: під невеликим тиском і з дуже малою витратою енергії потік забрудненої води послідовно проходить крізь низку мембран із щораз меншими отворами. Останнє «сито» має такі маленькі дірочки, що у них «протискуються» лише молекули води. Фільтри для останніх етапів мембранного очищення навчилися виготовляти лише після створення потужних прискорювачів важких зарядів.

джених частинок (іонів різних елементів). Саме вони дірявлять, свердлять і створюють сита, чарунки яких не видно і у найпотужніший мікроскоп.

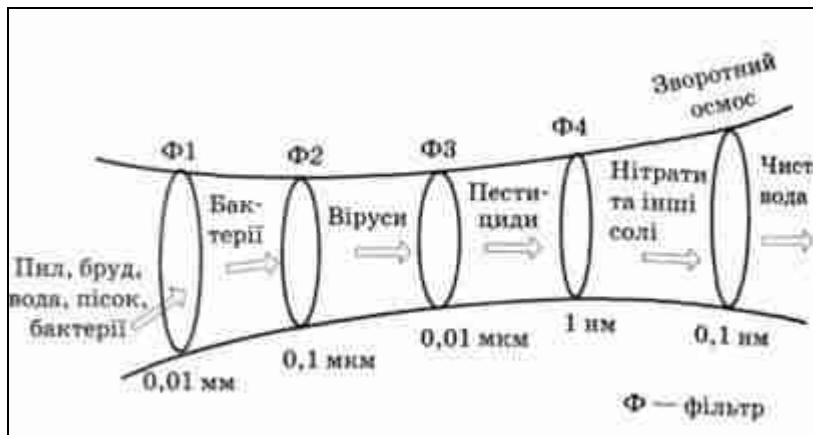


Рис. 77. Схема ядерно-мембранного методу прямого очищення води

Деякі особливо токсичні стічні води (наприклад, хімічних підприємств) взагалі не піддаються очищенню ніякими сучасними методами. Їх доводиться закачувати у підземні сховища, наприклад, у відпрацьовані нафтові родовища. Таким чином створюються небезпечні об'єкти, оскільки ніхто не може дати стовідсоткової гарантії, що отруйні води не потраплять колись у підземні водоносні горизонти. Іноді сильно отруйні стічні води просто випаровують у відстійниках, щоб зменшити масу і об'єм відходів, які необхідно поховати.

За усіх способів очищення забрудненої води необхідно видаляти уловлені шкідливі речовини. Періодично це треба робити і з блоком ультрафільтрів. Технологія цих процесів вже існує. Натурні експерименти довели, що нові методи особливо ефективні для очищення невеликих обсягів води. Можливо, що певний час вони співіснуватимуть з традиційними, які не скоро ним поступляться бодай через те, що вже існують і «готують» мільйони кубічних метрів питної води.

5.5.3 Міжнародне співробітництво у галузі охорони водних ресурсів

Проблеми охорони Світового океану набули глобального значення внаслідок того, що морське середовище не розділене ніякими кордонами. Системою течій або через поверхневий стік і взаємозв'язок з атмосферою шкідливі речовини швидко розповсюджуються на значні відстані від конкретного джерела забруднення. Саме тому міжнародне співробітництво у цій галузі має виключне значення для усього світового співтовариства. Охорона і раціональне використання ресурсів гідросфери вимагає тісного міжнародного співробітництва, ґрунтованого на

нормативній базі, зокрема *принципах міжнародного права*, серед яких зокрема такі:

- Охорона екологічної рівноваги, що визначає певні права і обов'язки держав.
- Держава своєю діяльністю не повинна шкодити морському середовищу інших держав.
- Неприпустимість забруднення вод відкритого моря в результаті будь-якого виду діяльності.
- Обов'язкове дотримання міжнародних стандартів усіма без винятку державами.
- Зобов'язання держав застосовувати заходи, спрямовані на поліпшення усіх аспектів гігієни зовнішнього середовища, що підтверджує Міжнародний пакт про економічні, соціальні й культурні права, прийнятий 1966 р.
- Забруднення Світового океану, яке змінює газовий склад атмосфери і тепловий баланс планети, розглядається як *порушення екологічної безпеки планети*.

Усі дії людини, що нині призводять до руйнування навколишнього середовища, можна визначити як **екоцид** – глобальний екологічний злочин. Екоцидом також можна назвати випробування ядерної зброї, захоронення радіоактивних відходів і отруйних речовин, скидання небезпечних промислових відходів. Відповідно отруєння морського середовища, знищення або руйнування екосистем моря визначається як **марецид**. Подібні дії заборонені міжнародним правом.

Найважливішу роль у координації міжнародної діяльності з охорони водних ресурсів планети відіграють міжнародні угоди (конвенції), які вже давно використовуються у міжнародному праві й практиці. Конвенція (від лат. *conventio* – договір, угода) – це вид міжнародних договорів, що встановлює взаємні права та обов'язки сторін. Конвенції поділяються на багатосторонні й двосторонні, загальні й галузеві, глобальні й регіональні. Приймаються міжнародними організаціями, конференціями, нарадами тощо і є обов'язковими для виконання сторонами – учасниками.

Першою міжнародною угодою, яка встановила певні зобов'язання держав у галузі охорони Світового океану, була *Лондонська конвенція з попередження забруднення моря нафтою 1954 р.* з поправками 1962 р. Конвенція заборонила зливання нафти із суден, встановила заборонені зони, зобов'язала кожну державу, яка підписала конвенцію, застосувати необхідні заходи для обладнання окремих портів пристроями для приймання нафтових залишків. У 1969 р. до Лондонської конвенції внесли нові поправки, за якими було відмінено усі заборонені для зливання

нафти зони, а замість них забороненою зоною було оголошено *увесь Світовий океан*.

Усіма питаннями, пов'язаними з проблемами Світового океану, переймається **Міжнародна морська організація** (ІМО – *International Maritime Organization*), що має статус спеціалізованої агенції ООН. Заснована 1948 р. у Женеві з метою сприяння міжнародному співробітництву у сфері морських перевезень і морської торгівлі. Функціонувати розпочала з 1959 р. До 22 травня 1982 р. мала назву *Міжурядова морська консультативна організація*. Зміна назви була пов'язана з тим, що слово «консультативна» тлумачилося як обмежена у повноваженнях і відповідальності організація, а слово «міжурядова» викликало недовіру й підозри. Нова назва була необхідна для підвищення статусу Організації як міжнародної, відповідальної за упровадження міжнародних конвенцій і створення стандартів щодо охорони людського життя на морі й охорони морського середовища від забруднення.

Організація є форумом для обміну інформацією між урядами з технічних питань міжнародного торговельного судноплавства, сприяє гарантуванню безпеки на морі та уникненню забруднення моря морськими суднами. Членами ІМО є 170 держав, у т. ч. Україна. ІМО вирішує питання, пов'язані із забезпеченням співробітництва у судноплавстві й мореплаванні, розробкою рекомендацій і проектів конвенцій з морського права. Вищим органом ІМО є Асамблея, що складається з усіх її членів і скликається раз на два роки. Секретаріат ІМО очолює Генеральний секретар. Штаб-квартира організації розташована в Лондоні.

Після Лондонської конвенції 1954 р. першими міжнародно-правовими документами у галузі морського права, які започаткували процес його кодифікації, були чотири конвенції 1958 р.:

- Конвенція про територіальне море і прилеглу зону.
- Конвенція про континентальний шельф.
- Конвенція про відкрите море.
- Конвенція про рибальство і охорону живих ресурсів моря.

Вони були прийняті I Конференцією ООН з морського права, яка відбулася 1958 р. у Женеві (Швейцарія) і тому відомі також як *Женевські конвенції 1958*. Їхнє прийняття мало важливе значення для уніфікації правового режиму просторів Світового океану, прогресивного розвитку міжнародного морського права. Переважну більшість їхніх правових норм включено до Конвенції ООН з морського права 1982 р. Женевські конвенції свідчать про те, що у той час, коли вони приймалися, нафта і радіоактивні матеріали вважалися не лише основними, а й прак-

тично єдиними джерелами забруднення. У 60-ті роки такий вибірковий підхід був типовим для міжнародних правил щодо запобігання забрудненню моря.

У 1963 р. було підписано Московський договір про заборону випробувань ядерної зброї в атмосфері, космічному просторі та під водою. Велике значення для попередження радіоактивного забруднення Світового океану мав Договір про заборону розміщення на дні океанів і морів та у їхніх надрах ядерної зброї та інших видів зброї масового знищення. Заходи регулювання переважно концентрувалися на одному питанні – обов'язку компенсувати збитки, спричинені ядерними інцидентами. Проте все ж таки були прийняті деякі заходи, направлені безпосередньо на боротьбу з радіоактивним забрудненням. Наприклад, положення про перевезення радіоактивних речовин та експлуатацію суден з ядерними установками були включені у Конвенцію про охорону людського життя на морі (COMCI) 1960 р., а пізніше і у Конвенцію СОЛАС (International Convention for the Safety of Life at Sea; SOLAS) 1974 р. Ще раніше (1957 р.) окремі положення щодо видалення радіоактивних відходів були включені у Римський договір, яким поміж іншим було засноване Європейське співтовариство з атомної енергії (ЄВРАТОМ).

Зважаючи на різке зростання морських перевезень нафти, які значно збільшили небезпеку забруднення, основним завданням стало запобігання викидам і боротьба з розливами нафти. Із самого початку своєї діяльності ІМКО взяла на себе організацію широкого міжнародного співробітництва у справі запобігання забрудненню із суден. ІМКО відіграла також головну роль у прийнятті у 1969 р. Міжнародної конвенції про втручання у відкритому морі на випадок аварій, які призводять до забруднення нафтою, і Міжнародної конвенції про цивільну відповідальність за збитки від забруднення нафтою.

Окрім угод глобального характеру, вживалися заходи щодо боротьби із забрудненням нафтою на регіональному рівні. Перші конвенції такого роду містили лише норми про співробітництво і моніторинг, взаємодопомогу при усуненні забруднення та про обмін інформацією з приводу інцидентів, пов'язаних із забрудненням. До подібних актів належить, зокрема, Угода про співробітництво у боротьбі із забрудненням нафтою вод Північного моря 1969 р. (Бонн).

Рішучий перехід від прийняття часткових рішень до створення всеохоплюючих правових режимів розпочався у 70-ті роки минулого століття. Ці зміни характеризувалися орієнтацією на джерела забруднення, тобто замість регулювання забруднення, викликаного лише певними видами речовин, вжиті заходи зачіпали конкретне джерело забруднення. Першим об'єктом такого підходу стало захоронення відходів у морі (демпінг). У 1972 р. низкою західноєвропейських держав

було підписана *Конвенція про запобігання забрудненню моря шляхом захоронення відходів із суден і літальних апаратів* (Осло). Дія Конвенції поширювалася на Північне море, північно-східну частину Атлантичного океану і частини Північного Льодовитого океану, які з нею межують.

Через дев'ять місяців з'явився «двійник», який мав уже глобальний характер – *Конвенція про запобігання забрудненню Світового океану викидами відходів та інших матеріалів*, прийнята 1972 р. у Лондоні на міжурядовій конференції представниками 80 держав (набула чинності у 1975 р.). Вона містить так званий «чорний» перелік речовин, повністю заборонених до скидання: хлорорганічні сполуки, ртуть і кадмій та їхні сполуки, нафта і нафтопродукти, речовини для ведення хімічної і біологічної війни. А також регламентує: а) заборону скидів надзвичайно небезпечних речовин, включаючи радіоактивні; б) скидання низки речовин лише за попереднім спеціальним дозволом; в) скидання менш небезпечних речовин з дозволу національних органів влади.

Щодо забруднення із суден, то відповідний крок був зроблений у 1973 р., коли була прийнята *Міжнародна Конвенція про запобігання забрудненню з кораблів*. Звісно, Конвенція 1973 р. не забезпечувала повністю досягнення поставленої мети, проте стала прогресивним кроком у напрямку виконання зобов'язань, оскільки детально визначила стандарти викидів для усіх типів суден, а також передбачила відповідні положення щодо конструкції та обладнання морських суден.

На регіональному рівні подальша регламентація забруднення була результатом укладення у 1974 р. *Паризької Конвенції про запобігання забрудненню моря із джерел, розміщених на суші*, дія якої поширюється на той же географічний регіон, що і дія Конвенції про захоронення відходів 1972 р., укладеної в Осло. Остаточний крок до створення конвенційного режиму, який би охоплював будь-яке джерело забруднення моря, так само як і будь-який інший вид шкідливих речовин, було зроблено Балтійськими державами у 1974 р. На Дипломатичній конференції було прийнято *Конвенцію про захист морського середовища регіону Балтійського моря* (Гельсінкі, 1974).

Досвід Балтійських держав незабаром перейняли Середземноморські країни – вже у лютому 1976 р. на конференції шістнадцяти держав у Барселоні була прийнята *Конвенція про захист Середземного моря від забруднення*, яка за багатьма параметрами нагадує Гельсінську Конвенцію. Барселонська конвенція є частиною Плану дій щодо Середземного моря, прийнятого у 1975 р. під егідою ЮНЕП.

Іншим прикладом успішного регіонального співробітництва стало проведення у 1978 р. Кувейтської регіональної конференції щодо захисту і розвитку морського середовища і прибережних районів. Було прийнято низку важливих документів щодо захисту Перської затоки від загрози забруднення внаслідок видобутку нафти та її перевезення танкерами.

Отже, наприкінці 60-х і у 70-ті рр. XX ст. у надзвичайно короткі терміни розробляється і приймається, а згодом вступає у силу ціла низка масштабних міжнародних угод у галузі охорони водних ресурсів планети. Проте універсальні угоди стосуються передусім забруднення морів із суден або ж внаслідок захоронення відходів. Вони не зачіпають одне з головних джерел забруднення морського середовища – із суші, а також забруднення, яке є результатом діяльності на континентальному шельфі та з атмосфери. Регіональні договори поширюються лише на окремі морські регіони, тобто незначну частину Світового океану. Якщо поглянути на створену цими договорами картину міжнародно-правового регулювання захисту Світового океану від забруднення, то у вічі кидається її фрагментарний, мозаїчний характер.

Проте майже у той самий період (1973-1982 рр.) проходить робота III Конференції ООН з морського права, яка завершується створенням системи кодифікованих універсальних норм міжнародного морського права. Єдину систему норм щодо захисту і збереження морського середовища містить прийнята конференцією *Конвенція ООН з морського права*, яку ще називають *Хартією морів*. Ці норми у своїй сукупності регламентують запобігання забрудненню морського середовища з усіх можливих джерел, причому сфера їхньої дії не обмежується якими-небудь географічними кордонами.

Робота над розробкою Конвенції розпочалася ще у 1973 р., коли Генеральна Асамблея Організації Об'єднаних Націй скликала Конференцію ООН з морського права. І лише у 1982 р. у Монтего-Бей (Ямайка) була ухвалена *Конвенція ООН з морського права*. 1994 р. була прийнята додаткова Угода про здійснення частини XI Конвенції. Конвенція і Угода набули чинності відповідно 16 листопада 1996 р. і 28 липня 1998 року. Конвенція визначила акваторії, які мають національну юрисдикцію, і ці держави несуть відповідальність перед міжнародною спільнотою за їхню охорону. Приблизно 45% Океану оголошені загальним надбанням людства, тому будь-яка діяльність на цих акваторіях має здійснюватися під контролем Міжнародного органу з морської справи.

Конвенції ООН з морського права підпорядковуються усі інші міжнародні угоди, прийняті як до, так і після її ухвалення. Це, зокрема, Конвенція про міжна-

родну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення, підписана у Вашингтоні у 1973 р. і виправлена у Бонні 22 червня 1979 р., а також Угода про заборону комерційного добування китів (1985).

У 90-х роках ХХ ст. було підписано низку угод щодо спільного користування і охорони акваторій морів прилеглими країнами. 1992 р. була ухвалена *Конвенція про захист Чорного моря від забруднення* (Бухарестська конвенція). Конвенція є основним правовим документом, що визначає пріоритети і напрямки міжнародної природоохоронної діяльності у басейні Чорного моря. Активне співробітництво між шістьма країнами Чорноморського басейну (Болгарією, Грузією, Румунією, Російською Федерацією, Туреччиною і Україною) розпочалося саме після підписання цієї Конвенції. Для виконання положень Бухарестської конвенції була створена Чорноморська Комісія, Постійний Секретаріат якої розпочав роботу у 2000 р. Для країн-учасниць ця Конвенція стала одним з перших міжнародних договорів про захист навколишнього середовища.

1993 р. міністрами охорони довкілля шістьох чорноморських країн була підписана *Одеська Міністерська Декларація*, яка передбачає заборону скидів радіоактивних матеріалів у Чорне море; контроль за забрудненням від судноплавства; створення природоохоронних територій і збереження біорізноманіття; розробку планів реагування у надзвичайних ситуаціях; інвентаризацію джерел забруднення, створення системи і упровадження програм моніторингу; запровадження експертизи усіх проектів на предмет їхнього впливу на довкілля; розвиток міжнародного співробітництва в регіоні з метою виконання положень Бухарестської конвенції.

Важливим документом, спрямованим на посилення регіонального співробітництва, став *Стратегічний план дій для відновлення та захисту Чорного моря* (СПД, 1996). План містить пропозиції щодо зменшення надходження забруднень у морське середовище з берегових джерел, а також внаслідок судноплавної діяльності. Чорноморська комісія надала ЄС офіційний статус спостерігача у межах Бухарестської Конвенції. СПД передбачає розширене співробітництво, що містить такі складові:

- У співробітництво між Чорноморською комісією і Міжнародною комісією із захисту річки Дунай (International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR));
- У участь у роботі Цільової робочої групи Дунай – Чорне море (Danube Black Sea Task Force (DABLAS));

- У співробітництво з Європейським агентством щодо навколишнього середовища (European Environmental Agency (EEA));
- У здійснення функцій Координаційної групи для досягнення цілей Договору щодо збереження китових Чорного моря, Середземного моря і прилеглої території Атлантичного океану (Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea (ACCOBAM));
- У співробітництво з Хельсінкською Комісією (Helsinki Commission (HELCOM));
- У співробітництво зі Спільним науково-дослідним центром ЄС (Joint Research Centre (JRC)) в Італії;
- У співробітництво з Програмою ООН щодо захисту навколишнього середовища «Глобальний план дій» (United Nations Environment Program, Global Plan of Action (UNEP GPA)).

Європейська Комісія запропонувала амбіційну *Морську стратегію* задля ефективнішого захисту морського довкілля у Європі, з чого слідує, що морські ресурси мають використовуватися згідно із принципами збалансованого розвитку і з використанням екосистемного підходу. Стратегія визнає специфічний характер європейських океанів і морів (від океанографічних і гідрологічних параметрів, фізичних і хімічних особливостей, загроз довкіллю, засобів їхнього подолання до економічних і соціальних умов у прибережних країнах). Значна увага приділяється співпраці з країнами, які не входять до Європейського Союзу, а також з регіональними структурами, які переймаються проблемами захисту морів і океанів. Кожна країна ЄС має розробити власну Морську стратегію для своїх морських вод, враховуючи разом з цим наявні міжнародні офіційні угоди.

Отже, міжнародний правовий режим використання і охорони водних ресурсів планети базується на таких головних аспектах: регулювання рибальства та інших морських промислів; дно і надра океану за межами шельфу відкриті для використання виключно у мирних цілях; проведення багатосторонніх наукових досліджень океану, а також атмосфери і Космосу з морських акваторій; тісний взаємозв'язок правового режиму повітряного простору над відповідними акваторіями з правовим режимом океану; дотримання правового режиму торговельного судноплавства і військового мореплавства.

Підсумовуючи вищевказане, звернемо увагу на такі головні тези. Доступною для використання людиною є прісна вода, яку містять річки, озера і підземні води; саме ці джерела становлять усього 0,3% об'єму гідросфери планети. Головним багатством Світового океану є біотичні ресурси – величезні харчові ресурси, які можуть бути невичерпними за їхнього дбайливого використання.

Основним сировинним ресурсом Світового океану є морська вода, яка містить 75 важливих хімічних елементів, а також може бути використана для одержання прісної води. Світовий океан багатий на мінеральні ресурси – надра океану багаті покладами корисних копалин. Оскільки у водойми надходить величезна кількість забруднених стічних вод, багато з них втратили здатність до самоочищення і почали деградувати. Людина винайшла кілька способів очищення стічних вод, серед яких найпоширенішими є механічний, фізико-хімічний і біологічний.

Провідну роль у координації міжнародної діяльності з охорони водних ресурсів планети відіграють міжнародні конвенції, а усіма питаннями щодо Світового океану займається Міжнародна морська організація. Більш ніж за півстоліття тісної співпраці між державами розроблено і прийнято велику кількість міжнародних угод, головною серед яких є Конвенція ООН з морського права. Держави-учасниці несуть відповідальність перед міжнародною спільнотою за охорону акваторій, які мають національну юрисдикцію.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть і охарактеризуйте найважливіші функції Світового океану.
2. Чому, на вашу думку, енергетична функція Світового океану має таке важливе значення для суспільства?
3. Які ресурси Світового океану є найціннішими? Обґрунтуйте.
4. Охарактеризуйте основні види і джерела забруднення водного середовища.
5. Назвіть найстійкіші забруднювачі Світового океану. Які екологічні наслідки нафтового забруднення гідросфери є найбільш негативними?
6. Які ви знаєте традиційні методи очищення стічних вод? Чому вони не забезпечують повного очищення води?
7. Чому нині майже чверть населення Землі постійно відчуває нестачу питної води? Що ви знаєте про дії світової спільноти задля забезпечення людей водою?
8. Назвіть відомі вам принципи міжнародного права, які регулюють охорону водного середовища.
9. Охарактеризуйте діяльність Міжнародної морської організації.
10. Які міжнародні конвенції щодо охорони і раціонального використання ресурсів Світового океану вам відомі? Наведіть приклади.

5.6 Ресурси атмосфери

До того, як людина освоїла вогонь близько 10 тисяч років тому, атмосфера використовувалася нею лише для дихання. З розвитком людських поселень, а зго-

дом і промисловості, атмосфера стала використовуватися як джерело кисню для спалювання різних видів палива і викидів відходів енергетичних та інших промислових підприємств. Перші спроби охорони атмосфери у місцевому масштабі відомі з XIII ст. Зокрема, в Англії у 1273 р. була прийнята постанова про заборону спалювання вугілля у Лондоні. Перші закони про охорону атмосферного повітря з'явилися на початку XX ст. у Європі, зокрема, у Німеччині (1900), Англії (1906), Франції (1917 р.).

Атмосфера, як відомо, – газова оболонка, що оточує Землю. Наявність атмосфери є однією з найголовніших умов життя на планеті. Без їжі людина може обходитися приблизно місяць, без води – тиждень, а без повітря не проживе й кількох хвилин. Атмосфера, як елемент глобальної екосистеми, виконує такі основні функції:

- Ї захищає живі організми від згубного впливу космічного випромінювання і ударів метеоритів;
- Ї регулює сезонні й добові коливання температури (якби на Землі не існувало атмосфери, добові коливання температури досягали $\pm 200^{\circ}\text{C}$);
- Ї є носієм тепла і вологи;
- Ї є «вмістилищем» газів, які беруть участь у фотосинтезі й тим самим забезпечують процес дихання;
- Ї зумовлює перебіг складних екзогенних процесів (вивітрювання гірських порід, діяльність природних вод, мерзлоти, льодовиків тощо).

Атмосфера регулює також такі найважливіші параметри, як температура, вологість, тиск. Тобто найзагальнішою характеристикою стану атмосфери є *клімат*. Кругообіги кисню, вуглецю, азоту, води обов'язково проходять атмосферну стадію. Головним при цьому є те, що дякуючи такій властивості атмосфери, як *динамічність*, різні речовини розподіляються разом з пануючими вітрами всією земною кулею. Дуже важливою є така властивість атмосфери, як *прозорість*, яка визначає інтенсивність фотосинтезу – єдиного природного процесу фіксації сонячної енергії на Землі.

Сучасний *газовий склад* атмосфери є результатом тривалого історичного розвитку земної кулі. У повітрі вміщується: азоту – 78,084%; кисню – 20,946%; аргону – 0,934%; вуглекислого газу – 0,03% (Рис. 78). Крім того, атмосфера містить водяну пару: від 0,2% у приполярних районах до 3% поблизу екватора. Такий хімічний склад атмосфери Землі мала не завжди. Первісна атмосфера Землі була схожа з атмосферами деяких інших планет Сонячної системи, наприклад, Венери,

і складалася з вуглекислого газу, метану, аміаку тощо. Нинішня киснево-азотна атмосфера є результатом життєдіяльності живої речовини біосфери.

Хоча маса атмосфери становить приблизно одну мільйонну маси Землі, вона відіграє величезну роль у всіх природних процесах. Наявність навколо земної кулі атмосфери визначає загальний тепловий режим поверхні Землі, циркуляція атмосфери впливає на місцеві кліматичні умови, а через них – на режим річок, ґрунтово-рослинний покрив, а також на екзогенні процеси рельєфоутворення. Відомо, що сонячна енергія, яка надходить на Землю, створює умови для життя, але її *доза* визначається атмосферою. Якщо б її не існувало, удень земна поверхня розжарювалася б до $+100^{\circ}\text{C}$, а вночі б вистуджувалася до -100°C . Звичайно, що 200-градусний перепад добових температур набагато перевищує можливості виживання будь-яких форм земного життя.

Атмосферне повітря лише умовно можна вважати невичерпним природним ресурсом. Річ у тім, що людині та й більшості живих організмів необхідне повітря певної якості, а під впливом людської ж діяльності хімічний склад і фізичні властивості повітря дедалі погіршуються. На Землі вже практично не залишилося місць, де повітря зберегло свої первозданні чистоту і якість, а у багатьох промислових центрах стан атмосфери просто загрозливий. У мегаполісах десятки мільйонів людей дихають повітрям, яке не відповідає сучасним нормам і є шкідливим для їхнього здоров'я; на кожного жителя цих міст щорічно випадає близько тонни небезпечних речовин.

Атмосферу можна умовно поділити на декілька шарів різної товщини, кожному з яких притаманні деякі спільні для усього шару властивості. У той же час один шар відрізняється від іншого температурою, вітром, вологістю та іншими елементами (Рис. 79). Оскільки атмосфера є такою собі «багатоповерховою спорудою», Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) 1962 р. встановила такі назви шарів атмосфери:

- тропосфера (у середньому до висоти 11 км);
- стратосфера (від 11 до 50-55 км);
- мезосфера (від 50-55 до 80-85 км);
- термосфера (від 80-85 км до приблизно 1000 км);
- екзосфера (вище 1000 км).

Вище 20 тис км атмосфера поступово переходить у міжпланетний космічний вакуум. Цей поділ атмосфери дещо умовний, проте він допомагає з'ясувати важливі фізичні особливості повітря у різних шарах і природу атмосферних явищ, що важливо зокрема для прогнозу погоди. Основна маса повітря (90%) зосере-

джена у нижньому шарі – тропосфері. Тут же відбуваються інтенсивні теплові процеси, причому атмосфера нагрівається знизу, від поверхні океанів і суходолу. Надзвичайно важливе екологічне значення для біосфери має озоновий шар у стратосфері, повітря якого збагачене трьохатомним киснем (O_3). Озоновий шар захищає все живе на Землі від згубної дії «жорсткого» ультрафіолетового випромінювання Сонця.

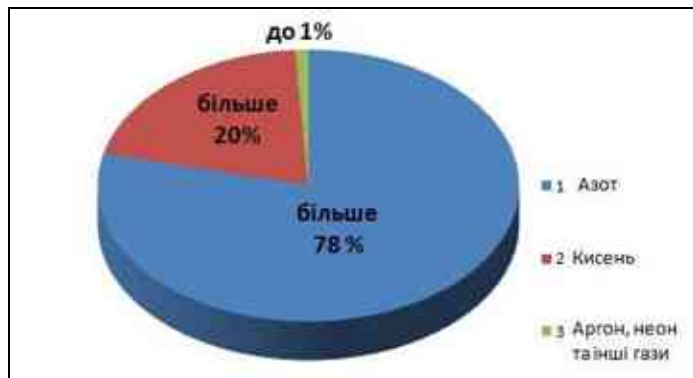


Рис. 78. Газовий склад атмосфери

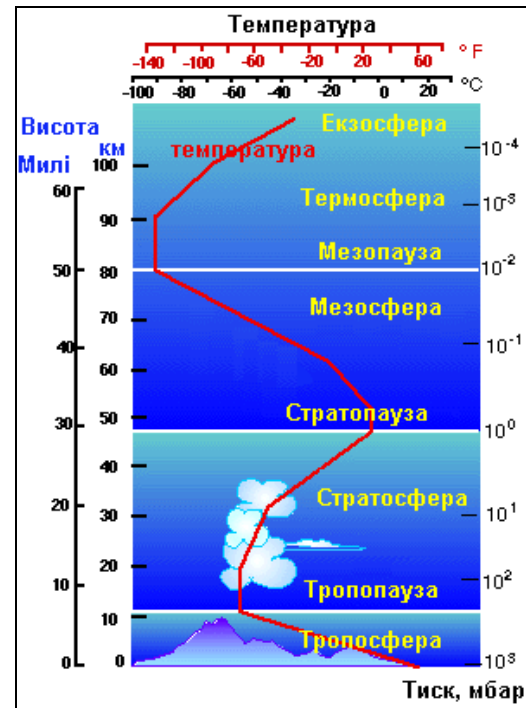


Рис. 79. Будова атмосфери

Крім газів, у повітрі атмосфери містяться ще й домішки так званих аерозолів, тобто дуже дрібних крапель рідин і твердих частинок як природного, так і антропогенного походження: сірчистих (краплі H_2SO_4), мінеральних (пил із земної поверхні), вуглеводневих (сажа), морських (частинки морських солей) та інших.

5.6.1 Атмосферне забруднення та його екологічні наслідки

Техногенне забруднення атмосфери розпочалося з розвитком промисловості, енергетики, великих міст і автотранспорту; за потужністю викидів його можна поставити у один ряд із сучасною вулканічною діяльністю. *Атмосферне забруднення* слід розуміти як надходження у повітря різних газів, частинок рідких або твердих речовин, парів, що перевищує нормальний фон концентрації речовин і негативно впливає на організми, погіршуючи їхні життєві умови. Іншими словами, атмосферне забруднення – це будь-які несприятливі зміни стану атмосферного повітря, цілком або частково викликані діяльністю людини, які безпосередньо

чи опосередковано змінюють розподіл енергії, рівні радіації, фізико-хімічні властивості атмосфери та умови існування живих організмів. Ступінь змін і масштаб наслідків залежать, по-перше, від інтенсивності й характеру самого забруднення, по-друге, від стійкості атмосферного повітря до антропогенного навантаження.

Із забрудненням тісно пов'язане нинішнє катастрофічне зменшення вмісту кисню у атмосфері. Серед основних причин цього явища головними є такі:

- зменшення надходження кисню через скорочення зеленого покриву планети;
- скорочення фотосинтезуючого фітопланктону Світового океану внаслідок забруднення останнього;
- споживання кисню транспортними засобами (напр., легковий автомобіль протягом 1 тис км пробігу спалює річну норму споживання кисню людиною);
- споживання кисню усіма живими організмами (напр., людина у середньому споживає 500 л кисню на добу);
- споживання кисню промисловістю через використання викопного палива.

Живі організми здатні без шкоди для себе переносити присутність в атмосфері певної кількості забруднювальних речовин. Рівень забруднення визначається такими трьома факторами: 1) надходженням забруднювачів у повітря; 2) об'ємом простору, у якому вони розсіюються; 3) механізмами вилучення забруднювачів з атмосфери. Серед найбільш розповсюджених і небезпечних виділяють такі категорії забруднювачів:

- *Завислі* – найдрібніші зважені частинки і краплі, що спостерігаються у вигляді смогу або димки.
- *Вуглеводні* та інші леткі органічні сполуки (наприклад, бензин, розчинники й розчини органічних речовин, що переходять у повітря у вигляді парів).
- *Чадний газ* (CO) – він є дуже отруйним.
- *Оксиди азоту і сірки* – це передусім газоподібні сполуки азоту і кисню, а також отруйний сірчаний газ.
- *Важкі метали* – свинець, кадмій, ртуть, мідь, нікель, цинк, хром та інші.
- *Озон* та інші фотохімічні окиснювачі; мається на увазі той озон, що надходить до приземних шарів атмосфери – тут він є високо токсичним.
- *Кислоти*, передусім сірчана і азотна – вони найчастіше присутні у вигляді крапель рідини, що утворюють кислотні опади.

Ці та інші забруднювачі шкідливо впливають на здоров'я людей, а також на якість всього навколишнього середовища. Джерелами антропогенного забруднення атмосфери є теплоенергетика, промисловість, транспорт, нафто- і газопереробка, випробування зброї тощо. Джерела забруднення атмосферного повітря можуть

бути природними і антропогенними (Табл. 13). Щодо природних джерел, то у нормі вони не спричиняють істотних змін повітря. У той же час інтенсивне поширення того чи іншого природного джерела забруднення на певній території (викиди попелу і газів вулканами, лісові й степові пожежі) можуть стати причиною серйозного забруднення атмосфери. Наприклад, під час виверження вулкана Кракау в 1883 р. маса попелу і пилу становила 150 млрд т, і вони поширилися майже всією земною кулею. Внаслідок виверження вулкана на Алясці у 1912 р. в атмосферу надійшло понад 20 млрд т пилу, який тривалий час утримувався у повітрі. Такі катастрофічні явища іноді зумовлюють утворення світлонепроникного екрана навколо Землі, а також зміну її теплового балансу. Проте природні забруднення атмосфери здебільшого не завдають великої шкоди людині, оскільки відбуваються за певними екологічними законами і регулюються кругообігом речовин; крім того, проявляються періодично.

Табл. 13. Основні джерела забруднення атмосфери

Домішки	Основні джерела		Середньорічна концентрація у повітрі, мг/м ³
	Природні	Антропогенні	
Тверді частинки (попіл, пил тощо)	Вулканічні виверження, пилові бурі, лісові пожежі	Спалювання палива у промислових і побутових установках	У містах 0,04-0,4.
SO ₂ (діоксид сірки)	Вулканічні виверження, окислення сірки і сульфатів, розсіяних у морях	Спалювання викопного палива, передусім вугілля на ТЕС	У містах – до 1,0.
NO ₂ (діоксид азоту)	Лісові пожежі	Промисловість, автотранспорт, теплоелектростанції	У районах з розвинутою промисловістю – до 0,2.
CO (окис вуглецю)	Лісові пожежі, окислення терпенів, океанічні сполуки	Автотранспорт, промислове енергоуstattкування, чорна металургія	У містах – від 1 до 50.
Летючі вуглеводні	Лісові пожежі, природний метан	Автотранспорт, випаровування нафтопродуктів	У промислових районах – до 3,0.
Поліциклічні ароматичні вуглеводні		Автотранспорт, хімічні заводи, нафтопереробні заводи	У районах – 0,01.

Зовсім інакше відбувається *антропогенне* забруднення атмосфери – внаслідок діяльності людини змінюються її склад і властивості. За характером впливу на атмосферу штучні джерела забруднення умовно поділяють на *технічні* (пил цементних заводів, дим і сажа від згоряння вугілля) і *хімічні* (пило- і газоподібні речовини, які можуть вступати у хімічні реакції). За агрегатним станом забруднювальні речовини поділяються на тверді, рідкі й газоподібні. Саме газоподібні забруднювачі становлять майже 90% загальної маси речовин, що надходять у атмосферу.

Забруднення атмосфери неоднакове у різних регіонах. В індустріально розвинених районах воно може бути у тисячі разів вищим за середньопланетарні значення. У світі щороку спалюють понад 10 млрд т органічного палива, переробляють близько 2 млрд т рудних і нерудних матеріалів. Лише при спалюванні вугілля у атмосферу щороку потрапляє близько 120 млн т попелу, а разом з іншими видами пилу – до 300 млн т. За приблизними підрахунками, в атмосферу за останні 100 років надійшло 1,5 млн т арсену, 1 млн т нікелю, 900 тис т чадного газу, 600 тис т цинку, стільки ж міді.

Серйозної шкоди навколишньому середовищу завдає хімічна промисловість. Особливо небезпечними є сірчисті сполуки, оксиди азоту, хлор тощо. Майже усі забруднювальні речовини можуть вступати між собою в реакції, утворюючи високотоксичні сполуки. У поєднанні з туманом це явище дістало назву фотохімічного смогу. Сильним джерелом забруднення також є підприємства чорної металургії, які викидають в атмосферу багато пилу, кіптяви, сажі, важких металів (свинець, кадмій, ртуть, мідь, нікель, цинк, хром). Ці речовини стали постійними компонентами повітря великих промислових центрів. Особливо гостро стоїть проблема забруднення повітря свинцем.

Атмосферу забруднюють практично всі види сучасного транспорту, кількість якого постійно збільшується в усьому світі. Якщо у 1900 р. на планеті нараховувалося біля 6 тис автомобілів, то до 2000 р. чисельність світового парку автомашин досягла 500 млн одиниць. А вже у 2010-му їхня кількість перевищила мільярд. Майже усі складові вихлопних газів автомобілів шкідливі для людського організму, а оксиди азоту до того ж беруть активну участь у створенні фотохімічного смогу. До токсичних належать такі компоненти вихлопних газів, як оксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні. Крім того, деякі види палива містять сірку, що обумовлює вміст у вихлопних газах діоксиду сірки.

Із середини 30-х років XX ст. до переважної більшості бензинів добавляють тетраметил- і тетраетилсвинець у якості антидетонатора. У процесі руху автомобіля від 25 до 75% цього свинцю викидається в атмосферу, осаджується на землю, потрапляє у поверхневі води. Свинець акумулюється у ґрунті й рослинності уздовж автострад (у містах – уздовж вулиць з поживавленим рухом), помітна кількість сполук свинцю утримується у повітрі великих міст. За даними США і Великобританії, до 90% усього свинцю, що утримується в атмосфері, потрапляє туди за рахунок вихлопних газів. Нині у багатьох країнах використання етилованого бензину заборонено. Забруднюється повітря і пилом гуми з покритишок автомобілів і літаків (один автомобіль утворює близько 10 кг гумового пилу).

Але найбільшу загрозу становить забруднення атмосфери *радіоактивними* речовинами. Ця проблема уперше виникла 1945-го після вибуху двох атомних бомб, скинутих з американських літаків на японські міста Хіросіму і Нагасакі. Природна ж радіоактивність існує незалежно від діяльності людини. Живі істоти певною мірою пристосувалися до неї, хоча її шкідливість для них є очевидною. Радіоактивність – явище не нове, новизна лише в тім, як люди намагалися її використовувати. Радіоактивність і супутні їй іонізуючі випромінювання існували на Землі задовго до зародження життя і були присутні у Космосі до її виникнення, а до складу Землі увійшли із самого початку її утворення. Іонізуюча радіація є найважливішим елементом навколишнього середовища, що постійно впливає на стан біосфери, включаючи людину. Властивості й біологічна активність радіації залежать від інтенсивності випромінювання. Внаслідок забруднення повітря радіоактивними речовинами різко збільшилося радіоактивне опромінення людей.

Чадний газ (СО), що входить до складу смогу, – газ без кольору і запаху. Його вперше виділив французький лікар Жак де Лассон у 1776 р. при нагріванні деревного вугілля з окислом цинку. Отруєння чадним газом можливі на виробництві й у побуті: у доменних, мартенівських, ливарних цехах; при випробуванні двигунів, використанні паливних газів для сушки і підігріву; у хімічній промисловості; у гаражах; при дров'яному опалюванні тощо. Поступаючи в організм через органи дихання, чадний газ взаємодіє з гемоглобіном і утворює карбоксигемоглобін, що не має здатності переносити кисень до тканин. Разом з цим зменшується коефіцієнт утилізації кисню тканинами. Виникають утруднення дисоціації оксигемоглобіну, ферментні порушення тканинного дихання. Захисну роль відіграє залізо плазми крові: його сполучання з чадним газом перешкоджає утворенню карбоксигемоглобіну і сприяє витяганню чадного газу з тканин. За гострих отруєнь можуть виникати головний біль, запаморочення, нудота, блювота, слабкість, задишка, прискорений пульс; можливі швидка втрата свідомості, судоми, порушення кровообігу і дихання; може розвинути токсична пневмонія.

Атмосфера має певну здатність до самоочищення. Тобто концентрація забруднювальних речовин у повітрі може зменшуватися шляхом їхнього розпорошення у повітрі, осідання твердих часточок під впливом сили гравітації, випадання різних домішок з опадами (дощ інтенсивністю 1 мм/год. за 45 хвилин вимиває з повітря до 28% часточок пилу діаметром 10 мкм). Проте кількість забруднювальних речовин, які нині надходять у атмосферу, величезна, і вона не встигає самостійно очищуватися. Наприклад, при спалюванні за рік 2,1 млрд т кам'яного вугілля і 0,8 млрд т бурого вугілля у навколишнє середовище потрапляє 225 тис т

арсену, 225 тис т германію, 153 тис т кобальту і, крім того, мільйони тон пилу з металургійних заводів, майже $\frac{1}{5}$ частина світового виробництва цементу. За приблизними розрахунками, маса забруднювальних речовин в атмосфері становить 9-10 млн т. Порівняно із масою земної атмосфери це мізерна величина, однак на висоті 50-100 м від Землі, де саме концентруються забруднювальні речовини, їхня частка є дуже значною відносно кількості чистого повітря.

Забруднення атмосфери призводить до руйнування будівель і споруд, що є наслідком дії абразивів²⁶ і корозії. Але найбільш негативно забруднення впливає на живі організми – вони уражуються як прямо, так і опосередковано, наприклад, коли забруднювальні речовини потрапляють у організми тварин і людей з рослинною їжею. У забруднених районах різко підвищується ймовірність виникнення різних захворювань (найчастіше хвороб верхніх дихальних шляхів).

Отже, забруднення атмосфери – результат викидів забруднювальних речовин з різних джерел. Причинно-наслідкові зв'язки цього явища слід шукати у природі земної атмосфери. Забруднення переносяться повітрям від джерел виникнення до місць їхнього руйнуючого впливу; в атмосфері вони можуть змінюватися, включаючи хімічні перетворення одних забруднень на інші, ще небезпечніші речовини. А глобальними екологічними наслідками забруднення атмосфери є посилення парникового ефекту, руйнування озонового шару, випадіння кислотних опадів, виникнення смогу і димки.

5.6.2 Посилення парникового ефекту і глобальні зміни клімату

Тотальне забруднення атмосфери супроводжується виділенням техногенного тепла від спалювання палива і використання електричної енергії, що є важливим фактором зміни глобальної температури. Серед усіх забруднювачів атмосфери найважливішу роль у зміні клімату відіграє *вуглекислий газ*. Він поглинає довгохвильову радіацію і є одним з компонентів, що посилюють парниковий ефект в атмосфері; збільшення концентрації вуглекислоти в атмосфері призводить до підвищення температури біля земної поверхні.

Клімат Землі, який залежить передусім від стану її атмосфери, протягом геологічної історії періодично змінювався: чергувалися епохи істотного похолодання, коли значні території суші вкривалися льодовиками, та епохи потепління (до речі, ми живемо саме в епоху потепління, коли розтанули великі льодовикові щити у Євразії й Північній Америці). Проте останнім часом метеорологи б'ють на

²⁶ *Абразиви* (від лат. *abrasio* – зіскоблювання) – дрібнозернисті або порошкоподібні речовини високої міцності.

сполох – атмосфера Землі розігрівається значно швидше, ніж будь-коли у минулому. За даними ООН, з кінця XIX до початку XXI ст. глобальна температура на земній кулі підвищилася загалом на $0,6^{\circ}\text{C}$. Середня швидкість підвищення температури до 1970 р. становила $0,05^{\circ}\text{C}$ за 10 років, а останніми десятиліттями вона подвоїлася. Це зумовлено такими головними причинами:

- по-перше, людина «підігріває» атмосферу, спалюючи величезну кількість вугілля, нафти, газу, а також будуючи нові атомні електростанції;
- по-друге, і це головне, внаслідок спалювання органічного палива, а також знищення лісів у атмосфері зростає концентрація вуглекислого газу.

У чому ж полягає сутність парникового ефекту? Земля отримує енергію Сонця переважно у видимій частині спектру, а сама, оскільки є набагато холоднішим тілом, випромінює у космічний простір головним чином інфрачервоні промені. Багато газів, присутніх у атмосфері – водяна пара, вуглекислий газ, метан, окисли азоту та інші, – прозорі для видимих променів, але активно поглинають інфрачервоні, утримуючи тим самим в атмосфері частину тепла, яку мали б віддавати у Космос. Таким чином на поверхні Землі утримується температура на рівні, придатному для життя. Затримуючи тепло у атмосфері Землі, ці гази створюють ефект, який називається парниковим, а гази – парниковими. Звідки вони беруться?

Метан (CH_4) виробляється у великих кількостях в результаті біологічних перетворень у природі. Обсяги утворення метану з природних джерел щорічно становлять приблизно 500 млн т. Серед природних джерел атмосферного метану – анаеробний розклад органічних речовин у екосистемах (болота, тундра); перетравлення термітами деревини шляхом розкладу целюлози на метан; океани, моря і прісні водойми. Антропогенними джерелами викидів метану є, наприклад, кишкова ферментація тварин і розклад відходів тваринного походження; розклад твердих побутових відходів; видобуток і транспортування вугілля, природного газу й нафти. Метан – супутній продукт спалювання біомаси і неповного згорання палива. Основними поглиначами метану є ґрунти і хімічні перетворення в атмосфері.

Природними джерелами атмосферного *закису азоту* (N_2O) є океани, ґрунти тропічних і помірних широт, ліси та луки. Наприклад, вміст N_2O в ґрунтах є результатом життєдіяльності ґрунтових бактерій. Антропогенними джерелами емісії закису азоту в атмосферу служать сільськогосподарська обробка ґрунтів, особливо з використанням азотних добрив; спалювання викопного природного палива; виробництво адипінової (нейлонової) і азотної кислот; спалювання біомаси.

Водяна пара – один з найважливіших парникових газів, який усюди зустрічається в природі. Він невидимий. Діяльність людини не впливає на нього безпо-

середньо, але існують важливі опосередковані зв'язки. Потепління, що відбувається через дію інших парникових газів, збільшує випаровування і призводить до підвищення кількості водяної пари у атмосфері. А це, у свою чергу, також збільшує потепління.

Отже, парниковим ефектом називають спроможність атмосфери вибірково поглинати електромагнітне випромінювання у певних діапазонах хвиль. Не вся атмосфера, а лише деякі її компоненти здатні виконувати роль таких «фільтрів» – саме їх і називають *парниковими газами*. Провідну роль у створенні парникового ефекту серед усіх парникових компонентів, розглянутих вище, відіграє діоксид вуглецю (CO_2), який поглинає довгохвильове (інфрачервоне) випромінювання у широкому діапазоні хвиль. Іншими словами, *парниковий ефект* – це здатність атмосфери, що пропускає короткохвильове електромагнітне випромінювання від Сонця, затримувати (частково чи повністю) тепловий потік від земної поверхні, повертаючи його назад до Землі у вигляді «зустрічного» випромінювання (Рис. 80). Це спричинює розігрівання атмосфери, відоме як парниковий ефект.



Рис. 80. Механізм утворення парникового ефекту

Усім відомо, що звичайне віконне скло має майже ту ж саму властивість: пропускає видиме світло, але затримує теплове випромінювання. Саме через це відбувається нагрівання внутрішнього середовища у теплицях і парниках або ж у кімнаті сонячного дня. У земній атмосфері вуглекислий газ діє як скло у парнику – вільно пропускає сонячні промені до поверхні Землі, але утримує її тепло.

Парниковий ефект існує з тих самих пір, як на планеті з'явилася атмосфера. Сам по собі парниковий ефект не є негативним явищем. Ефект, зумовлений загальною дією парникових компонентів, вкрай важливий: за відсутності парникового ефекту середня температура у приземному шарі повітря була б на 33°C нижчою, ніж зараз, і дорівнювала б лише -18°C , тобто була б близькою до січної температури в Арктиці.

Протягом еволюції земна поверхня – її клімат, ландшафти, господарська діяльність і звички людей – пристосовувалася до такого термодинамічного стану, що відповідає багаторічному значенню температури та режиму її змін, які визначаються, крім зовнішніх факторів, саме парниковим ефектом атмосфери. Останній прямо залежить від балансу в атмосферному повітрі парникових компонентів. Нині відбуваються певні процеси, які порушують цей баланс, що у свою чергу призводить до дисбалансу енергетичної системи усієї біосфери (Рис. 81).

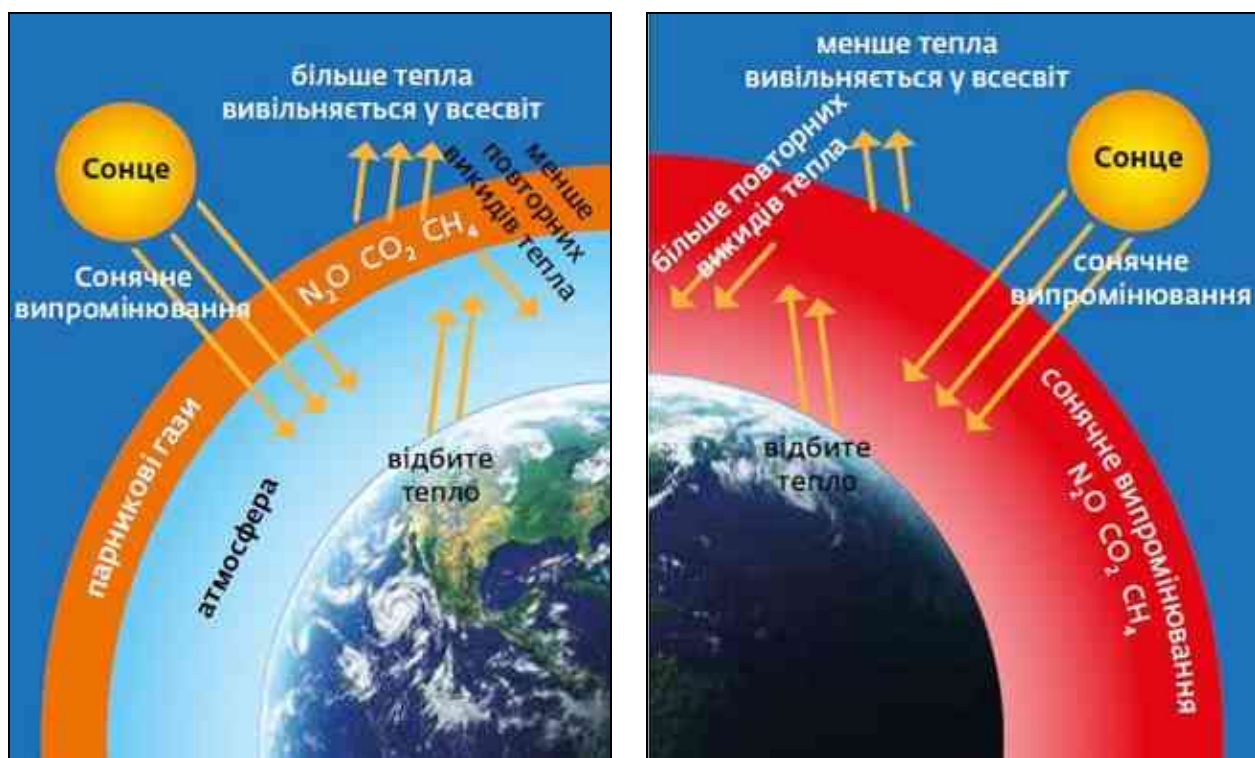


Рис. 81. Природний перебіг утворення парникового ефекту (ліворуч) та посилення парникового ефекту внаслідок діяльності людини (праворуч)

Внаслідок спалювання викопного палива у атмосферу планети щорічно надходить майже 5,5 млрд т вуглекислого газу. Ще близько 2 млрд т вуглекислоти надходить за рахунок зведення лісів. Антропогенна діяльність спричинила вагоме збільшення концентрації природних парникових газів, а також появу в атмосфері нових – галогенфторвуглеців, перфторвуглеців і гексафториду сірки. У цілому за-

гальні викиди парникових газів саме від діяльності людини у минулому столітті досягли найвищого показника за всю історію людства і становили у 2010 р. приблизно 49 млрд т у еквіваленті CO_2 ²⁷. У 2011 році концентрація вуглекислого газу була на 40% вищою, метану – на 150% вищою, а концентрація оксиду азоту – на 20% вищою, ніж до промислової революції²⁸. Нині концентрація парникових газів у атмосфері є вищою, ніж будь-коли раніше протягом останніх 800 000 років. Результатом цього стала відчутна зміна клімату, що проявляється у підвищенні температури біля земної поверхні й в океанах, відома як глобальне потепління. Якщо справа так піде й далі, то до кінця нинішнього століття середня температура на планеті може піднятися на 6°C, а концентрація CO_2 – до 0,050-0,095%. Негативні наслідки цих змін можна лише прогнозувати, але вочевидь вони не додадуть стабільності екосистемам і біосфері в цілому.

Поки що ці зміни для нас мало відчутні, але у біосфері існують надто чутливі системи, що перебувають у невірноваженому стані (передусім льодовики, температура яких становить близько 0°C). Незначні коливання температури спричиняють суттєві зміни стану крижаної системи, а це, у свою чергу, впливає на інші системи, оскільки у природі «все пов'язане з усім». Тут спрацьовує загальне правило: у невірноваженій системі малі флуктуації²⁹ спричиняють істотні перетворення аж до появи незворотних змін.

Отже, що таке зміни планетарного клімату і до яких наслідків це може призвести? *Зміни клімату* – це такі зміни кліматичних умов, які безпосередньо чи опосередковано обумовлені діяльністю людини, що спричинило зміни у фізико-хімічному складі глобальної атмосфери або у інших ланках земної кліматичної системи. *Несприятливі наслідки змін клімату* – це зміни в біосфері, які зумовлюють істотний негативний вплив на склад, відновлювальну здатність і продуктивність природних чи регульованих екосистем або на здоров'я людини.

Минулі два століття були найбільш спекотними за останні 1200 років. Потепління клімату на Землі відбувається нерівномірно – у високих широтах зміни температури майже у 3,5 рази більші, ніж біля екватору. У Північній півкулі середнє зростання температури на 0,3°C більше, ніж у Південній; над континентами

²⁷ Еквівалент CO_2 – показник, що визначає рівень впливу окремих парникових газів на глобальне потепління, перерахований на одиницю концентрації CO_2 , яка б мала подібний ефект.

²⁸ Промислова революція – це перехід від мануфактурного до масового виробництва; розпочалася в Англії у 1760-х роках.

²⁹ Флуктуація – випадкове відхилення якоїсь величини (фізичної, біологічної, соціально-економічної) від її середнього значення.

воно сягає 1,6°C, а над океаном – 0,8°C. В результаті у багатьох регіонах клімат став нестабільним, а в окремих місцях навіть похолодало.

Яким чином можуть бути пов'язані повсякденні вчинки однієї людини з такою глобальною проблемою, як зміна клімату? За підрахунками вчених, у середньому кожен мешканець Землі виділяє 1 тону і 100 кг парникових газів на рік. Йдеться далеко не тільки про той CO₂, який ми видихаємо і який просочується у атмосферу, коли ми відкриваємо пляшку мінеральної води. Цей CO₂ схований повсюдно: у нашій їжі, у нашому одязі, у комп'ютері, у будь-чому. Справді, аби створити будь-яку річ, потрібна енергія. Виробництво енергії поки що, на жаль, не обходиться без значних викидів парникових газів. При цьому чим «брудніше» джерело енергії, тим більше CO₂ ховається у всіх наших придбаннях. Більше того, їхнє транспортування супроводжується викидами парникових газів, оскільки геліо- і електромобілі поки що залишаються або фантастикою, або диковинкою. Тож маленький африканський банан тягне за собою набагато більше CO₂, ніж 10-ти кілограмовий херсонський кавун.

Особистий внесок кожного мешканця планети у глобальне потепління створюється використанням електроенергії, транспорту, обігрівом квартир, використанням води і утворенням відходів. Як можна зменшити цей внесок? Люди використовують електроенергію для освітлення домівок і офісів, для живлення різноманітних приладів, починаючи від мобільного телефону і закінчуючи холодильниками. Електроенергія використовується для охолодження квартир влітку і нагрівання води. Що ж можна змінити? Відмовитися від усіх благ цивілізації? Звісно, ні. Ці речі, невідомі людям ще декілька десятиріч назад, є незамінними зараз. Насамперед, слід вимикати усі електроприлади, коли у них немає потреби, оскільки вони невинно видихають парникові гази в атмосферу. На рівні країни, а тим більше світу, їхній внесок є досить суттєвим.

Підраховано, що кожен 15 літрів води з електроводонагрівача – це кілограм парникових газів. А сучасні компактні флуоресцентні лампи забезпечують збереження енергії завдяки ефективнішому її перетворенню на світло, мають набагато триваліший час використання, а також, завдяки меншому виділенню тепла, економлять витрати на охолодження житла влітку.

Слідом за електроенергією свій внесок у зміну клімату робить транспорт. Одночасно із збільшенням кількості автотранспорту зростають і кілограми, сотні кілограмів CO₂. Чи є вихід? Найлегший – це використання громадського транспорту. Викиди автомобіля, розділені на кількість людей у тролейбусі, автобусі чи потягу, суттєво зменшать особистий внесок кожного у глобальне потепління.

Крім того, на збільшення кількості автомобілів і залежності власників від них відповідно реагуватиме й інфраструктура. Можна уявити, що через кілька десятиріч років просто не буде тротуарів, якими нині ходять пішоходи.

Обігрів квартир чи то за допомогою газових установок, чи то через систему центрального тепlopостачання також вносить суттєвий внесок у парникову «квитанцію». За підрахунками, кожен додатковий градус Цельсія у наших оселях потребує додаткових 10% палива. Тому інколи краще одягнутись тепліше замість розігрівати квартиру до літніх температур. Власники великих маєтків чи квартир, де є порожні кімнати, могли б трохи прикрутити загальний «кран» з парниковими газами.

На черзі водоспоживання. Цінність води, її парниковий внесок збільшується із відстанню, яку вона проходить, аби потрапити у оселі чи офіси. Кожна крапля з крану, який протікає, – то бульбашка вуглекислого газу в атмосферу, не кажучи вже про потік води з відкритого крану. Вихід? Не забувати про сучасну сантехніку, яка допоможе зменшити використання води, а також усвідомлювати необхідність її економії.

І нарешті – утворення відходів. Ніхто особливо не переймається тим, скільки ресурсів, сировини витрачається на нікому непотрібні гори пакувальних матеріалів, які у 95% випадків відразу прямують на смітник. Скільки ресурсів, що можуть бути перероблені або повторно використані, відправляються туди ж? Якщо люди стануть купувати потрібні речі, а не платити гроші за упаковку, активно підтримувати ініціативи із сортування сміття, цей процес буде таким же звичним, як вітання із сусідами. Адже будь-яке скло, пластикова пляшка або папір може і має бути повторно переробленим, і це безсумнівно додасть вагомості особистій боротьбі кожного зі зміною клімату.

Глобальне потепління клімату, яке є наслідком посилення парникового ефекту в атмосфері, може призвести до підвищення рівня Світового океану, насамперед за рахунок танення льодовиків, а також збільшення об'єму води у верхньому шарі океану в результаті так званого термічного розширення. І це дійсно буде глобальна катастрофа, оскільки близько 30-40% населення земної кулі проживає на узбережжях океану або на островах; почнеться міграція десятків мільйонів людей, затоплення міст і продуктивних земель, розташованих невисоко над рівнем моря.

За даними ООН, до 2100 р. температура повітря на планеті зросте на 3°C, що може призвести до танення льодовиків у Антарктиді, Арктиці й у горах, а це зумовить підняття рівня Світового океану на 2-3 м і затоплення багатьох прибере-

режних районів і великих міст (Нью-Йорк, Лос-Анджелес, Лондон, Венеція, Шанхай тощо). Прогнозується різке підвищення зимової температури у полярних областях, залежно від відступу межі морського льоду до полюсу. Глобальне потепління клімату також може викликати літнє висихання і нагрівання ґрунту в континентальних районах у зоні середніх широт через раннє танення снігу, зменшення вологості ґрунту в період переходу від весни до літа.

Глобальне потепління також може зашкодити морським екосистемам. Затоплення прибережного мілководдя призведе до скорочення вилову морепродуктів через загибель цінних видів риб, збіднення видового різноманіття флори і фауни, порушення гідробіологічного і гідрохімічного режимів. «Перегрівання» планети може призвести і до непередбачуваних подій: на одних територіях, можливо, пануватимуть урагани, сильні вітри, смерчі, активізуються ерозійні процеси та інші екологічні лиха, а на інших – повені, зливи, затоплення населених пунктів, продуктивних земель тощо. Крім того, глобальні зміни клімату обов'язково впливатимуть на стан здоров'я людей – внаслідок посилення теплового стресу і поширення багатьох видів інфекційних захворювань.

Отже, зміна клімату є, можливо, найбільш важливою і складною проблемою, яка спіткала людство за останнє століття. Поки що недостатньо достовірно визначено потенційні наслідки збільшення концентрації в атмосфері парникових газів, але найбільш вірогідним з них є глобальна зміна температурного режиму. Підвищення температури може викликати цілу низку таких явищ, як підвищення рівня моря та зміни локальних кліматичних умов, що, у свою чергу, може негативно вплинути на соціально-економічний розвиток багатьох країн. Нема сумніву в тому, що глобальне потепління викликає непередбачувані зміни у довкіллі. Навіть незначна зміна складових радіаційного балансу може спричинити зміни напрямків вітру і течій океану, що сильно змінить існуючі кліматичні умови. Населенню Землі та її екосистемам може бути заподіяно непоправної шкоди.

Глобальне потепління створить серйозні проблеми не тільки жителям приморських країн. Підвищення середньої світової температури на кілька градусів може призвести до зміщення кліматичних зон від екватору до полюсів: південна частина тундри заросте тайгою, на півдні нинішньої тайги виростуть широколистяні ліси. І людям, і тваринам прийдеться звикати до нового клімату. Значно зросте ерозія ґрунту, почастишають зсуви, затоплення прибережних земель, збільшиться кількість зволжених земель. Зросте ризик виникнення таких стихійних лих, як циклони, посухи, пожежі, повені, урагани. Зміниться врожайність і якіс-

ний склад сільськогосподарських культур, а це, у свою чергу, позначиться на тваринництві. У енергетичному секторі найбільш уразливою буде гідроенергетика.

Почнуть масово розмножуватися кровососні комахи і шкідники лісу. Багато тропічних видів комах розповсюдяться на північ, а разом з ними розповсюджуватимуться хвороби, які вони можуть переносити – малярія, тропічні вірусні лихоманки тощо. Також можливі різкі відхилення температури в обидва боки від середньої. Те ж саме відбуватиметься з опадами і вітрами – зміняться не стільки їхні середні величини, скільки відхилення від них. Потепління на планеті не буде рівномірним, воно буде найбільшим на полюсах (у 2-3 рази більше середнього) і найменшим у тропіках (50-75% від середнього рівня). Поки що прогнози зміни температури на регіональному рівні мають невисокий ступінь визначеності.

Як запобігти подальшому глобальному потеплінню? Цією проблемою не перший десяток років переймається світова спільнота, запроваджуючи запобіжні заходи щодо нівелювання посилення парникового ефекту.

На Конференції ООН з питань довкілля і розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992) було прийнято *Рамкову конвенцію про зміну клімату*, головною метою якої є пошук шляхів стабілізації концентрації парникових газів у атмосфері на рівні, який не допускав би шкідливого впливу на кліматичну систему. Конвенцію підписали практично усі держави – члени ООН; вона набула чинності 1994 р. ***Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату*** є нині єдиною міжнародно-правовою базою з питань захисту клімату. 189 країн-учасниць Рамкової Конвенції щороку зустрічаються на кліматичних конференціях ООН. Найвідоміша з них відбулася 1997 р. у японському місті Кіото, де було прийнято Кіотський протокол.

Кіотський протокол є міжнародною угодою про обмеження викидів у атмосферу парникових газів. Країни-учасниці зобов'язалися зменшити середньорічні обсяги викидів парникових газів до 2012 р. у середньому на 5,2% порівняно з 1990 р. Окремі зобов'язання щодо їхнього зниження взяли Японія – на 6%, США – на 7% та ЄС – на 8%. Після того, як наприкінці 2004 р. до Кіотського протоколу приєдналася Росія (17,4% світових викидів CO₂), документ набув чинності 16 лютого 2005 р. Кожна країна може зменшувати викиди парникових газів різними шляхами – через скорочення виробництва, раціональніше використання тепла і електроенергії, транспортного сектору, а також здійснення проектів у інших країнах. Кіотським протоколом передбачено гнучкі механізми щодо зменшення парникових газів шляхом закупівлі відповідних сертифікатів за кордоном.

Для врегулювання викидів парникових газів Євросоюзом зроблено ставку на внутрішню торгівлю сертифікатами викидів, які «де факто» репрезентують

право на забруднення навколишнього середовища цими газами. Починаючи з 2005 р., кожне європейське промислове підприємство отримує певну кількість таких сертифікатів. Ті з підприємств, які зменшують шкідливі викиди, наприклад, шляхом технологічних новацій, отримують право продавати залишкові сертифікати іншим фірмам, які перевищують норми наданого їм ліміту. Таким чином ініційований національний, а згодом і європейський, ринок сертифікатів, а також можливість налагодження міжнародної співпраці у сфері скорочення викидів парникових газів. Підставою для цього є торгівля квотами на ці викиди.

Нині відбувається так званий «*Післякіотський процес*», у межах якого проходять переговори щодо політики захисту клімату до 2020 року. Щороку проводяться міжнародні кліматичні конференції. Зокрема, у вересні 2014 р. відбувся 20-й кліматичний саміт ООН зі зміни клімату в Нью-Йорку, в якому взяли участь більше 100 світових лідерів. На саміті була прийнята Нью-йоркська Декларація щодо лісів: до 2020 р. наполовину скоротити втрати лісів, а до 2030 р. – зовсім зупинити цю тенденцію. Виконання цих зобов'язань дозволить скоротити до 2030 р. викиди вуглекислого газу на 4,5-8,8 млрд т щороку, що еквівалентно викидам мільярда автомобілів.

5.6.3 Руйнування озонового шару атмосфери

Відкритий характер атмосфери як системи обумовлює можливість її тісних зв'язків з підстильною поверхнею, біосферою і Космосом. Вплив космічних і сонячних променів проявляється у всій товщі атмосфери, але найбільше – у озоновому шарі. Озоновий шар – це шар атмосфери (стратосфери), у межах якого концентрація молекул озону (O_3) удесятеро вища, ніж біля поверхні Землі.

Озон у перекладі з грецької означає «пахучий». Таку назву йому дав німецький хімік *Крістіан Фрідріх Шонбейн*. 1839-го року він описав хімічні методи отримання озону. Шонбейн майже все життя працював у Швейцарії, був професором Базельського університету. Сам озоновий шар відкрили у 1913 році французькі фізики *Шарль Фабрі* та *Анрі Буїсон*. Пізніше його досліджував *Гордон Міллер Борн Добсон* (1889-1976) – британський фізик, професор Оксфордського університету, на честь якого названо одиницю вимірювання товщини озонового шару (одиниця Добсона). Добсон встановив світову мережу нагляду за озоновим шаром, яка працює з 1928 р. донині.

Озон спостерігається у шарі повітря від земної поверхні до висот біля 70 км, але основна його кількість зосереджена на висоті 20-55 км. Загальна кількість озону у вертикальному стовпі повітря незначна. Якщо його привести до нормаль-

ного тиску ($1013,2 \text{ гПа}^{30}$) за температури 0°C , то шар озону на земній поверхні коливався б від 1 до 6 мм. Цю величину прийнято називати приведеною товщиною шару озону. Незважаючи на невелику кількість озону, він відіграє дуже важливу роль у фізичних процесах верхніх шарів атмосфери – стратосфери і мезосфери. Атмосферний озон поглинає близько 1% всієї сонячної радіації, що падає на Землю. Вертикальний і горизонтальний розподіл температури у стратосфері, а також баричне поле, режим вітру і, зокрема, струменеві течії безпосередньо пов'язані з озоном атмосфери.

Не менш важливим є те, що озон визначає ультрафіолетовий клімат нашої планети. Він обмежує короткохвильову частину сонячного спектру (а також аналогічну частину спектру зірок і Космосу) і не пропускає до земної поверхні випромінювання коротше за 290 нм, за наявності якого життя на Землі у сучасній білковій формі було б неможливе. У випадках проникнення цієї радіації до земної поверхні вона пригнічує фотосинтез у рослин, спричиняє опіки шкіри і сітківки ока, руйнує кров'яні тілця і молекули ДНК, сприяє росту злоякісних пухлин. І якщо людина, а також тварини і організми, не пов'язані з фотосинтезом, відразу і не постраждають від підвищення ультрафіолетової радіації, то наземні рослини абсолютно беззахисні перед нею. А їхня загибель порушить усталені ланцюги харчування, що призведе до невиправних втрат для всієї біосфери. Отже, озон є своєрідним захисним екраном для усього живого на Землі.

Майже увесь атмосферний озон зосереджений у нижній стратосфері, а його загальний вміст схильний до періодичних і неперіодичних змін. Збільшення вмісту озону в стратосфері сприяє зменшенню притоку сонячної радіації до земної поверхні, оскільки озон поглинає сонячну радіацію не тільки в ультрафіолетовій, а й у видимій і близькій інфрачервоній частинах спектра. Безсумнівно, що збільшення вмісту озону в стратосфері викликає збільшення її нагрівання. При цьому температура, тиск і циркуляція тропосфери також зазнають відповідних змін. Клімат чутливо відгукується навіть на незначні зміни сонячної радіації. Отже, з озоном можна пов'язувати як природні, так і штучні зміни клімату, а також залежність клімату від сонячної активності.

Саме озон є причиною блакитного кольору неба. В атмосфері озон утворює *озоносферу* – найважливішу частину атмосфери, яка впливає на клімат і захищає усе живе від ультрафіолетового випромінювання. Максимальна концентрація озону на висоті 18-35 км. Більша частка (99%) агресивного ультрафіолетового ви-

³⁰ *гПа* – гектопаскаль, що дорівнює 100 Па; традиційно використовується для вимірювання атмосферного тиску.

промінювання поглинається шаром озону в стратосфері на висоті близько 20-25 км від земної поверхні. Цей шар називається *озоновим екраном*.

У 1985 р. фахівці з Британської Антарктичної Служби дослідження атмосфери повідомили про абсолютно несподіваний факт: весняний вміст озону в атмосфері над станцією Халлі-Бей в Антарктиді за період з 1977 по 1984 р. зменшився на 40%. Незабаром це підтвердили й інші дослідники, які довели, що область зниженого вмісту озону виходить за межі Антарктиди і за висотою охоплює шар від 12 до 24 км, тобто значну частину нижньої стратосфери. У вересні й жовтні над Антарктидою втрачається близько 70% озону, що дорівнює приблизно 3% усього озону атмосфери. Зниження кількості озону в Арктиці завжди було виражено значно менше, ніж в Антарктиді. У 1994-1995 р. було падіння на 30%, а 2010-2011 р. – вже на 40%, і це вже можна порівняти з Антарктидою, де озонова «діра» 50-60%. Озонова «діра» – це локальне падіння концентрації озону в стратосфері на 10-40%.

Було висунуто декілька гіпотез щодо пояснення виникнення озонової діри і відправлено декілька експедицій для того, щоб відсіяти невірні гіпотези. *Перша гіпотеза* – це атмосферна циркуляція. Схема циркуляції могла поступово змінитися так, що над Антарктидою потоки повітря були спрямовані уверх. В результаті стратосферне повітря, збагачене озоном, заміщується повітрям з тропосфери – нижнього 10-ти кілометрового шару, що вміщує мало озону. Але виміри, навпаки, показали, що насправді повітря, яке заповнює озонову діру, поступає з більших висот, де озону зазвичай багато.

Гіпотеза друга – хімічні реакції. В одній з перших таких гіпотез йшлося про те, що навколо озонової діри можуть бути присутніми у підвищених концентраціях сполуки азоту, що руйнують озону. Підвищення концентрації приписувалося сонячній активності й атмосферній циркуляції. Достовірнішою є альтернативна хімічна теорія, згідно з якою за утворення озонової діри відповідають сполуки хлору, що надходять в атмосферу головним чином у складі антропогенних речовин групи хлорфторвуглеців (ХФВ). Ці інертні сполуки, що використовуються як «холодоагенти» для кондиціонерів і холодильників, як хімічні агенти для виробництва пінопластів, можуть зберігатися в атмосфері до 100 років. Коли вони досягають середини стратосфери, ультрафіолетове випромінювання розриває їх. Вивільнений з молекул ХФВ хлор спочатку існує у вигляді вільного хлору або реагує з озоном, утворюючи закис хлору ClO (Рис. 82). Обидві форми вступають у подальші реакції, утворюючи стійкі сполуки – резервуари хлору. Вони складаються з різноманітних форм хлористоводневої кислоти HCl, що утворюється під час реак-

ції вільного хлору з такими компонентами, як метан і нітрат хлору. Отже, хлор – каталізатор реакції розпаду озону. Здійснивши цикл один раз, хлор повторює його багато разів, доки не покине стратосферу чи не буде дезактивований. Підраховано, що за час тривалого перебування у стратосфері кожен атом хлору знищує майже 100 тисяч молекул озону, і тим самим пропускає до земної поверхні стільки ж ультрафіолетових фотонів.

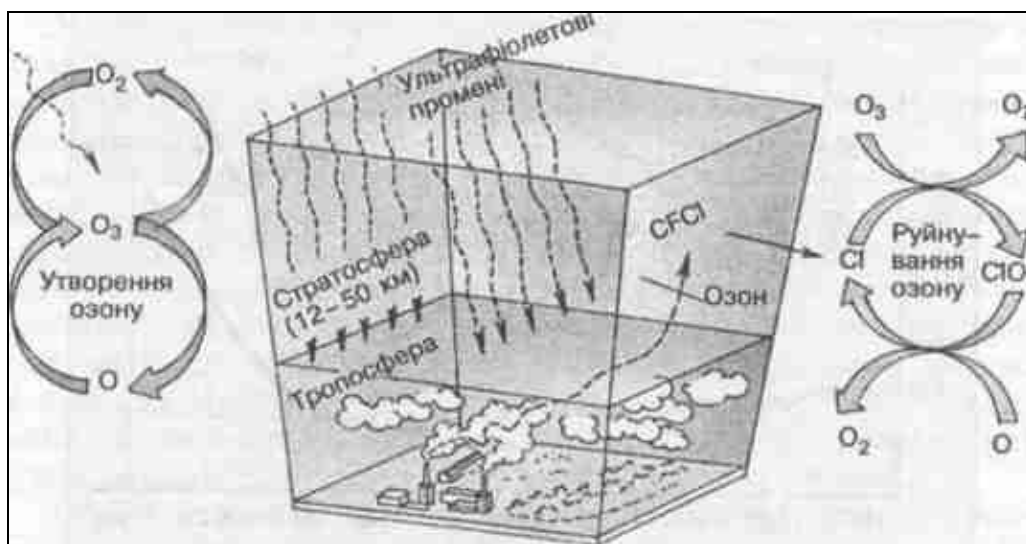


Рис. 82. Схема руйнування озонового шару атмосфери

Згідно з іншою гіпотезою, процес утворення «озонових дір» значною мірою природній і не пов'язаний виключно з шкідливою дією людської цивілізації. Це відкриття стурбувало як вчених, так і широку громадськість, оскільки це означало, що шар озону, який охоплює нашу планету, перебуває у більшій небезпеці, ніж вважали раніше. Потоншення цього шару може призвести до серйозних наслідків для людства. Зниження концентрації озону всього на 1% призводить до збільшення інтенсивності жорсткого ультрафіолету у поверхні Землі у середньому на 2%, що підтверджується вимірюваннями, проведеними у Антарктиді.

За своїм впливом на живі організми жорсткий ультрафіолет (УФ) подібний до іонізуючого випромінювання, однак, через більшу, ніж у g-випромінювання довжину хвилі, він не здатний проникати глибоко у тканини, і тому вражає тільки поверхневі органи. Жорсткий УФ володіє достатньою енергією для руйнування ДНК й інших органічних молекул, що викликає рак шкіри, особливо швидкоплинну злоякісну меланому, катаракту та імунну недостатність. Природно, жорсткий УФ здатний викликати і звичайні опіки шкіри і рогівки. В усьому світі вже відбувається помітне збільшення захворювання раком шкіри, однак значна кіль-

кість інших чинників (наприклад, популярність загару) не дозволяє однозначно стверджувати, що цьому сприяло лише зменшення вмісту озону.

Жорсткий УФ погано поглинається водою і тому є небезпечним й для морських екосистем. Експерименти показали, що планктон поверхневого шару водойм може серйозно постраждати і навіть загинути повністю, якщо інтенсивність жорсткого УФ значно збільшиться. Планктон є основою харчових ланцюгів водних екосистем, тому його загибель призведе до зникнення там усього живого. Рослини менш чутливі до жорсткого УФ, але при збільшенні його дози можуть постраждати і вони. Якщо вміст озону в атмосфері значно зменшиться, людство легко знайде засіб захисту від жорсткого УФ випромінювання, але при цьому ризикує померти від голоду.

Озоновий екран дуже чутливий до сучасних техногенних впливів, що досягли загрозливих масштабів (Рис. 83). Експериментально доведено, що 500 надзвукових транспортних літаків, якщо вони регулярно літатимуть на максимальних висотах озонового шару протягом року, здатні зменшити загальний вміст озону вдвічі. Запуски космічних ракет будь-якого призначення створюють «діри» у озоносфері діаметром сотні кілометрів. Достатньо 85 таких пусків протягом року, щоб отримати аналогічний результат руйнування озону. Як запуски космічних ракет призводять до різкого зниження кількості озону в навколоземному просторі? Паливо, що згорає, «випалює» у озоновому шарі великі діри. Колись передбачалося, що ці «діри» затягуються. Виявилось, ні. Вони існують досить довго.

Перші побоювання щодо руйнування озонового шару висловлювалися ще наприкінці 1960-х років. Тоді вважалося, що основну небезпеку становлять викиди водяної пари і оксидів азоту (NO_x) з двигунів надзвукових транспортних літаків і ракет. Однак, надзвукова авіація розвивалася значно менш бурхливими темпами, ніж передбачалося. Нині у комерційних цілях використовується тільки «Конкорд» (Concorde), що здійснює декілька рейсів на тиждень між Америкою і Європою; з військових літаків у стратосфері літають тільки надзвукові стратегічні бомбардувальники і розвідувальні літаки. Таке навантаження навряд чи є серйозною загрозою для озонового шару. Окиси азоту, що потрапляють у повітря внаслідок спалювання викопного палива і виробництва азотних добрив, нестійкі й легко руйнуються у нижніх шарах атмосфери. Запуски ракет також відбуваються не дуже часто, проте тверді хлоратні³¹ палива сучасних космічних систем можуть наносити серйозної локальної шкоди озоновому шару в районі запуску.

³¹ *Хлорати* – група хімічних сполук, солі хлоратної кислоти HClO_3 ; мають здатність до детонації і є токсичними речовинами.

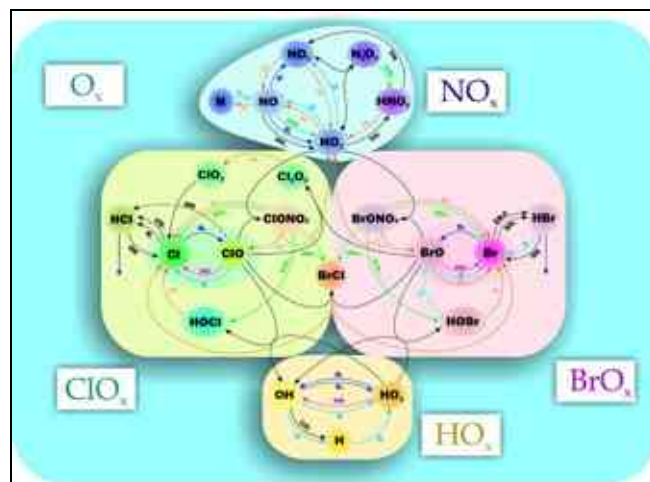


Рис. 83. Найнебезпечніші вороги озоносфери

Озоноруйнівну здатність речовин групи хлорфторвуглеців дослідили вчені Каліфорнійського університету в 1974 р. З того часу так звана хлорфторвуглецева проблема стала однією з основних у дослідженнях забруднення атмосфери. ХФВ з'явилися після відкриття у 1928 р. дихлордифторметану. Американська фірма Du Pont, що почала у 1931 р. їхнє виробництво, назвала свій новий продукт торговельною маркою «Фреон». Фреони виявили масу переваг: нетоксичність, пожежобезпеку, сумісність з багатьма матеріалами, стійкість до корозії. Тому вони стали застосовуватися для регенерації тепла, виготовлення пінопластів, а найголовніше, як холодильні агенти, у т.ч. й для кондиціонування повітря.

Тоді вони розглядалися як ідеальні для практичного застосування хімічні речовини, оскільки дуже стабільні й неактивні, а отже, і не токсичні. Як це ні парадоксально, але саме інертність цих сполук робить їх небезпечними для атмосферного озону. ХФВ не розпадаються швидко у тропосфері, як це відбувається з більшістю оксидів азоту, і зрештою проникають у стратосферу. Коли молекули ХФВ підіймаються до висоти приблизно 25 км, де концентрація озону максимальна, вони зазнають інтенсивного впливу ультрафіолетового випромінювання, який не проникає на менші висоти через екрануючу дію озону. Ультрафіолет руйнує стійкі у звичайних умовах молекули ХФВ, вони розпадаються на компоненти, що мають високу реакційну здатність, зокрема, атомний хлор. Таким чином ХФВ переносять хлор з поверхні Землі через тропосферу і нижні шари атмосфери у стратосферу, до шару з найбільшою концентрацією озону.

Внаслідок цього один атом хлору може зруйнувати до 100 тисяч молекул озону, перш ніж буде дезактивований або повернеться у тропосферу. Викиди ХФВ у атмосферу оцінюються мільйонами тон, але навіть у гіпотетичному випадку повного припинення їхнього виробництва і використання негайного результату досягнути не вдасться: дія ХФВ, що вже потрапили в атмосферу, продовжуватиметься, як мінімум, ще декілька десятиліть.

Беручи до уваги ці аргументи, багато країн почали вживати заходів щодо скорочення виробництва і використання ХФВ. Зокрема, у США з 1978 р. було заборонено використання ХФВ у аерозолях. Для використання у якості пропелента³² в аерозолях вже знайдений непоганий замінник ХФВ – пропан-бутанова суміш, яка за фізичними параметрами практично не поступається фреонам, але, на відміну від них, вогнебезпечна. Складніше з холодильними установками – другим за величиною споживачем фреонів. Справа у тому, що через полярність молекули ХФВ мають високу теплоту випаровування, що дуже важливо для робочого тіла холодильників і кондиціонерів. Кращим відомим на сьогодні замінником фреонів є аміак, але він токсичний і все ж поступається ХФВ за фізичними параметрами. Непогані результати отримані для зріджених фторованих вуглеводнів. У багатьох країнах ведуться розробки нових замінників і вже досягнуті непогані практичні результати. Наприклад, у Данії створили холодильник, що працює на воді за принципом магнітного охолодження і може охолоджувати до $-20,5^{\circ}\text{C}$, а у його системах замість фреону та інших парникових газів циркулює вода, що робить технологію екологічно безпечною.

Проте використання фреонів продовжується, і поки що далеко навіть до стабілізації рівня ХФВ у атмосфері. За даними мережі Глобального моніторингу змін клімату, у фонових умовах – на берегах Тихого і Атлантичного океанів і на островах, далеких від промислових і густонаселених районів, – концентрація фреонів зростає зі швидкістю 5-9% на рік. Вміст у стратосфері фотохімічно активних сполук хлору нині у 2-3 рази вищий порівняно з рівнем 50-х років ХХ ст., до початку інтенсивного виробництва фреонів.

Крім хладонів, до особливо небезпечних «ворогів» озоносфери належить пестицид *метилбромід* (бромистий метил CH_3Br). Він добре знищує не лише шкідників у ґрунті, зерні чи деревині, але й озон у повітрі, причому навіть у вищих шарах атмосфери. При цьому руйнівна сила атома бром у складі метилброміду приблизно у 80 разів більша, ніж атома хлору. Отже, бром у складі метилброміду

³² *Пропелент* – газ, що утримується у аерозолях під тиском.

набагато небезпечніший для стратосферного озону, ніж хлор із фреонових газів. До 1992 р. світове споживання цього пестициду досягло 71,5 тис т, і тоді ЮНЕП визначила його як речовину, що руйнує озоновий шар. З 1 січня 1998 р. бромистий метил може застосовуватися тільки для знезараження суден і з карантинними цілями.

Європейський союз уже майже повністю відмовився від використання метилброміду, за винятком Іспанії, де дуже поширене вирощування тепличних культур, зокрема, томатів і огірків. У США метилбромід застосовують передусім на квіткових і полуничних плантаціях у Каліфорнії й Флориді. Сільське господарство США відрізняється своєю монокультурністю, тобто фермер, який має, наприклад, плантації полуниць у Флориді, вирощує тільки їх, і до того ж, багато років поспіль. Проблема полягає у тому, що в ґрунті розплodжується величезна кількість шкідників, які спеціалізуються на певних культурах. Тут і стає у нагоді метилбромід, який є дуже агресивною отрутою. Відмова від метилброміду практично означає відмову від монокультурного господарювання, а для фермерів це пов'язано з ризиком і фінансовими збитками. Жорстка конкуренція на ринку не допускає перерв у виробництві.

Проте все не так погано. Прогнози, згідно з якими за умов збереження сучасного рівня викидів ХФВ до середини ХХІ ст. вміст озону в стратосфері може впасти удвічі, ймовірно, були дуже песимістичними. Обґрунтуємо. По-перше, «дірка» над Антарктидою багато у чому є наслідком перебігу метеорологічних процесів. Утворення озону можливо тільки за наявності ультрафіолету і тому під час полярної ночі не відбувається. Взимку над Антарктикою утворюється стійкий вихор, який перешкоджає притоку багатого на озон повітря із середніх широт. Тому до весни навіть невелика кількість активного хлору здатна нанести серйозної шкоди озоновому шару. Такий вихор практично відсутній над Арктикою, тому у північній півкулі падіння концентрації озону значно менше.

Багато дослідників вважають, що на процес руйнування озону впливають полярні стратосферні хмари (ПСХ). Ці висотні хмари, які набагато частіше спостерігаються над Антарктикою, ніж над Арктикою, утворюються взимку, коли відсутнє сонячне світло, і в умовах Антарктиди температура у стратосфері падає нижче за -80°C . Можна передбачити, що сполуки азоту конденсуються, замерзають і залишаються пов'язаними з хмарними часточками. Тому вони позбавляються можливості вступити у реакцію з хлором. Все говорить про те, що ХФВ здатні спричинити помітне зниження концентрації озону тільки у специфічних атмосферних умовах Антарктиди, а для помітного ефекту в середніх широтах концентра-

ція активного хлору має бути набагато вищою. По-друге, у процесі руйнування озонового шару жорсткий УФ проникатиме глибше в атмосферу. А це означає, що утворення озону відбуватиметься як і раніше, тільки трохи нижче, де вищий уміст кисню.

Але розслаблятися не варто. Хоча песимістичні сценарії й були дещо переглянуті, це ні у якому разі не означає, що проблеми не існує. Швидше стало ясно, що немає негайної, «катастрофічної» небезпеки. Навіть найбільш оптимістичні оцінки передбачають за нинішнього рівня викидів ХФВ у атмосферу серйозні біосферні порушення у другій половині ХХІ ст., тому скорочувати використання ХФВ все ж таки необхідно.

Внаслідок своєї хімічної активності, молекули озону (O_3) можуть реагувати з багатьма неорганічними і органічними сполуками. Головними речовинами, що сприяють руйнуванню молекул озону, є такі:

Ї прості речовини – водень (H_2), атоми кисню (O), хлору (Cl), броду (Br);

Ї неорганічні сполуки – хлороводень (HCl), монооксид азоту (NO);

Ї органічні сполуки – метан (CH_4), фторхлор- і фторбромфреони, які виділяють атоми хлору і броду.

Оксиди азоту відіграють важливу роль у реакціях руйнування озону в середній стратосфері. Не зважаючи на те, що азоту в атмосфері більше, ніж будь-якого іншого газу, утворення його оксидів безпосередньо з молекулярного азоту незначне, оскільки молекула N_2 дуже стабільна, фактично інертна. Для її розпаду потрібно багато енергії, наприклад, розряд блискавки або дуже жорстке випромінювання, сонячні протони або галактичне випромінювання. У стратосфері цього немає, тому основним джерелом оксидів азоту (NO_x) є закис азоту (N_2O), який утворюється на поверхні Землі й в океанах передусім у результаті діяльності бактерій. Але «внесок» людини у цей процес нині становить майже третину від загальної кількості закису азоту.

Усе це не залишилося осторонь уваги світової спільноти. Вже у 1975 р. Всесвітня метеорологічна організація вперше виступила із заявою про вплив на озоновий шар діяльності людини та його можливих наслідках і прийняла проект «Глобального вивчення і моніторингу озону», який підтримала і Міжнародна комісія з атмосферного озону. А у 1977 р. за ініціативою ЮНЕП було проведено спеціальну нараду експертів з озону, яка прийняла «Світовий план дій щодо озонового шару». Першим міжнародним договором, який регулює це питання, стала *Віденська конвенція про охорону озонового шару*, яку було підписано 1985 р. у Відні (Австрія), а вступила конвенція у силу 22.09.1988 р. Цей міжнародно-

правовий документ зобов'язує держави-учасниці проводити дослідження і систематичні спостереження за хімічними і фізичними процесами, які можуть впливати на озоновий шар, за впливом змін стану озонового шару на здоров'я людини, зміни клімату тощо. За виконанням Віденської конвенції слідує Конференція Сторін конвенції.

1987 р. у Монреалі було підписано міжнародну Угоду про зменшення і подальшу відмову від виробництва речовин, які руйнують озоновий шар, – *Монреальський протокол*. Це міжнародний договір, укладений для захисту озонового шару шляхом припинення чи обмеження виробництва речовин, відповідальних за виснаження озону. Договір вступив у силу 1 січня 1989 року. Після цього учасники провели ще низку зустрічей, де приймалися різні доповнення до нього: у 1989 р. (Гельсінкі), 1990 (Лондон), 1991 (Найробі), 1992 (Копенгаген), 1993 (Бангкок), 1995 (Відень), 1997 (Монреаль) і 1999 (Пекін). Договір був майже всесвітньо ухвалений та ефективно виконується, і тодішній Генеральний Секретар ООН Кофі Аннан назвав його «можливо, однією з найуспішніших міжнародних угод на сьогодні».

Монреальський протокол є незмінним супутником Віденської конвенції про охорону озонового шару. Норми цього документу мають більш конкретний, уточнюючий характер, аніж норми Віденської конвенції. У ньому міститься перелік речовин і продуктів, які руйнують озоновий шар, до яких належать кондиціонери у легкових і вантажних автомобілях, холодильники, морозильні камери, льодогенератори, аерозолі, фторполімери тощо. Реалізація Віденської Конвенції і Монреальського Протоколу в Західній Європі успішно завершилася. Там використання озоноруйнуючих речовин (ОРР) скорочувалося навіть швидше, ніж це було передбачено Протоколом. На жаль, через значну тривалість збереження цих речовин у атмосфері, озоновий шар, ймовірно, повністю відновиться лише після 2050 року, незважаючи на прискорені темпи виводу ОРР із споживання.

5.6.4 Кислотні опади та їхні екологічні наслідки

Термін «кислотні дощі» запропонував у 1812 р. англійський інженер *Роберт Сміт*, у книжці «Повітря і дощ: початок хімічної кліматології». Кислотні дощі виникають у результаті поєднання двоокису сірки і оксидів азоту з атмосферним киснем. Оксиди сірки і азоту потрапляють у атмосферу внаслідок викидів працюючих на вугіллі ТЕС, металургійних заводів, а також автомобільних двигунів. Сполучаючись з атмосферою вологою, ці оксиди утворюють дрібні крапельки сірчаної та азотної кислот, які переносяться вітрами у вигляді кислотного ту-

ману і випадають на Землю у вигляді кислотних дощів (Рис. 84). Фільтруючись у ґрунті, вода кислотних дощів уносить багато поживних речовин – кальцію, магнію, калію, натрію. А їхнє місце займають токсичні метали, які під дією дощів стають розчинними, вбивають мікроорганізмів-редуцентів, і ґрунт залишається без поживних речовин.

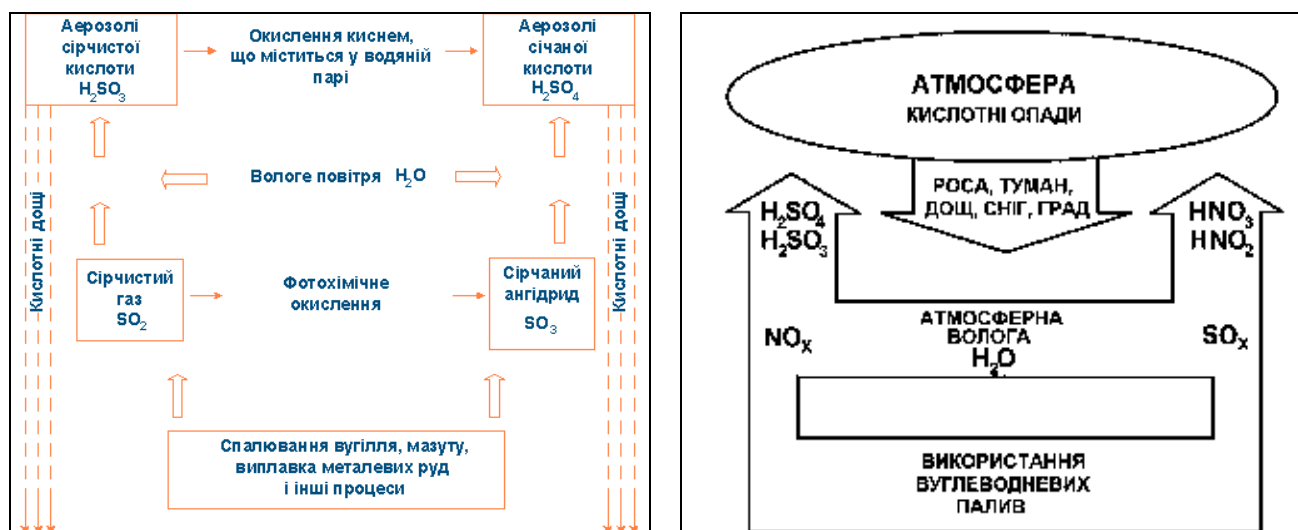


Рис. 84. Механізм утворення кислотних опадів

Оксиди сірки і азоту є складовими викидів від спалювання будь-якого викопного палива (вугілля, нафти, мазуту). Залежно від складу палива, їх може бути менше чи більше. Мільйони тон цих сполук викидаються у атмосферу, перетворюючи дощ, сніг або град у слабкий розчин кислот. Для визначення ступеня кислотності використовують різні рН-метри й інші електронні прилади. Найпростішим способом є застосування індикаторів – хімічних речовин, колір яких змінюється залежно від рН середовища. Найбільш поширеними індикаторами є фенолфталеїн, лакмус, а також барвники з червоної капусти і чорної смородини. Дощова вода, що утворюється у процесі конденсації водяної пари, повинна мати нейтральну реакцію рН. Проте і у дуже чистому повітрі завжди є діоксид вуглецю, і дощова вода, яка його розчиняє, трошки підкислюючи ($\text{pH} = 5,6-5,7$).

Екологічні наслідки випадіння кислотних опадів передусім пов'язані з їхнім «інтернаціональним» характером, адже атмосфера не має державних кордонів, і повітряні течії разносять кислотні дощі й тумани на тисячі кілометрів від місць їхнього утворення. Наприклад, у 70-х роках минулого століття у річках і озерах скандинавських країн стала пропадати риба, сніг у горах став сірого кольору, листя з дерев дуже швидко опадало. Виявилося, що причиною усіх бід є саме кислотні дощі, а також те, що утворилися вони внаслідок викидів ТЕС і металургійних

підприємств Великобританії. Пануючі тоді західні вітри розносили отруту далеко від Британських островів – аж до Скандинавії. Дуже скоро ті ж самі прояви помітили у США, Канаді, Західній Європі. У Німеччині, наприклад, постраждало 30%, а місцями – 50% лісів. І все це відбувалося далеко від великих міст і промислових центрів.

Ґрунти і рослини, звісно, теж страждають від кислотних дощів: знижується їхня продуктивність, змінюється склад поживних речовин і ґрунтових мікроорганізмів. Внаслідок випадіння кислотних дощів на великих площах висихають ліси. Кислота збільшує рухливість у ґрунті алюмінію, токсичного для дрібних коренів, що призводить до пригнічення листя і хвої, крихкості гілок. Особливо пригнічуються хвойні дерева – вони жовтіють, проріджуються крони, пошкоджуються дрібні коріння. А у листяних деревах змінюється колір листя, передчасно опадає листя, пошкоджується кора (Рис. 85).



Рис. 85. Наслідки кислотних опадів

Кислотні дощі завдають значної шкоди сільськогосподарським культурам: пошкоджуються покривні тканини рослин, змінюється обмін речовин у клітинах, уповільнюються ріст і розвиток рослин, знижується їхня стійкість до хвороб і паразитів, зменшується урожайність. Кислотні дощі вбивають не тільки живу природу, але й руйнують пам'ятники архітектури. Міцний, твердий мармур реагує з розчином сірчаної кислоти і перетворюється на гіпс (CaSO_4). Зміна температури, потоки дощу і вітер руйнують цей м'який матеріал. Історичні пам'ятники Греції і Риму, простоявши тисячоліття, останніми роками руйнуються прямо на очах. Вивчивши нові дані про кислотність опадів, які випадають в різних регіонах Західної Європи, співробітники Дублінського університету (Ірландія) виявили, що найбільш катастрофічна ситуація склалася у центрі Манчестера (Великобританія), де

за 20 місяців кислотні дощі розчинили більше 120 г на 1 м² каменю. Місто від цього постраждало дуже сильно.

Страждають від кислотних дощів і люди, вимушені споживати питну воду, забруднену токсичними металами – ртуттю, свинцем, кадмієм. Внаслідок випадіння кислотних опадів у природному середовищі й життєдіяльності людини відбуваються такі негативні процеси:

- знижується врожайність багатьох сільськогосподарських культур через ушкодження листя кислотами;
- з ґрунту вимиваються кальцій, калій і магній, що призводить до деградації рослинності (Рис. 86) і, як наслідок, – до збіднення тваринного світу;
- гинуть ліси, серед яких найбільш чутливими до кислотних дощів є кедрові, букові й хвойні (Рис. 87);
- отруюється вода озер і ставків, у них гине риба, зникають комахи;
- зникають водоплавні птахи і тварини, що живляться комахами;
- активізуються зсуви і селі, спричинені загибеллю лісів у гірських районах;
- прискорюється руйнування пам'яток архітектури і споруд, що побудовані з вапняку і оздоблені мармуром;
- збільшується захворюваність серед людей (найчастіше уражуються очі й органи дихання).



Рис. 86. Наслідки ушкодження листя кислотами



Рис. 87. Національний парк Great Smoky Mountains (США) після кислотного дощу

Взимку поблизу ТЕС і металургійних заводів іноді випадає також кислотний сніг, ще шкідливіший, аніж кислотний дощ, що пояснюється більшим вмістом у ньому кислот. Райони випадання такого снігу дістають одразу 4-5-місячну дозу забруднення, а після його танення навесні відбувається концентрація шкідливих речовин, тому тала вода інколи містить удесятеро більше кислот, ніж сам сніг.

Наприклад, більш як 230 озер у горах Адірондак (штат Нью-Йорк) мають критичний рівень забруднення сірчаною і азотною кислотами, принесеними кислотними дощами і снігом. До небезпечного для водних екосистем рівня окислена третина озер штату Флорида, у такому ж стані перебувають близько 20 тисяч озер півдня Швеції, сотні озер у Південній Канаді. За даними екологів, у Швейцарії від кислотних дощів засихає третина лісів, 69% оглянутих букових дерев у лісах Великобританії висихають з верхівок, у 9 тис озер Швеції риба вже частково вимерла, а у 4 тис – зникла зовсім.

Тому рятувати ситуацію необхідно, а для цього треба різко знизити викиди в атмосферу оксидів сірки і азоту. З метою зменшення забруднення атмосферного повітря пилом та іншими шкідливими домішками потрібно на всіх промислових підприємствах здійснювати ефективне очищення відхідних газових викидів. Усі методи очищення можна розподілити на три групи: механічні, фізико-хімічні й хімічні. Вибір методу очищення залежить від кількості відхідних газів та їхнього складу.

Механічні методи застосовують для очищення вентиляційних та інших газових викидів від грубо-дисперсного пилу. У цих випадках пил відокремлюється під дією сили гравітації, інерції або відцентрової сили. Вибираючи систему пилоловлювання, слід враховувати швидкість газового потоку, вміст пилу та його фізико-хімічні властивості, розмір часточок і наявність водяної пари. Існує два види пиловловлювання: сухе і мокре. З екологічного погляду досконалішими є сухі пиловловлювачі. Вони дають змогу повернути у виробництво уловлений пил, тоді як за мокрого утворюються водяні суспензії, переробка яких потребує більших матеріальних затрат. Механічне сухе пилоуловлювання здійснюють у осаджувальних камерах, циклонних сепараторах, механічних і електричних фільтрах. Недоліком сухого пилоуловлювання є те, що воно забезпечує високий ступінь очищення тільки у разі незначної запиленості відхідних газів.

В осаджувальних камерах очищають гази з грубо-дисперсними часточками пилу розміром від 50 до 500 мкм і більше. Найбільш ефективною є осаджувальна камера Говарда, у якій газовий потік розбивається горизонтальними пластинами на окремі секції. Незважаючи на незначний аеродинамічний опір і невисоку вартість, ці апарати застосовують рідко через труднощі їхнього очищення. З них відхідні гази направляють у інші, ефективніші апарати для подальшого очищення. Частіше використовують циклонні сепаратори, у яких запилений газ, обертаючись по спіралі, відкидає часточки пилу на стінки апарата, звідки вони потрапляють у пилоосаджувальну камеру (Рис. 88). Циклонні сепаратори ефективно очищають

гази, що містять часточки розміром не менш як 25 мкм. Коефіцієнт корисної дії циклонів залежить від концентрації пилу і розмірів його часточок. Середня ефективність знепилення газів у циклонах становить 78-86% для пилу розміром 30-40 мкм. Циклони використовують для очищення запилених газів у різних галузях промисловості.

У фільтрах газовий потік проходить крізь пористий матеріал різної щільності й товщини. Очищення від грубо-дисперсного пилу здійснюють у фільтрах, заповнених коксом, піском, гравієм, насадкою різної природи і форми. Для очищення від тонко-дисперсного пилу використовують фільтрувальний матеріал на кшталт паперу, повсті чи тканини різної щільності. Папір використовують для очищення атмосферного повітря і газів з низьким вмістом пилу. У промислових умовах застосовують тканини або рукавні фільтри, які мають форму барабана, тканинних мішків чи кишень, що працюють паралельно. Їх очищують струшуванням або продуванням повітря. Останнім часом у якості фільтрувальних тканин широко використовують синтетичні матеріали і скловолокно, які витримують температуру 150-250°C; вони хімічно і механічно стійкіші й менш вологоємні порівняно з шерстю чи бавовною. Останні дають змогу очищати гази з температурою не вище за 100°C. Головною перевагою рукавних фільтрів є висока ефективність очищення, яка досягає 99% для усіх розмірів часточок. Для тонкого очищення застосовують керамічні фільтри, а також фільтри з пластмас або скла. Ефективність пиловловлювання у них може досягати 99,99%, а температура очищуваного газу – 500°C.

Для тонкого очищення газів від пилу використовують електрофільтри. Крім пилу, вони можуть також очищати гази від гідро- та аерозолів, тобто уловлювати більш дисперсні часточки. Для підвищення ефективності роботи електроди інколи змочують водою; такі електрофільтри називають мокрими. У мокрих пиловловлювачах запилений газ зрошується рідиною або контактує з нею. Найпростішою конструкцією є промивна башта, заповнена кільцями Рашига, скловолоком чи іншими матеріалами. Кільця Рашига є незамінними у процесах нафтопереробки для розділення продукту на фракції і у процесі очищення від складових шляхом поглинання рідиною. Керамічні насадки використовуються для виділення газів, які містяться у рідкому розчині.

До апаратів такого типу належать скрубери і труби Вентурі – пристрої для вимірювання витрат і швидкості потоку газів (Рис. 89). Часто для видалення шлаків труби Вентурі доповнюють циклонами. Скрубери працюють за принципом протитечії: газ рухається знизу вгору, а поглинальна рідина (частіше вода) розпи-

люється форсунками згори вниз. Скрубери можна застосовувати для холодних і гарячих газів, які не містять токсичних речовин (кислот, хлору тощо), оскільки вони видаляються у атмосферу разом з очищеним газом у вигляді туману.



Рис. 88. Циклонний сепаратор



Рис. 89. Труби Вентурі

Для очищення гарячих газів з часточками пилу розміром понад 5 мкм доцільно використовувати барботажні апарати, де запилений газ пропускають крізь рідину (воду). Барботаж³³ використовують також у пінних апаратах; для утворення піни у воду додають поверхнево-активні речовини (ПАР). Ефективність очищення у цих апаратах досягає 97-99%. Недоліком мокрого очищення газів є те, що уловлений пил перетворюється на мокрий шлам, для видалення якого потрібно будувати шламову каналізацію, що здорожує конструкцію. У апаратах інерційного пиловловлювання різко змінюється напрямок потоку, часточки пилу за інерцією ударяються об поверхню, осаджуються і через розвантажувальний пристрій видаляються з апарату. Усередині апаратів розміщені пластини або кільця, об які ударяється газ, а зверху апарати можуть зрошуватися водою. Тоді пил з них видаляється у вигляді шламу.

³³ Барботаж – процес проходження пари чи газу крізь рідину.

Для підвищення ефективності роботи циклонів або рукавних фільтрів використовують ультразвукові апарати. Ультразвук сприяє адгезії³⁴ і закріпленню часточок пилу. Ці апарати ефективні у разі високої концентрації пилу в очищуваному газі. Для збільшення ефективності роботи апарата його зрошують водою. Такі апарати у комплексі з циклоном застосовують для уловлювання сажі, кислотних туманів тощо.

До *фізико-хімічних методів* очищення газових викидів належать абсорбція і адсорбція. *Абсорбція* – це процес хімічного осадження або зв'язування забруднювальних речовин під час пропускання очищуваного газу крізь рідкий поглинач. Апарати для такого очищення називають абсорберами. У них очищуваний газ і абсорбна рідина рухаються назустріч один одному. Абсорбцію застосовують для очищення повітря і відхідних газів, що містять токсичні забруднення – кислотні тумани, ціанідну чи ацетатну кислоти, сірчистий газ, оксиди нітрогену, різні розчинники. У якості поглинача використовують суспензії, що містять оксиди магнію і кальцію або вапняк. Ефективність очищення становить 90-95%. Шлами після очищення можуть використовуватися для подальшого перероблення. Недоліком цих апаратів є ускладнення процесу видалення шламів у разі утворення важкорозчинних речовин.

Адсорбційний метод очищення газів – це сорбція газуватих речовин на поверхні або у об'ємі мікропор твердого тіла. Тверду речовину, на поверхні чи у об'ємі пор якої відбувається концентрування очищуваних речовин, називають адсорбентом. Поглинені забруднювальні речовини, що перебувають у газовій або рідкій фазі, називають адсорбтивом, а після переходу у адсорбований стан – адсорбатом. Найчастіше у якості адсорбенту використовують активоване вугілля, силікагель чи глини, що мають велику поверхню. Вилучені з очищуваних газів речовини (адсорбтиви), які у подальшому видаляють шляхом десорбції, можуть бути використані для тих чи інших цілей. Цей процес називають регенерацією адсорбенту і здійснюють здебільшого нагріванням перегрітою парою. Апарати, у яких здійснюють адсорбцію, називають адсорберами. Вони бувають вертикальними, горизонтальними і з кільцевими полицями, на яких розташовують адсорбент. Адсорбцією на активованому вугіллі очищають відхідні гази у виробництві штучного волокна. За допомогою адсорбції на силікагелі очищають газові викиди від оксидів нітрогену. Цей метод широко застосовують для очищення викидних газів від багатьох інших шкідливих домішок.

³⁴ *Адгезія* – це зчеплення, прилипання, злипання приведених у контакт різнорідних твердих або рідких тіл.

Хімічні методи очищення викидних газів засновані на хімічному зв'язуванні забруднювальних речовин. Дуже поширеним методом є хемосорбція, коли очищуваний газ промивають розчином речовин, що реагують із забруднювальними домішками. Наприклад, для уловлювання оксидів нітрогену (азоту) застосовують торфово-лужні композиції з гідроксидом кальцію або аміаком. У результаті хемосорбції утворюється добриво з 6-8%-м умістом зв'язаного азоту у вигляді нітратів кальцію і амонію. Спалювання використовують для знешкодження горючих вуглеводнів, які не використовуються у виробництві. З екологічного погляду, це малоефективний процес, оскільки теплота не використовується і тільки призводить до теплового забруднення навколишнього середовища. Якщо концентрація горючих речовин недостатня для горіння, тоді застосовують термічне окиснення. При цьому очищуваний газ спалюють у полум'ї пальника. У багатьох випадках для знешкодження відхідних газів застосовують каталітичні процеси окиснення, відновлення і розкладання.

Отже, очисні фільтри є основним засобом боротьби із промисловим забрудненням атмосфери. Очищення викидів здійснюються шляхом їхнього пропущення через різні фільтри (механічні, електричні, магнітні, звукові), воду і хімічно активні рідини. Усі вони призначені для вловлювання пилу, парів і газів. Ефективність роботи очисних споруджень різна і залежить як від фізико-хімічних властивостей забруднювачів, так і від досконалості застосовуваних методів і апаратів. За грубого очищення викидів усувається від 70 до 84% забруднювачів, середнього – до 95-98% і тонкого – до 99% і вище.

Очищення промислових викидів не тільки охороняє атмосферу від забруднень, а й дає додаткову сировину підприємствам. Наприклад, уловлювання сірки з газових відходів металургійного комбінату забезпечує санітарне очищення і додаткове отримання багатьох тисяч тон дешевої сірчаної кислоти. Але вирішити проблему охорони атмосфери тільки за допомогою очисних споруджень неможливо; необхідне застосування комплексу заходів, і насамперед упровадження безвідхідних технологій.

Одним із шляхів запобігання забрудненню атмосфери є перехід на використання нових, екологічно безпечних джерел енергії. Наприклад, будівництво станцій, що використовують енергію припливів і відпливів, використання геліоустановок і вітряних двигунів. Кардинально проблема може бути вирішена шляхом заміни в автомобілях двигунів внутрішнього згорання на електричні. Для зменшення токсичних речовин у вихлопних газах автомобілів пропонується заміна бензину іншими видами пального, наприклад, сумішшю різних спиртів. Ще один

ефективний шлях – озеленення міст і промислових центрів. Зелені насадження за рахунок фотосинтезу звільняють повітря від діоксиду вуглецю і збагачують його киснем. На листах дерев і чагарників осідає до 72% зважених часточок пилу і до 60% – діоксиду сірки. Для підтримки чистоти повітря велике значення має планувальна структура міста: промислові підприємства, транспортні магістралі мають бути відділені від житлових кварталів буферною зоною із зелених насаджень. Необхідно також враховувати напрямки основних вітрів, рельєф місцевості і наявність водойм, тобто розташовувати житлові масиви з підвітряної сторони та на підвищених ділянках, подалі від промислових зон.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте атмосферу як зовнішню оболонку Землі, її сучасний газовий склад і головні екологічні функції.
2. Назвіть і охарактеризуйте природні й антропогенні джерела забруднення атмосфери.
3. З чим, на вашу думку, пов'язане сучасне катастрофічне зменшення вмісту кисню в атмосфері? Обґрунтуйте.
4. Розкрийте сутність «парникового ефекту» в атмосфері. Чому він важливий для живих організмів?
5. Проаналізуйте причини антропогенного посилення парникового ефекту і наслідки, до яких це може призвести.
6. Які міжнародні угоди щодо обмеження викидів у атмосферу парникових газів вам відомі? Чи мають вони практичний результат?
7. Розкрийте захисні та інші функції озонового шару атмосфери.
8. Які штучні речовини найбільше його руйнують озоновий шар і до яких серйозних наслідків це може призвести? Обґрунтуйте.
9. Як світова спільнота реагує на руйнування озонового шару атмосфери? Назвіть відомі вам міжнародні угоди.
10. Проаналізуйте причини і розкрийте механізм утворення кислотних опадів. До яких негативних наслідків призводить їхнє випадіння?
11. Охарактеризуйте основні методи очищення відхідних газових викидів промислових підприємств. Які з них, на вашу думку, є найбільш ефективними?

5.7 Біотичні ресурси

До біотичних ресурсів належать ресурси рослинного і тваринного світу – це генетичні ресурси, організми або їхні частини, популяції і будь-які інші біотичні компоненти екосистем, які мають фактичну чи потенційну користь, а також цінність для людства. Карл Лінней запропонував бінарну номенклатуру для опису видів живих істот більше 250 років тому. За цей час було відкрито і класифіковано близько 1,2 млн видів тварин і рослин. І чим більше біологи робили відкриттів, тим частіше вони замислювалися про те, скільки ж усього на Землі живого. Приблизні оцінки варіювалися від 3 до 100 млн.

Група вчених з Канади запропонувала свій спосіб оцінки біорізноманіття планети. За їхніми розрахунками, загальна кількість видів живих істот становить приблизно 8,7 млн плюс-мінус 1,3 млн. У Світовому океані мешкає 2,2 млн видів, на суходолі – 6,5 млн. Тварин на планеті близько 7,8 млн видів, грибів – 611 тис, рослин – 300 тис. При цьому рослинам «пощастило» більше – з них описано 72% видів, тоді як тварин – 12%, а грибів – тільки 7%. Не знаючи точно, скільки на Землі тварин і рослин, неможливо прогнозувати, яку кількість можна «дозволити» собі втратити, щоб принаймні залишилися стабільними ті екосистеми, від яких залежить життя усього людства. Однак точніших даних (а не плюс-мінус мільйон) світ не отримає принаймні у найближчі декілька століть.

Біотичні ресурси океанів – це риби, кити, молюски (кальмари, мідії), ракоподібні (краби, креветки, кріль), деякі види водоростей, що використовуються для виробництва продуктів харчування і одержання цінних речовин для різних галузей промисловості, сільського господарства, медицини. Загальна біомаса живих організмів Світового океану оцінюється приблизно у 35 млрд т. Обсяги поповнення рибних запасів, вилову яких становить від $\frac{4}{5}$ до $\frac{9}{10}$ усього морського промислу, досягає 200 млн т щорічно. Основними світовими районами вилову риби є шельфові ділянки, що займають всього 7-8% площі Світового океану і забезпечують 90% обсягів вилову, а також центральна частина Тихого океану (прибережні води островів Океанії), Північна Атлантика. Найбільшими рибопромисловими країнами світу є Японія, Росія, Китай, США, Чилі, Норвегія, Індія, Данія, Таїланд, Індонезія, Великобританія.

Усі види живих істот біосфери у сукупності називаються біотою, найважливішою властивістю якої є здатність до *самовідновлення* і *самовідтворення* на основі обміну речовин. Це означає, що у сприятливих умовах організми біосфери здатні у короткий історичний час заповнити всю планету. Отже, біотичні ресурси належать до відновлюваних ресурсів.

Як відомо, використання живих організмів біосфери розпочалося з моменту появи людини і безперервно посилювалося з ростом чисельності й потреб людства. Найпоширенішим є *пряме використання* живих організмів і вироблених ними продуктів – у якості їжі, сировини, будівельних матеріалів тощо. Крім того, людина використовує рослинні й тваринні ресурси і *опосередковано* – як джерело кисню для дихання і технологічних процесів, для зв’язування вуглекислоти, регуляції стоку, захисту полів від дії вітру, задля задоволення естетичних потреб.

Перші заходи щодо охорони окремих видів організмів почали здійснювати ще до початку нашої ери у країнах стародавньої культури – Єгипті, Індії, Китаї. Основна маса живої речовини оточує Землю вельми тонким шаром від декількох міліметрів до десятків метрів. Скупчення живих організмів у тонкому приповерхневому шарі робить їх легко доступними для прямого і опосередкованого впливу людини. Жива речовина біосфери має значну хімічну активність, обумовлену біологічним обміном речовин. У процесі фотосинтезу щорічно наземною і водною рослинністю акумулюється величезна кількість сонячної енергії, пов’язується 35 млрд т вуглецю, фіксується 44 млрд т азоту, виділяється декілька десятків мільярдів тонн кисню.

Цінність природної біоти для людини можна розглядати за такими основними напрямками:

- Біота є основою сільського і лісового господарства.
- Біота є важливим ресурсом для медицини.
- Біота дає пряму користь – рослинний покрив є важливим фактором запобігання ерозії, збереження орного шару ґрунту, забезпечення інфільтрації і поповнення запасів ґрунтових вод, зниження поверхневого стоку, підтримки кругообігу біогенів у екосистемах. Біота безперервно відтворює деревину, диких звірів і птахів, рибу тощо.
- Біота створює можливості для відпочинку людей, задоволення естетичних і наукових потреб.
- Біота є комерційним стимулятором спортивного бізнесу, обслуговування туристів тощо.

Отже, біотичні ресурси мають універсальну цінність для людства. А як людство нею розпоряджається, розглянемо далі.

5.7.1 Рослинні ресурси

Рослинні ресурси – це всі рослинні організми (вищі рослини, гриби, мохи, лишайники, водорості), які зростають на територіях і акваторіях та використовую-

ються або можуть бути використані для різних потреб суспільства. Рослинні ресурси представлені вищими рослинами, грибами, мохами, лишайниками, водоростями. Господарське значення мають лісові, степові, лучні, болотні, водні й інші рослинні ресурси. Серед них особливе місце посідають лісові ресурси.

Ліси займають близько третини поверхні земної кулі. Деревина є універсальною сировиною, з якої може бути виготовлено більш ніж 15-20 тисяч різноманітних виробів. Крім того, дуже важливими є гідрокліматична, захисна, санітарно-гігієнічна, бальнеологічна і рекреаційна функції лісів. Лісам притаманний найвищий рівень утворення біомаси – вони утворюють близько 92% біомаси суші. Ліси тим більш цінні, що вони є відновними ресурсами і виробляють приблизно дві третини органічної речовини, яка створюється на Землі.

Лісовими ресурсами є деревні, технічні, лікарські та інші продукти лісу, що використовуються для задоволення потреб населення і виробництва та відтворюються у процесі формування лісових природних комплексів. До лісових ресурсів також належать корисні властивості лісів – здатність зменшувати негативні наслідки природних явищ, захищати ґрунти від ерозії, запобігати забрудненню навколишнього середовища і очищати його, сприяти регулюванню стоку води, оздоровленню населення, його естетичному вихованню тощо.

Лісові ресурси світу налічують близько 4 млрд га, а промислові запаси деревини становлять до 50 млрд м³. Більша частина лісів сконцентрована у двох лісових поясах – північному, з переважанням хвойних порід (пролягає через Канаду, США, Скандинавію і Росію) та південному, з листяними породами дерев (території Центральної і Південної Америки, Екваторіальної Африки, Південної і Південно-Східної Азії). Найбільші площі лісів збереглися в Азії і Південній Америці, найменші – у Австралії і Європі. Оскільки розміри континентів неоднакові, важливо враховувати їхню *лісистість*, тобто відношення лісовкритої площі до загальної площі. За цим показником перше місце у світі посідає Південна Америка. А за запасами деревини особливо виділяють країни Азії, Південної і Північної Америки – Канаду, Бразилію, Росію і США. Практичною відсутністю лісу характеризуються Бахрейн, Катар, Лівія.

Для раціонального використання лісових ресурсів необхідно комплексно переробляти сировину, не вирубувати ліси у обсязі, що перевищує їхній приріст, проводити лісовідновні роботи. Ліси називають «легенями» планети, вони відіграють величезну роль у житті всього людства: відновлюють кисень в атмосфері, зберігають ґрунтові води, запобігають руйнуванню ґрунту. Суцільна вирубка тро-

пічних лісів Амазонії (Амазонської низовини) призводить до руйнування цих «легенів». Збереження лісів необхідно у тому числі й для здоров'я людства.

У поняття «лісові ресурси» входить не лише деревина, а й живиця, пробка, гриби, плоди, ягоди, горіхи, лікарські рослини, мисливські-промислові ресурси, а також корисні властивості лісу. Деревну зелень хвойних порід використовують для виготовлення вітамінного борошна, хвойного екстракту, хвойної пасти та іншої продукції. Важливе економічне і соціальне значення мають ресурси недеревної рослинності й лісової фауни, з яких виготовляють цінні харчові продукти.

Світові лісові ресурси безжалісно зводяться під рілля і плантації, під будівництво, до того ж деревина широко використовується на дрова і деревообробну продукцію. У результаті знеліснення набуло загрозливих масштабів. Останнім часом відбувається катастрофічно швидке зведення тропічних лісів. За останні 200 років площа лісів скоротилася щонайменше удвічі; щороку знищується у середньому 125 тис км² лісів, що дорівнює території таких країн, як Австрія і Швейцарія, разом узяті.

Головними причинами знищення лісів є розширення сільськогосподарських угідь і використання деревини. Ліси також вирубуються через будівництво ліній електропередач і зв'язку. Крім країн, що розвиваються, де ліси вирубуються задля використання деревини як палива і розорювання земель, скорочуються і деградують від забруднення атмосфери і ґрунтів лісові масиви у високорозвинених країнах. Масове усихання верхівок дерев відбувається унаслідок їхньої поразки кислотними дощами. Тому найбільш розвинуті й у той же час малозабезпечені лісом країни проводять у життя програми щодо збереження і поліпшення лісових угідь. Зокрема, у Японії і Австралії, а також у деяких західноєвропейських країнах, площі під лісами залишаються стабільними, а виснаження деревостанів останніми роками не спостерігається.

Отже, зробимо з усього вищесказаного такий важливий висновок. Лісові ресурси – це сукупність матеріальних благ лісу, які можна використати без шкоди навколишньому середовищу з найбільшою господарською ефективністю. Всю різноманітність лісових ресурсів залежно від їхнього призначення і особливостей використання об'єднують у такі групи:

- сировинні ресурси деревного походження – деревина, деревна зелень, кора;
- ресурси недеревного походження – гриби, ягоди, плоди, горіхи, лікарські ресурси, кормові й технічні ресурси недеревної рослинності;
- ресурси тваринного походження – корисна лісова фауна, яйця, мед, роги диких копитних;

– багатосторонні корисні функції лісу та його позитивний вплив на природне середовище.

До складу лісового комплексу входять три галузі промисловості: лісова, деревообробна і целюлозно-паперова. Найбільш розвинутими є лісозаготівельне і лісохімічне виробництва. Лісозаготівельне виробництво забезпечує заготівлю круглих лісоматеріалів, виробництво технологічної тріски і їхнє транспортування на кінцеві пункти споживання, заготівлю та вивезення осмолу³⁵ і деревної зелені. Лісохімічне виробництво у складі лісової промисловості забезпечує переробку осмолу на каніфоль, скипидар, а деревної зелені – на вітамінне борошно, екстракт, пасту, віск та інші продукти, заготівлю і переробку живиці.

Основним завданням лісового господарства є відновлення високопродуктивних лісів, їхній захист і охорона. Лісове господарство має обмаль вузькоспеціалізованих підприємств, які б займалися тільки лісовирощуванням, охороною і захистом лісу. Більшість підприємств комплексні. Крім лісовирощування, вони займаються лісоексплуатацією і переробкою деревини на товари широкого вжитку. Звісно, у країнах, що розвиваються, деревообробні підприємства характеризуються низьким рівнем технічного розвитку і неефективним використанням сировинних ресурсів.

Вплив антропогенних факторів на ліси проявляється безпосередньо і опосередковано. *Прямий вплив* – це знищення лісових масивів під різні види будівництва, створення водосховищ, розроблення корисних копалин тощо. *Опосередкований вплив* є здійснюється через зміни лісорослинних умов унаслідок зрошення, осушення, засолення ґрунтів, забруднення природного середовища шкідливими речовинами тощо. У освоєних лісах докорінно змінюються природні лісорослинні умови, що спричинює зміни усіх компонентів і зв'язків екосистем. Порушується температурний режим, на 5-10% знижується відносна вологість, підвищується швидкість вітру. Вирубування сприяє виносу з лісових ґрунтів азоту, фосфору, кальцію, формуванню одновікових, одновидових деревостоїв, розвитку лісових монокультур. Утворення завалів із сухих дерев підвищує пожежну небезпеку. Підраховано, що 95-97% випадків лісових пожеж відбуваються за провини людини.

Термін «зnelіснення», як наслідок знищення лісів, з'явився не так давно, проте нині вживається так само широко, як «спустелення» або «деградація ґрунтів». За визначенням ЮНЕП, *зnelіснення* означає повне знищення лісової рослин-

³⁵ *Осмол* – просмолена деревина хвойних порід, розділена на куски і очищена від кори, ґрунту і гнилі.

ності й переведення земель у інший тип господарського використання. Серед екологічних наслідків знеліснення головними є такі:

- пряме зменшення кількості органічної речовини, зміни кругообігів енергії, води, глобальних біохімічних циклів основних біогенних елементів;
- помітні зміни кліматичних умов на локальному, регіональному і глобальному рівнях;
- зменшення біологічного різноманіття рослинного і тваринного світу.

Останнє (*біорізноманіття*) є найважливішим природним ресурсом, глобальним надбанням всього людства і національним надбанням кожної держави. Збереження біорізноманіття, головними формами якого є генетичне, видове і екосистемне, має ґрунтуватися на збалансованому використанні й відновленні біологічних ресурсів. Цьому сприятимуть, по-перше, правильне ведення та інтенсифікація лісового господарства, зокрема нормування вирубок і повне використання лісової продукції. Норми вирубок мають визначатися для кожного конкретного регіону з урахуванням їхньої лісистості, щоб не викликати знеліснення одних регіонів та утворення перестійних лісів – у інших. Тому дуже важливо розробити оптимальний відсоток лісистості диференційовано для різних природних регіонів.

По-друге, підвищення продуктивності лісів і покращання їхньої якості має здійснюватися шляхом поліпшення лісорослинних умов. Це, наприклад, обґрунтоване осушення заболочених територій, удосконалення дренажу та інші лісотехнічні заходи. По-третє, необхідна боротьба з лісовими пожежами і охорона лісів від шкідників. І, нарешті, дієвим заходом можуть бути зміни порідного складу лісів з метою ефективнішого використання потенційної родючості лісових ґрунтів.

Інтенсивність лісового господарства визначається за результатом заходів, які послідовно здійснюються протягом тривалого періоду – починаючи від вирубки природних лісів і завершуючи вирубкою лісів, які виростила людина. З метою збереження і підвищення продуктивності, відтворення, охорони і захисту лісів, а також поліпшення культури ведення лісового господарства проводиться *лісовпорядкування*. Відновлення лісу може здійснюватися трьома шляхами: *природним* – з використанням комплексу лісівничих заходів; *штучним* – висівання насіння, висаджування сіянців чи саджанців, вирощених у лісових розсадниках; *комбінованим* – поєднання природного і штучного лісовідновлення на одній площі.

Насправді не лише лісові ресурси виконують різноманітні господарські функції у суспільстві. Не менш важливу роль відіграють *трав'янисті рослинні ресурси*, які за значенням для людини можна поділити на такі групи:

- цінні кормові рослини;

- лікарські рослини;
- технічні рослини;
- решта – декоративні та інші рослини.

На недеревну рослинність людина так само впливає прямо і опосередковано. Загальновизнаним фактом є те, що найбільш руйнівного впливу зазнала рослинність *степів* порівняно з рослинністю інших природних зон, особливо за останні 150-200 років, коли зовнішній вигляд степової ландшафтної зони змінився докорінно. Основні напрями впливу господарської діяльності на степовий травостій пов'язані з випасом худоби, майже повсюдним розорюванням, будівництвом міст, промислових об'єктів, транспортних магістралей тощо. Наслідками зникнення цілинної рослинності степів є передусім висушування ґрунтів та зменшення поверхневого і підземного стоку.

Крім степової рослинності, відновлювати і охороняти необхідно *луки і пасовища, болотні масиви* (як важливі гідрологічні й кліматичні регулятори), а також *дикорослі види рослин*. У господарських цілях нині використовується лише незначна частка видів дикорослих рослин, зокрема для виготовлення лікарських препаратів, отримання масел, меду та інших продуктів. Останнім часом кількість видів дикорослих рослин значно скоротилася, а багато з них стали рідкісними чи зникаючими. Нині під загрозою зникнення на Землі перебуває близько 20-25 тис видів рослин. Комісія з охорони зникаючих видів рослин і тварин Міжнародного союзу охорони природи прийняла таку класифікацію видів рослин, яким загрожує небезпека:

- 0** – види, які, мабуть, уже зникли (не зустрічалися у природі протягом ряду років);
- 1** – види, що перебувають під загрозою (подальше існування неможливе без спеціальних охоронних заходів);
- 2** – рідкісні види (прямої загрози зникнення поки що немає, але ці види зустрічаються у такій невеликій кількості або у таких обмежених за площею місцях, що можуть швидко зникнути);
- 3** – види, які скорочуються (чисельність скорочується, а ареал звужується);
- 4** – невизначені види (можливо, перебувають під загрозою, але нестача відомостей про них не дозволяє дати достовірну оцінку їхнього сучасного стану).

Отже, рослинні ресурси – вичерпні, але відновні ресурси багатоцільового призначення, які мають величезне значення: відновлюють атмосферний кисень, зберігають ґрунтові води, запобігають руйнуванню ґрунту; є джерелом різноманітних матеріалів, палива, грибів, плодів, ягід, горіхів і лікарських рослин. Вони є місцем відпочинку людей та відіграють надзвичайно важливу природоохоронну

роль. Але при цьому рослини – ще й найбільш беззахисні перед руйнівною діяльністю людини, тому їхня охорона є комплексним міжнародним завданням.

5.7.2 Тваринні ресурси

Біомаса тварин у середньому становить лише **2%** усього живого на планеті, але через високий рівень енергетичних процесів, величезну різноманітність і високу рухливість роль фауни у біосфері важко переоцінити. Тварини необхідні для нормального функціонування біосфери. Їхня універсальна ресурсна цінність забезпечується виконанням певних функцій, зокрема:

- *Середовищетвірна функція* забезпечує підтримання цілісності природного середовища через кругообіги речовини та енергії. За участю тварин формуються хімічний склад ґрунтових вод, осадові гірські породи (вапняки, крейда, кремній, фосфорити), самі ґрунти, а також розподіляються плоди і насіння, здійснюється самоочищення навколишнього середовища.
- *Генетична функція* дає можливість використовувати увесь об'єм спадкової інформації, що міститься у живих організмах, за допомогою селекції і генної інженерії. При цьому слід пам'ятати, що біотичні ресурси є відновними лише кількісно, а не якісно, тобто утрачені види не відновлюються.
- *Естетична і наукова функції*.

Найважливішу роль у біосфері відіграє найчисленніший і найрізноманітніший клас тварин – *комахи*. Вони виконують функції обпилення, є поживою для птахів, звірів, амфібій, рептилій, беруть участь у формуванні ґрунту, розкладанні тваринних решток, впливають на склад повітря, вод і ґрунтів. Безхребетні становлять 95-99% біомаси тварин на Землі, тому їхнє значення для циклів речовинно-енергетичних трансформацій величезне.

Людина впливає на тварин як безпосередньо шляхом знищення, так і опосередковано через зміни умов їхнього існування – розорювання великих територій суші, осушення боліт, спорудження гребель і каналів, а також забруднення ґрунтів, рослинності, водойм, повітря. Руйнування людиною місць мешкання тварин (біотопів) уже призвело до того, що нині під загрозою зникнення перебуває близько 600 видів птахів і 120 видів ссавців, багато видів риб, земноводних, моллюсків, комах. Окрім повного вимирання, широко розповсюдженим явищем стало *часткове вимирання*, тобто різке зниження чисельності виду або його зникнення у окремих країнах і регіонах.

Антропогенний вплив на біоту часто призводить до знищення біологічних об'єктів або ж до погіршення їхніх репродуктивних чи інших функцій, що є нас-

лідком усвідомлених чи непередбачуваних дій людини. За первинними процесами прямого впливу на біоту зазвичай сліднують *вторинні процеси деградації екосистем*. Наприклад, вирубування лісів призводить до заміни біоценозів і появи пустель. Вилучення біологічних видів і досягнення критичного мінімуму популяції веде до її деградації та вимирання. Форми непрямого впливу на біоту пов'язані передусім з порушенням рівноваги природних екосистем. Найхарактернішими прикладами непрямого впливу можуть бути такі:

- *Блокування технічними спорудами* (трубопроводами, дамбами, насипами, транспортними магістралями) або іншими об'єктами (кар'єрами, відвалами, каналами) шляхів міграції тварин. Наприклад, трубопроводи в тундрі перерізають звичні шляхи міграції оленів.
- *Ускладнення або унеможливлення пересування тварин*. Подібні дії часто заважають репродуктивним потребам тварин. Наприклад, каскади водосховищ перешкоджають нересту риби.
- *Порушення умов зростання рослин і проживання тварин*. Причинами таких порушень можуть бути різноманітні види забруднень, кислотні опади, так звані «фактори занепокоєння» (шуми, вибухи, вібрація), особливо у період розмноження.
- *Гіпертрофія кількості популяцій*. Деякі біологічні види, на думку людини, є «кориснішими», ніж інші види – «менш корисні». Звісно, ця думка призводить до дій, що погіршують умови життя тих самих «інших» видів.
- *Порушення екологічної рівноваги*. До цього найчастіше призводять або вилучення людиною частини популяцій, або привнесення (інтродукція) чужих для даної екосистеми видів.

На думку фахівців, найбільш впливова тенденція майбутнього – незворотне прискорене знищення рослинних і тваринних видів. Про це свідчать такі дані (на початок XXI ст.): частка видів птахів, ссавців і риб, уразливих або таких, що перебувають під безпосередньою загрозою вимирання, уже вимірюється двозначними числами: **11%** існуючих у світі видів птахів, **25%** видів ссавців і приблизно **34%** від усіх видів риб. Головною причиною втрати видів є руйнація середовища їхнього мешкання, але не тільки. Навіть незначні зміни цього самого середовища внаслідок глобального потепління або забруднення також можуть призвести до вимирання значної кількості як рослинних, так і тваринних видів. В результаті у той час, коли чисельність людства постійно збільшується, число видів, з якими люди поділяють планету, навпаки, зменшується. У міру того, як дедалі більше ви-

дів зникає, місцеві екосистеми продовжують деградувати. Отже, недалекий той час, коли людство постане перед фактом загальної загибелі екосистем біосфери.

5.7.3 Заходи з охорони і відновлення біотичних ресурсів

Охорона біоти здійснюється різними шляхами. Найбільш відомою є так звана «пасивна» охорона, тобто збереження тих видів тварин і рослин, які підпадають під пряме і опосередковане знищення. До основних заходів пасивної охорони належать, зокрема, такі:

- дотримання правил експлуатації ресурсів біосфери (рибальства, мисливства, збору грибів і ягід);
- регулювання обсягів заготівлі, які не повинні перевищувати щорічного приросту популяцій;
- охорона умов проживання видів (наприклад, для риб – якості води, для промислових тварин – якості мисливських угідь, для лісів – якості атмосфери, рівня ґрунтових вод тощо).

Якщо пасивної охорони недостатньо, здійснюють комплекс *відновлювальних заходів*. Важливе значення має охорона умов проживання видів від докорінних змін чи руйнування, а також охорона *спадковості* усього живого на Землі від впливу забруднювальних мутагенних факторів, серед яких особливо небезпечними є радіоактивні речовини, здатні акумулюватися у живих істотах. Охоронні й відновлювальні заходи стосуються усіх біотичних ресурсів без виключення.

Погіршення умов існування рослин і тварин пов'язане із значним антропогенним навантаженням на природні екосистеми – знищенням лісів, розорюванням степів, меліорацією, забрудненням. Порушення місць помешкань тварин і рослин відбувається також у результаті стихійних лих. У таких випадках здійснюється відлов тварин, а потім їх випускають у безпечні місця. Боротися із шкідливими видами слід дуже обережно, оскільки в природі не існує абсолютно шкідливих чи абсолютно корисних тварин і рослин; кожен вид взаємопов'язаний з іншими ланцюгами живлення, які можуть бути порушені при знищенні будь-якого «шкідливого» виду. Тому ці проблеми не можна вирішувати однозначно на користь знищення шкідливих видів, наприклад, хижаків; необхідно розумне регулювання їхньої чисельності.

Останніми десятиліттями в усьому світі розпочалися роботи з перетворення флори і фауни – інтродукція, акліматизація, одомашнювання. Інтродукцією (лат. *introductio* – введення) називають навмисне або випадкове переселення окремих видів живих організмів за межі їхнього природного ареалу в місця, де вони раніше

не зростали. Акліматизація – природний процес пристосування організмів до змін навколишнього середовища, зокрема, клімату. Аклімація – це процес вимушеного пристосування організмів до змін, викликаних штучними засобами, наприклад, у лабораторних умовах. Реакліматизація – штучне повернення організмів у місцевість, де вони раніше мешкали. Це також відновлення на певній території місцевих видів, що зникають або вже зникли. Наприклад, зубр, бобер, байбак, лось, дикий кабан. Крім цього, фауна диких тварин є невичерпним джерелом для одомашнювання, наприклад, хутрові звірі, лосі, сайгаки.

Охорона біорізноманіття починається зі збереження генофонду усіх живих істот планети. При цьому ключову роль відіграє збереження рослинного покриву, який здійснює первинний синтез органічних речовин та є їжею для тварин. Отже, без збереження рослинності неможливо зберегти й тварин. І тому виникла ідея створення на міжнародному рівні переліку тих видів рослин і тварин, які вже зникли або перебувають на межі зникнення. Ідею створення такого переліку у вигляді Червоної книги висунув видатний британський зоолог *Сер Пітер Скотт* (1909-1989). Історія розпочалася ще наприкінці XIX – на початку XX ст., коли науковці й прогресивні суспільні діячі усвідомили, яку загрозу живій природі несе діяльність усе зростаючого людства. З їхньої ініціативи у 1948 р. на Міжнародній конференції у місті Фонтенбло (Франція) була утворена Міжнародна спілка охорони природи, яка згодом отримала назву «*Міжнародний союз охорони природи і природних ресурсів*» (МСОП).



Sir Peter Markham Scott

МСОП, як консультативний орган ООН з питань охорони природи, у 1949 р. створив постійну *Комісію служби виживання* для формування анотованих списків рідкісних і зникаючих видів рослин і тварин. Саме ця Комісія увійшла у загальний вжиток як *Комісія з рідкісних та зникаючих видів*; вона почала всесвітній перепис зникаючих видів світової флори і фауни. Шляхом анкетного обстеження з різних країн світу було одержано інформацію про біологію видів і окремих популяцій, їхній екологічний статус, про позитивні й негативні фактори, що впливають на стан зникаючих видів тварин і рослин. Ці відомості й лягли в основу одного з найважливіших міжнародних документів сучасності, що був названий *Червоною книгою*, оскільки червоний колір є символом небезпеки, тривоги, попередження.

Перше видання Червоної книги, яке готувалося 14 років, вийшло у світ 1963 р. у двох томах. Перший том містив відомості про 211 видів і підвидів ссавців, а другий – про 312 видів і підвидів птахів. Кожному видові відводилася окрема сторінка, на якій у стислій формі подавалися відомості про минулий і сучасний стан, розповсюдження і чисельність у природі; вказувалися причини, що обумовили гальмування їхнього розмноження і створили загрозу зникнення. Окрім того, пропонувалися заходи щодо охорони цих тварин у природі й неволі.

Друге видання Червоної книги відбулося протягом 1966-1971 років і складалося з трьох томів. На сторінках цього видання, окрім інформації про ссавців і птахів, містилася інформація про плазунів і земноводних. При підготовці другого видання Червоної книги була розроблена нова класифікація рідкісних тварин, які до неї заносяться. Класифікація включала такі п'ять категорій:

- Υ *Зникаючі* – види, чисельність яких швидко скорочується, збереження яких уже неможливе без здійснення спеціальних заходів.
- Υ *Види, чисельність яких скорочується*, – ці види ще зустрічаються у кількості, достатній для виживання, але їхня чисельність швидко зменшується.
- Υ *Рідкісні* – цим видам ще не загрожує зникнення, але їхня чисельність невелика і ареал дуже обмежений, тому вони можуть швидко зникнути.
- Υ *Невизначені види* – це маловідомі види; можливо, їм загрожує зникнення, але через недостатню вивченість відсутня достовірна інформація про них.
- Υ *Відновлені види* – це види, чисельність яких почала зростати завдяки реалізації спеціальних заходів, що усунули небезпеку їхнього зникнення.

Отже, Червона книга МСОП – це списки рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів у світі. У Червоній книзі містяться дані про кожен з таких видів (підвидів) – назва, особливості біології, поширення, місця перебування, чисельність у природі та її зміни, причини зникнення, заходи охорони та інша інформація. Червона книга МСОП складається зі сторінок червоного, жовтого, білого й сірого кольорів, куди заносяться види залежно від небезпеки, що їм загрожує. *Червоні* сторінки були відведені для тих видів, які перебувають на межі зникнення. На *жовті* сторінки потрапили види, чисельність яких скоротилася внаслідок зміни людиною місць їхнього існування. *Білі* сторінки були відведені для рідкісних тварин, які зустрічаються у природі у невеликій кількості. Тобто Червона книга – це *не закон, а зібрання фактів*. Червона книга інформує, закликає, попереджує, радить, застерігає.

У 1973 р. МСОП опублікував детальний уточнений «ЧОРНИЙ СПИСОК» (безповоротних утрат), де було зазначено, що, починаючи тільки з 1600 року, на

планеті зникло 63 види ссавців і 55 їхніх підвидів. До них належить, зокрема, тур, який дав людині свійську корову. Зниклою вважається Стеллерова корова – морський ссавець довжиною до 8-10 м, висотою 3,5 м, вагою до 4 тонн, який жив у морських водах біля островів Беринга і Командорського архіпелагу (Рис. 90). Її відкрив німецький природодослідник Георг Вільгельм Стеллер у 1741 р., а вже до 1768-го, тобто всього за 27 років, морська корова була знищена хижацьким промислом. 1918-го зник також останній дикий кінь-тарпан, найімовірніший прашур одомашненого свійського коня (Рис. 91). Останній мандруючий голуб був убитий у 1899 р. Птахів з 1600 р. знищено до 94 видів – безкрила гагарка, каролінський папуга, лабрадорська гага, дронт та інші. З того ж 1600 р. зникло понад 230 видів інших хребетних тварин: риб, земноводних, гадів. Трагізм полягає у тому, що відродити втрачені види, хай навіть це буде найнижча, найпростіша істота, людина не зможе ні сьогодні, ні у майбутньому.



Рис. 90. Морські (стеллерові) корови (Hydrodamalis)



Рис. 91. Табун тарпанів (Equus caballus caballus)

Нині встановлено, що швидкість вимирання тварин зростала майже пропорційно збільшенню кількості людей і досягла максимальних значень за останні 100 років. Усього за історію людства вимерло понад 150 видів і підвидів птахів, а також 110 видів ссавців. Загалом вимирання видів є таким самим природним процесом, як і їхнє утворення. Проблема полягає у правильному співвідношенні цих двох процесів. *Видоутворення* – повільний процес, який триває десятки тисяч, а іноді й мільйони років. Тоді, коли темпи видоутворення відповідали темпам вимирання видів або перевищували їх, видова різноманітність перебувала на постійному рівні або навіть зростала. Саме цей процес переважав протягом минулих геологічних епох. Нині описано близько 1,7 млн видів, з яких вивчено усього 3%. Відносно вивченими вважаються 400-700 тис видів, більш як половина залиша-

ються практично невивченими, оскільки вони представлені тільки одиничними гербарними екземплярами, тушками, черепами, іншими рештками чи навіть одиничними описами. За оцінками спеціалістів, ще від 15 до 80 млн видів, які існують нині на планеті, людству поки що взагалі не відомі.

Стрімкий розвиток цивілізації не лише не прискорив процеси видоутворення, а, навпаки, інтенсифікував процеси вимирання видів. Це наслідок руйнування місць проживання видів, надмірної експлуатації окремих видів (масовий відстріл тварин, хижацьке рибальство, вирубування цінних видів дерев), екстенсивного нарощування масштабів сільськогосподарської діяльності (передусім розорювання цілинних земель і лісових масивів), глобального техногенного забруднення біосфери. За сучасними оцінками, темпи вимирання видів внаслідок антропогенної діяльності перевищують темпи природного вимирання у сотні й тисячі разів, і навіть якщо ці темпи залишаться на нинішньому рівні (а поки що вони нарастають), то через 50-100 років планета втратить від 25 до 50% сучасної видової різноманітності. Мільйони (а можливо, й десятки мільйонів) видів рослин і тварин можуть зникнути швидше, ніж людство дізнається про їхнє існування.

Збереженню біорізноманіття, крім Міжнародної Червоної книги, служить **Світовий Червоний список** тварин і рослин, яким загрожує зникнення. Червоний список видається МСОП з 1963 року і є всеосяжним збірником відомостей про охоронний статус рослин і тварин в усьому світі. Червоний список МСОП (IUCN Red List of Threatened Species) побудовано на суворих критеріях оцінки статусу видів та ризику їхнього зникнення. Ці критерії є універсальними і можуть бути застосовані для будь-якого виду в будь-якому регіоні світу. Метою Червоного списку є визначення і оприлюднення ступеня загрози для існування тих чи інших видів, а також надання відомостей, необхідних для збереження біологічних видів, усім, кого це може стосуватися.

Загалом, Червоний список МСОП вважається найбільш авторитетним джерелом оцінки статусу світового біорізноманіття. Види у Червоному списку МСОП класифіковані на дев'ять категорій за такими ознаками, як швидкість скорочення чисельності, розміри популяції, величина ареалу і ступінь його розчленованості. Це, зокрема, такі категорії видів: зниклий повністю; зниклий у природі; перебуває під критичною загрозою; перебуває під загрозою; уразливий; близький до загрозливого стану; перебуває під невеликою загрозою; відомості недостатні; досліджений.

Необхідність охорони світових біотичних ресурсів відображена у багатьох міжнародних угодах, зокрема Конвенції про водно-болотні угіддя, що мають між-

народне значення як середовища існування водоплавних птахів (Рамсарська конвенція, 1971); Конвенції про міжнародну торгівлю рідкісними видами дикої фауни і флори, які перебувають під загрозою зникнення (1973); Всесвітній стратегії охорони природи (1978); Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (Бернська конвенція, 1979); Європейському Червоному списку тварин, що перебувають під загрозою зникнення у світовому масштабі (1991); у Червоних книгах окремих країн.

1992 р. у Ріо-де-Жанейро (Бразилія) відбулася *Конференція ООН з питань довкілля і розвитку*, де брали участь лідери 179 держав світу, до яких приєдналися представники громадських, урядових, наукових, ділових та інших організацій – усього понад 400 тис відвідувачів. Конференція ухвалила п'ять основних документів: Декларацію про довкілля і розвиток, Порядок денний на XXI століття, Заяву про принципи управління, захисту і постійного розвитку всіх видів лісів, Рамкову конвенцію про зміну клімату та *Конвенцію про біорізноманіття*. Ця конференція вперше оголосила збереження біорізноманіття пріоритетним напрямом діяльності людства.

Біорізноманіття – це сукупність усіх живих організмів, їхньої мінливості й біологічних процесів. Рівні організації біорізноманіття включають гени, популяції, види, ареали мешкання, екосистеми та природні процеси, що їх підтримують. Щодо біотичних ресурсів, то вони є окремими елементами біорізноманіття, як гени або види. Збереження біорізноманіття сприяє стійкому економічному розвитку, розв'язанню соціальних проблем та охороні послуг, які надає оточуюче середовище. Серед напрямів збереження біорізноманіття головними є, наприклад, збалансоване використання земельних ресурсів; боротьба із скороченням площ лісів; невиснажливе використання природних екосистем; раціональне ведення сільського господарства; зниження рівня техногенного забруднення води, ґрунту й повітря; раціональне використання ресурсів моря тощо. Усі вони входять до глобальної концепції стратегії і тактики виживання людства.

Існує також система специфічних заходів захисту біорізноманіття. Це, передусім, заповідна справа і так звана «біоконсервація». *Заповідна справа* – це теорія і практика організації та збереження заповідних територій різних рангів. На заповідних територіях охороняються як окремі носії біорізноманіття – популяції, види, екосистеми, так і середовище проживання у цілому. Ранг заповідної території визначається науковою значущістю охоронюваних об'єктів та її площею.

Проте навіть розвинена мережа заповідних територій не зможе забезпечити збереження усього біорізноманіття планети. *Біоконсервація* належить до новітніх

напрямів біоекології і є системою заходів, спрямованих на збереження генетичної і видової різноманітності шляхом збереження популяційних і видових генотипів окремих особин поза природними місцями проживання – у зоопарках, ботанічних садах, у колекціях культур тощо. Біоконсервація розглядається як остання лінія захисту генетичного і видового біорізноманіття. Нині людство «законсервувало» для нащадків близько 10% відомої науці біоти. Однак біоконсервація поки що не може стати гарантом збереження біорізноманіття.

Законсервувати будь-який вид дуже складно з наукової і технічної точки зору. Але незмірно складнішою справою є розконсервація виду і повернення його у природу. Вид, випущений «з пробірки» у природу, зазвичай поводить себе непередбачувано, адже він потрапляє до системи з іншими зв'язками. Найчастіше такий вид не встигає пристосуватися до свого оточення і стає легкою здобиччю для хижаків, субстратом для хвороб або їжею для паразитів. Якщо ж він виявляється здатним протистояти цьому тискові, то здебільшого сам стає агресором: витісняє види аборигенної флори чи фауни, стрімко розселяється, створює різні біологічні перешкоди. Подібні наслідки називають «екологічними вибухами».

По всьому світу створені й продовжують створюватися спеціальні природоохоронні території і об'єкти. Основними критеріями приналежності тієї чи іншої території до категорії природоохоронних є такі:

- У *Характер і основна мета* режиму використання території. Цей критерій визначає декілька варіантів – це може бути абсолютне вилучення певної території з господарського використання, обмеження експлуатації окремих природних ресурсів з метою наукової чи туристичної діяльності, відновлення деяких природних ресурсів, охорона конкретних об'єктів історичного чи меморіального значення тощо.
- У *Ступінь складності охоронюваного об'єкту*. Тут також існує безліч варіантів – від окремого компоненту природної екосистеми до екосистеми в цілому; від конкретного виду природних ресурсів – до цілого їхнього комплексу.
- У *Тривалість введення обмежувального режиму*. Режим заповідання (повний або частковий) може бути застосований на необмежений термін або тимчасово.

Природоохоронні території (ПОТ) різняться за ступенем суворості заповідного режиму. Відповідно до класифікації МСОП, більшість ПОТ світу поділяються на шість категорій. Найсуворішим заповідним режимом (І категорія) відрізняються *природні резервати суворого режиму (Strict Nature Reserve)* – ділянки суші або водного простору з важливими або репрезентативними екосистемами, призначені головним чином для наукових досліджень і екологічного моніторингу. До

цієї категорії ПОТ належить, зокрема, перший заповідник Казахстану «Аксу Джабагли», створений у 1926 р. (Рис. 92). На західному узбережжі Мадагаскару розташований природний резерват «Green Bema Raha», відомий своїм «кам'яним лісом» (Рис. 93).

Об'єктами збереження у суворих природних резерватах є мало порушені природні території достатнього розміру, назавжди позбавлені антропогенного впливу, що охороняються у дуже суворому режимі. Тут повністю заборонені усі види господарського використання природних ресурсів, чисельність тварин не регулюється, біотехнічні заходи не проводяться, туризм обмежений або повністю заборонений. Природні резервати (від лат. *reservatus* – збережений) також є формою збереження генофонду планети. Їхня організація має відповідати таким основним вимогам:

- території мають бути мало зміненими господарською діяльністю;
- у складі природних екосистем мають бути рідкісні види флори і фауни;
- території мають максимально відповідати еталонам природних зон;
- розміри територій мають бути достатніми для саморегуляції природних процесів;
- першочергово заповідаються еталони тих ландшафтів, яким загрожує зникнення.



Рис. 92. Природний резерват Аксу Джабагли (Казахстан)



Рис. 93. Природний резерват Green Bema Raha (Мадагаскар)

Від природних резерватів відрізняються національні парки, де природоохоронні функції сполучаються з туризмом і рекреацією. *Національний парк* є природоохоронною територією категорії II згідно з класифікацією МСОП. Основною метою створення національних парків є організація відпочинку там, де природні ландшафти добре збережені. Але рекреаційні функції ні у якому разі не повинні

переважати над природоохоронними. Виходячи з цього, основними завданнями створення національних парків є такі:

- збереження репрезентативних екосистем планети;
- підтримка біорізноманіття на різних рівнях;
- збереження генетичних ресурсів тварин і рослин;
- проведення наукових досліджень та екологічного моніторингу;
- організація туризму і відпочинку населення.

Найстарішим у світі є *Єллоустонський* національний парк, створений у 1872 р. в США, площею у 900 тис га (Рис. 94). 1879 р. був заснований Королівський Національний Парк в Австралії. Першим канадським національним парком став Національний Парк Банф (також відомий як Національний парк Скелястих Гір), створений у 1885 р. (Рис. 95) Нова Зеландія створила свій перший національний парк у 1887 р. У Європі дев'ять перших національних парків були створені у Швеції в 1909 р. Після Другої світової війни національні парки були засновані по всьому світові. Найбільшим у світі є Північно-східний гренландський національний парк, заснований у 1974 році.



Рис. 94. Єллоустонський національний парк (США)



Рис. 95. Озеро Луїза в національному парку Банф (Канада)

За ступенем рекреаційного навантаження національні парки (НП) поділяють на такі типи:

- Υ *НП відкритого типу*, доступні для відвідування на усій або майже усій своїй території (таких небагато).
- Υ *НП курортного типу*, розташовані у межах кліматичних і бальнеологічних курортів. Доступ відвідувачів на територію відкритий або частково обмежений.

У НП *напівзакритого типу*, які переважають у більшості країн. Більша частина їхньої території закрита для відвідування і перебуває під охороною. Відкрита частина спеціально орієнтована на туристів.

У НП *закритого типу*, які своїм основним завданням вбачають охорону природи в інтересах науки. В них дозволяються окремі екскурсії на спеціально відведених для таких цілей територіях за певними маршрутами.

1970 р. на XVI сесії Генеральної конференції ЮНЕСКО було схвалено довгострокову наукову міжнародну програму «*Людина і біосфера*» (МАВ – «Man and Biosphere»), що стала одним з найвагоміших природоохоронних напрямів діяльності ЮНЕСКО. Програмою передбачається здійснення комплексних багаторічних досліджень впливу людства на біосферу, а також зворотного впливу змінених біосферних процесів на здоров'я людини. Саме за ініціативою ЮНЕСКО, а також ЮНЕП і МСОП, з метою спостереження, вивчення стану і антропогенних змін природного середовища у 70-ті роки ХХ ст. розпочалося створення *біосферних резерватів* у масштабах планети – унікальних ПОТ, якісно відмінних від усіх інших категорій. Основною метою їхнього створення стало здійснення глобального і регіонального екологічного моніторингу, прогнозування техногенного впливу на біосферу, міжнародне співробітництво у галузі контролю, охорони і збереження генофонду біосфери.

Біосферні резервати належать до всесвітньої глобальної мережі біосферних резерватів і створюються переважно на базі природних заповідників і національних парків з включенням до їхнього складу територій і об'єктів природно-заповідного фонду інших категорій. Для них встановлюється диференційований режим охорони і використання природних комплексів, тобто виділяються відповідні функціональні зони. Зокрема, обов'язково є *ядро*, або *заповідна зона*, призначена для збереження і відновлення найцінніших природних і мінімально порушених природних комплексів, генофонду рослинного і тваринного світу. Ядро оточує *буферна зона*, створювана для запобігання негативному впливу господарської діяльності прилеглих територій на ядро. Нарешті, є також *перехідна зона*, або *зона антропогенних ландшафтів*, яка включає території традиційного землекористування, місць поселення, рекреації та інших видів господарської діяльності. Світова мережа біосферних резерватів (World Network of Biosphere Reserves) постійно розширюється (Рис. 96). На 2014 рік у світі створено 631 біосферний резерват у 119 країнах, у т. ч. 14 транскордонних об'єктів (Рис. 97).

Серед інших категорій ПОТ – пам'ятки природи, водні й наземні охоронювані ландшафти, антропологічні резервати, об'єкти Світової природної спадщини,

території дикої природи. Вони різняться як за ступенем суворості заповідного режиму, так і за терміном заповідання. Наприклад, кожен об'єкт Світової природної спадщини (*World Heritage Site*) створюється відповідно до вимог Конвенції про всесвітню спадщину³⁶. До Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО належать природні й створені людиною об'єкти, які необхідно зберегти в силу їхньої особливої культурної, історичної чи екологічної значимості. Наприклад, архіпелаг Галапагоські острови у Тихому океані (провінція Галапагос у Еквадорі) ЮНЕСКО оголосила територією Всесвітньої Світової спадщини у 1978 р., а у 1985 р. – біосферним резерватом.



Рис. 96. Біосферний резерват Нгоро-Нгоро (Танзанія)



Рис. 97. Карпатський біосферний резерват (Україна)

У кожній країні світу, залежно від вимог національного законодавства, існують власні критерії виділення категорій ПОТ. Паралельно в усьому світі нині активно відбувається розбудова **екологічної мережі**, що поєднує у собі всі попередні системи охорони природи, пов'язує природоохоронну діяльність з різними секторами економіки (аграрним, транспортним, лісовим, туристичним тощо) і є основним елементом стратегії збалансованого розвитку будь-якої країни. Це якісно новий підхід до розв'язання споконвічної проблеми людства у взаємовідносинах з Природою, спрямований на забезпечення функціонування усіх природних компонентів довкілля як єдиної цілісної системи.

Найвищим рангом екологічної мережі є біосферний, найнижчим – локальний; крім цього, виділяють всеєвропейський (континентальний), національний і регіональний рівні екомережі. Прикладом екомережі континентального рангу є *Європейська екомережа (European Ecological Network)*, концепція якої була ухва-

³⁶ Конвенція про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини була прийнята 16 листопада 1972 р. у Парижі з метою сприяння охороні, збереженню та популяризації культурної і природної спадщини.

лена Радою Європи у 1992 р. На Конференції міністрів докіль країн Європи у Софії (1995) була затверджена Всеєвропейська стратегія збереження біологічного і ландшафтного різноманіття, головним напрямом реалізації якої має бути саме Європейська екомережа.

Європейська екомережа складається з базових елементів, основними з яких є *природні ядра*, або *осередки* (ядра біорізноманіття, ключові природні території), – території збереження генетичного, видового, екосистемного і ландшафтного різноманіття, середовищ існування організмів, а також видів і ландшафтів європейського значення. Їхня площа може бути різною залежно від збереженого різноманіття чи поширення рідкісних видів, але не менше 500 га для локальних природних ядер. Головними критеріями відбору природних ядер є такі:

- можливість їхньої інтеграції у Європейську екомережу (головний критерій);
- ступінь природності території та її різноманіття;
- наявність ендемічних, реліктових чи рідкісних видів рослин і тварин;
- репрезентативність і рідкісність різноманіття;
- оптимальність розміру і природність меж осередків;
- антропогенно змінені території, але багаті на різноманіття.

Ще одним базовим елементом є *екокоридори*, або *перехідні зони*, – просторові структури витягнутої конфігурації, які пов'язують між собою природні ядра. Отже, головним призначенням екокоридорів є забезпечення взаємозв'язків між природними екосистемами. Найбільш розповсюдженими екокоридорами є міграційні шляхи – це можуть бути долини річок або підніжжя височин. Ширина всеєвропейських екокоридорів не повинна бути меншою, ніж 15-20 км; а локальних – 500 м. Чим вузчий екокоридор, тим гірше він виконує своє основне призначення.

Відновлювані райони, або *території ренатуралізації*, – ці базові елементи призначені для відновлення порушених компонентів екосистем, середовищ існування і ландшафтів європейського значення. Це можуть бути осушені торфовища, вибиті луки, зріджені ліси тощо. Важливим базовим елементом є *буферні зони*, які оточують природні ядра, сприяють зміцненню мережі й захисту природних ядер (біоцентрів) від впливу негативних зовнішніх факторів. Зазвичай це території з регульованим режимом заповідання і господарювання. І ще один базовий елемент – *території природного розвитку*, призначені для посилення ефективності екомережі. Ними можуть бути території з рідкісними видами, розірвані частини екокоридорів, наприклад, ділянки цілинного степу на значній відстані від екомережі.

У 1992 р. Європейські Співтовариства прийняли Директиву про збереження природних оселищ та видів природної фауни і флори, скорочено – *Директива про*

оселища. Ця Директива доповнює іншу Директиву про охорону природних видів птахів, що була прийнята у 1979 р. Найважливішим інструментом виконання завдань Директиви про оселища є визначення територій, важливих для Європейського Союзу – об'єктів природи загальноєвропейського значення (Sites of Community Importance), які, разом зі спеціальними природоохоронними територіями (Special Protection Areas), визначеними відповідно до Директиви про охорону птахів, утворюють мережу NATURA 2000 (Рис. 98). NATURA 2000 – це мережа спеціальних природоохоронних територій, яка складається з природних середовищ існування видів.

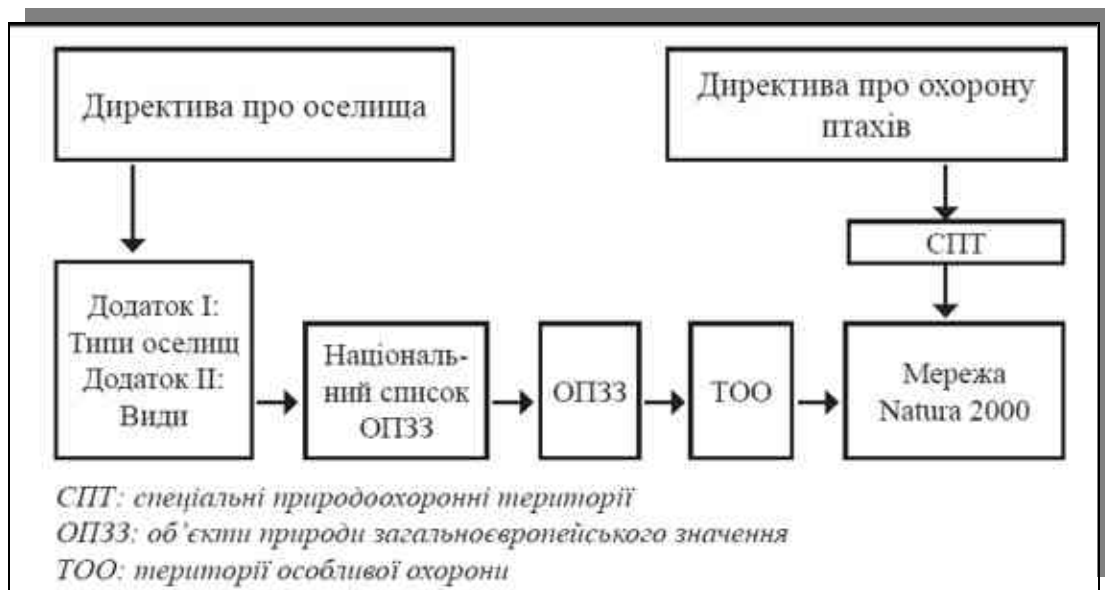


Рис. 98. Структурні елементи мережі NATURA 2000

Ще до виникнення ідеї про створення Європейської екомережі, у 1979 р., була підписана *Бернська конвенція з охорони європейської фауни, флори та природних місць існування*, головною метою якої є збереження дикої флори і фауни та їхніх природних екотопів. Для тих європейських країн, які не є членами ЄС, Бернською Конвенцією схвалюються відповідні резолюції Постійного комітету Конвенції про визначення так званих «територій особливого природоохоронного значення» (Areas of Special Conservation Interest). Це рідкісні середовища існування (екотопи) потребують спеціальних заходів збереження і є основою Смарагдової мережі (Emerald network) – аналогу програми «НАТУРА 2000». Смарагдові об'єкти – це ті види і оселища, які мають дуже високу міжнародну цінність, підтверджену урядами 52 країн і Європейським Союзом, які підписали Бернську конвенцію. Переважно Смарагдова мережа має те ж саме підґрунтя, що й NATURA

2000, але діє за межами ЄС, розвиваючи спільний європейський підхід щодо охорони природних оселищ.

Отже, зробимо висновки. Найважливішою властивістю біотичних ресурсів є здатність живих організмів до самовідновлення і самовідтворення на основі обміну речовин. На жаль, нині інтенсивність їхнього використання людиною значно перевищує природні можливості самовідновлення. Ключову роль у збереженні генофонду усіх живих істот планети має відіграти збереження рослинного покриву, який здійснює первинний синтез органічних речовин та є їжею для тварин.

Люди стали забувати, що тільки за умов різноманіття природа виявляється високопродуктивною. Не можна передбачити значення для людства того чи іншого виду у майбутньому. Тому необхідно прагнути зберегти усі види, які нині існують. Наукова і практична цінність реліктових і ендемічних тварин і рослин визначається тим, що багато з них є носіями стародавніх генетичних комбінацій, тобто становлять найцінніший генофонд флори і фауни. Багато питань філогенії³⁷, систематики, географії рослин і тварин не були б вирішені у повному обсязі, якщо б дослідники не мали у своєму розпорядженні усього різноманіття видів флори і фауни. У природі умови мешкання диких тварин і рослин постійно змінюються під впливом багатьох факторів, тому Червона книга будь-якого рівня – міжнародна чи окремої країни – не може бути стабільною. Червона книга – сигнал тривоги і збірка даних, що характеризують стан видів тварин і рослин, які потрапили у біду. Вона подає також рекомендації з їхнього відродження для подальшого існування, а у деяких випадках – хоча б для збереження у неволі або напіввільному утримуванні у «зоологічних банках».

Сукупність всіх екосистем біосфери становить екосистемне біорізноманіття планети. Воно величезне. Найбільша цінність екосистемної різноманітності полягає у сукупності зв'язків між елементами екосистем (видами) і абіотичними факторами середовища. Чим більше видове багатство екосистеми, тим вища її інформативність, тим краще збалансовані потоки речовини та енергії, тим злагодженіше працюють механізми її саморегуляції. Екосистеми є найбільш уразливим компонентом біологічної різноманітності планети. Випадіння з екосистеми навіть одного виду порушує систему стійких зв'язків, що складалася віками. Наприклад, вирубуючи ліс, людина використовує для своїх потреб лише деякі органи одного, рідше – кількох видів, а винищує при цьому сотні, а іноді й тисячі видів, супутніх домінантові.

³⁷ *Філогенія* (грец. φύλον – рід, плем'я і γεννάω – породжую) – історичний розвиток як окремих видів і систематичних груп організмів, так і органічного світу в цілому.

Маємо надію, що людство вже почало усвідомлювати хибність майже усіх своїх попередніх дій. Про це свідчать численні міжнародні угоди і конвенції щодо охорони і збереження біотичних ресурсів планети. А концепція екомережі по-новому організує збереження біологічного і ландшафтного різноманіття біосфери. Екологічна мережа має стати основним елементом стратегії збалансованого розвитку будь-якої країни, якісно новим підходом до розв'язання проблем взаємовідносин людства з природою.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Розкрийте прямий і опосередкований вплив людини на біотичні ресурси з початку їхнього використання.
2. У чому полягає універсальна цінність природної біоти для людини? Наведіть приклади.
3. Проаналізуйте негативний вплив антропогенних факторів на ліси. Які головні причини знеліснення вам відомі? Назвіть і обґрунтуйте головні екологічні наслідки знеліснення.
4. Чому, на вашу думку, саме рослинність степів зазнала найбільш руйнівного впливу з боку людини? Розкрийте основні напрямки використання дикорослих рослин.
5. Яким чином пов'язані зникнення видів рослин і тварин з деградацією екосистем? Обґрунтуйте.
6. Згадайте, чому виникла ідея і з чого розпочалося створення Червоної книги МСОП. Яке значення має Міжнародна Червона книга для збереження рідкісних і зникаючих видів рослин і тварин?
7. Назвіть відомі вам міжнародні угоди, спрямовані на охорону світових біотичних ресурсів.
8. Чому, на вашу думку, навіть розвинена мережа заповідних територій не зможе забезпечити збереження усього біорізноманіття планети?
9. Охарактеризуйте відомі вам категорії ПОТ. Чим вони відрізняються і що їх об'єднує?
10. Як створення Європейської екомережі сприятиме реалізації Всеєвропейській стратегії збереження біологічного і ландшафтного різноманіття? Обґрунтуйте.

6 ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЛЮДСТВА

«Якщо існуючі тенденції зростання чисельності населення світу, індустріалізації, забруднення навколишнього середовища, виробництва продуктів харчування і виснаження ресурсів залишаться незмінними, межі росту на нашій планеті будуть досягнуті протягом найближчих 100 років».

«Межі зростання», перша доповідь Римського клубу, 1972

Будь-яке теоретичне або практичне питання, яке потребує дослідження і вирішення, ми називаємо *проблемою*. Якщо дослідження потребує певна сукупність обставин, то йдеться вже не про проблему, а про *проблемну ситуацію*. Екологічною проблема стає тоді, коли базується на дослідженні навколишнього середовища через умови проживання живих організмів, у тому числі людини. Екологічна проблема – це невирішене завдання, а не процес. Вона не може бути негативною чи позитивною як, наприклад, ситуація, обстановка, стан.

Отже, *екологічна проблема* – це який-небудь невивчений або слабо вивчений аспект взаємодії людини і навколишнього середовища, який потребує подальшого дослідження й вирішення. При цьому необхідно враховувати принаймні дві функції природного середовища – життєзабезпечення людства як частини живої природи і забезпечення суспільного виробництва необхідними природними ресурсами. Екологічні проблеми – це ті протиріччя, які виникають у системі речовинних, енергетичних, інформаційних зв'язків суспільства з природним середовищем, а також вплив цих протиріч на людину та умови її життєдіяльності.

Накопичення невирішених екологічних проблем може призвести (і часто призводить) до виникнення екологічної кризи. За визначенням М.Ф. Реймерса³⁸ (1990), *екологічна криза* – це напружений стан взаємин між людством і природою, що характеризується невідповідністю розвитку продуктивних сил і виробничих відносин суспільства ресурсно-екологічним можливостям біосфери. Екологічна криза характеризується не просто і не стільки посиленою дією людини на природу, але й різким збільшенням впливу зміненої людьми природи на суспільний розвиток. Сучасна екологічна криза має глобальний характер, оскільки охоплює всю біосферу. Вона є наслідком усієї сукупності господарської діяльності нашої цивілізації і проявляється у зміні характеристик природного середовища у масштабах планети.

³⁸ М.Ф. Реймерс (1931-1993) – радянський зоолог, еколог, один з головних учасників становлення заповідної справи в СРСР.

Політичні, економічні й соціальні проблеми, які зачіпають інтереси усіх країн і народів, усього людства, називають глобальними. Провісником глобалізації стала поява Великого шовкового шляху, що поєднав Китай і Римську імперію. Утворення власне глобального ринку розпочалося з Великих географічних відкриттів європейцями і підштовхувалося їхньою військово-політичною і економічною експансією на планеті. А реальні глобальні проблеми виникли на рубежі XIX і XX ст., коли в результаті колоніальних завоювань усі заселені території світу були поділені між провідними країнами й утягнуті у світове господарство. У цей час зародилася і перша глобальна політична криза, що вилилася у Першу світову війну.

Глобалізація (від лат. *globus* – глобус, земна куля) – процес всесвітньої економічної, політичної і культурної інтеграції та уніфікації. У вужчому розумінні – перетворення певного явища на планетарне, що стосується усієї Землі. Основними наслідками глобалізації є міжнародний поділ праці, міграція у масштабах планети капіталу, людських і виробничих ресурсів, стандартизація законодавства, економічних і технічних процесів, а також зближення культур різних країн. Це об'єктивний процес, який має системний характер, тобто охоплює всі сфери життя суспільства. В результаті глобалізації світ стає більш залежним від усіх його суб'єктів. Відбувається збільшення як кількості спільних для груп держав проблем, так і кількості інтегрованих суб'єктів. Глобалізація охоплює практично усі сфери суспільної діяльності, включаючи самі умови існування людства. Основні ознаки глобалізації такі:

- зміцнення зв'язків між найвіддаленішими куточками планети, небувале поширення по всій планеті ідей та інформації, технологій, культури, способу життя;
- зростаюча інтенсивність взаємозв'язків у різних сферах внаслідок розвитку всеосяжних систем транспорту і комунікацій;
- виникнення спільних для світового співтовариства проблем, стирання граней між місцевими і всепланетарними подіями.

Серед усіх нинішніх глобальних проблем (політичних, економічних, демографічних, соціальних, екологічних) найнебезпечнішими для людства є політичні проблеми. Це, зокрема, гонка озброєнь, економічне і політичне протистояння Сходу і Заходу, Півночі й Півдня; регіональні релігійні й військово-політичні конфлікти. На друге місце вийшли екологічні проблеми: знищення природних ресурсів, забруднення довкілля, збіднення генофонду біосфери.

Дуже різноманітними є демографічні проблеми у різних регіонах світу. Для країн третього світу характерний «демографічний вибух», а у розвинених країнах

спостерігається старіння і депопуляція населення. Численні соціальні проблеми (охорона здоров'я, освіта, наука і культура, соціальне забезпечення) для свого вирішення вимагають значних коштів і підготовки кваліфікованих спеціалістів. Найбільших успіхів за останні десятиріччя людство досягло у розв'язанні глобальних економічних проблем. Проте у багатьох регіонах світу ці проблеми, так само, як і ще одна – продовольча проблема, є дуже гострими. Усе більшої актуальності набувають такі міжгалузеві проблеми, як освоєння Світового океану та Космосу.

Майбутнє цивілізації формують стійкі й добре відомі тенденції – зростання чисельності населення, підвищення температури, падіння рівня ґрунтових вод, скорочення посівних площ на душу населення, зменшення площ лісів, втрата рослинних і тваринних видів, енергетична криза тощо. Серед усіх тенденцій на розвиток світової економіки протягом наступного півстоліття може найсильніше вплинути передбачуване зростання населення, поглиблюючи при цьому майже усі інші глобальні проблеми.

Чисельність населення планети з початку XX ст. зросла більш як утричі, а площі, зайняті рослинністю – джерелом виробництва кисню, скоротилися за цей час на третину. Ерозія щорічно руйнує майже 26 млрд га родючих ґрунтів. За останні 100 років уміст в атмосфері вуглецю збільшився у 10 разів. І це не дивно, адже за останні 30 років було знищено 50% тропічних лісів Азії та Латинської Америки. Через забруднення атмосфери пошкоджено більше половини дерев у ФРН та інших країнах Західної Європи. З'явилася реальна загроза ще більшого посилення парникового кліматичного ефекту. Бурхливе зростання населення у країнах, що розвиваються, тягне за собою низку інших проблем. Сотні мільйонів людей, як і раніше, приречені на голод і злидні, 40% населення неписьменні. Близько 800 млн чоловік, які мешкають у цих країнах, постійно недоїдають. Країни, що розвиваються, й досі залишаються глобальним осередком напруженості й воєнних конфліктів.

Виходячи з цього, можна визначити *глобальні проблеми* як загальносвітові, такі, що зачіпають інтереси всіх націй і держав, усіх класів, соціальних груп, політичних партій, суспільних організацій і кожної людини зокрема. Проблеми визнаються глобальними, якщо вони:

- Ї Мають загальносвітовий або міжрегіональний характер.
- Ї Загрожують життю усього людства або викликають регрес в умовах життя усього людства.

У Потребують невідкладних заходів та рішучих колективних дій світового співтовариства.

Як будь-яке соціальне явище, глобальні проблеми вимагають систематизації і класифікації. Пропонується їхній загальний поділ на дві великі групи. Перша група об'єднує ті проблеми, що діють у системі «людина – природа», друга – ті, що діють у системі «людина – людина» (Табл. 14).

Табл. 14. Загальний поділ глобальних проблем людства

Проблеми, що діють у системі «людина – природа»	Проблеми, що діють у системі «людина – людина»
Життєзабезпечення зростаючого населення Землі – продовольча, енергетична, сировинна, демографічна проблеми.	Проблеми ліквідації відсталості (економічної, культурної тощо) країн, що розвиваються.
Захист навколишнього середовища – екологічні проблеми.	Проблеми удосконалення освіти, інформатики, розвитку і примноження духовної культури.
Проблеми освоєння космічного простору і Світового океану.	Проблеми боротьби із злочинністю, наркомафією і міжнародним тероризмом.
Проблеми запобігання стихійним лихам і боротьби з їхніми наслідками.	Проблеми боротьби проти небезпечних захворювань із соціальним забарвленням (СНІД).
	Проблеми збереження миру в усьому світі.

Інша класифікація передбачає поділ існуючих глобальних проблем на групи за характером. Першу групу утворюють проблеми переважно *соціально-політичного* характеру – відвернення ядерної війни; мирне розв'язання регіональних, міждержавних і міжнаціональних збройних конфліктів; зміцнення системи загальної безпеки. До другої групи належать проблеми *соціально-економічного* характеру – подолання економічної і пов'язаних із нею культурної відсталості й зубожіння; пошук шляхів розв'язання енергетичної, сировинної і продовольчої кризи; оптимізація демографічної ситуації, особливо у країнах, що розвиваються; освоєння у мирних цілях навколоземного простору і Світового океану.

Третя група – *екологічні* проблеми, зумовлені забрудненням навколишнього середовища, необхідністю раціональнішого використання природно-ресурсного потенціалу планети. І нарешті, до четвертої групи належать *проблеми людини*, зокрема забезпечення соціальних, економічних, індивідуальних прав і свобод; боротьба з голодом, епідемічними захворюваннями, культурною відсталістю; подолання відчуженості людини від природи, суспільства, держави, інших людей і результатів власної життєдіяльності.

Кожен поділ проблем дає можливість прослідкувати взаємозв'язки як усередині цих груп, так і між ними, бо кожна з проблем переплітається і взаємодіє з іншою. Скажімо, будь-які зусилля, спрямовані на захист довкілля, втрачають сенс,

якщо людство буде вкинуте у вогнище термоядерної війни; розв'язання ж екологічних проблем великою мірою залежить від вирішення проблем бідності й відсталості, адже безупинне винищення багатьох видів тварин і рослин продовжуватиметься доти, доки не зменшиться зовнішня заборгованість країн, що розвиваються. Сучасне перенесення глобальних проблем ближче до центру політичного життя сприятиме розробці нових конструктивних програм щодо їхнього вирішення на міжнародному рівні.

З розвитком цивілізації і науково-технічного прогресу, бурхливим зростанням кількості населення на Землі, обсягів виробництва та його відходів проблеми стосунків між природою і суспільством дедалі загострюються. Страшною дійсністю стали голод, отруєні річки і моря, задушливе шкідливе повітря у великих промислових центрах, загублені ліси, сотні зниклих видів тварин і рослин, загроза кліматичних аномалій, ерозія і майже повне виснаження ґрунтів у аграрних районах. Як вважають міжнародні експерти, *першоджерелом і першопричиною бурхливого розвитку глобальної екологічної кризи є демографічний вибух*, що неодмінно супроводжується збільшенням темпів і обсягів скорочення природних ресурсів, нагромадженням величезної кількості відходів виробництва і побуту, забрудненням довкілля, глобальними кліматичними змінами, хворобами, голодом, і врешті-решт – вимиранням.

Отже, які глобальні екологічні проблеми є нині найбільш значущими? З розвитком енергетики, хімії, металургії і машинобудування світу почали загрожувати відходи від синтетичних пральних порошоків, нафтопродуктів, важкі метали, нітрати, радіонукліди, пестициди та інші шкідливі речовини, які не засвоюються мікроорганізмами, не розкладаються, а накопичуються тисячами тонн у ґрунтах, водоймах, підземних водах. Наслідками цього є ускладнення отримання необхідних речовин, енергії та інформації з природного середовища; забруднення довкілля відходами виробництва; порушення інформаційних зв'язків у природі, збіднення біологічного різноманіття; погіршення здоров'я населення, стану економіки, соціальної стабільності.

Проблема вичерпання та виснаження природних ресурсів. У світі багато природних ресурсів, контролювати і зберігати які неможливо зусиллями окремих держав. Вони або локалізуються у міжнародному просторі (відкрите море, Космос), або перемішуються між різними країнами і континентами. До них належать атмосферне повітря, ресурси Світового океану і прісної води, природні багатства Антарктиди, мігруючі тварини. Використовувати і охороняти їх можливо тільки за умови міжнародного співробітництва.

Існує реальна небезпека вичерпання або виснаження відомих і доступних для використання ресурсів Землі: залізної руди, міді, нікелю, марганцю, хрому, алюмінію, не кажучи вже про нафту й газ. Розв'язання цієї проблеми вимагає комплексного використання сировини, упровадження ресурсозберігаючих технологій, регенерації вторинних ресурсів. Позаяк розвиток виробництва невід'ємно пов'язаний з експлуатацією природних ресурсів, то у економічних і технічних рішеннях мають враховуватися екологічні аспекти. Особливо гострою при цьому є проблема раціонального розвитку енергетики.

Глобальна енергетична проблема. У сучасній структурі енергобалансу світової енергетики переважають традиційні енергоносії – нафта й газ, вугілля, уран. Розміщуються основні види палива на планеті вкрай нерівномірно. То ж цілком очевидно, що основні проблеми цієї системи господарства полягають у необхідності перебудови світової енергетики, зміни її структури, упровадження енергозберігаючих технологій, використання альтернативних джерел енергії. До того ж, розвиток енергетики неодмінно має загальмуватися, оскільки посилюється теплове забруднення – підвищення глобальної температури.

Проблема раціонального використання земельних ресурсів і виробництва продовольства. Розвиток аграрної сфери стимулюється загостренням демографічної ситуації на планеті й супроводжується посиленням антропогенного впливу на природне середовище. У окремих регіонах склалася вкрай напружена ситуація із забезпеченням населення продовольством, причиною чого є нерівність соціально-економічного розвитку країн і подекуди стихійні лиха. Такими регіонами є, наприклад, східна і центральна частина Африки, південна й південно-східна частини Азії; у Південній Америці – гірські райони Анд і Амазонія.

Але проблема забезпечення світу продовольством полягає не у тому, що у світі не вистачає продуктів харчування (на душу населення виробляється достатньо зерна, м'яса, цукру, овочів тощо), а у тому, що розміщення їхнього виробництва не збігається з географією попиту на продовольство. Північна Америка і Західна Європа мають надлишок харчових продуктів. Водночас у країнах, що розвиваються, продуктивність сільського господарства все ще занадто низька. Отже, шлях до розв'язання проблеми полягає у пошуку можливостей підвищення продуктивності сільського господарства, передусім країнами, що розвиваються.

Проблема використання ресурсів Світового океану – біологічних, мінеральних, енергетичних. Океан – це також «легені» планети. Він забезпечує основну частину регенерації кисню (на суходолі таку роль відіграють ліси) і є своєрідним регулятором температури на земній кулі. Господарська діяльність у Світовому

океані різко посилилася з другої половини ХХ ст. Зріс видобуток мінеральних ресурсів (нафта, газ, залізо-марганцеві конкреції, магній тощо), що супроводжується збільшенням забруднення океанів. До гранично допустимих меж наближається вилов риби та інших морепродуктів. Особливо забрудненими є такі акваторії Світового океану, як зона Карибського басейну, Північного, Балтійського, Середземного і Чорного морів, Перської затоки, вод біля південного узбережжя Японських островів.

На жаль, цей далеко не повний перелік глобальних екологічних проблем людства можна ще довго продовжувати. Особливе місце серед них посідає енергетична проблема, яка вже декілька десятиліть асоціюється з поняттям «енергетична криза». Тому розглянемо її детальніше.

6.1 Світова енергетична криза та її екологічні наслідки

*«Ми виходимо з епохи енергетичного «лузерства»,
коли енергетику вважали нецікавою всі, крім олігархів.
В енергетиці раніше цікавило одне – фінансовий потік.
Зараз ми дивимося інакше: енергетика – це величезний простір
для інновацій, творчості і демократизації».*

Роман Зінченко,
співзасновник Української мережі енергетичних інновацій Greencubator

Енергетика є основою світового господарства. Приблизно чверть усіх споживаних енергоресурсів витрачається у електроенергетиці. Інші $\frac{3}{4}$ припадають на промислове і побутове тепло, транспорт, металургійні й хімічні процеси. Щорічне споживання енергії у світі невинно зростає, адже стабільний прогрес економіки неможливий без постійного розвитку енергетики.

Життя – це передусім енергія, й історія розвитку цивілізації – це історія оволодіння технологіями одержання енергії. Первісна людина почала з використання відновних джерел енергії. Спочатку це була енергія спалення дров та іншої целюлозовмісної органіки, а також мала енергетика млинів і вітряків. Проте технічна революція стала можливою лише за умови переходу до невідновних (традиційних) джерел, на першому етапі – вугілля, на другому етапі – нафти й газу.

Отже, як відбувалася еволюція джерел енергії, які називають традиційними? Із самого початку і протягом майже усієї історії людства головним джерелом енергії була ручна праця. Певною мірою вона доповнювалася енергією домашніх тварин, води і вітру. Але тварини не можуть довго працювати без перерви, застосування водних коліс потребує наявності водойм, а вітряки крутяться не завжди

та з мінливою швидкістю. На початку XVIII ст., коли вже було винайдено багато машин, головною перешкодою до їхнього застосування стала нестача рухомої сили. Винахід парового двигуна наприкінці XVIII ст. став тим переломним моментом, який призвів до Промислової революції. Першим паливом для парових двигунів були *дрова*. Пізніше, із зростанням потреб у енергії і зведенням лісів, дрова було замінено на *вугілля*. Наприкінці XIX ст. саме вугілля стало головним енергоресурсом людини. Тоді й проявилися усі його недоліки – видобування вугілля є небезпечним, його незручно перевозити, а при спалюванні воно сильно забруднює атмосферу.

На початку XX ст. люди опанували буріння нафтових свердловин, навчилися переганяти нафту до бензину, дизельного пального чи мазуту, винайшли двигун внутрішнього згоряння. Порівняно з вугіллям *нафтопродукти* простіше транспортувати, а від їхнього згоряння менше відходів, серед яких немає попелу. Крім того, енергоємність³⁹ бензину значно вища, ніж вугілля. Тому в середині XX ст. нафтопродукти стали провідним енергоресурсом людства. *Природний газ (метан)*, який видобувається разом з нафтою або під час нафторозвідувальних робіт, при згорянні дає ще менше, ніж нафта, побічних продуктів і не розтікається поверхнею землі. Тому з екологічного погляду природний газ є найчистішим паливом.

Серед традиційних джерел енергії «наймолодшою» є ядерна енергія. Її активне використання розпочалося наприкінці 50-х років минулого століття. Нині *ядерне паливо* посідає друге місце за значенням в енергоресурсах техносфери. Головним його джерелом є викопний уран, більша частина якого у літосфері сильно розсіяна. Найголовнішими напрямками використання людиною паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) є такі:

- транспорт;
- промисловість – металургія, хімічний синтез, виготовлення готових виробів;
- температурний контроль – опалення і охолодження приміщень, гаряче водопостачання;
- виробництво електроенергії, необхідної для роботи електромоторів, освітлення, побутової і промислової електроніки.

Головним споживачем нафтопродуктів залишається транспорт; ядерне паливо служить лише для виробництва електрики і не може використовуватися на транспорті. У 70-ті роки XX ст. багато економічно розвинених країн вступили у смугу енергетичної кризи, тобто відставання видобування енергоресурсів від їх-

³⁹ *Енергоємність (теплота згоряння)* – кількість теплоти, що виділяється від повного згоряння одиниці маси чи об'єму палива.

нього споживання. В результаті розпочався активний пошук шляхів економії енергії та її альтернативних джерел. Нинішня невідповідність видобування енергоресурсів їхньому споживанню ще більша, ніж тоді, – ми споживаємо значно більше, ніж виробляємо. Структура споживання первинних енергоресурсів у світовому господарстві має приблизно такий вигляд: нафта – 34,2%; тверде паливо – 28,3%; природний газ – 22,3%; атомна енергія – 6,5%; решта – ГЕС та інші нетрадиційні джерела (Табл. 15).

США приблизно рівномірно споживають вугілля, газ і нафту, оскільки ці ресурси забезпечені переважно їхнім власним видобутком. Великобританія будує свою енергетику передусім на природному газі, який вона добуває у великій кількості; у Канаді переважає гідроенергія – за цим показником вона є світовим лідером. Японія і Франція свою незначну природну забезпеченість ПЕР частково компенсують за рахунок використання умовно національного енергоресурсу – ядерного палива. За прогнозами ОПЕК⁴⁰, ще мінімум два десятиліття нафта залишиться головним енергетичним ресурсом. Нині на нафту доводиться 33,1% від загального обсягу споживання енергоресурсів.

Табл. 15. Розподіл споживання основних енергоресурсів світу

Енергоресурс	Питома вага енергоресурсів, %			
	2008 р.	2010 р.	2020 р.	2030 р.
Нафта	35,7	35	32,7	30,2
Вугілля	28,6	28,8	29,2	28,5
Природний газ	22,7	22,7	23,5	24,5
Атомна енергія	6,3	6,4	6,2	6,4
Гідроенергія	2,4	2,5	2,7	2,8
Біопаливо	3,8	4	4,7	5,4
Інші ВДЕ	0,6	0,7	1,2	2,1

Родовища викопних видів палива на планеті розташовані дуже нерівномірно. Завдяки сприятливим природним умовам найпотужніші товщі вугілля накопилися у Північній півкулі. Приблизно 43% вугілля сконцентровано на території пострадянських держав, 29% – у Північній Америці, 14,5% – у Китаї, Індії та інших азійських країнах і 5,5% – у Європі. На решту світу припадає лише 8% запасів вугілля. Найбільшими вугільними басейнами світу є Аппалачський (США), Рурський (Німеччина), Сілезький (Польща), Кузнецький (Рис. 99), Кансько-Ачинський, Тунгуський (Росія), Фушунський (Китай). У Південній півкулі значні

⁴⁰ ОПЕК – Організація країн-експортерів нафти (OPEC – The Organization of the Petroleum Exporting Countries) – картель, створений нафтовидобувними державами для стабілізації цін на нафту.

поклади вугілля є лише у Південній Африці й Австралії. За попередніми даними геологічної розвідки, основні запаси вугілля цієї півкулі зосереджені під льодовиковим щитом Антарктиди.



Рис. 99. Вугільні розрізи Кузбасу

Подібно до вугілля, нафта й газ концентруються також здебільшого у Північній півкулі. Основні поклади нафтогазової сировини, на відміну від вугілля, зосереджені у країнах, що розвиваються, зокрема у районі Перської затоки і Карибського моря. На Близькому і Середньому Сході найбагатшими на ці види паливних ресурсів є Саудівська Аравія, Ірак, Кувейт, Іран і ОАЕ. У Латинській Америці головні запаси містяться у надрах Венесуели і Мексики. Значні запаси нафти зосереджені у Росії, США, Китаї, Лівії і Норвегії. Найбільша частка світових запасів газу (43%), як і раніше, припадає на Близький Схід; 29,1% – на країни пострадянського простору (у т. ч. 17,6% – на Росію), близько 10% – на Америку, 8,2% – Азіатсько-Тихоокеанський регіон, 7,7% – Африку. Найменше запасів газу містять родовища країн ЄС.

Ще можуть бути відкриті нові великі родовища. Не повною мірою оцінені великі поля родовищ нафти й газу, розташовані на континентальному шельфі морів Північної півкулі. Але навіть найоптимістичніші прогнози показують, що за сучасних темпів видобутку, запаси нафти й газу будуть використані ще у XXI ст. Прогнозувати ресурси викопного палива доволі складно через надто непевні передбачення щодо темпів розвідки і збільшення витрат енергії. Якщо взяти за основу дані російського академіка Є.П. Веліхова (1999) про обсяги вугілля, нафти і газу, які є розвіданими, і прогнозовані витрати на 2020 р., то запасів газу мало б вистачити ще на чверть століття, нафти – на 40 років, а вугілля – на 175 років.

Таким чином, людство поставлене перед необхідністю шукати нові джерела добування енергії. Інша, не менш важлива причина полягає у тому, що більшість

енергії нині одержується із джерел і за технологіями, які значно забруднюють навколишнє середовище. Коли країнам забракло власних запасів енергоносіїв і вони почали їх експортувати, важливим чинником стали політичні важелі. Нарешті, концентрація промисловості й різке погіршення умов проживання населення внаслідок забруднення довкілля різко посилили вагомість екологічних факторів. Саме ці фактори є вирішальними у пошуках нових енергетичних технологій.

Найчистішою галуззю енергетики вважається *гідроенергетика*, оскільки у процесі роботи гідроелектростанцій (ГЕС) не забруднюється довкілля. До того ж, гідроелектроенергія є однією з найдешевших. Це надзвичайно важливий компонент енергосистем, оскільки дозволяє, завдяки переривчастому режиму роботи ГЕС, гасити пікові навантаження у енергосистемі. У той же час резерви екологічно доцільного потенціалу гідроенергії у провідних країнах практично вичерпані. Крім цього, будівництво ГЕС завжди пов'язано з певним втручанням у навколишнє середовище і необхідністю використання значних обсягів металу, цементу тощо, виробництво яких також негативно впливає на довкілля.

Атомна енергетика, на яку свого часу покладали великі надії, вже третє десятиліття не може вийти з кризового стану. Після Чорнобильської катастрофи, завдяки потужним зусиллям фахівців, атомні електростанції (АЕС) стали достатньо безпечними і надійними, що нині є головною запорукою функціонування атомної енергетики. З іншого боку, ретельне дотримання правил експлуатації дозволяє атомній енергетиці відповідати нормативним вимогам щодо охорони довкілля. Моніторинг свідчить, що у прилеглих до АЕС районах радіаційний фон не перевищує природних величин. За екологічними показниками урановий паливний цикл може бути прирівняний до циклу газових електростанцій і суттєво нижчий за цикл на мазуті, а тим більше – на вугіллі. АЕС не прив'язана до паливних джерел, тобто витрати на транспортування уранових паливних елементів не становлять суттєвої частки у загальній собівартості отриманої енергії.

Проте, крім потенційної аварійності, у «чорному списку» атомної енергетики є й кілька інших «записів». Це, наприклад, питання утилізації радіоактивних відходів, нагромадження яких триває. Енергоблоки, що нині працюють на АЕС, старіють, наближаються терміни їхнього виведення з експлуатації. І хоча у світовій практиці обґрунтовується подовження строку експлуатації енергоблоків першого покоління до 40 років, а другого покоління – до 50 років, ядерна енергетика втратила свою перевагу щодо прогностичних оцінок нових генеруючих потужностей у більшості країн, внесених до звіту Міжнародної агенції з атомної енергії (МАГАТЕ) та Міжнародного енергетичного агентства (МЕА). Виробництво елек-

троенергії на АЕС вже не є абсолютно вигідним, як це було ще 10-15 років тому. Дедалі більше посилюється рух за абсолютну відмову від АЕС. На політичному рівні такі рішення вже прийняті у Швеції та Німеччині. Нарешті, за нинішньої технології повільних нейтронів наявних запасів урану вистачить не більше, ніж на 100 років. Цим пояснюється стагнація у розвитку атомної енергетики у останнє десятиліття. Лише у двох країнах частка електроенергії, отримуваної на АЕС, перевищує 75% (Литва і Франція), ще у 10 країнах (Швеція, Україна, Словаччина, Болгарія, Корея, Швейцарія, Словенія, Японія, Угорщина та Іспанія) ця частка перевищує 30%.

Отже, основою електроенергетики світу поки що є *теплова енергетика*, тобто теплоелектростанції (ТЕС), на яких використовується органічне паливо (вугілля, мазут, природний газ). Нові розробки щодо підвищення економічності й безпеки ТЕС для довкілля спрямовані на покращення технічних показників топок, застосування киплячого шару тощо, а також на використання комбінованого парогазового циклу, що дає можливість суттєво підвищити ККД. Використання природного газу дозволяє значно зменшити кількість небезпечних викидів у навколишнє середовище, однак обмеженість його ресурсів зумовлюють спалювання газу переважно у години пікових навантажень.

Неможливість відмови від спалювання на ТЕС вугілля, яке є найбільшим забруднювачем довкілля, може бути компенсована застосуванням нових технологій *газифікації вугілля*. Їхньому широкому впровадженню заважають високі капітальні витрати. У розвинутих країнах застосовується практика *комбінованого* використання різних типів палива. Перша комерційна парогазова установка з прямоточним котлом-утилізатором була введена у експлуатацію у 2000 р. на ТЕС Agawam (США). Вона розрахована на спалювання зрідженого природного газу і приблизно на 40% економніша за інші, має нижчі викиди CO₂ і концентрацію у викидах оксидів азоту завдяки денітрифікаційній станції. Коли головною тенденцією енергетики провідних країн світу став перехід на парогазові турбіни, відбувається поступове падіння використання вугілля. Але і американські, і європейські фахівці розуміють, що тривале забезпечення країн електроенергією має базуватися на використанні вугілля, запаси якого суттєво перевищують запаси природного газу.

Таким чином, статус-кво, що склався останнім часом між основними світовими гравцями енергетичного ринку, не може бути тривалим. Чому? *Потреби у енергії зростають, передусім за рахунок країн, що розвиваються. Гідроенергетичні ресурси обмежені. Широко упроваджена атомна технологія має тепер пога-*

ну репутацію і обмежені ресурси урану. Проблема обмежених ресурсів викопного органічного палива ще гостріша, а найцінніше енергетичне джерело – природний газ – має вичерпатися у першу чергу. З іншого боку, використання органічного палива спричинює значні викиди у довкілля CO_2 (небезпека глобального потепління), токсичних SO_2 і NO_x , а також пилу. Це і є головні причини виникнення глобальної енергетичної кризи.

Увесь світ шукає шляхи виходу з цієї енергетичної кризи, тобто інші джерела одержання енергії, а також розробляє новітні технології використання джерел традиційних. Розглянемо їх і ми.

6.2 Шляхи подолання енергетичної кризи

Сталий розвиток суспільства можливий лише за умови подолання глобальної енергетичної кризи. Нині існує принаймні два головні шляхи. Перший – це енергозбереження, а другий – упровадження і використання нетрадиційних (альтернативних) та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Почнемо з першого. *Енергозбереження* – це зменшення споживання енергії за рахунок використання меншої кількості енергетичних послуг. Це може бути скорочення шляху теплоносія від виробника до споживача теплової енергії (наприклад, встановлення міні-котельні безпосередньо у будинку). Одним з найважливіших аспектів енергозбереження є енергоефективність. У чому різниця між енергоефективністю і енергозбереженням? Поняття «енергоефективність» означає досягнення певного результату, наприклад, опалення будинку з використанням меншої кількості енергії, ніж потрібно зазвичай. Будівля, яка споживає менше енергії для забезпечення умов більшого комфорту, є більш енергоефективною. Енергоефективні пристрої – це такі системи подачі тепла, вентиляції, електроенергії, які можна налаштувати вмикатися при перебуванні людини у приміщенні та вимикатися за її відсутності.

Наприклад, менше користуватися авто – це енергозбереження, а пересісти на авто з меншою витратою палива – це енергоефективність. Відключення електроприладів замість їхнього залишання в режимі очікування – це також енергозбереження. Енергозбереження головним чином направлене на зменшення споживання енергії, а енергоефективність – це корисна, ефективна витрата енергії. Але і енергозбереження, і енергоефективність є засобами зменшення використання енергії. Різні напрями енергозбереження вже широко використовуються в усьому світі – це, зокрема, скорочення витрат автомобільного пального, упровадження у виробничі процеси енергозберігаючих технологій, покращання термоізоляції при-

міщень для зниження енерговитрат на опалення і охолодження, заміна традиційних електричних ламп на люмінесцентні й світлодіодні.

Перспективним напрямом енергозбереження є *когенерація* – комбіноване виробництво тепла і електроенергії. Електрику зазвичай виробляють на електростанціях, де 60-70% енергії палива втрачається у вигляді тепла. На опалення іде додаткове паливо. Когенерація передбачає розміщення електрогенератора разом з його джерелом енергії безпосередньо у кожній будівлі. Якщо при цьому використовувати тепло, яке виділяється у процесі отримання електрики, для опалення та гарячого водопостачання, можна заощаджувати до 30% і більше палива. Отже, когенерація має високу ефективність.

Ефективність когенерації доведена практикою експлуатації традиційних ТЕЦ, що є одним з технічних рішень технології когенерації. З успішним розвитком газотурбінних і газопоршневих двигунів як приводів електрогенераторів, з'явилася можливість упровадження інших технічних рішень у когенераційних технологіях з коефіцієнтом використання палива 80-90%. Технічні, економічні, екологічні й соціальні переваги когенерації порівняно з роздільним виробництвом теплової і електричної енергії очевидні. Крім того, в умовах ринку децентралізація генеруючих станцій збільшує енергетичну безпеку, незалежність регіонів і окремих підприємств, посилює конкурентні відносини у енергетиці.

Згідно з Кіотським Протоколом 1997 р., уряди промислово розвинутих країн взяли на себе зобов'язання із скорочення викидів парникових та інших шкідливих газів у довкілля. Найліпшим засобом досягнення цієї мети є когенерація, тому в багатьох країнах розвиток і упровадження когенераційних технологій регулюються на державному рівні. Якщо за допомогою когенераційних потужностей компенсувати відпрацьовані потужності теплових електростанцій, то на кожній тисячі мегават можна економити понад 1,5 млн т умовного палива (у. п.) на рік. Комбіноване виробництво теплової і електричної енергії дозволяє зменшити викиди парникових газів до 500 кг на кожну МВт/год. виробленої електроенергії. На ту ж 1000 МВт когенераційних потужностей це дає зменшення викидів біля 5 млн т щороку.

Отже, найефективнішою технологією виробництва електричної і теплової енергії з органічного палива є когенерація і тригенерація. Когенераційні установки на базі газопоршневих двигунів мають найвищу ефективність перетворення енергії палива на електричну (Рис. 100). Наприклад, для сучасних установок виробництва General Electric Jenbacher (світовий лідер у виробництві газопоршневих двигунів і електростанцій), електричний ККД становить 43%, а з урахуванням

утилізації тепла коефіцієнт використання палива досягає 90%. Це дає змогу мати мінімальну паливну складову у собівартості виробленої електроенергії і, відповідно, кінцевої продукції.

Тригенерація – це організація одразу трьох енергій: електрики, тепла і холоду. Тригенерація є вигіднішою порівняно з когенерацією, оскільки дає можливість ефективно використовувати утилізоване тепло не тільки взимку для опалення, але й влітку для кондиціювання приміщень чи для технологічних потреб. Такий підхід дозволяє використовувати генеруючу установку цілий рік, тим самим не знижуючи високий ККД енергетичної установки у літній період, коли потреби у виробленні тепла знижуються (Рис. 101).



Рис. 100. Когенераційна установка



Рис. 101. Схема тригенерації з використанням абсорбційного чиллера на скиданій гарячій воді

На деяких молокопереробних підприємствах використовують когенераційні і тригенераційні технології для власного комбінованого виробництва дешевої електричної і теплової енергії. Природний газ спалюють з максимальною ефективністю у когенераційних газопоршневих установках, а теплову енергію перетворюють на холодоносії для використання у технологічних виробничих процесах молокозаводу. Холод використовується у технологічних процесах виробництва та зберігання сировини і продукції. Технічні особливості абсорбційних чиллерів⁴¹ дають змогу одержувати лід-воду з температурою 5-10°C, тому для камер схову продукції доцільно використовувати компресійну холодильну техніку, а потреби технологічних процесів у холоді (лід-воді) можна забезпечити абсорбційними чиллерами, що працюють у комплексі з когенераційними модулями. Застосування

⁴¹ Абсорбційний чиллер – промислова холодильна установка, призначена для відбору і видалення надлишкового тепла і підтримання заданого оптимального температурного і теплового режимів.

для молочних підприємств тригенераційних комплексів знижує витрати на енергоресурси, забезпечує незалежність виробництва від зовнішніх мереж енергопостачальних компаній. Різні країни світу по-різному упроваджують технології енергозбереження залежно від своїх економічних, екологічних, соціальних та інших можливостей, але всі усвідомлюють, що без цього подальший стійкий розвиток вже неможливий.

Ключовим інструментом енергетичної стратегії більшості розвинених країн стають *програми енергоефективності*. Зокрема, ЄС зобов'язався скоротити споживання енергоресурсів до 2020 р. на 20%, Японія планує зменшити споживання електроенергії на 10% до 2030 року. У той же час світовий попит на енергію до 2035 р. зросте більше, ніж на 30%, причому значна його частка припаде на країни, що нині бурхливо розвиваються – Китай, Індію, Бразилію. Тому увага інвесторів перемикається на нові ринки країн, що розвиваються, Африки, Південної Америки, Азії та Східної Європи.

Темпи зростання виробництва енергії нині перевищують темпи зростання населення Землі. Найгострішою проблемою сучасної енергетики є вичерпання її джерел. Нині майже 90% енергії людство отримує за рахунок органічних видів палива – нафти, вугілля, природного газу. Ці джерела енергії називають невідновними, бо швидкість їхнього нагромадження у надрах Землі набагато менша швидкості їхнього витрачання – приблизно у 106 разів.

Отже, людству необхідно все більше й більше енергії, отримати яку за рахунок невідновних джерел у недалекому майбутньому буде важко чи взагалі неможливо. Якщо врахувати геологічні запаси, які можуть бути своєчасно розвідані, а їхня експлуатація не затримується, то органічного палива може вистачити ще років на 100-150. При цьому тільки вугілля ще достатньо довгий час може зберігати своє місце у енергетичному балансі. Проте його використання супроводжується високим рівнем забруднення атмосфери. Ядерна енергетика, яка нині має значно більше сировинних ресурсів, ніж органічне паливо, уже не має особливих перспектив через високий ризик радіоактивного забруднення навколишнього середовища, що проявилось у серії техногенних аварій, особливо під час сумнозвісної Чорнобильської катастрофи.

Отже, розвиток суспільства потребує повільної ліквідації залежності від викопного палива, тому увага світової спільноти прикута до відновлюваних джерел енергії – тепла Землі, енергії вітру, припливів і відпливів, біогазу, сонячного випромінювання тощо. Практично усі ці види енергії повністю зумовлені прямою дією Сонця. І другим шляхом подолання сучасної енергетичної кризи (після енергозбереження) є перехід до використання альтернативних (нетрадиційних, віднов-

люваних) джерел енергії. Альтернатива (від лат. *alternatus* – один з двох, інший) – це необхідність вибору однієї з двох або декількох можливостей, що взаємно виключаються. Альтернативними джерелами енергії називають такі матеріальні засоби її виробництва, які можуть бути протиставлені основним як противага або заміна. Розглянемо їх детальніше.

6.2.1 Сонячна енергія

*«Зелена енергетика – єдиний бізнес,
у якому немає ризиків».*
Джордж Сорос

Сонце – невичерпне джерело енергії, потенціал якого людству ще належить гідно оцінити. Сонячна енергія – це кінетична енергія випромінювання (передусім світла), що утворюється в результаті термоядерних реакцій у надрах Сонця. Сонячна енергія є однією з тих альтернатив, ігнорування яких у недалекому майбутньому може призвести до катастрофічних наслідків для усього людства. Сонячна енергетика – прогресивний метод отримання різних видів енергії, використовуючи сонячне випромінювання.

Над технологічним використанням цього невичерпного джерела енергії людина почала замислюватися достатньо давно. Ще у 1515 р. італійський винахідник і художник Леонардо да Вінчі склав план застосування енергії Сонця у промисловості. У його записниках є малюнки декількох проектів гігантського параболічного дзеркала, призначеного «забезпечити теплом будь-яку котельню на фабриці». Перший сонячний двигун, що працював на нагрітому повітрі, був побудований у Франції 1600 р. Його використовували для перекачування води. Наприкінці XVIII ст. видатний французький хімік А. Лавуазьє (1743-1794) створив першу сонячну піч, температура у якій досягала 1780°C. Швейцарський учений Горацій де Соссюр одержав визнання за винайдений ним у 1767 р. перший у світі сонячний колектор. Відомий астроном Джон Гершель використовував його для приготування їжі під час експедиції у Південну Африку в 1830-х роках.

У США розвиток сонячної енергетики розпочався після громадянської війни 1861-65 рр. Під час свого просування на Захід американські першопрохідці залишали воду у чорних посудинах на весь день, а наприкінці дня у них була гаряча вода для готування вечері. Американський інженер шведського походження Джон Еріксон винайшов сонячний повітряний двигун, так звану «сонячну машину» (Solarmaschine), що збирала на спеціальному дзеркалі сонячні промені й служила безпосереднім джерелом тепла.

У 1866 р. французький винахідник Огюст Мушо створив перший параболічний сонячний колектор. 1869-го ним була реалізована ідея сонячної парової машини. 1870-го у Чилі було побудовано сонячний опріснювач морської води, який виробляв до 30 т прісної води на добу і працював понад 40 років. А 1875 р. Огюст Мушо представив у Французькій академії наук машину, що ясного дня видавала приблизно 2,3 л пари за секунду. Також він побудував у Алжирі кілька великих сонячних концентраторів і використовував їх для дистиляції води і приводу насосів. На всесвітній виставці у Парижі 1878 р. О. Мушо продемонстрував сонячну піч, у якій 0,5 кг м'яса можна було приготувати за 20 хвилин.

Французький інженер А. Піфф побудував паровий двигун потужністю 500 Вт з концентратором площею біля 10 м², що приводив у дію друкарський верстат у друкарні, де видавалася газета «Le Soleil» (Сонце). Апарат, що давав пар, фактично є предком нинішніх сонячних парових котлів. У 1883 р. електрик з Нью-Йорка Чарльз Фріттс сконструював перший модуль з використанням сонячної енергії, основою для якого послужив селен, покритий тонким шаром золота. Таке поєднання елементів дозволяє, хоч і у мінімальному обсязі (близько 1%), перетворювати енергію Сонця на електричну. У 1885 р. було запропоновано схему сонячної установки з плоским колектором для подачі води, причому він був змонтований на даху прибудови до будинку.

На початку 50-х років ХХ ст. був винайдений метод Чохральського⁴², який застосовується для вирощування кристалічного кремнію. У 1954 р. в лабораторії компанії «Bell Telephone» синтезували силіконовий фотоелектричний елемент з ККД 4%, надалі ефективність досягла 11%. 1958-го невеликі (менше 1 Вт) кремнієві фотоелектричні батареї живили радіопередавач американського космічного супутника «Авангард». Під час нафтової кризи 1973-74 рр. одразу декілька країн запустили програми щодо використання фотоелементів. Це привело до установки і випробування понад 3100 фотоелектричних систем лише у Сполучених Штатах, багато з яких експлуатуються й досі.

Із середини 1970-х років ККД сонячних елементів «завмер» на рубежі 10-11% майже на два десятиліття. Для космічних кораблів цього цілком вистачало, а для наземного використання виробництво вельми дорогих сонячних батарей порівняно із спалюванням дешевої нафти виглядало недозволеною розкішшю. Як слідство – більшість розробок нових технологій у сфері сонячної енергетики були згорнуті, а фінансування тих, що залишилися, сильно скорочено. І лише з початку

⁴² Ян Чохральський (1885-1953) – польський хімік, винахідник методу вирощування монокристалів з розплаву.

90-х рр. людство усвідомило необхідність їхнього поновлення. Вже до середини 90-х удалося підняти ККД сонячних елементів до 15%, а на початку XXI ст. – до 20%. Нині побутовими сонячними батареями покривають дахи будинків, що дозволяє істотно скорочувати рахунки за електроенергію. Це призводить до стрімкого зростання попиту на кремній.

Світлове випромінювання можна уловлювати і використовувати безпосередньо, коли воно досягає Землі, – це *пряме використання* сонячної енергії. Метод прямого перетворення сонячного випромінювання на електрику є, по-перше, зручним для споживача, оскільки отримується найбільш уживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод є екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідро-ресурси. Крім того, сонячна енергія забезпечує кругообіг води, циркуляцію повітря і накопичення органічної речовини в біосфері. Звернення людини до цих енергоресурсів стає уже *непрямим* (опосередкованим) використанням сонячної енергії.

Отже, Сонце є найпотужнішим джерелом екологічно чистої енергії. Середня кількість сонячної енергії, що потрапляє у атмосферу Землі, величезна – біля $1,353 \text{ кВт/м}^2$, або 178 000 ТВт. Набагато менша її кількість досягає поверхні Землі, а частка, яку можна використовувати, ще менша. Проте це такий ресурсний потенціал, який набагато перевищує потенціал викопних ресурсів. Обсяг енергії, яка щорічно віддається Землі Сонцем, у 15 тисяч разів перевищує річне споживання атомної енергії та енергії з викопних джерел.

Серед існуючих способів отримання електрики і тепла із сонячного випромінювання найбільш поширеними є такі:

- Υ Отримання електроенергії за допомогою *фотоелементів*.
- Υ *Геліотермальна енергетика* – нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені, подальший перерозподіл і використання тепла. Сонячне випромінювання фокусується на судині з водою, а потім нагріта вода використовується для опалювання або у парових електрогенераторах.
- Υ *Термоповітряні електростанції* перетворюють сонячну енергію на енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор.
- Υ *Сонячні аеростатні електростанції* генерують водяну пару всередині балону аеростата за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата. Головна перевага полягає у тому, що запасу пари у балоні достатньо для роботи електростанції у темні години доби і у хмарну погоду.

Сонячна енергія широко використовується як для нагрівання води, так і для виробництва електроенергії. Раціонально спроектований будинок із сонячною

опалювальною системою дозволяє економити до 75% витрат на паливо практично у будь-яких кліматичних умовах. Те ж саме можна сказати і про гаряче водопостачання (традиційно у домашньому господарстві на нагрів води витрачається від третини до половини усієї споживаної енергії).

Для одержання електроенергії використовують декілька методів. Найперспективнішим вважається метод безпосереднього перетворення випромінювання Сонця на електричну енергію за допомогою *сонячних батарей*. Сонячні батареї складаються з орієнтованих за сонцем сонячних модулів, які генерують постійний струм (Рис. 102). *Сонячний модуль* – це сукупність поєднаних між собою сонячних елементів, тобто напівпровідникових пристроїв, які перетворюють світлову енергію на електричну. До складу фотоелектричного сонячного модуля входять оброблені монокремнієві пластини, вкриті спеціальною сполукою, що витримує будь-які несприятливі погодні умови (град, високі й низькі температури, перепади температур тощо). Розміщуються модулі на дахах будинків, офісів, гаражів або будь-яких інших поверхнях. Можливе використання модулів замість покрівлі будинку або сумісно з нею. Для зберігання заздалегідь накопиченої енергії служить акумулятор. Режимми заряджання і розряджання акумуляторних батарей управляє контролер заряду. Інвертор перетворює постійний струм на змінний, що дозволяє жити електроенергією різні види електронної апаратури, а також прилади освітлення.

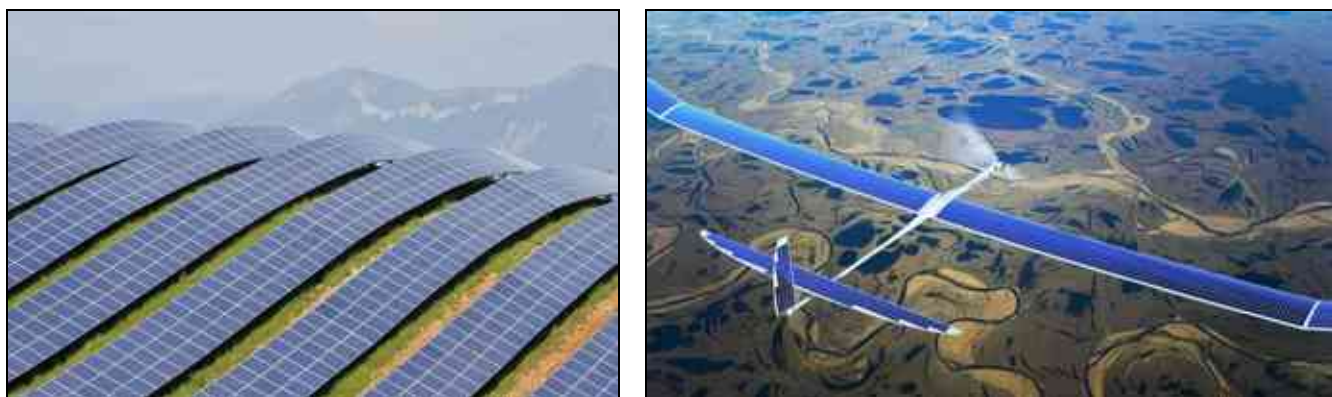


Рис. 102. Сонячні батареї

Для того, щоб нині людство змогло задовольнити свої потреби у енергоресурсах, щороку потрібно близько 10 млрд т умовного палива⁴³. А тепер увага: якщо енергію, що поставляється на нашу планету Сонцем за рік, перевести у те ж

⁴³ Умовне паливо (у. п.) – розрахункова одиниця теплової цінності палива, прийнята для зручності співставлення різних видів палива. За одиницю у. п. прийняте паливо, теплота згоряння якого становить 29,3 МДж/кг або 7000 ккал/кг.

умовне паливо, то ця цифра становитиме близько 100 трлн т – у *десять тисяч разів більше*, ніж потрібно людству!

Вважається, що на Землі запасені 6 трлн т різних вуглеводнів. Якщо це так, то енергію, що міститься у них, Сонце віддає планеті усього за три тижні. І резерви енергії Сонця настільки величезні, що світитися так само яскраво воно зможе ще близько 5 млрд років. Земні зелені рослини і морські водорості утилізують приблизно 34% енергії, що надходить від Сонця. Залишок витрачається майже даремно – на підтримку комфортного для життя мікроклімату в глибинах океану і на поверхні Землі. І якби людина змогла узяти для свого внутрішнього вжитку хоча б **1%** (тобто 1 трлн т того самого у. п. на рік), це б вирішило багато проблем на століття вперед. Головне, що сьогодні теоретично вже цілком зрозуміло, як саме узяти цей відсоток.

Сучасний рекорд ефективності сонячних батарей становить 42,8%. Такого вражаючого результату вдалося досягти завдяки комбінованій батареї на основі кристалічного кремнію на відкритій місцевості з реальним сонячним світлом (не у лабораторії). У масових фотоелектричних панелях ККД становить приблизно 10-25%. У рамках програми «Сонячні батареї надзвичайно високої ефективності» науково-дослідного агентства Пентагона (DARPA) створена нова панель сонячної батареї з 50%-ю ефективністю перетворення енергії Сонця, що й є метою цієї програми. Отже, незабаром сонячні батареї з 50%-м ККД підуть у серійне виробництво.

За будовою сонячний елемент схожий на бутерброд, складений з двох напівпровідникових пластинок. Майбутнє сонячної енергетики експерти пов'язують з удосконаленням матеріалів для цих двох шарів «бутерброду». Найбільш перспективними представляються аморфний і мікрокристалічний кремній, який виведе створення сонячних елементів на принципово новий рівень. Втім, кремнієві пластини як технологія уже застарівають, а з аморфного і мікрокристалічного кремнію можна вирощувати дуже тонкі плівки, товщина яких вимірюється нанометрами. Дві такі плівки, обкладені одна поверх іншої на скло, є фотогальванічним елементом, що володіє високою електричною провідністю і зберігає свої властивості при тривалому використанні. Звичайні сонячні елементи з кремнію створюють окремо і вже потім об'єднують у батареї. У випадку з тонкими плівками усе навпаки: спочатку вирощують плівку, накладають її на скло разом з іншими необхідними шарами, ріжуть лазером на смужки і потім поєднують електричними контактами.

Взагалі-то у сонячній енергетиці світ клином на кремнієвих елементах не зійшовся. Способів перетворення енергії Сонця на електричну існує безліч. Викор-

ристання сонячних батарей (тобто фотоелектричних перетворювачів) – лише один з них. Спосіб цей вигідний, по-перше, своєю мобільністю, по-друге, – довговічністю. Сонячну батарею можна встановити на даху автомобіля чи крилах літака. Її можна вбудувати у годинник, калькулятор, ноутбук і навіть у ліхтарик. У сонячному елементі відсутні які-небудь рухомі частини, і термін його служби становить приблизно 30 років. За цих 30 років елемент, на виготовлення якого витрачено усього 1 кг сонячного кремнію, може дати стільки ж електроенергії, скільки виробить ТЕС зі 100 т нафти або АЕС – з 1 кг збагаченого урану.

Принцип роботи сучасних геліоелектростанцій доволі простий. Встановлені на значній за площею території дзеркала-геліостати, що повертаються услід за Сонцем, направляють промені сонячного світла на ємність з теплоприймачем, яким зазвичай є вода. Далі усе відбувається приблизно так само, як на звичайних ТЕС: вода нагрівається, закипає, перетворюється на пару, пара крутить турбіну, турбіна передає обертання на ротор генератора, а той виробляє електрику. Гібридні сонячно-теплові електростанції удень працюють від Сонця, а вночі, щоб вода не остивала і електрика не скінчалася, – від газу чи іншого палива.

Перша промислова сонячна електростанція (СЕС) колишнього СРСР була збудована 1985 р. у Криму і мала пікову потужність 5 МВт – стільки ж, скільки у першого ядерного реактора. За 10 років роботи вона виробила усього 2 млн кВт/год. електроенергії, проте вартість її електрики виявилася доволі високою, і у середині 1990-х її закрили. У той же час у США компанія Loose Industries у 1989 році запустила сонячно-газову електростанцію потужністю 80 МВт. За наступних 5 років та ж компанія у Каліфорнії збудувала таких СЕС ще на 480 МВт і довела вартість одного «сонячно-газового» кВт/год. до 7-8 центів. Для порівняння: електрика, вироблена на АЕС, обходиться у 15 центів.

Наприкінці 2011 р. у місті Фуентес-де-Андалусія в Іспанії було відкрито *першу в світі комерційну СЕС*. Комплекс із назвою Gemasolar складається із дзеркал і соляного накопичувача, що дозволяє виробляти енергію цілодобово і за будь-якої погоди. Станція налічує 2.650 геліостатів – дзеркал, які повертаються так, щоб направляти сонячні промені постійно у одному напрямку – на башту-накопичувач енергії (Рис. 103). Навколо башти встановлені саме дзеркала, а не сонячні батареї. Дзеркала розташовані навколо 140-метрової башти, яка акумулює енергію від сонячних променів. Сонячні промені, що віддзеркалюються, фокусуються на верхівці башти, і таким чином нагрівають там рідину. У резервуарах на вершині башти знаходиться не вода, а розчин розплавлених солей. Нагріваючись удень, цей розчин зберігає тепло і продовжує віддавати пару після заходу сонця.

Пара, яка утворюється у процесі нагрівання, заставляє рухатися турбіни, які виробляють електроенергію. Загальна площа дзеркальної поверхні становить кілька тисяч квадратних метрів.



Рис. 103. Комерційна СЕС у Севільї (Іспанія)

Найбільша у світі геліотермальна СЕС – мегаелектростанція Іванпа Солар (Ivanpah Solar Electric System) – відкрилася 2014 р. у США, в пустелі Мохаве, на схід від Лос-Анджелеса (Рис. 104). Її будівництво, яке обійшлося у 2,2 млрд доларів, велось близько трьох років. Станція не використовує сонячні батареї (фотоелектричні модулі), які не можуть працювати у темряві. Замість них використовуються дзеркальні модулі – геліостати, яких там 173 тисячі. На горі веж розташовані котли з рідиною, яка від нагрівання перетворюється на пару. Ці вежі заввишки з 50-поверховий будинок (148 м). У найбільшу спеку котел може нагріватися до 700° і більше. Пар йде до турбіни і обертає її – виробляється електрична енергія. Загальна потужність станції Іванпа Солар становить 392 МВт.



Рис. 104. Станція Ivanpah Solar (США)

Величезною перевагою геліотермальних електростанцій перед звичайними сонячними батареями є можливість запасати надлишки енергії, а значить – пра-

цювати після заходу сонця. Частина пари нагнітається у спеціальні сховища і поступово випускається звідти після заходу сонця, продовжуючи обертати турбіну. Таким чином станція запасає частину енергії вдень, і витрачає цей запас ночами, роблячи цикл цілодобовим. Сама станція абсолютно нешкідлива – звичайні дзеркала нагрівають паровий котел. Але її будівництво ставило під загрозу існування рідкісних видів черепах. Тому компанія-власник станції провела спеціальну програму: була куплена велика територія осторонь від станції, куди переселили близько 200 черепах. Програма обійшлася компанії у 22 млн доларів – на купівлю землі, наймання біологів і переселення тварин.

Використовувати енергію Сонця у побуті можна і без перетворення її на електрику. Для того, щоб «протопити» холодну кімнату або нагріти воду у водопроводі, можна безпосередньо скористатися сонячним теплом. Установки, що збирають, зберігають і передають це тепло, називаються *сонячними колекторами*. У найпростішому варіанті це виглядає так: на даху будинку або на його південній стіні встановлюється панель, що складається з тоненьких трубочок, якими у спеціальний бак-акумулятор подається вода. Сонце нагріває трубки, ті нагрівають воду, гаряча вода накопичується у баку і потім використовується для обігріву або гарячого водопостачання. Дома, обладнані такими системами (які зазвичай доукомплектовуються кремнієвими сонячними елементами), називаються «*сонячними будинками*». З одного боку, цей будинок дещо дорожчий, ніж звичайний, але з іншого – він дозволяє скоротити комунальні платежі на 50-70%.

Для зберігання тепла на зимовий період, ніч і хмарні дні, його частина відводиться у спеціальні резервуари, розміщені у підвальних приміщеннях і заповнені щебнем. А тепло, акумульоване щебнем, використовується тоді, коли у ньому виникає потреба. Влітку сонячна система такого будинку може застосовуватися і для охолодження приміщень, тобто кондиціонування повітря. З цією метою колектори вдень відключаються, а вночі працюють, охолоджуючи щебінь у резервуарах нічним прохолодним повітрям. Потім, протягом жаркого дня, охолоджений щебінь забирає тепло з приміщень.

Будівництво «сонячних будинків» на Заході вже стало «правилом хорошего тону». Та все ж такі покупців не дуже багато – вкладення окупаються лише через 7-10 років. Саме тому уряди розвинених країн, піклуючись про завтрашній день, розробляють і фінансують програми, що полегшують фінансовий тягар власників «сонячних дахів». Назви цих програм-проектів приблизно однакові. Перший був запущений ще у 1990 р. у Німеччині, що є лідером у справі споруди «сонячних будинків». Називався проект «Тисяча сонячних дахів» (згодом був перейменова-

ний у «2 тисячі сонячних дахів»). Слідом за Німеччиною подібний проект, лише під назвою «100 000 сонячних дахів», був прийнятий для всіх країн – членів ЄС. У Японії сонячна енергетика почала просування з програми «70 000 сонячних дахів». І, нарешті, останній проект народився у США. З властивим американцям гігантизмом він був названий «1 мільйон сонячних дахів». Приєдналася до цього руху і Монголія з проектом «100 тисяч сонячних юрт»...

Світовим лідером з виробництва та інсталяції сонячних водонагрівачів є Китай (Рис. 105). На ринку сонячних установок продовжується бум: у 2007 р. у Китаї сонячними водонагрівачами користувалися близько 40 млн сімей загальною чисельністю 150 млн чоловік, 2008-го було встановлено 31 млн м² (22 ГВт) нових систем, а вже у 2009-му – ще 42 млн м² (29 ГВт). Таким чином, до 2009 р. сумарні площі встановлених сонячних геліоколекторів зросли до 140 млн м². Цього достатньо для постачання гарячою водою приблизно 60 млн домогосподарств. До 2020 р. у Китаї заплановано обладнати сонячними водонагрівачами 300 млн м² приміщень. Цікаво, що базові китайські моделі колекторів приблизно на 80% дешевше, ніж у західних країнах. Популярність сонячних установок пов'язана з ефективними вакуумними трубчастими колекторами, які дозволяють функціонувати системі навіть за хмарної погоди і мінусових температур (Рис. 106).



Рис. 105. Сонячні водонагрівачі на дахах у китайській провінції Хубей



Рис. 106. Вакуумний сонячний водонагрівач

У всіх розвинених країнах власники будинків, які вирішили витратитися на дообладнання житлових чи офісних приміщень сонячними колекторами і батареями, потрапляють до особливих реєстрів і користуються певними привілеями. По-перше, держава компенсує їм частину витрачених коштів. По-друге, вони отримують податкові пільги. По-третє, для них відкривається доступ до спеціальних

пільгових кредитів і безпроцентних позик. Їх безкоштовно учать користуватися такою домашньою енергосистемою, а для компаній, які виробляють, продають і установлюють «сонячну» техніку, проводять безкоштовні маркетингові дослідження. В результаті у США сонячна технологія вже використовується більше ніж у 1,5 млн будинків, які разом економлять близько 1400 МВт, а це приблизно 5 млн т не спаленої за рік нафти. У Німеччині держава не лише компенсує до 70% витрат на «соляризацію» будинків, а ще й купує у їхніх власників електрику за цінами, набагато вищими за ринкові. Завдяки цій програмі у країні «мостять» сонячними елементами по півмільйона квадратних метрів дахів щороку.

Сонячні елементи і колектори належать до «активних» сонячних систем. Проте існує й інший спосіб використання енергії Сонця – створення так званих «пасивних» сонячних систем, тобто проектування будівель та підбір будівельних матеріалів таким чином, щоб максимально використовувати сонячне випромінювання. Пасивні сонячні будівлі – це ті, проект яких розроблений з максимальним урахуванням місцевих кліматичних умов, і де застосовуються відповідні технології і матеріали для обігріву, охолодження і освітлення будівлі за рахунок енергії Сонця. До них належать традиційні будівельні технології і матеріали – теплоізоляція, масивні підлоги, звернені до півдня вікна. Такі житлові приміщення можуть бути побудовані навіть без додаткових витрат. При виникненні додаткових витрат вони можуть компенсуватися зниженням енерговитрат. Пасивні сонячні будівлі є екологічно чистими, вони сприяють створенню енергетичної незалежності й енергетично збалансованому майбутньому.

Пасивний, або енергоефективний, будинок (англ. *passive house*) – це споруда, основною особливістю якої є мале енергоспоживання – близько 10% від питомої енергії на одиницю об'єму, споживаною більшістю сучасних будівель. У ідеалі пасивний будинок має бути незалежною енергосистемою, що взагалі не вимагає витрат на підтримку комфортної температури. Опалювання пасивного будинку має відбуватися завдяки теплу, виділеному людьми, що живуть у ньому, побутовими приладами і альтернативними джерелами енергії. Гаряче водопостачання здійснюється за рахунок установок ВДЕ, наприклад, теплових насосів або сонячних колекторів.

У пасивній сонячній системі сама конструкція будівлі виконує роль колектора сонячної радіації. Це визначення відповідає більшості найпростіших систем, де тепло зберігається у будівлі завдяки його стінам, стелям або підлозі. Є також системи, де передбачені спеціальні елементи для накопичення тепла, вмонтовані у конструкцію будівлі (наприклад, ящики з камінням або заповнені водою баки).

Пасивні сонячні будівлі – ідеальне місце для життя. Тут повніше відчувається зв'язок з природою, багато природного світла, а головне – економиться електроенергія.

Історично склалося так, що на проектування будівель впливали місцеві кліматичні умови і доступність будівельних матеріалів. Пізніше людство відокремило себе від природи, йдучи шляхом панування над нею. У 100 р. н.е. історик Пліній Молодший побудував літній будиночок у Північній Італії, в одній з кімнат якого були вікна з тонкої слюди. Кімната була тепліша за інші, і для її обігріву було потрібно менше дров. У римських лазнях I-IV ст. н.е. спеціально встановлювалися великі вікна, що виходили на південь, для того, щоб більше сонячного тепла поступало у будівлю.

Через перебої з електроенергією під час Другої світової війни і до кінця 1947 р. у Сполучених Штатах будівлі, що пасивно використовували сонячну енергію, мали такий величезний попит, що «Libbey-Owens-Ford Glass Company» видала книжку «Ваш Сонячний Будинок», у якій було представлено 49 кращих проєктів сонячних будівель. У середині 50-х років XX ст. архітектор Франк Брайджерс розробив першу в світі пасивну сонячну будівлю для офісного приміщення. Встановлена у ньому сонячна система для забезпечення гарячого водопостачання з того часу працює безперебійно. Сама ж будівля «Брайджерс Пекстон» занесена у національний історичний реєстр країни як перша у світі офісна будівля, що обігрівается за допомогою енергії Сонця.

Ефективність будь-якої пасивної системи особливо залежить від типу вікон. Скло або інші прозорі матеріали пропускають короткі хвилі й затримують довгі хвилі теплового випромінювання усередині приміщення. Вікна регулюють енергетичний потік двома основними способами: взимку вони забезпечують будинок теплом, пропускаючи сонячну енергію всередину будівлі, завдяки чому температура повітря усередині приміщень перевищує зовнішню температуру; влітку сприяють охолодженню будівлі, знижуючи проникнення сонячних променів за допомогою вдалого розташування вікна і його затінювання, а також використання вентиляції для охолодження будинку.

Високоякісне скло має найвищий коефіцієнт теплового опору і прозорість для сонячної енергії. Підвищуючи ізоляційні здібності скла, можна одночасно поліпшити дизайн будівлі. Приміщення, раніше обгороджені стінами, можна перетворити на так звані «сонячні кімнати» з пасивним сонячним освітленням (віконні отвори у даху і стелі). Темні кімнати наповняються природним світлом, сонячним теплом, до того ж з вікон можуть відкритися чудові краєвиди. За відносно неве-

ликого збільшення вартості можна підвищити енергоефективність, забезпечити вологостійкість і захист від ультрафіолетового випромінювання. І як результат – різноманітність проектів будівель.

У Європі більша частка додаткових витрат пасивного будинку на покращені вікна, вентиляцію і теплоізоляцію компенсуються різноманітними програмами. Наприклад, у Німеччині кожному забудовнику, чий проект відповідає критеріям пасивних будинків, виділяють 50 тис євро. Інвесторам ці додаткові витрати повертаються вже за сім років. При цьому витрати на спорудження пасивних будівель додатково становлять у середньому до 10%, а витрати на їхнє опалення скорочуються удвічі, а то й утричі.

За допомогою сонячного світла можна також освітлювати приміщення у денний час доби. Для цього застосовуються *світлові колодязі*. Простий варіант світлового колодязя – отвір у стелі (Рис. 107). Світлові колодязі застосовуються для освітлення приміщень, що не мають вікон: підземні гаражі, станції метро, промислові будівлі, склади, в'язниці й навіть бібліотеки (Рис. 108).

Сонячні колектори можуть застосовуватися і для приготування їжі. Температура у фокусі колектора досягає 150°C. Вартість матеріалів, необхідних для виробництва «сонячної кухні», становить усього \$3-7. Такі кухонні прилади можуть широко застосовуватися у країнах, що розвиваються. Там традиційні вогнища для приготування їжі мають термічну ефективність біля 10%, а постійне використання дров призводить до масованої вирубки лісів. Існують різні міжнародні програми розповсюдження сонячних кухонь. Наприклад, у 2008 р. Фінляндія і Китай уклали угоду про постачання 19 тисяч сонячних кухонь у 31 село Китаю. А Фінляндія у майбутньому зможе купувати квоти на ці викиди.



Рис. 107. Світловий колодязь у Пантеоні, Рим



Рис. 108. Світлові колодязі у бібліотеці (Фінляндія)

Сонячна енергія може застосовуватися у різних *хімічних процесах*. Наприклад, Weizmann Institute of Science (Ізраїль) 2005 р. випробував технологію отримання цинку в сонячній башті. Оксид цинку в присутності деревного вугілля нагрівався дзеркалами до температури 1200°C на вершині сонячної башти. В результаті отримувався чистий цинк. Далі цинк можна герметично упакувати і транспортувати до місць виробництва електроенергії. На місці цинк поміщається у воду, в результаті хімічної реакції виходить водень і оксид цинку. Оксид цинку можна ще раз помістити у сонячну башту і отримати чистий цинк. Технологія успішно пройшла випробування у сонячній башті канадського Інституту Енергетики і прикладних досліджень.

Ще один приклад: швейцарська компанія Clean Hydrogen Producers розробила технологію виробництва *водню* з води за допомогою параболічних сонячних концентраторів. Площа дзеркал установки становить 93 м², а температура у фокусі концентратора досягає 2200°C. Вода починає розділятися на водень і кисень за температури більше 1700°C. Протягом світлового дня установка може розділяти на водень і кисень 95 л води. Отже, виробництво водню становитиме 3800 кг на рік (близько 10,4 кг щодня). Цей водень може використовуватися або для виробництва електроенергії, або як паливо на транспорті.

В Узбекистані розробили і запатентували спосіб здобуття водню з води шляхом використання сонячної енергії. Цей спосіб базується на термічному розкладанні пароподібної води, нагрітої у казані сконцентрованими сонячними променями до температури 1000-1200 градусів за шкалою Кельвіна. Нагріта до такої температури водяна пара розкладається на водень і кисень. Далі водень відділяють від високотемпературної газової суміші шляхом пропускання її через селективну мембрану з нікелевої фольги. Високотемпературна газова суміш на виході з парового казана потрапляє на лопаті турбіни, що виробляє постійний електричний струм. Його подають у електролізер для додаткового здобуття водню. Використану в турбіні водяну пару направляють в опалювальну систему, де ця пара конденсується, а отримана вода повертається у паровий казан.

Сонячна енергія може використовуватися і на *транспорті* – для енергоживлення автомобілів, невеликих суден і навіть літаків. З площі кількох квадратних метрів (дах мікроавтобуса) можна зібрати енергію для живлення акумуляторів, які рухають машину. Вже у 1982 р. автомобіль із сонячними батареями на даху без жодної краплі бензину перетнув Австралію із заходу на схід, подолавши за два місяці відстань близько 4 тис км із середньою швидкістю 30 км/год. На сонячному літаку було здійснено переліт через Ла-Манш.

Фотоелектричні елементи встановлюють на різних транспортних засобах – човнах, електромобілях, літаках, дирижаблях (Рис. 109). Вироблена електроенергія використовується або для бортового живлення транспортного засобу, або для електродвигуна електричного транспорту. В Італії та Японії фотоелектричні елементи встановлюють на дахи потягів – вони проводять електрику для кондиціонерів, освітлення і аварійних систем. Найбільший у світі корабель Planet Solar, працюючий від енергії сонячних батарей, побудований у Німеччині (Рис. 110). 516 м² площі корабля займають сонячні панелі, які генерують 100% енергії судна. 4 травня 2012 р. катамаран повернувся із своєї першої кругосвітньої подорожі, подолавши 60 тис км за 584 дні за рахунок лише сонячної енергії.



Рис. 109. Електромобіль із сонячними панелями



Рис. 110. Корабель Planet Solar

Технології швидко йдуть вперед, і тепер люди отримують те, що ще п'ять років тому здавалося фантастикою. Хто міг уявити, що торговий корабель вантажопідйомністю у 60 тис т працюватиме на сонячній енергії? Проте це дійсно так. Компанія Nippon Yusen K.K., яка є лідером кораблебудування Японії, побудувала вантажний торговий корабель із встановленими на борту 328 сонячними панелями. На цьому кораблі може поміститися 6400 автомобілів. Власники судна сподіваються збільшити ККД сонячних панелей, здатних забезпечити хоча б 50% необхідної кораблю енергії.

Із сонячної енергії також можна одержувати *високотемпературне тепло* (до 3800°C) у печах для промислових цілей. Діють такі печі за тим же принципом, що й сонячні електростанції з парогенератором: система геліостатів спрямовує сонячні промені на велике параболічне дзеркало, у фокусі якого розміщуються проби металів, сплавів чи мінералів для плавки. Порівняно із звичайними печами, сонячні мають низку переваг: розплавлена речовина не стикається з паливом або

плавильним тиглем, плавку можна здійснювати у будь-якій атмосфері, і така піч практично не забруднює навколишнє середовище.

Сонячні електростанції працюють нині у 32 країнах світу. Найбільші валові обсяги виробництва й використання сонячної енергії – у США і Японії. На душу населення найвищі показники мають Ізраїль і Кіпр. За використанням сонячної енергії на душу населення попереду Кіпр, де майже 90% будинків і готелів оснащені сонячними водонагрівачами. В Ізраїлі сонячна енергія забезпечує приблизно 65% гарячого водопостачання. А в Іспанії, згідно законодавства, кожен новий будинок має бути обладнаний системою живлення від сонячної енергії. Китай запустив масштабну державну програму підтримки розвитку технологій для одержання електроенергії із сонячного світла. У Китайській Академії наук упевнені, що до 2050 р. Сонце має стати основним джерелом енергії в країні.

Переваги використання сонячної енергії очевидні – це екологічна чистота, надійність довготривалої експлуатації, безпека (автоматичний захист від короткого замикання, перегріву, перевантажень приладів і розряджання акумуляторів), простота монтування і розбирання, стійкість до впливу зовнішніх факторів. Проте, незважаючи на усі ці переваги, слід відмітити і деякі *недоліки* сонячної енергетики.

По-перше, через відносно невелику величину сонячної постійної під сонячні електростанції потрібні значні земельні площі (наприклад, для СЕС потужністю 1 ГВт це може бути декілька десятків квадратних кілометрів). Але цей недолік не такий великий – наприклад, гідроенергетика виводить з користування значно більші земельні ділянки. До того ж, фотоелектричні елементи на великих СЕС встановлюються на висоті 1,8-2,5 м, що дозволяє використовувати землі під електростанціями для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби. Ця проблема може бути вирішена шляхом застосування сонячних аеростатних електростанцій, придатних не лише для наземного, але й морського і висотного базування.

По-друге, СЕС на фотоелектричних модулях не працює вночі і недостатньо ефективно працює у ранкових і вечірніх сутінках. При цьому пік споживання електроенергії припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може стрімко і несподівано коливатися через зміни погоди. Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов може бути вирішена спорудженням сонячних аеростатних, геліотермальних чи гібридних електростанцій.

По-третє, поверхню фотоелектричних панелей періодично потрібно очищувати від пилу та інших забруднень. Зважаючи на те, що їхня площа сягає декількох квадратних кілометрів, це також є серйозним недоліком. Ефективність фотоелектричних модулів помітно падає при їхньому нагріванні, тому виникає необхідність установки систем охолодження, зазвичай водяних. Ефективність також починає знижуватися через 30 років експлуатації фотоелектричних елементів, і це звісно теж недолік. Не зважаючи на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, зокрема, свинець, кадмій, галій, миш'як; вони мають обмежений термін служби (30-50 років), і незабаром постане складне питання їхньої безпечної утилізації.

Проте активний розвиток виробництва тонкоплівкових фотоелементів дозволяє скоротити уміст кремнію в них до 1%, завдяки чому такі фотоелементи дешевші. Прогрес не стоїть на місці, і сонячне випромінювання – загальнодоступне невичерпне джерело енергії. Сонячна енергетика теоретично абсолютно безпечна для навколишнього середовища, перспективи подальшого розвитку якої величезні.

6.2.2 Енергія вітру

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Енергію виробляють вітротурбіни, які об'єднують у вітроелектростанції (ВЕС). Використання енергії вітру є одним з тих способів використання енергії навколишнього середовища, що був відомий з давніх часів. Першоджерело вітряної енергії – Сонце, оскільки саме воно є відповідальним за утворення вітру. Атмосфера Землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідність її поверхні та різний кут падіння світла у різних широтах у різні пори року. Повітря розширюється і підіймається угору, утворюючи потоки. Там, де повітря нагрівається більше, потоки піднімаються вище і зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря залишається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром.

Щоб найефективніше використати вітряну енергію, важливо досконало розуміти добові й сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру залежно від висоти над земною поверхнею, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також статистичні дані хоча б за останні 20 років. Від загальної кількості енергії Сонця лише 1-2% перетворюється на енергію вітру. Але ця кількість уп'ятеро перевищує

річну світову енергетичну потребу людства. Сучасна технологія дозволяє використовувати тільки горизонтальні вітри, що знаходяться близько до поверхні Землі і мають швидкість від 12 до 65 км/год.

Людство використовує енергію вітру вже більше трьох тисяч років. Одним з найперших винаходів використання енергії вітру було *вітрило*. Ще за 3500 років до нашої ери мореплавці використовували силу вітру, щоб йти під вітрилами. Вітрильні човни ходили Нілом у Давньому Єгипті. Тобто вітрило було першою лопатковою машиною, що використовувала енергію вітру. Звичайні вітряні млини використовувалися у Китаї 2200 років тому. На Середньому Сході, у Персії, близько 200 р. до н. е. почали застосовувати вітряні млини з вертикальною віссю для перемелювання зерна. Їх виготовляли з в'язанок очерету, прикріплених до дерев'яної рамки, що оберталася, коли дув вітер. Стіна, що оточувала вітряк, спрямовувала потік вітру проти лопатей. Найпростіші вітрові млини мали доволі низький ККД, не зважаючи на те, що лопатки виготовлялися з легкого дерева чи матерії. Причина неефективності наступна: сила вітру, яка штовхала одну половину вітроколеса, одночасно гальмувала іншу частину.

У I ст. до н. е. давньогрецький вчений, механік і винахідник Герон Олександрійський винайшов вітряк, який керував органом у храмі. Створений Героном орган був лише удосконаленою конструкцією гідравлоса – музичного інструмента, придуманого Ктесибієм⁴⁴. Гідравлос містив набір труб з клапанами, що створювали звук. Повітря у труби подавалося за допомогою резервуару з водою і насоса, який створював необхідний тиск у цьому резервуарі. Управління клапанами труб, як і в сучасному органі, здійснювалося клавіатурою. Герон запропонував автоматизувати гідравлос за допомогою вітряного колеса, яке служило приводом для насоса, що нагнітав повітря у резервуар.

Пізніше, у VIII-IX ст., з'явилися вітряки й у Європі. Найбільшого поширення вони набули у Голландії, де люди боролися з морем за кожен клаптик землі, придатної для сільського господарства. Голландці відкачували воду з відвойованих у моря територій саме завдяки роботі сотень вітряків. Спочатку будували земляні дамби, які відокремлювали мілководну ділянку моря, а потім споруджували млини з водовідливними колесами. 1582 р. у Голландії була побудована перша маслобойня, що використовувала енергію вітру. У 1608-1612 рр. за допомогою 26 вітродвигунів потужністю 37 кВт кожен була осушена земельна ділянка, розташо-

⁴⁴ *Ктесибій* – давньогрецький винахідник, механік і математик, який жив у Олександрії в Елліністичному Єгипті приблизно одночасно з Героном.

вана нижче рівня моря на три метри. До середини XIX ст. у Голландії для різних потреб використовувалося біля 9 тисяч вітродвигунів удосконалених конструкцій.

Перша вітрова електростанція промислового типу була побудована у США у місті Клівленд (штат Огайо) у 1888 р. Один із засновників американської електричної індустрії Чарльз Ф. Браш сконструював прототип автоматичної вітрової турбіни для виробництва електроенергії. На той момент вона була гігантською – діаметр ротора становив 17 м і складався з 144 лопатей, виготовлених з кедру. Ця багатолопатна конструкція здатна була виробляти 12 кВт електроенергії. Дана станція успішно пропрацювала майже 20 років, довела перспективність даного напрямку енергетики, а з іншого боку – стала для конструкторів робочою моделлю для виробництва удосконалених установок.

У Європі перша ВЕС була пущена у 1900 р., а до початку Другої світової війни на планеті функціонувало вже декілька мільйонів вітряків. У колишньому СРСР перша вітроелектростанція потужністю 8 кВт була споруджена у 1929-1930 рр. під Курськом. За рік у Криму була побудована більша ВЕС потужністю 100 кВт, що на той час стала найбільшою ВЕС у світі. Вона успішно працювала до 1942 р., але під час війни була зруйнована. Проте найшвидше вітроенергетика розвивалася у США – ще у 1941 р. там була побудована перша ВЕС потужністю 1250 кВт.

Останні кілька років були непростими для світової вітроенергетики, однак 2014-го стався новий економічний підйом вітроенергетичного сектору світу. За даними Глобального ради з вітроенергетики (Global Wind Energy Council), уперше в історії вітроенергетичного сектору за 2014 рік у світі було введено рекордну кількість нових потужностей – 51,477 МВт, що відповідає річному зростанню на 44%. На кінець 2014 р. загальна встановлена вітроенергетична потужність у світі перевищила 369,5 ГВт.

Нині «двигуном» глобального зростання вітроенергетики залишається Китай. Додавши у 2014 р. 23351 МВт нових потужностей (45% від усіх ВЕС, встановлених у світі за рік), Китай встановив новий світовий рекорд. З великим відривом друге місце посідає Індія, яка встановила за рік 2,315 МВт. У цій країні створені всі умови для нового витка зростання вітроенергетики.

Згідно з офіційними даними Національної енергомережі Сполученого Королівства, у січні 2015-го вітроенергетична галузь встановила нові рекорди з вироблення електроенергії, зайнявши провідну роль у енергоструктурі Великобританії. Частка вітроенергетики Данії у загальному електроспоживанні становить 39,1% – ще один новий рекорд національної вітроенергетичної промисловості. У

Німеччині, вперше в історії вітроенергетики, встановлена вітроенергетична потужність країни зросла за 2014 р. на 5,279 МВт. Згідно з планами уряду, частка відновлюваної енергетики у енергетичному балансі країни становитиме 40-45% у 2025 р. і мінімум 80% – до 2050 р.

Нині вітроенергетика Європи забезпечує 10% електроенергетики ЄС, у 2013 р. цей показник становив 8%. Якщо ж розглядати встановлену вітроенергетичну потужність окремих країн Євросоюзу, то лідерами 2014 р. по введенню у експлуатацію нових потужностей стали Німеччина (5279 МВт) і Сполучене Королівство (1736 МВт).

Вітер є стихією потужною і практично всюдисущою. Якщо енергія з вітру не стала основним джерелом забезпечення, то у цьому винні її вади. Енергетичний потенціал вітру пропорційний кубу його швидкості, а території, де середня швидкість вітру значна, тобто 5 м/с і вища, що забезпечує економічність роботи вітроустановок, часто віддалені від споживачів енергії. Найбільшу енергію мають ураганні вітри, однак ця енергія не може бути утилізована, до того ж урагани є головними руйнівниками вітроустановок.

Звісно, можливості використання цього виду енергії у різних регіонах Землі неоднакові. Для нормальної роботи вітрових двигунів швидкість вітру не повинна падати у середньому за рік нижче 4-5 м/сек., а краще, коли вона становить 6-8 м/сек. Проте для цих установок шкідливими є і надто великі швидкості вітру, які можуть їх зруйнувати. Найсприятливішими регіонами для використання вітрової енергії є узбережжя морів і океанів, степи, тундра, гірські райони. Найбільш ефективно використання вітрових установок у місцях з достатнім вітровим потенціалом, де відсутнє централізоване енергопостачання і немає таких перешкод, як висотні будинки чи пагорби.

За оцінками американських вчених, площа, де середня швидкість вітру на висоті 8-10 м перевищує 5,1 м/с, становить 25% поверхні Землі. Але не усюди її можна використати, і, якщо врахувати економічні, технічні, екологічні та інші обмеження, до 2020 р. можна було б побудувати ВЕС загальною потужністю 450 млн кВт, які могли б щороку виробляти 900 млрд кВт/год. електроенергії. Це становило б 3,5% усієї електроенергії, що за прогнозами буде вироблена. Одним з факторів, що обмежує масштаби використання енергії вітру, є неможливість будувати одиничні агрегати великої потужності через недостатню міцність лопатей. Доводиться будувати комплекси з багатьох вітроустановок, об'єднаних у систему. Іншою проблемою є переривчастий графік роботи таких ВЕС, що вимагає акумулювання енергії для зручності користування.

Технічний прогрес дозволив за останні два десятиліття на 80% знизити собівартість електроенергії, що одержують з ВЕС. Великі ВЕС потужністю 50 МВт і більше, розміщені там, де середня швидкість вітру досягає 9 м/с, здатні виробляти електроенергію за ціною 3 або навіть менше 1 цента за 1 кВт/год. У той же час собівартість електроенергії малих ВЕС (потужністю до 3 МВт), розміщених у районах із швидкістю вітру 7 м/с, може становити до 8 центів за 1 кВт/год. Тобто економічність ВЕС значно залежить від місця розташування і проекту.

Вітроенергетика перестала бути фантастикою і стала *найбільш швидкорослою галуззю серед усіх інших видів альтернативної енергетики*. Вітер є невичерпним енергоносієм, але при цьому має безліч складних і слабо передбачуваних фізичних параметрів у кожному окремому географічному регіоні. Тобто, крім середньорічної і максимальної швидкостей, слід враховувати такі показники внутрішньої структури повітряного потоку, як роза вітрів, поривчастість, щільність повітря, турбулентність, температура і різновекторні течії по висоті.

З усіляких пристроїв, що перетворюють енергію вітру на механічну роботу, у переважній більшості випадків використовуються лопатеві машини з горизонтальним валом, установленим за напрямком вітру. Набагато рідше застосовуються пристрої з вертикальним валом. Турбіни з горизонтальною віссю і високим коефіцієнтом швидкохідності мають найбільше значення коефіцієнта використання енергії вітру (0,46-0,48). Віротурбіни з вертикальним розташуванням осі менш ефективні (0,45), але мають перевагу, оскільки не вимагають налаштування на напрямок вітру. Існує безліч варіантів механізмів для перетворення вітру на електричну енергію. Основним елементом тут є *вітроколесо*. За принципом роботи і будовою вітроколес вітрові двигуни поділяються на три класи:

- крильчасті (пропелерні) – мають вітроколесо з лопатями, розташованими перпендикулярно валу;
- карусельні, або роторні;
- барабанні.

У карусельних і барабанних вітродвигунах вал вітроколеса встановлюється вертикально. Воно обертається під дією вітру на лопаті, розташовані з одного боку осі колеса, у той час як інші лопаті прикриваються ширмою або повертаються за допомогою спеціального пристрою ребром до вітру. Ці обидва класи є громіздкими і менш ефективними порівняно з крильчастими. Виходячи з цього, вся сучасна вітроенергетика базується переважно на *крильчастих* типах вітродвигунів. Пропелерні вітродвигуни досконалі, відносно мало матеріаломісткі, забезпечують досить високий коефіцієнт використання енергії вітру. Кілька вітряків мають роз-

ташовуватися не ближче ніж за три висоти один від одного, аби не перехоплювати «чужий» вітер.

Вітрогенератор (вітрова турбіна) – це пристрій для перетворення кінетичної енергії вітру на електричну. Вітрогенератори можна умовно поділити на дві категорії: промислові й домашні (для приватного використання). Промислові встановлюються державними органами або великими енергетичними компаніями. Зазвичай їх об'єднують у мережу, в результаті – справжня електростанція. Основна відмінність такої ВЕС від традиційних (теплових, атомних) полягає у повній відсутності сировини і відходів. Єдина основна вимога – високий середньорічний рівень вітру. Промисловий вітрогенератор зазвичай має доволі просту будову (Рис. 111). Деякі моделі вітрогенераторів можуть бути доповнені блоками сонячних батарей і паливним електроагрегатом.

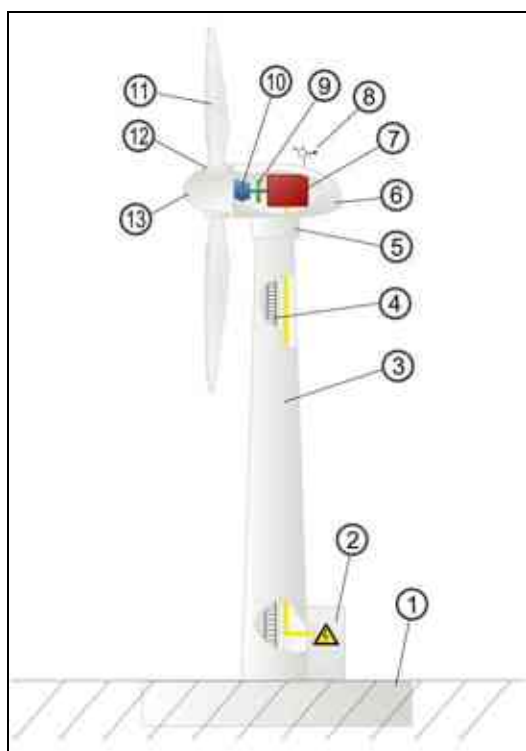


Рис. 111. Схематична будова вітрогенератора

1. Фундамент.
2. Силовий шаф.
3. Вежа.
4. Сходи.
5. Поворотний механізм.
6. Гондола.
7. Електричний генератор.
8. Система спостереження за напрямком і швидкістю вітру (анемометр).
9. Гальмівна система.
10. Трансмісія.
11. Лопаті.
12. Система зміни кута атаки.
13. Ковпак ротора.

Малі вітряки можуть повністю забезпечувати електроенергією один або декілька будинків, а також невеликі промислові об'єкти. Такі установки здатні працювати за середньої швидкості вітру від 4 м/с, і ціни на них невпинно падають. Індустрія домашніх вітряків активно розвивається. Зазвичай для невеликого котеджу достатньо вітряка номінальною потужністю 1 кВт, за швидкості вітру 9 м/с. Якщо місцевість не дуже вітряна, його можна доповнити сонячними батареями.

У багатьох розвинених країнах існують державні програми розвитку ВДЕ, у т. ч. й вітроенергетики. Завдяки цим програмам фінансуються науково-технічні,

енергетичні, екологічні, соціальні й освітні програми. Генераторами проектів є дослідницькі центри, університети і зацікавлені компанії. Поставлені цілі досягаються за рахунок пільгового податкового законодавства, державної фінансової підтримки, пільгового кредитування, створення інформаційної мережі, системи освіти, стажувань, просування високих технологій, створення нових робочих місць. Згідно нарощуванню сумарних потужностей ВЕС найбільш ефективними є програми країн Європи, Китаю, Індії, США, Канади. Більше 10 найбільших банків Європи інвестують вітроенергетичну індустрію. Більше 20 великих Європейських приватних інвесторів фінансують вітроенергетику.

Вартість вітряної енергії залежить передусім від ККД системи, середньої швидкості вітру, технічного ресурсу тощо. Отже, твердження «вітер дує безкоштовно, то й енергія вітру повинна бути безкоштовною» не є переконливим. Крім того, вітроенергетичні установки (ВЕУ) не зовсім «екологічно чисті». Проте це не заважає зростаючому попиту на вітряки, оскільки є суттєві переваги порівняно з іншими джерелами енергії. Серед очевидних переваг вітроенергетики можна окреслити такі:

- відсутність витрат на видобуток і транспортування палива;
- низькі питомі трудовитрати на спорудження ВЕУ – менші, ніж для теплових і атомних електростанцій;
- широкий технологічний діапазон прямого використання енергії ВЕУ (зокрема, автономність, сумісність з іншими джерелами енергії);
- короткі терміни введення потужностей у експлуатацію;
- порівняна відсутність шкідливого впливу на довкілля.

Щодо останнього. Чи викликає вітроенергетика забруднення повітря? Ні. Чи вимагає вона води для охолодження і чи не спричинює теплове забруднення? Ні. Чи споживає вона паливо? Ні. Але вона чинить шум, вимагає земельних площ і матеріалів для конструкцій. Вона також псує пейзаж. Опори ліній дальньої електропередачі мають висоту, близьку до висоти самого вітродвигуна, а бувають ще вищими. Отже, деякий шкідливий вплив все ж таки існує.

Великі вітродвигуни обертаються зі швидкістю близько 30 зворотів у секунду, що близько до частоти синхронізації телебачення і може заважати прийому телепередач. Для менших двигунів це не є проблемою. Лопаті вітродвигунів можуть убити птахів, але важко передбачити, у яких масштабах це відбуватиметься. Поза сумнівом, певний негативний вплив завдається виготовленням акумуляторних батарей, великою кількістю проводів, необхідних для передачі електроенергії від численних її джерел.

Відомо також і те, що вітер дує за різними напрямками і різною швидкістю. Отже, генератор працюватиме нерівномірно, віддаючи то більшу, то меншу потужність, струм вироблятиметься перемінної потужності, а то й цілком припиниться, і можливо, саме тоді, коли потреба у ньому буде найбільшою. Будь-який вітроагрегат працює на максимальній потужності лише певний час, а у інші години він або працює не на повну потужність, або взагалі простоює. Для вирівнювання віддачі струму застосовують акумулятори, але це і дорого, і мало ефективно. Відповідно ВЕС самі по собі не можуть бути надійною основою енергетики. Вони або доповнюють основні потужності, або ж служать джерелом електрики у віддалених чи ізольованих місцях, де складно чи неможливо забезпечити постачання електроенергії іншим чином.

Через невелику потужність вітряків, ВЕС вимагають значних територій для розміщення вітрових установок. Для розміщення сотень, тисяч і тим більше мільйонів вітряків потрібні були б дуже величезні території у сотні тисяч гектарів. Річ у тім, що вітроагрегати близько один до одного розміщувати не можна, оскільки вони перешкоджатимуть один одному в роботі. Мінімальний проміжок між вітряками має бути не меншим їхньої потрійної висоти. Можна лише уявити, скільки місця доведеться відвести для ВЕС потужністю 4 млн кВт.

Іншою несподіваною особливістю ВЕУ є те, що вони начебто виробляють доволі інтенсивний інфразвуковий шум, який негативно впливає на людей і тварин. Але це ще повністю не доведено, і дискусії з цього приводу продовжуються. Крім цього, вітряки розполохують птахів і звірів, порушуючи їхній природний спосіб життя. Тому не дивно, що у багатьох країнах місцеві жителі виступають проти розміщення ВЕС поблизу населених пунктів і сільськогосподарських угідь, а в умовах густонаселеної Європи це означає – скрізь.

Тому було висунуто ідею розміщення систем вітряків у відкритому морі. У морі найбільший потенціал вітряної енергії. Швидкість вітру на морських акваторіях значно вища, ніж на суші, і може бути використана ефективніше, оскільки морські акваторії дають величезний простір, майже не зайнятий господарською діяльністю. Так з'явилася *вітрова енергетика морського базування – офшорна*. На відміну від типового використання терміну «офшор», що означає «поза берегом», офшорна вітроенергетика включає проекти ВЕС і на материкових акваторіях, а також у захищених прибережних районах.

Перша офшорна ВЕС «Віндебі» (Vindeby) з'явилася 1991 р. у Данії. Усі 11 встановлених тоді компанією Siemens турбін до сьогодні працюють у відмінному стані (Рис. 112). Нині офшорна вітроенергетика активно розвивається у всьому

світі. Технічне обслуговування офшорних ВЕС є дуже дорогим і складним. Однак труднощі експлуатації і більша вартість компенсуються вищою ефективністю, більшою потужністю і більшим потенціалом для інновацій. Офшорні ВЕУ мають більшу висоту і площу обертання ротора. Електроенергія, що виробляється вітряними турбінами у морі, транспортується високовольтними підводними кабелями до узбережжя.



Рис. 112. Офшорна ВЕС Vindeby (Данія)

Опори морських вітрогенераторів служать штучним рифом для морських організмів, забезпечуючи комфортні умови для іхтіофауни. А той факт, що риба-льство у межах офшорних вітропарків і у безпосередній близькості від них заборонене, позитивно впливає на популяції риб і поліпшує середовище їхнього існування. Потенційно негативними впливами ВЕС на популяції риб можуть бути, наприклад, шумові й вібраційні ефекти, тимчасова каламутність води під час будівництва вітроагрегатів, електричні й магнітні поля навколо кабелів тощо. Цей вплив на рибу поки що мало вивчений, необхідні спеціальні дослідження під час і після будівництва.

За даними Європейської вітроенергетичної асоціації (EWEA), у 2013 р. загальна потужність усіх морських ВЕУ становила 6562 МВт, чого достатньо для забезпечення електроенергією 0,7% споживачів ЄС. За потужностями, накопиченими у секторі європейської офшорної енергетики, лідирує Великобританія – 3681 МВт, далі йдуть Данія (1272 МВт), Бельгія (571 МВт) і Німеччина (520 МВт). У дослідженні Roland Berger Strategy Consultants «Офшорна вітрова енергетика у 2020 р. – на шляху до конкурентоспроможності» експертами передбачено, що до 2020 р. сукупний обсяг встановленої потужності морських вітрових установок становитиме 40 ГВт.

У гирлі Темзи неподалік Лондона 2013-го було запущено найбільший у світі офшорний вітропарк London Array, потужність якого становить 630 МВт, чого до-

статньо для забезпечення енергією 470 тисяч будинків (Рис. 113). Це також дозволить скоротити щорічні викиди CO₂ в атмосферу на 925 тис т, що можна порівняти з викидами 300 тисяч легкових автомобілів. Підключенням останньої 175-ї турбіни вітрогенератора у загальну енергосистему зробило London Array найбільшою ВЕС у світі. На майбутнє заплановано, що потужність електростанції після завершення усіх етапів її подальшого розвитку становитиме 1 ГВт.



Рис. 113. Вітропарк London Array

2014 р. уряд Великобританії схвалив проект будівництва однієї з найбільших у світі ВЕС біля узбережжя Східної Англії. Електростанція отримає назву East Anglia, і для її будівництва будуть залучені 520 млн фунтів інвестицій. Планується на площі понад 300 км² розмістити від 240 до 325 турбін, за рахунок чого виробленої енергії буде достатньо для живлення 800 тисяч будинків. Морські монтажні роботи розпочнуться 2018-го, а перша електроенергія потрапить на берег у 2019 р. East Anglia – тільки перша з шести офшорних ВЕС, запланованих у тій же зоні. Їхня запланована сумарна потужність досягатиме 7,2 ГВт, чого достатньо для живлення більш ніж 4,6 млн британських будинків.

Після аварії на АЕС «Фукусіма-1» Японії довелося відмовитися від будівництва нових атомних станцій. Тож, щоб вирішити проблему поповнення потужності, почали активно розвивати альтернативну енергетику. 2013 р. введена у експлуатацію найбільша у світі плавуча ВЕС, розташована в океані поблизу узбережжя префектури Фукусіма на відстані 20 км від м. Нара. Там збудована башта на понтонах висотою 120 м з лопатями довжиною 80 м. До 2020 р. за 16 км від Фукусіми має з'явитися офшорна ВЕС із 143 турбін, що простягнеться більше ніж на 16 км узбережжя. Очікується, що вона генеруватиме близько 1 ГВт електрики. Її розташування у зоні колишньої атомної катастрофи символізує майбутнє домінування чистої відновлюваної енергії над атомною. Загалом Японія збирається до

2040 р. стати повністю енергетично незалежною, причому переважно завдяки відновлюваній енергетиці.

Отже, вітрова енергетика крокує планетою «семимильними кроками». Проте їй ще треба відвойовувати своє місце під сонцем як у «боях» з традиційними енергетичними важкоатлетами, так і з іншими паростками «зеленої» енергетики.

6.2.3 Біологічні джерела енергії

Біоенергетика спеціалізується на використанні енергії біомаси – органіки, яка утворюється за рахунок фотосинтезу. «Зелене паливо» – так інколи називають палива рослинного походження, сировиною для отримання яких є біомаса. Проте, чим більше говорять про біоенергетику, тим частіше під поняттям «біопаливо» розуміють рідкі біопалива (біодизель, біоетанол і метанол) та забувають про тверді й газоподібні – біогаз, синтез-газ, піролізні рідини, відходи аграрного виробництва і побуту, залишки переробки деревини.

Енергетичні рослини, які вирощуються для отримання енергії, у найближчому майбутньому конкуруватимуть з газом і дизелем. Біомасу в енергетичних цілях можна використовувати у процесі безпосереднього спалювання деревини, соломи, сапропелю (органічних донних відкладів), а також у переробленому вигляді як рідкі (ефіри ріпакової олії, спирти) або газоподібні (біогаз) палива. Конверсія біомаси у енергоносії може відбуватися фізичними, хімічними і біологічними методами; останні є найбільш перспективними.

Біоенергетика – вибір, який має глобальну перспективу для подальшого успішного розвитку цивілізації. Подолання сучасних і запобігання ймовірним екологічним кризам неможливі без застосування новітніх екобіотехнологій для очищення стічних вод, біосорбції важких металів зі стоків, знешкодження небезпечних газових викидів, збагачення повітря киснем, використання перспективних засобів знешкодження твердих і рідких промислових відходів, біодеградації пестицидів, підвищення ефективності методів біологічного відновлення забруднених ґрунтів, заміни низки агрохімікатів на біотехнологічні препарати тощо. Важливими напрямками також мають стати розробка екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу і водню з органічних відходів.

Екобіотехнологія – це застосування технологічних процесів з використанням живих організмів, спрямованих на поліпшення, захист і відновлення порушеного людиною довкілля. Екобіотехнології мають суттєві переваги порівняно з традиційними фізико-хімічними чи хімічними природоохоронними технологіями. Біоенергетика – невід’ємна складова екобіотехнологій. Використання біоенерге-

тичних підходів у розв'язанні енергетичних і екологічних проблем людства нині принципово можливе і доцільне.

У світі відомо чимало швидкозростаючих енергетичних культур – тополя, верба, акація, безголкова троянда, топінамбур, соняшник, просо, сорго, тростина, міскантус, очерет і багато інших. Термін *«енергетичні плантації»* вживається для визначення плантацій твердих порід деревини, що швидко зростають у початковий період і розмножуються шляхом зрізання і пускання паростків з пеньків. Велика кількість культур була досліджена для потенційної можливості їхнього використання у якості енергетичних культур, але тільки невелика кількість досягла комерційного рівня і вирощується на великих площах. Попит на такі культури призвів до їхнього клонування для посилення таких показників, як стійкість до морозів, засухи, шкідників тощо.

Найбільшим попитом користуються енергетичні культури для отримання твердих біопалив – верба і тополя. У Швеції і Данії, наприклад, вони використовуються у місцевих системах опалення для комбінованого виробництва теплової і електричної енергії. Нині створено чимало станцій комбінованого спалювання вугілля з додаванням біопалива (соломи, тріски), використання якого зменшує споживання викопних палив, а також шкідливі викиди у атмосферу. Звісно, використання біомаси, як спеціально вирощеної, так і вилученої з відходів виробництва або з комунальних звалищ, – це великий клопіт. Загалом собівартість такої «зеленої» енергії вища, ніж «чорної» з вугілля. Це з урахуванням подрібнення, висушування і відповідного зберігання.

У країнах Євросоюзу використання енергетичних культур особливо популярне. Зокрема, у Швеції плантації верби займають площі до 20 тис га. Продукцію швидкозростаючих плантацій продають у вигляді дерев'яних трісок, що застосовують для опалення або виробництва електроенергії. Нині у Швеції щороку вербові тріски поставляють на 25 різних когенераційних станцій. Після збору трісок верби з вологістю до 50% їх можна відразу відправляти на спалювання. Найкращий рівень врожайності у Швеції становив 12 т/га, що еквівалентно 5 т нафти.

Існує багато причин, чому варто наслідувати досвід вирощування верби у Швеції, яка займає у цій галузі провідні позиції. Сільське господарство може вирощувати вербу на ґрунтах, не придатних для вирощування зернових культур, а також створити нові робочі місця та забезпечити роботою працівників у зимовий період. Зрештою, енергетична верба може зайняти нішу, де вона зможе внести вагомий внесок у вирішення не тільки енергетичних, а й екологічних проблем, пов'язаних з очисткою стічних вод.

Окрім рослинного матеріалу, одержувати енергію можна з різноманітних твердих і рідких *відходів*, що утворюються в процесі життєдіяльності людей у великих кількостях. Це побутові відходи, каналізаційні стоки міст, стоки й відходи виробництва і переробки сільськогосподарської продукції, величезна кількість органічних залишків лісозаготівлі, переробки деревини тощо. Нині вже розроблені технології, які дозволяють одержувати енергію з усієї цієї колосальної маси органічних решток.

Утилізація *твердих побутових відходів* (ТПВ) з отриманням енергетичного ефекту передбачає їхнє спалювання на сміттєспалювальних заводах для виробництва електричної і теплової енергії, а також отримання з полігонів їхнього складування горючого газу (ГГ). Можлива також утилізація відходів деревини і аграрного виробництва. Технологія така: надлишок соломи злаків, стебла і стрижні качанів кукурудзи, стебла і кошики соняшника, костриця луб'яних культур безпосередньо спалюються в енергетичних установках з отриманням енергетичного ефекту та перетворюються шляхом конверсії на ГГ (біогаз і генераторний газ) з подальшим використанням як моторного, так і котельно-підного палива.

Найбільшого поширення у країнах Західної Європи мають котли для спалювання тюків *соломи* потужністю від 70 до 1000 кВт – їх називають фермерськими. Фермерські котли мають велику топкову камеру прямокутної чи циліндричної форми, яка оточена водяною сорочкою (Рис. 114). Димові гази з топки виходять через пучок димогарних труб. Подача повітря у топку здійснюється у вигляді потужних струменів за допомогою одного або кількох вентиляторів. На початку горіння струмені повітря спрямовують на верхню частину тюків і поступово опускають. Таким чином струмені повітря ніби зрізують соломі шар за шаром, забезпечуючи ефективне займання соломи і догорання димових газів над тюком. Горіння соломи триває кілька годин залежно від розміру і кількості завантажених тюків. За цей час теплота, що виділяється, акумулюється у водяному баку-акумуляторі. Через проміжний теплообмінник теплота з контуру котла передається у теплову мережу. Котли оснащують автоматизованими системами управління, які забезпечують ефективну роботу котла і досягнення ККД до 81-84%.

Сучасні тверді біопалива – це не лише солома чи очерет. З метою отримання максимального енергетичного ефекту від використання рослинної біомаси необхідно забезпечити підвищення теплотворної здатності (питомої теплоти згорання) твердого біопалива, зручність транспортування (подачі) до теплових установок (котлів), керованість процесом горіння. Тому переробку рослинної біомаси здійснюють шляхом гранулювання або брикетування, внаслідок чого отримують

кінцевий продукт переробки – паливні гранули або брикети (Рис. 115). Останніми роками найбільшої популярності набувають пелети.



Рис. 114. Фермерський котел



Рис. 115. Паливні брикети

Пелети – це спеціальне паливо, сформоване у зручну для транспортування, зберігання і застосування форму, яке використовується для автоматичної подачі в опалювальне устаткування. Пелети виготовляються з відходів деревообробки і сільськогосподарського виробництва (деревина, солома, лушпиння соняшникового насіння, виноградна вичавка і лоза) у вигляді спресованих гранул, без застосування будь-яких хімічних добавок (Рис. 116). Котли, що працюють на пелетах, мають високий рівень автоматизації і забезпечують підтримку заданої температури. Подача палива з бункера також здійснюється автоматично, завдяки чому пелетний котел може функціонувати без участі людини (Рис. 117).



Рис. 116. Пелети з різних видів біопалива

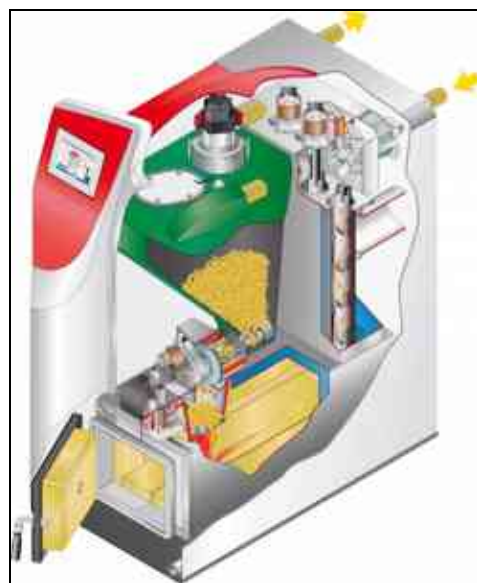


Рис. 117. Пелетний котел

Перші пелетні котли у Європі почали випускати наприкінці 1990-х років, а уже на початку XXI ст. котельні з пелетними котлами потужністю від 50 до 100 кВт і вище з'явилися у готелях, школах, на промислових підприємствах і у фермерських господарствах. У 2002-2005 рр. почалося широке використання пелет для опалення цілих житлових районів у європейських містах, особливо багатопверхової забудови. Наприклад, 2010-го у Лондоні відкрився новий готель Park Plaza Westminster Bridge London, який став не тільки найбільшим, але й «найчистішим» екологічним готелем у британській столиці, оскільки опалення і гаряче водопостачання тут здійснюється за допомогою пелетної котельні.

Крім спалювання, існують й інші способи одержання енергії з біомаси тваринного і рослинного походження. Зокрема, спосіб, який має багато переваг, – це анаеробне (без доступу кисню) зброджування під дією наявних у біомасі метанобактерій. Ці мікроорганізми активно розвиваються у органічних рештках, а в результаті процесів їхньої життєдіяльності утворюється *біогаз*. Це газ, який приблизно на 60% складається з метану (CH_4) і на 40% – з вуглекислого газу (CO_2). Синонімами біогазу є «каналізаційний газ», «шахтний газ», «болотний газ», «газ-метан». Процес так званого гниття, або безкисневого бродіння, за участю мікроорганізмів слідує за ланцюгом живлення. Теплоємність біогазу доволі велика: 1 м³ утворює стільки ж тепла, скільки 600-800 г антрациту. Тонна органічних решток (гній, сміття) дає до 500 м³ біогазу. Щоправда, цей процес відбувається досить повільно, але безсумнівно його перевагою є те, що понад 80% енергії, яка міститься у стічних водах або відходах, вилучається у вигляді горючого газу.

Використання біогазу може бути дуже економічно привабливим, не кажучи вже про екологічні вигоди. Наприклад, навіщо тягнути газопровід до віддаленого хутору, якщо його може забезпечити газом місцева свиноферма? Рішення цієї і багатьох подібних проблем – застосування найбільш ефективної технології очищення стічних вод підприємств з одержанням біогазу і подальшої його утилізації у когенераційних установках з одержанням електричної і теплової енергії.

Технологія одержання біогазу дуже проста: гноєм, сміттям, соломною, листям заповнюють бетонні ємності або колодязі будь-якого об'єму. Ємність має бути щільно закрита, щоб не було доступу кисню. Газ, який утворюється в процесі бродіння, відводять у приймальні пристрої або безпосередньо у газову плиту. Подібні установки нині діють у багатьох країнах світу. Найперші біогазові установки (БГУ) виникли задовго до створення наукових основ метаногенезу. Спочатку це були спроби імітації природних процесів розкладання органічної речовини у болотах з виділенням болотного газу, що містить метан.

Окремі випадки використання примітивних біогазових технологій були зафіксовані у Китаї, Індії, Сирії й Персії, починаючи з XVII ст. до н. е. Проте систематичні наукові дослідження біогазу розпочалися тільки у XVIII ст. У 1764 р. Бенджамін Франклін у своєму листі Джозефу Пристлі описав експеримент, в ході якого йому вдалося підпалити поверхню дрібного заболоченого озера у Нью Джерсі, США. А перше наукове обґрунтування утворення займистих газів у болотах дав італійський фізик Алессандро Джузеппе Вольта у 1776 р., встановивши наявність метану в болотяному газі. Після відкриття хімічної формули метану в 1804 р. європейськими вченими були зроблені перші кроки у дослідженні практичного застосування біогазу.

Починаючи з 1880-х, біогаз стали використовувати для обігріву приміщень і освітлення вулиць. Зокрема, 1895-го вуличні ліхтарі в одному з районів міста Ексетер у графстві Девоншир (Англія) забезпечувалися газом, який утворювався у результаті бродіння стічних вод і збирався у закриті ємності. Двома роками пізніше з'явилося повідомлення про отримання біогазу в Бомбеї, де газ збирався у колектор і використовувався як моторне паливо для двигунів. На початку XX ст. дослідження щодо підвищення кількості біогазу шляхом збільшення температури бродіння були продовжені. Дефіцит палива у роки Першої світової війни спричинив поширення БГУ в Європі.

1911 р. у англійському місті Бірмінгемі був побудований завод для знезараження стічних вод, а вироблений біогаз використовувався для виробництва електроенергії. Таким чином, британські вчені стали піонерами практичного застосування нової технології. Вже до 1920 р. вони розробили декілька типів установок для переробки стічних вод. Перша біогазова установка для переробки твердих відходів була побудована в Алжирі у 1938 р.

У роки Другої світової війни, коли енергоносії катастрофічно не вистачало, у Німеччині й Франції активізували отримання біогазу з відходів сільськогосподарського виробництва, передусім з гною тварин. У післявоєнний час європейські установки довоєнного періоду не витримали конкуренції з дешевими енергоносіями і були демонтовані. А новим імпульсом для упровадження біогазових технологій на новій основі стала енергетична криза 1970-х років.

Нині світовим лідером виробництва біогазу є Євросоюз загалом і Німеччина зокрема. Загальна кількість БГУ у Європі перевищує 11 тисяч, з яких 7,2 тис – у Німеччині. Біогаз переважно використовується для виробництва електроенергії і тепла. За прогнозом Єврокомісії щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ у 2020 р., частка струму з біогазу становитиме 8%, перевищивши частку ма-

лої гідроенергетики, геотермальної і сонячної енергетики. Останніми роками почали стрімко розвиватися проекти з виробництва очищеного біогазу – *біометану* – з подальшим закачуванням у мережі природного газу. За визначенням Європейської біогазової асоціації (European Biogas Association), біометан – це збагачений біогаз, отриманий за допомогою анаеробної ферментації, або очищений синтез-газ, отриманий у ході газифікації біомаси.

У світі постійно упроваджують нові технології одержання біогазу. Наприклад, на молокопереробних підприємствах у Німеччині й Швеції переробляють сироватку з метою одержання біогазу. Сучасні технології дають змогу використовувати біогаз, газ стічних вод, газ сміттєвих полігонів, піролізний, синтез-газ та інші особливі гази для вироблення електричної і теплової енергії. Постійне удосконалювання двигунів і спеціалізація на використанні особливих газів забезпечують можливість застосування газів з низькою теплотою згоряння.

Сучасні БГУ, поряд з одержанням енергії, також виконують роль очисних споруд, що знижують хімічне і бактеріальне забруднення ґрунту, води, повітря і переробляють відходи на нейтральні мінералізовані продукти. Енергетичний або природоохоронний акцент біогазових установок залежить від конкретних умов, проте у більшості випадків для промислово розвинутих країн необхідність їхнього спорудження визначається розв'язанням саме екологічних проблем. Разом з тим, БГУ є джерелом палива, тому на їхній базі можуть створюватися нові варіанти систем енергопостачання.

У якості *сировини* для одержання біогазу можна використовувати органічні відходи аграрних виробництв і переробних підприємств, які мають рідку або напіврідку консистенцію. Це передусім гній великої рогатої худоби (ВРХ), свиней, пташиний послід, відходи боєнь (кров, жир, кишки), рештки рослин, силос, прогниле зерно, каналізаційні стоки, жири, відходи харчової промисловості, садові відходи, солодовий осад, вичавлювання, буряковий жом, технічний гліцерин (Рис. 118). Якщо реактор працює нормально, одержуваний біогаз містить 60-70% метану, 30-40% двоокису вуглецю, незначну кількість сірководню (до 3%), а також домішки водню, аміаку і окислів азоту, не має неприємного запаху, а теплота його згоряння досягає 25 МДж/м³. Біогаз можна використовувати для спільного вироблення електроенергії і теплоти у когенераційних схемах, спалювати для одержання теплоти або накачувати у балони для використання на транспорті (Рис. 119).



Рис. 118. Біогазова станція на стічних водах птахофабрики

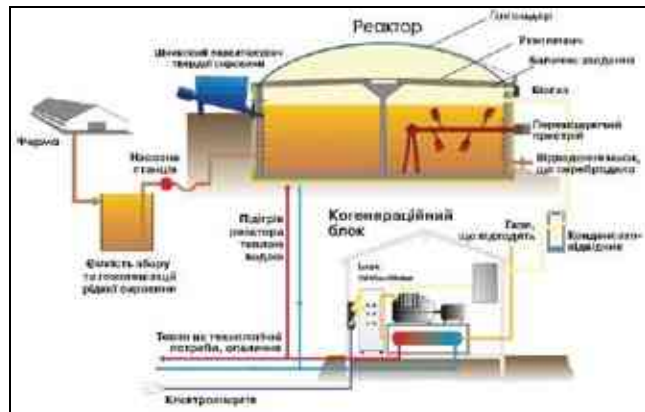


Рис. 119. Схема когенераційної БГУ

Після зброджування гною утворюється *біошлам*, у якому міститься багато цінних речовин, зокрема амінокислоти, амонійний азот і фосфор, а також вироблені мікроорганізмами вітаміни групи В. Тому шлам, що перебродив, можна використати з метою одержання білково-вітамінних добавок для годівлі тварин, птиці й риби. Органічні добрива, що утворюються під час метаногенезу, порівняно з не забродженим гноєм, забезпечують додатковий приріст урожайності у середньому на 20%. Під час анаеробної переробки відбувається мінералізація азоту й фосфору, а також забезпечується їхня консервація у процесі зберігання добрив, на відміну від традиційних способів компостування, за яких до 30-40% азоту втрачається. Унаслідок дії метанобактерій, на 90-99% зменшується проростання насіння бур'янів, яке міститься у гної ВРХ, що дає змогу поліпшувати фітосанітарний стан угідь. Мікроорганізми знищують також яйця гельмінтів та усувають неприємні запахи органічних добрив. Усі ці чинники сприяють поліпшенню екологічного стану довколишнього середовища.

БГУ, які працюють на гної тварин, є найпростішими за своєю конструкцією і тому отримали значне поширення в усьому світі (Рис. 120). Мікроорганізми, що беруть участь у процесі бродіння, потрапляють у гній вже з кишечника тварин, тому не потрібно їх додатково додавати. БГУ дозволяють заощаджувати на купівлі мінеральних добрив і засобів захисту рослин. Порівняно із звичайним гноєм і мінеральними добривами *біодобрива* мають такі основні переваги:

У *Максимальне збереження і накопичення азоту.* За тривалого зберігання (компостування) гною втрачається до 50% азоту. А завдяки анаеробному зброджуванню у БГУ загальний азот N у біодобриві повністю зберігається; крім того, вміст розчинного азоту Nh_4-n збільшується на 10-15%.

У Відсутність насіння бур'янів. Це насіння не втрачає здатність до проростання, навіть пройшовши через шлунок тварини. Після БГУ 99% насіння втрачає цю здатність.

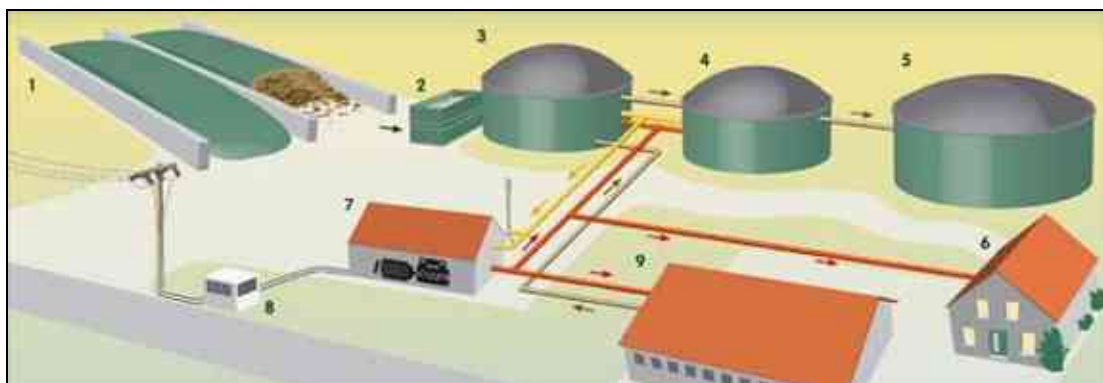


Рис. 120. Стандартна БГУ:

1 – силосні ями; 2 – система завантаження біомаси; 3 – реактор; 4 – реактор бродіння; 5 – субстратор; 6 – система опалення; 7 – силова установка; 8 – система автоматики і контролю; 9 – система газопроводів

У Відсутність патогенної мікрофлори. У гної можуть міститися небезпечні для тварин і людей хвороби: сибірська виразка, туберкульоз, бруцельоз, паратиф, ящур, сальмонельоз, аскаридоз, кишкові інфекції. Біодобрива, завдяки спеціальній технології переробки у БГУ, повністю позбавлені цієї мікрофлори.

У Наявність активної мікрофлори. Високий рівень гуміфікації органічної речовини служить потужним поштовхом для активації ґрунтових мікроорганізмів, азотфіксуючі та інші мікробіологічні процеси відбуваються набагато швидше.

У Відсутність періоду зберігання. Завдяки своїй формі, біодобрива починають ефективно працювати відразу при внесенні, і не потрібно зберігати їх у лагунах декілька років.

У Стійкість до вимивання з ґрунту поживних елементів. За сезон з ґрунту вимивається близько 80% мінеральних добрив, тому доводиться щороку їх додавати у великих кількостях. За цей самий час з ґрунту вимивається усього до 15% біодобрив. Внесені у невеликих кількостях, біодобрива працюватимуть на 3-5 років довше, ніж звичайні добрива.

У Екологічний вплив на ґрунт. Мінеральні добрива можуть завдавати значної шкоди, забруднюючи ґрунт і ґрунтові води, тоді як біодобрива є абсолютно чистим екологічним добривом.

Спробуємо підсумувати усі переваги встановлення БГУ. Біогазова установка приносить «доходи з відходів» або «гроші з гною». БГУ – це найактивніша си-

стема очищення, яка дуже швидко окупається і дає прибуток. Більшість видів сировини можна змішувати з іншими. При цьому БГУ одночасно і у великих кількостях може надавати наступні блага:

- утилізацію біовідходів;
- біогаз;
- електроенергію;
- тепло;
- добрива;
- заощадження капітальних витрат при будівництві нових комплексів.

Усе вище наведене виробляється за нульової собівартості. Адже біосміття безкоштовне, а сама установка для власних потреб використовує лише 10-15% виробленої енергії. Окупність переробки гною становить 2-3 роки, а для деяких інших видів сировини – взагалі один рік. Якщо користуватися природним газом, за нього треба платити, а газ від БГУ – завжди безкоштовний. З 1 м³ біогазу в генераторі можна виробити 2 кВт *електроенергії*, причому без перепадів, як у суспільній мережі. Ціна на електроенергію постійно зростає, а електроенергія від БГУ – завжди безкоштовна.

Тепло від охолодження генератора або від згорання біогазу можна використовувати для опалення, сушіння насіння чи дров, отримання кип'яченої води. Поруч з БГУ можна встановити теплиці. Зокрема, 2 га теплиць можна опалювати лише за рахунок охолодження електрогенератора, не спалюючи газ спеціально для отримання тепла. Тепло також можна використовувати, наприклад, для охолодження свіжого молока на молочних фермах або для зберігання м'яса чи яєць. Аграрії щорічно купують і везуть здалеку дорогі добрива. А добрива лежать під боком, до того ж найвищої якості, а їхня собівартість дорівнює практично нулю. Використання збалансованих біодобрих дає підвищення врожайності на 30-50%. І останнє: завдяки БГУ на підприємстві не буде смороду і гноївки під ногами.

Окрім біогазу, існують інші види біопалива, які можна використовувати у тому числі й на транспорті, – це біодизель і біоетанол. Останній має найбільший потенціал, з огляду на невичерпні джерела його отримання. Сировиною для виробництва біоетанолу можуть бути різні культури з великим умістом цукру: маніок, картопля, цукровий буряк, батат, сорго, а також пшениця і ячмінь. *Етанол* – найдавніший продукт біотехнології, яка зародилася не менше 4 тисяч років до н. е. у древньому Єгипті й Вавилоні. У цій технології цукри (глюкоза, сахароза та деякі інші) зброджують (ферментують) у безкисневому середовищі пекарськими (спиртовими) дріжджами. Ще донедавна майже увесь етанол, отриманий шляхом дріж-

джового зброджування цукру, використовувався виключно для виробництва алкогольних напоїв. Лише незначна його кількість, переважно отриманого хімічним шляхом, застосовувалася у промисловості. Однак протягом останніх 25-30 років ситуація докорінно змінилася. Нині більше половини світового виробництва етанолу використовується як додаток до палива для двигунів внутрішнього згоряння (бензину), і лише близько 15% – для виробництва спиртних напоїв.

Перші спроби використання етилового спирту як автомобільного палива були здійснені ще на початку XX ст. У 1902 р. на інтернаціональному конкурсі у Парижі демонструвалося більше 70 карбюраторних двигунів, що працювали на етиловому спирті та його сумішах з бензином нафтового походження. Однак етиловий спирт не знайшов відразу швидкого і широкого застосування. І тільки у 70-х рр. XX ст., через катастрофічне погіршення екологічної обстановки і нафтову кризу, почалося відродження інтересу до спиртів і, особливо, до етанолу. Це обумовлено тим, що етанол може бути отриманий з постійно поновлюваних джерел рослинної сировини, а також побутових відходів. З 1980-х років у Бразилії, США, Швеції, Голландії, Франції, Канаді й Колумбії розпочалося масове використання бензинів, що містять 5, 10, 15 і 22% паливного етанолу.

З приблизно 104 млн м³ етанолу, виробленого у світі 2013 р., більше 80% (87,2 млн м³) було використано у сумішах з паливом. Лідерами з виробництва біоетанолу є США і Бразилія. Частка Бразилії у структурі світового виробництва паливного етанолу 2013 р. становила 27,6%. Увесь бразильський етанол одержують з цукрової тростини ферментаційним способом. Тому країна займає найвигідніші позиції на ринку біоетанолу, оскільки багаса⁴⁵ – основний побічний продукт переробки цукрового очерету – використовується для спалювання як паливо. У Бразилії біоетанол пропонується як чисте паливо (E100), а також змішується зі звичайним бензином. Приблизно 90% нових зареєстрованих автомобілів у Бразилії – «гнучкі паливні транспортні засоби», що можуть працювати на регулярному бензині, на біоетанолі або на їхній суміші.

У США, навпаки, переробні підприємства платять за паливо, а побічні продукти процесів виробництва біоетанолу і біодизелю найчастіше продають на корм тваринам. Сам біоетанол переважно використовується у вигляді 10% добавки до бензину. Частка США у структурі світового виробництва паливного етанолу 2013 р. була найвищою і становила 58,6%. 2014-го споживання кукурудзи для виробництва етанолу в США зросло на 5%, тоді як споживання сорго – скоротилося.

⁴⁵ Багаса – відходи, що складаються з волокнистої частини цукрової тростини після вилучення з неї соку.

Найбільшим світовим виробником біоетанолу США стали у 2005 р. А 2000 р. частка біоетанолу на ринку бензину становила усього 1%, у 2006 р. вона зросла до 3%, а у 2011-му сягнула 10% (Рис. 121). Внутрішні виробничі потужності виробництва біоетанолу у США за період 2000-2012 рр. збільшилися більш ніж удев'ятеро.

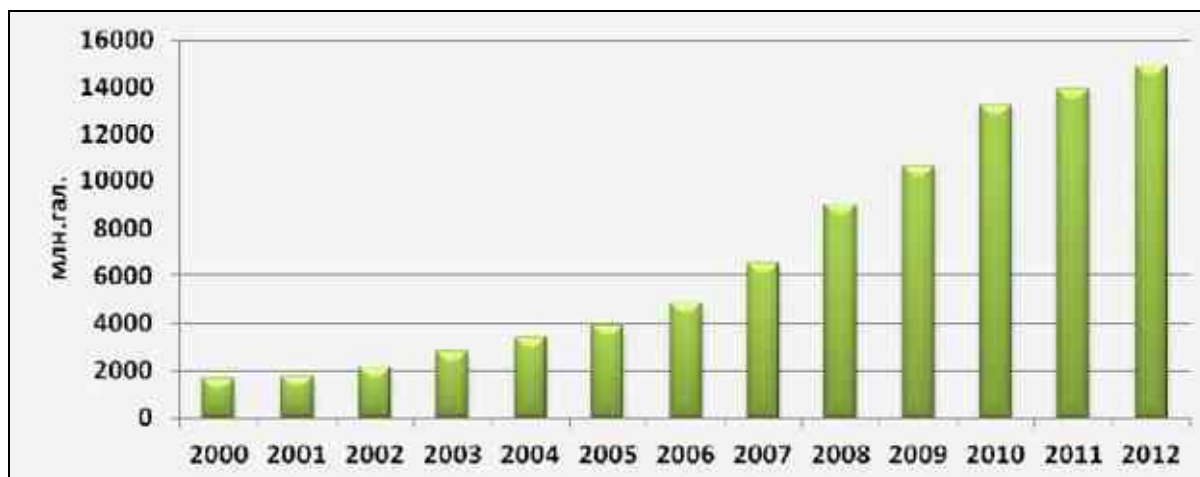


Рис. 121. Обсяги виробництва біоетанолу в США

Біоетанол може змішуватися з бензином або спалюватися у чистому вигляді у декількох модифікованих двигунах з іскровим запалюванням. Літр етанолу містить приблизно 66% енергії, що забезпечується літром бензину, але має вище октанове число і тому при змішуванні з бензином покращує його показники. Крім того, біоетанол покращує згоряння палива в автомобілях, зменшуючи викиди окису вуглецю, незгорілих вуглеводнів і канцерогенів. Порівняно з бензином етанол містить лише слідові кількості сірки. Отже, змішування етанолу з бензином сприяє зменшенню вмісту сірки у паливі й знижує викиди оксидів сірки. Крім того, виробництво паливного етанолу створює додатковий попит на сільськогосподарські культури.

Надзвичайно важливим є глобальний позитивний ефект використання біоетанолу як палива, адже вуглекислий газ, що виділяється під час його спалювання, має первинне атмосферне походження. Тобто його знову можуть асимілювати рослини, які потім служитимуть джерелом отримання цього ж самого паливного етанолу. Коли ж використовується викопне паливо, то виділений ним CO_2 є додатковим джерелом сумнозвісного парникового ефекту. Дослідження, проведені у Канаді, свідчать, що використання палива E85 дозволяє знизити викиди парникових газів на 37%; оксиду вуглецю – на 25-39%; оксидів азоту – на 20%; летучих органічних сполук – на 30%; канцерогенних ароматичних сполук – на 50%.

Біодизельне паливо виробляється з ріпаку та сої, і нині воно дорожче за традиційне дизпаливо. Для отримання біодизелю можна використовувати також соняшникову і кукурудзяну олію, але найчастіше використовують ріпакову олію, оскільки собівартість виробництва зерна ріпаку порівняно з іншими олійними культурами найнижча. Біопаливо на основі рослинної олії ще у 1853 р. винайшли англійці. 10 червня 1893 р. у баварському місті Аугсбург відомий інженер і конструктор *Рудольф Дизель* випробував свій перший одноциліндровий двигун завдовжки 3 м і вагою 4,5 т. Двигун вибухнув і ледь не вбив винахідника. На згадку про подію, 10 червня проголошено «Міжнародним днем біодизелю». А 1900 р. на Всесвітній виставці у Парижі Р. Дизель продемонстрував свій двигун і отримав головну нагороду.

Дизель вірив, що майбутнє для його двигунів – за використанням біопалива. У 1912 р. він сказав: «Використання рослинних жирів для виробництва палива може видаватися несуттєвим зараз, але з плином часу такі жири стануть настільки ж важливими, як зараз продукти з нафти і вугільної смоли». Дійсно, на той час біопаливо було набагато дорожчим від звичайного дизельного палива з нафти. Протягом 1920-х виробники дизельних двигунів переорієнтували свої двигуни на використання дизпалива, виготовленого з нафти, що має меншу в'язкість порівняно з рослинними жирами. Нафтова промисловість спромоглася здійснити вторгнення на паливний ринок, оскільки виробництво палива з нафти було значно дешевшим, ніж з біологічної сировини. Як наслідок – багаторічний занепад виробництва біопалива. Лише нещодавно на тлі занепокоєння станом довкілля та зменшення різниці у вартості, біодизельне паливо стало реальною альтернативою.

Дослідження щодо використання соняшnikової олії і наближення її якості до стандартів звичайного дизпалива проводилися у ПАР у 1979-1983 рр. У результаті був розроблений технологічний процес виготовлення біодизелю, якість якого відповідала нормам звичайного дизельного палива. Австралійська компанія Gaskoks отримала технологію від південноафриканських дослідників і спорудила перший пілотний завод для виробництва біодизелю у 1987 р., а перший завод для масового виробництва – у 1989 р.

Протягом 1990-х подібні заводи були споруджені у багатьох Європейських країнах, зокрема Чехії, Німеччині, Швеції. Франція розпочала власне виробництво біодизелю з рапсової олії: у звичайне дизпаливо додається 5% біодизелю, а у дизельне паливо, що використовується громадським транспортом, – 30%. Мільйони автомобілів у Європі працюють на біодизелі. Чистий, без домішок, біодизель мо-

же заливатись до баку будь-якого дизельного транспорту. Країни по всьому світу розвивають власне виробництво. І цьому є багато причин.

Крім зниженої температури затвердіння (а це вельми важливо для зимових погодних умов), біодизель як моторне паливо має низку цінних якостей. Його застосування істотно подовжує тривалість життя двигуна, бо таке паливо має кращу змащувальну здатність, ніж пальне з нафти. За рахунок того, що біодизель містить 11% кисню, у продуктах його згоряння кількість вуглекислого газу зменшується на 80%, чадного газу – на 35%, окисів сірки – на 100%, аерозолів (димових часток розміром менше 10 мікрон) – на 32%, ніж у звичайного дизпалива. Ясна річ, ці показники мають першорядне значення для поліпшення екологічної ситуації. Цікаво також і те, що біодизель має приємний запах попкорну чи смаженої картоплі.

У разі потрапляння біодизельного палива у воду чи ґрунт воно практично повністю розпадається протягом 25-30 днів, тоді як 1 кг мінеральних нафтопродуктів може забруднити до мільйона літрів питної води, знищивши у ній всю флору і фауну. Біодизель може бути використаний у чистому вигляді (марка У100) або у суміші зі звичайним дизпаливом. Так, найпоширеніший склад В20 відповідає 20% біодизеля і 80% звичайного палива.

Американська компанія Solazyme розробила нову технологію, яка дозволяє використовувати водорості у якості сировини для отримання автомобільного палива. За допомогою генної інженерії Solazyme вивела нові види водоростей і розробила технологію їхнього пришвидшеного вирощування. Водорості поміщаються у сталеві контейнери і ростуть не на сонці, а у темряві. У якості поживного елементу застосовується цукор, який водорості перетворюють на нафтоподібну рідину. На базі цієї рідини можна виробляти біодизель і біогас (авіаційне паливо).

Solazyme створила декілька видів водоростей, які виробляють різні види палива. Деякі з них здатні видавати субстанцію, що за характеристикам співпадає з легкою нафтою. Нове біопаливо було успішно апробовано на автомобілях з дизельними двигунами. Solazyme не заперечує, що нині біопаливо з водоростей дорожче традиційних бензину і мазуту, але обіцяє найближчим часом знайти можливість здешевити процес виробництва. Перевага водоростей перед іншою сировиною для біопалива полягає у тому, що для їхнього виробництва потрібно набагато менше добрив і площ.

Отже, світовий досвід переконує, що *рідкі* біопалива стають перспективною категорією енергоресурсів, яка за своїм значенням посідає наступну позицію після твердих палив з біомаси. Невелика поки що частка рідкого біопалива від загального використання моторних масел, мінерального дизелю і бензину в країнах

ЄС пояснюється передусім високою вартістю виробництва, що робить рідке біопаливо неконкурентоспроможним порівняно з традиційним. Незважаючи на високу собівартість, завдяки продуманій екологічній політиці на державному рівні, виробництво рідкого палива з біомаси динамічно зростає у всьому світі.

З біомаси також можна отримувати *біоводень*. Хімічним шляхом біомаса може безпосередньо перероблятися у водень: з 20 т біомаси можна отримати 2,2 т біоводню. Після виділення біоводню залишається багато мінеральної речовини, яку можна використовувати як добриво. Водень, отриманий шляхом переробки органіки рослинного походження, є ідеальним паливом, що має високу теплотворну здатність ($12,8 \text{ кДж/м}^3$) і згорає без утворення будь-яких шкідливих домішок. Існують фототрофні бактерії, здатні виділяти водень під дією світла. Щоправда, це відбувається доволі повільно, проте у них містяться такі ферменти, які дозволяють каталізувати утворення водню з води. Деякі ферменти паралельно з воднем утворюють і кисень, тобто відбувається фотоліз води. Вчені Каліфорнійського університету у 1999 р. виявили, що якщо водоростям не вистачає кисню і сірки, то процеси фотосинтезу різко слабшають, і починається бурхливе утворення водню. Водень можуть виробляти зелені водорості з морської води або каналізаційних стоків.

Підсумовуючи все вищесказане, можна зробити такий висновок: енергія з біомаси представлена на планеті чи не у найбільшому асортименті. Можна просто спалювати біомасу і отримувати енергію у вигляді тепла і газу. Зброджуючи біомасу, можна отримати етанол, а застосовуючи анаеробне бродіння – біогаз. У разі переробки олійних культур як джерело енергії можна отримати біодизель. Однак тут постає важливе запитання: *чи достатньо на планеті запасів біомаси для задоволення потреб людства виключно за допомогою її енергії?* Річ у тім, що більшість країн світу просто не використовують свій потенціал біомаси. Шляхом поліпшення системи управління і менеджменту урожаїв сільськогосподарських культур можна підвищити, треба тільки дотримуватися правильних технологій. При цьому виділення додатково менше 2% земельних ресурсів для збільшення вирощування біомаси виключить ймовірну конкуренцію з виробництвом сільськогосподарських продуктів чи збереженням природи.

Поки що витрати на виробництво біоетанолу і біодизелю майже удвічі перевищують витрати на мінеральне паливо. Навіщо ж виробляти біодизель, коли можна спалювати бензин? Порівняємо різні види палива. Енергетична цінність 1 т зерна становить 1,376 МДж. Якщо цю масу переробити на біоетанол, вихід енергії буде на 30% більшим, а у разі використання усіх побічних продуктів енер-

гетична цінність зросте на 60%. Коли усі затрати на вирощування сільськогосподарських культур перерахувати у еквівалент енергії і порівняти з урожайністю, то напрашується висновок, що сільське господарство є найбільш прибутковим серед усіх інших галузей, адже воно є найбільшим виробником енергії.

Що ж відбувається на ринку альтернативного палива? Німеччина може запропонувати біоетанол за ціною 0,48-0,55 євро/л, у той час як США – 0,20 євро, а у Бразилії ці витрати взагалі доходять до 0,13 євро за 1 літр пального. Виграє той, хто використовуватиме для виробництва біоетанолу дешевшу сировину. Перспективним здається виробництво пального в ЄС з дешевої цукрової тростини, придбаної, скажімо, у Бразилії. Якщо Україна прагне вийти на ринок біоетанолу зі своєю продукцією, то конкурувати доведеться саме з Бразилією.

Останнім часом у деяких країнах дійшли висновку, що дешевше спалювати зерно, аніж пальне з нафти. Розрахунки показали, що 2,6 кг зерна можуть замінити 1 л палива, яке отримується з нафти. При цьому необхідне зерно обійдеться у 0,26 євро (за вартості 100 євро/т), а 1 л нафтового палива – 0,60 євро. Звісно, печі для спалювання зерна коштують дорожче, ніж ті, що працюють на пальному, і ці затрати також треба враховувати. У результаті виходить, що 8 тис кг зерна замінюють 3 тис л пального. Якщо спалювати зерно, то на кожній тонні можна отримати на 19,5 євро більше, ніж від його продажу.

Крім цього, викиди CO₂ можуть бути зменшені на 1000 млн т щороку (це еквівалентно спільним щорічним викидам Канади та Італії), якщо країни – члени Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР) будуть використовувати замість вугілля біомасу. До 2020 р. біомаса зможе забезпечити 15% енергоспоживання у розвинених країнах. Саме біомаса може забезпечити енергоспоживання 100 млн будинків, що еквівалентно заміні 400 традиційних великих електростанцій.

Збільшення виробництва біомаси сприятиме створенню до 2020 р. 400 тисяч нових робочих місць, особливо у сільській місцевості. До того ж, розширення використання біомаси послужить інструментом виконання національних цілей з розвитку ВДЕ. Швеція, наприклад, має намір перейти на використання біомаси для виконання ухвалених урядом зобов'язань щодо відмови від атомної енергетики. У багатьох країнах існують обов'язкові норми щодо використання біопалива, за невиконання яких уряди штрафують нафтові компанії.

До 2020 р. планується збільшити використання біомаси у Європі до 235 млн т. Отже, на біомасу припадатиме 65,8% усіх ВДЕ. За прогнозами експертів, потенціал біомаси збільшиться: у 2020 р. – від 215 до 239 млн т і у 2030 р. – від 243 до

361 млн т, з них у майбутньому найбільший відсоток припадатиме саме на енергетичні культури. З метою збільшення частки ВДЕ у паливно-енергетичних балансах окремих країн, у Євросоюзі прийнято *Білу книгу* «Енергія майбутнього у поновлюваних джерелах енергії». Це видання нині є ключовим документом стратегічного характеру, який визначає напрями довгострокової політики і ставить кількісну мету – збільшення частки ВДЕ з 6% до 10% за період 2000-2020 рр.

6.2.4 Геотермальна енергія

Геотермальна енергія – це енергія, що акумулюється нижче поверхні «твердої» Землі. У одному літрі «внутрішнього простору» Землі накопичено у середньому 2,6 кВт енергії. За рахунок теплоємності Землі люди могли б на 30 млн років уперед покрити сучасну потребу в енергії. Отже, накопичені у надрах Землі запаси енергії, у масштабах людства, є такими ж невичерпними, як і запаси енергії Сонця. Геотермальне тепло Землі переважно утворюється внаслідок розпаду радіоактивних речовин у земній корі й мантії. Температура земної кори углиб підвищується на 2,5-3°C через кожні 100 м (так званий геотермальний градієнт). На глибині 20 км вона досягає близько 500°C, а на глибині 50 км – порядку 700-800°C. У певних місцях, особливо на краях тектонічних плит материків, а також у так званих «гарячих точках», температурний градієнт вище майже у 10 разів, і тоді на глибині 500-1000 м температура порід сягає 3000°C. Однак і там, де температура не така висока, геотермальних енергоресурсів цілком достатньо.

Існують два типи геотермальних ресурсів:

- гідротермальні (геотермальні води, пароводяні суміші та нагріта пара);
- петротермальні (тепло сухих гірських порід з температурою понад 350°C).

Для отримання теплоти, акумульованої у надрах Землі, її спочатку треба підняти на поверхню. Для цього бурять свердловини і, якщо вода достатньо гаряча, вона піднімається на поверхню природним чином; за нижчої температури може знадобитися насос. *Геотермальні води* – екологічно чисте джерело енергії, що суттєво відрізняється від інших альтернативних джерел енергії тим, що його можна використовувати незалежно від кліматичних умов, погоди і пори року. За температурою геотермальні води поділяються на *слаботермальні* – до 40°C, *високотермальні* – 60-100°C, *перегріті* – понад 100°C. Також вони різняться за мінералізацією, кислотністю, газовим складом, тиском і глибиною залягання.

Для вироблення електроенергії використовують геотермальні електростанції (ГеоТЕС) двох типів: перші для генерування струму використовують пару, другі – перегріті геотермальні води. У перших суха пара із свердловини надхо-

дить у турбіну або генератор для вироблення електроенергії. Найбільш поширеними є ГеоТЕС другого типу, де використовуються геотермальні води з температурою понад 190°C. Вода природним чином підіймається вгору свердловиною, подається у сепаратор, де внаслідок зменшення тиску частина її кипить і перетворюється на пару. Пара спрямовується у генератор або турбіну, що виробляє електрику.

Отримання теплової енергії *безпосередньо з гірських порід* можливе лише у місцях, де знаходяться сухі гарячі скельні породи. Там бурять паралельні свердловини, між якими утворюють систему тріщин. Тобто фактично формується штучний геотермальний резервуар, у який подається холодна вода з наступним отриманням пари або пароводяної суміші.

Потужність геотермальної енергії Землі оцінюється приблизно у 32 тис ГВт. Її значні виходи до поверхні локалізовані в районах вулканічної діяльності, де концентрація підземного тепла дуже велика. Якщо комплекс гірських порід, які мають пористість та проникність, виявиться біля приповерхневого магматичного тіла, котре увійшло в континентальну кору, то виникає підземний резервуар пари та води, нагрітих магмою. Гаряча вода і пара, що є в порах порід, формують так звані «геотермальні басейни». Якщо такий «басейн» містить проникні гірські породи, то гаряча вода і пара можуть виходити на поверхню через бурові свердловини та використовуватися для приведення у дію електричних турбін. Оскільки пара більш придатна для енергогенеруючих турбін, поки освоюються здебільшого ті геотермальні басейни, які містять пару.

За сучасними оцінками, геотермальна енергія, акумульована у перших десятих кілометрах земної кори, досягає 137 трлн. т у. п., що удесятеро перевищує геологічні ресурси усіх видів палива, разом узятих. З усіх видів геотермальної енергії найкращі економічні показники мають *гідрогеотермальні ресурси*, з яких нині використовується лише 1% загальних запасів. Термальні води доцільно застосовувати для опалення і гарячого водопостачання, а також для технологічних цілей. Гідротермальні конвективні системи використовуються для виробництва електроенергії. Це підземні басейни пари чи гарячої води, які виходять на поверхню землі, утворюючи гейзери (Рис. 122) і фумароли⁴⁶ (Рис. 123).

Іншим способом виробництва електроенергії на базі високо- і середньотемпературних геотермальних вод є застосування двоконтурного (бінарного) циклу. При цьому вода, отримана з басейну, використовується для нагрівання теплоносія

⁴⁶ *Фумароли* (лат. *fumus* – дим) – виділення гарячих газів і водяної пари з невеликих каналів і тріщин на схилах вулканів, а також з лавових потоків.

другого контуру (фреону чи ізобутану), який має меншу температуру кипіння. Установки, що використовують фреон як теплоносії другого контуру, працюють у діапазоні температур 75-150°C за одиничної потужності 10-100 кВт.



Рис. 122. Гейзери в Ісландії



Рис. 123. Фумароли у Мексиці

Якщо геотермальна енергія зосереджена недалеко від земної поверхні, йдеться про методи і технології *приповерхневої геотермії*. У таких випадках геотермічні ресурси можна використовувати вже на перших 100 м глибини, хоча там панують температури лише 8-15°C. Для одержання вищих температур, необхідних для теплопостачання, застосовуються *геотермальні теплові насоси*, що використовують тепло ґрунтових вод. Ґрунтові води відбираються через свердловину і підводяться прямо до теплового насоса. Однак воду необхідно знову накачувати у ґрунт, тому, крім підвідної свердловини, треба встановлювати ще й так звану «поглинаючу» свердловину. Ґрунтові теплові насоси накопичують первинну енергію, оберігаючи тим самим навколишнє середовище і клімат. Наприклад, у Німеччині земля Північний Рейн-Вестфалія підтримує таке обладнання за допомогою програми «Раціональне використання енергії та застосування поновлюваних джерел енергії».

Середня температура Землі на глибині 3-5 м упродовж року становить 10-13°C і вище. Цим можна скористатися для опалення і охолодження приміщень за допомогою теплообмінників і теплонасосних установок, що дає змогу заощаджувати до 50-70% теплоти, необхідної для створення оптимального температурного режиму. З цією метою у землі прокладають канали для руху повітря або заривають труби, у які подається вода чи інший теплоносії. За рахунок теплообміну із землею тепловий насос може поглинати тепло землі та передавати його у будинок холодної пори року або переміщувати тепло з будинку до землі – у спекотну пору.

У деяких випадках використання теплової геотермальної помпи дозволяє економити до $\frac{2}{3}$ енергії, що використовується для опалення.

Геотермальні установки – ґрунтові колектори, геотермальні зонди тощо – потребують зовсім невеликих ділянок землі, набагато менших, ніж енергетичні установки інших типів. Вони можуть розміщуватися практично на будь-яких землях, включаючи сільськогосподарські угіддя. *Ґрунтові колектори* – це пластикові трубки теплообмінника, що горизонтально прокладаються у ґрунт на глибині 1-3 м. За допомогою циркулюючої рідини-теплоносія тепло відбирається з ґрунту і доводиться до необхідної температури за допомогою теплового насоса (Рис. 124).

Геотермальні зонди – це вертикальні, найчастіше глибиною від 30 до 100 м, а іноді й глибші, свердловини, у які встановлюються пластикові трубки. Вони є найпоширенішим типом обладнання у Центральній і Північній Європі. Зонди, наповнені рідиною-теплоносієм, нагрівають або охолоджують підключені до теплового насоса окремі житлові будинки, офіси або навіть цілі житлові комплекси (Рис. 125). Коли будівництво нових об'єктів вимагає використання фундаментних палів, існує можливість їхньої термальної активації. Первинною функцією палів є передача навантаження від будівлі на ґрунт. Додатково палі можна використовувати у якості середовища для передачі термальною енергії. Таке доповнення до основної функції вимагає менших інвестицій і при цьому відіграє важливу роль у всій енергосистемі об'єкта. У новобудовах *енергетичні палі* можна обладнати трубками теплообмінника і разом з тепловим насосом економно використовувати для опалення і охолодження будинку.



Рис. 124. Ґрунтові колектори



Рис. 125. Геотермальні зонди

Якщо використовується геотермальна енергія, зосереджена глибше від земної поверхні, йдеться про *глибинну геотермію*. Геотермальні зонди глибиною понад 500 м вперше були випробувані у Швейцарії на початку 1990-х рр. Починаючи з 1994 р., у місті Пренцлау (земля Бранденбург, Німеччина) експлуатується глибинний геотермальний зонд глибиною майже 3000 м. Отримувана енергія акумулюється у мережі централізованого теплопостачання міських електростанцій. Сучасні будинки проектуються таким чином, щоб потрібна була незначна кількість теплової енергії; опалювальні системи виконуються у вигляді низькотемпературних установок. Тому вода, нагріта у глибинному геотеральному зонді, через теплообмінник віддає енергію у будинки, потім охолоджується і повертається назад у надра, щоб знову там нагрітися і повторити свій цикл.

Переважна більшість ГеоТЕС на усіх континентах розташовані там, де наявні родовища пари чи гарячих термальних вод. Там цілодобово виробляється електроенергія. Освоєні поки що не усі ресурси, але нові технології розширюють можливості. Наприклад, у Німеччині температура води у більшості відомих родовищ становить від 40 до 100°C. У долині Верхнього Рейну і у Баварії є родовища термальних вод з температурами більше 100°C. Тепла чи гаряча вода подається на поверхню через глибоку свердловину, потім охолоджується і через іншу свердловину відводиться назад у ґрунт, причому у той самий шар, з якого вона була відібрана. Таким чином, у ґрунті зберігається гідравлічний баланс, і не викачуються запаси термальних вод. Отримане від води тепло передається у мережу централізованого теплопостачання. Таку систему теплопостачання за допомогою двох свердловин називають *геотермальним дублетом*. У Німеччині їхня глибина становить від 800 до 2500 м, і вони забезпечують теплом багато тисяч квартир.

Значним кроком уперед є HDR-технологія («Hot-Dry-Rock» – гарячі сухі гірські породи), за якою працюють HDR-електростанції. Принцип їхньої дії доволі простий: гарячі глибинні гірські породи освоюються свердловинами. За допомогою тиску води, тобто гідравлічно, між свердловинами утворюються нові або розширюються існуючі протоки. Так формуються своєрідні підземні теплообмінники, у яких може нагріватися вода, що закачується з поверхні землі, а потім знову доставляється вгору і приводить у дію турбіну. Циркуляція у HDR-системах відбувається замкнутим контуром під тиском, що перешкоджає закипанню води. Таким чином, пара утворюється тільки на турбіні. Європейські дослідники вийшли у світові лідери щодо розвитку HDR-технології.

Тепло можна не тільки отримувати із землі, але й *акумулювати* у землі. Влітку надлишок тепла з будинків можна перекачувати у ґрунт через геотермальні

зонди або енергетичні палі, а взимку забирати назад з ґрунту. Якщо у ґрунті є водоносний шар без течії або з незначною течією води, його можна використовувати для безпосереднього акумулювання тепла. Такий водоносний резервуар є, наприклад, у будинку Берлінського Рейхстагу. Влітку там через свердловини у ґрунт відводяться залишки тепла з теплоелектроцентралі. Пізніше під час опалювального сезону їх можна знову використовувати.

Незважаючи на те, що тепло Землі здавна використовували у різноманітних цілях – і для мінеральних ванн, і для виробництва енергії, завжди все зводилося до одного питання: чи є у певному місці необхідне підземне тепло. Постійно ведеться пошук нових, ефективніших шляхів використання земної енергії. Зазвичай ГеоТЕС потребують значних інвестицій, декількох років будівництва і працюють тільки на гарячій воді. Нині з'явилася можливість виробляти електроенергію на воді, лише трохи більш гарячій від звичайної чашки кави. Ось як це працює: гаряча джерельна вода передається у спеціальну машину і нагріває спіраль, та виробляє пару, що у свою чергу рухає турбіну, яка виробляє електроенергію. При цьому вода не забирається із землі – її піднімають, пропускають через систему і повертають назад у землю. Цей процес дозволяє значно збільшити кількість місць, де можна використовувати геотермальну енергію. Наприклад, ГеоТЕС у штаті Юта була побудована за один рік і постачає електроенергію у 15 тисяч будинків міста Анахайм у Каліфорнії.

Найперспективнішим способом відбору глибинного тепла є створення підземних циркуляційних систем з повним або частковим поверненням відпрацьованої води у продуктивні пласти. Ці системи запобігають виснаженню запасів геотермальних вод, підтримують гідравлічну рівновагу в підземних пластах, запобігають забрудненню природного середовища навколо геотермальних об'єктів.

Новий напрям використання тепла Землі – *геотермальна вентиляція*, призначена для стабілізації температури припливного повітря протягом року в діапазоні 16-20°C. З цією метою створюють системи підземних трубопроводів, які діють за основним законом теплообміну – більш нагріті тіла віддають тепло менш нагрітим (Рис. 126). Вони пропускають через ґрунт, температура якого цілий рік коливається у межах 5-10°C, холодне вуличне повітря взимку, нагріваючи його, а влітку – навпаки, тепле повітря з подальшим його охолодженням. Така система вентиляції вперше була змонтована 1977 р. у США для створення мікроклімату свинарнику. Теплообмінник складався з 12 повітропроводів довжиною 30 м, заглублених у землю на 3 м. Взимку повітря у приміщенні нагрівалося до +25°C за

температури зовні -28°C , а влітку охолоджувалося до $+14^{\circ}\text{C}$ за температури зовні $+35^{\circ}\text{C}$.

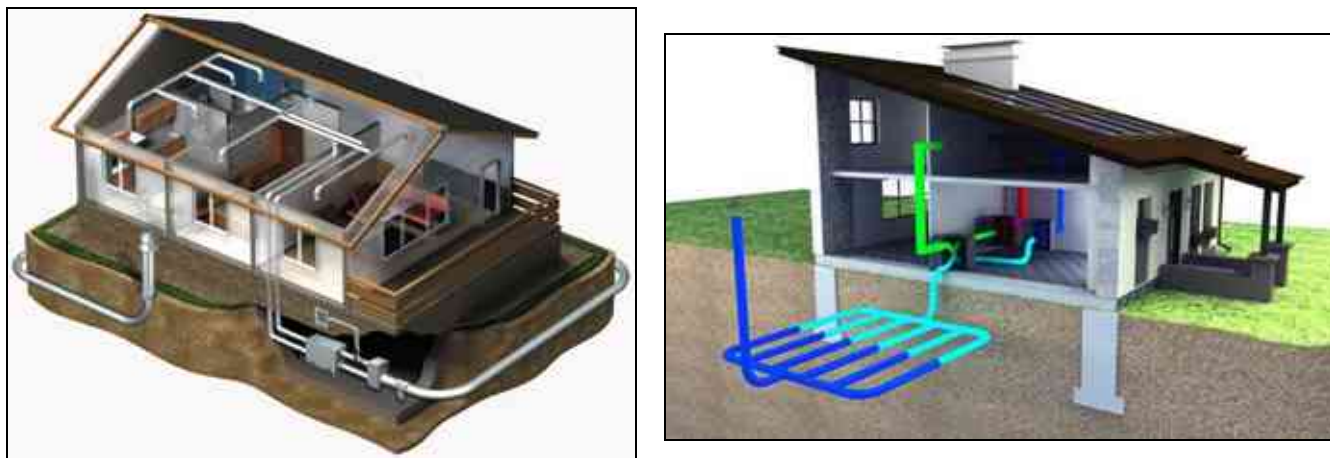


Рис. 126. Геотермальні вентиляційні системи

Для одержання електроенергії успішно використовується тепло високотемпературних термальних вод, а низькотемпературних – для опалення житлових будинків, плавальних басейнів і теплиць. «Країна льодовиків», так називають Ісландію, давно і ефективно використовує гідротермальну енергію своїх надр. Тут відомо понад 700 термальних джерел, які виходять на земну поверхню (Рис. 127). Понад 60% населення користується геотермальними водами для обігріву житлових приміщень, а у найближчому майбутньому планується довести цю цифру до 80%. За середньої температури води 87°C річне споживання енергії гарячої води становить 15 млн ГДж, що рівноцінно економії 500 тис т кам'яного вугілля щороку (Рис. 128).



Рис. 127. Виверження найстарішого у світі Великого гейзера у долині Хаукадалур, Ісландія



Рис. 128. Геотермальна електростанція в Ісландії

Крім того, ісландські теплиці, де вирощують овочі, фрукти, квіти і навіть банани, споживають щорічно до 150 тис м³ гарячої води, тобто понад 1,5 млн ГДж теплової енергії. Столиця країни – Рейк’явік – протягом півстоліття повністю опалюється підземним теплом.

Світовим лідером з використання геотермальної енергії є США, де працює близько 3,4 ГВт установлених потужностей ГеоТЕС, з яких 80% – у Каліфорнії. Там розташований найпотужніший у світі комплекс ГеоТЕС – «Гейзерс» (The Geysers). На території площею 78 км² працюють 350 свердловин, які обслуговує ГеоТЕС потужністю 1517 МВт (Рис. 129). Джерелом енергії для «Гейзерс» є осередок магми діаметром більше 13 км, розташований на глибині 6,4 км від поверхні Землі. Використовувати каліфорнійські гарячі джерела собі на благо люди почали ще 12 тисяч років тому. Індіанці споруджували тут парові ванни і готували їжу. Перша установка з виробництва електрики з’явилася у 1921 р., за допомогою якої освітлювався курорт The Geysers Resort. Промислове освоєння «Гейзерс» розпочалося у 1960 р., коли на майданчику була споруджена перша електростанція потужністю 12 МВт.



Рис. 129. Комплекс ГеоТЕС «The Geysers» (Каліфорнія)

Наприкінці 2014 р. у Африці запустили найпотужнішу в світі геотермальну електростанцію «Олкарія» потужністю 140 МВт, розташовану за 100 км від Найробі, столиці Кенії (Рис. 130). Нині Кенія стала незаперечним лідером використання геотермальної енергії на африканському континенті. Даний проект профінансований Всесвітнім банком, Європейським інвестиційним банком і французь-

ким банком AFD. Вулканічний район Олкарія має геотермальний потенціал 2000 МВт, що удвічі перевищує необхідну країні електроенергію. Можливість реалізації подібних проектів існує і в інших частинах континенту, адже Великий африканський розлом простягається на 4840 км і дуже багатий на геотермальні ресурси.



Рис. 130. ГеоТЕС «Олкарія» у Кенії

Значні запаси геотермальних вод є й в Україні – на Закарпатті, у Криму, а також у Львівській, Донецькій, Запорізькій, Луганській, Полтавській, Харківській, Херсонській, Чернігівській та інших областях. Найбільш перспективним для розвитку геотермальної енергетики регіоном є Закарпаття, де, за геологічними і геофізичними даними, на глибині до 6 км температури гірських порід досягають 230-275°C. Тут доцільними є бурові свердловини глибиною від 55 до 1500 м, де температура води у гирлі свердловини становить 40-60°C, а на глибинах до 2000 м температура зростає до 90-100°C.

Загалом доцільність використання геотермальної енергії визначається капітальними витратами на спорудження свердловин, вартість яких зростає із збільшенням глибини. Оптимальна глибина свердловин у середньому 5 км. Геотермальні води використовують двома способами: *фонтанним* (теплоносієм викидається у навколишнє середовище) і *циркуляційним* (теплоносієм закачується назад у продуктивну товщу). Перший спосіб дешевше, але екологічно небезпечний, другий дорожчий, проте забезпечує збереження навколишнього середовища. Одночасно з добуванням тепла можна вилучати з «розсолів» цінні хімічні елементи та їхні сполуки, наприклад, магнію, літію, бром.

Геотермальна енергія, порівняно з іншими ВДЕ, має суттєві переваги. Проте існують і недоліки. Особливості геотермальної енергії обумовлені тим, що її отримують від високотемпературних джерел. Тому найкращим способом її використання є комбінований – виробництво електроенергії + обігрів. Як вже було

вказано, температура у верхніх шарах Землі кожні 100 метрів збільшується у середньому на 3°C . У верхній мантії панує температура у 1200°C ; у ядрі Землі, ймовірно, 6000°C . Значення температур ближче до поверхні Землі визначаються майже винятково дією Сонця. А оскільки ґрунт погано проводить тепло, то на глибині нижче 15-20 м вплив Сонця практично не відчувається. Тому геотермія має таку значну перевагу: *вона завжди є у наявності незалежно від часу дня, пори року і кліматичних умов.*

Оскільки геотермальну енергію можна знайти безпосередньо на місці, немає необхідності створювати витратні транспортні системи. Відсутність традиційного процесу горіння виключає прямі викиди вуглекислого газу; незначні його викиди відбуваються тільки через застосування електроагрегатів. Крім цього, людство вже розробило технології, що дозволяють практично *усюди* використовувати наявні ресурси. Теплового потоку з глибин, у принципі, достатньо для повного покриття теплоспоживання людства.

Однак певний негативний вплив геотермальної енергетики на природне середовище усе ж таки існує – в атмосферу надходить додаткова кількість розчинених у підземних водах сполук сірки, бору, миш'яку, аміаку, ртуті; водяна пара, що викидається, збільшує вологість; процес супроводжується акустичним ефектом; іноді може відбуватися опускання земної поверхні, а також засолення земель. Проте порівняно з перевагами ці недоліки видаються не суттєвими.

Потоку тепла від розжарених надр до поверхні Землі достатньо, щоб розплавити гірські породи під земною корою і перетворити їх на магму, яка, подібно печі, нагріває гірські породи і підземні води. У так званих «гарячих точках» тепло підходить близько до земної поверхні, і його можна добувати за допомогою бурових свердловин. Використання цієї енергії навіть у невеликих обсягах може значно покращити енергетичний баланс того чи іншого регіону. За підрахунками, якщо людство використовуватиме лише геотермальну енергію, пройде 41 млн років, перш ніж температура надр Землі знизиться хоча б на $0,5^{\circ}\text{C}$.

6.2.5 Інші ВДЕ

Багато тисячоліть служить людині енергія води, запаси якої на Землі колосальні. Недарма кажуть, що нашу планету правильніше було б називати не Земля, а Вода – адже близько трьох чвертей поверхні планети вкрито водою. Величезним акумулятором енергії служить Світовий океан – він поглинає значну частину енергії, що надходить від Сонця. Тут відбуваються припливи і відпливи, виникають океанські течії; народжуються могутні річки, які несуть величезні маси води у

моря і океани. З усього цього різноманіття найпершим, що люди навчилися використовувати для своїх потреб, була енергія річок.

Енергія води (гідроенергія) також є перетвореною енергією Сонця. Спадаюча вода здавна використовувалася для обертання лопатних коліс і турбін. Вода була першим джерелом енергії, а першою машиною, за допомогою якої людина використала енергію води, була примітивна водяна турбіна. Понад 2000 років тому горці на Близькому Сході вже користувалися водяним колесом у вигляді валу з лопатками. Суть пристрою зводилася до наступного: потік води, відведений із струмка або річки, тиснув на лопатки, передаючи їм свою кінетичну енергію. Лопатки рухалися, а оскільки вони були жорстко скріплені з валом, вал обертався. З ним у свою чергу скріплялося млинове жорно, яке разом з валом оберталося навколо нерухомого нижнього жорна. Саме так працювали перші «механізовані» млини для зерна. Але їх споруджували тільки у гірських районах, де річки і струмки мали перепади і сильний напір. Енергія спадаючої води, що обертає водяне колесо, служила для розмелу зерна, розпилювання деревини і виробництва тканин. Млини і лісопилки на річках стали зникати, коли у 80-х роках ХІХ ст. почалося виробництво електроенергії з водоспадів.

Вода, яку спочатку використовували для здійснення механічної роботи, нині залишається важливим джерелом енергії – уже електричної – для нашої цивілізації. У сучасній гідроелектростанції (ГЕС) маса води з великою швидкістю спрямовується на лопаті турбін. Механічна енергія води за допомогою турбіни передається генератору і там перетворюється на електричну. Після здійснення роботи вода стікає у річку через тунель, втрачаючи при цьому свою швидкість. ГЕС розрізняються за потужністю. Зокрема, згідно з міжнародною класифікацією, гідроелектростанції потужністю 1-30 МВт належать до малих (МГЕС), 100-1000 кВт – до міні-ГЕС, не більше 100 кВт – до мікро-ГЕС.

Спорудження ГЕС, особливо великих, задоволення не з дешевих, значними є також експлуатаційні витрати, зате вони працюють на безкоштовному «паливі», якому не загрожує ніяка інфляція. Першоджерелом енергії служить Сонце, що випаровує воду з океанів, морів і річок. Водяна пара конденсується, випадає дощами у підвищених місцевостях і стікає вниз до моря. ГЕС встають на шляху цього стоку і перехоплюють енергію рухомої води – ту енергію, яка у іншому випадку була б витрачена на переніс відкладів до моря. Тому гідроенергетика *не є зовсім нешкідливою* для навколишнього середовища.

Спорудження гребель на річках пов'язано з певними негативними наслідками для природи. Коли течія річки сповільнюється, як це зазвичай відбувається

при потраплянні її вод у водоймище, завислий осад опускається на дно. Нижче водоймища чиста вода, потрапляючи у річку, набагато швидше розмиває річкові береги, ніби відновлюючи той обсяг осадів, який був утрачений у водосховищі. Отже, посилення ерозії і абразії берегів нижче за течією від водоймища – звичайне явище.

Дно водосховища поступово вкривається шаром осадів, який періодично виступає на поверхню або затопляється знову, коли рівень води піднімається і падає в результаті припливу чи скидання води. З часом осадів накопичується стільки, що вони починають займати значну частину корисного об'єму водоймища. Отже, водосховище, споруджене для збереження запасів води чи контролю за повеннями, поступово втрачає свою ефективність. Нагромадженню великої кількості осадів можна частково запобігти, якщо здійснювати регулярний контроль за кількістю уламкового матеріалу, знесеного потоками води.

Купи осадів, що стають видимими лише під час низького стояння води у водоймищі, – не єдина причина, за якої багато хто виступає проти будівництва гребель. Існує й інша, важливіша причина: після заповнення водосховища під водою опиняються цінні землі, що втрачаються назавжди. Зникають також тварини і рослини, причому це не тільки сухопутні види; риби з перегородженої греблею річки теж можуть зникнути, оскільки гребля перешкоджає їхньому нересту.

Існують й інші проблеми, пов'язані з будівництвом гребель і водосховищ. У певні періоди якість води у водоймищі й відповідно якість води, що випускається з нього, може бути дуже низькою. Протягом літа й осені нижні шари води бідніють на кисень через неповне перемішування води і бактеріальний розклад відмерлих рослин, що вимагає великої кількості кисню. Коли ця бідна на кисень вода випускається з водосховища, насамперед потерпають риби та інші гідробіоти нижче за течією.

Спостереження німецьких фахівців з Університету Кобленц-Ландау виявили, що навколо невеликих ГЕС на річках, незважаючи на усю їхню «зелену репутацію», утворюються осередки концентрації парникових газів. Найбільші обсяги належать викидам метану в результаті роботи електродамб. Накопичення метану відбувається через акумуляцію органічних відкладів у тих водоймах, на яких встановлені дамби. Для крупних ГЕС даний факт уже був підтверджений. Проте, результати досліджень з 6-ти невеликих дамб продемонстрували, що потенційно такі конструкції сильно сприяють формуванню органічних відкладів, мулу в водосховищах, і через їхню маленьку глибину метан легко вивільняється з води й потрапляє в атмосферу.

Проте, не зважаючи на все це, *переваги* ГЕС очевидні – це і постійно поновлюваний самою природою запас енергії, і простота експлуатації, і відсутність забруднення навколишнього середовища. Спорудження дамби потужної ГЕС є завданням набагато складнішим, ніж невеликої. Обертання могутніх гідротурбін потребує накопичення за дамбою величезного запасу води. Поки що людям служить лише незначна частка гідроенергетичного потенціалу Землі. Щорічно величезні потоки води, що утворюються від дощів і танення снігів, стікають у океан невикористаними. Якби вдалося затримати їх за допомогою дамб, людство отримало б у своє розпорядження колосальну кількість енергії.

Енергія морів і океанів. Енергетичні ресурси Світового океану практично невичерпні, а енергетичний потенціал велетенський. Сонячна енергія, поглинута океанською водою, проявляється у енергії морських течій, хвиль, прибою, різниці температур шарів морської води. Енергія тяжіння Місяця й Сонця спричинює морські припливи і відпливи. Використовується цей величезний екологічно чистий потенціал поки що вкрай недостатньо.

Під впливом Місяця і Сонця збуджуються *морські припливи* – періодичні коливання рівня води за її горизонтального переміщення. Відповідно енергія припливів складається з потенційної енергії води і кінетичної енергії хвилі, що рухається. За приблизними розрахунками, енергетичний потенціал припливів Світового океану значно перевищує сумарну енергію всіх річок земної кулі.

Століттями люди роздумували над причиною морських припливів і відпливів. Нині достовірно відомо, що припливи є результатом гравітаційного тяжіння водних мас з боку Місяця і меншою мірою – Сонця. Обертання Землі спричинює те, що частина води у океані підіймається і якийсь час утримується у цьому положенні силою гравітаційного тяжіння. Коли «горб» підйому води досягає суші, настає приплив. Подальше обертання Землі послабляє вплив Місяця на цю частину океану, і приплив спадає. Припливи і відпливи повторюються двічі на добу, хоча їхній точний час змінюється залежно від сезону і положення Місяця.

Якщо Місяць, Сонце і Земля сходяться на одній прямій, Сонце своїм тяжінням підсилює дію Місяця, і настає сильний приплив. Коли ж Сонце стоїть під прямим кутом до відрізка Земля-Місяць (квадратура), настає слабкий приплив (мала вода). Сильні й слабкі припливи повторюються кожні сім днів. На реальний припливно-відпливний хід впливають особливості руху небесних тіл, характер берегової лінії, глибина води, морські течії й вітер. Найвищі припливи бувають тоді, коли Місяць і Сонце знаходяться майже на одній лінії, адже сумарний гравітаційний вплив збільшує обсяги переміщуваної океанської води.

Найвищі припливні хвилі виникають у дрібних і вузьких затоках або гирлах річок, що впадають у моря і океани. Наприклад, припливна хвиля Індійського океану котиться проти течії Гангу на відстань 250 км від його гирла. Припливна хвиля Атлантичного океану розповсюджується Амазонкою на 900 км вгору. У закритих морях, наприклад, Чорному або Середземному, виникають малі приливні хвилі. Найбільш придатними для використання енергетичного потенціалу є ті ділянки морського узбережжя, де припливи мають велику амплітуду, а контур і рельєф берега дозволяють влаштувати великі замкнуті «басейни».

Люди здавна намагалися оволодіти енергією припливів для практичних цілей. Першими спорудами, механізми яких приводилися у дію припливною енергією, були млини і лісопилки, що з'явилися на берегах Англії, Франції, Іспанії, Канади, США та інших країн. Такі установки виконувалися шляхом утворення басейну при перекритті греблями невеликих бухт, де розташовувалися колеса млинів, які оберталися під час відпливу. У Великобританії подібна установка під арками Лондонського мосту з 1580 р. протягом 250 років качала прісну воду.

Згодом, через переривчастий ритм їхньої роботи, енергію припливів спробували використати для отримання зручнішої електричної енергії. Але для цього необхідно було створити на берегах океанів і морів припливні електростанції (ПЕС). Перша морська ПЕС потужністю 635 кВт була побудована 1913 р. у бухті поблизу Ліверпуля (Англія). У 1935 р. ПЕС почали будувати американці, які перегородили частину затоки на східному узбережжі, але роботи довелося припинити через надто м'який ґрунт морського дна, а збудована неподалік теплова електростанція давала дешевшу енергію. 1966-го у Північній Бретані на р. Ранс (Франція) була побудована ПЕС «Ля Ранс» потужністю 240 МВт з греблею довжиною 800 м (Рис. 131).

У 2009 р. компанія «Marine Current Technologies» підключила до національних енергомереж Північної Ірландії першу в світі комерційну ПЕС «SeaGen» потужністю 1,2 МВт (Рис. 132). Установка складається з двох підводних турбін, що виробляють електрику з потужних припливно-відливних течій затоки Стренгфорд Лоу.



Рис. 131. Вид на ПЕС «Ля Ранс» (ліворуч) і її дамба (праворуч)

2011 р. у Південній Кореї біля міста Ансан введена у експлуатацію найбільша у світі ПЕС «Сихва» (Рис. 133). Станція побудована у штучній затоці Сихва-Хо, відвойованій у моря за допомогою гребель, необхідних для контролю за можливими повеннями. На електростанції встановлено десять турбін потужністю 25,4 МВт кожна і вісім шлюзних воріт.



Рис. 132. Перший комерційний генератор енергії припливів SeaGen



Рис. 133. ПЕС «Сихва» (Корея)

Австралійська компанія Atlantis розпочала будівництво ПЕС MeyGen, яка складатиметься з 269 підводних турбін, установлених на морському дні у Несс-оф-Кьоз на північному сході Шотландії (Рис. 134). Компанія очікує першу поставку припливної енергії у національну енергосистему вже у 2016 р., а установку 60 турбін до 2020 р. Після того, як ПЕС загальною потужністю 400 МВт вийде на повний робочий режим, вона зможе забезпечувати енергією майже 175 000 будинків.

У Швеції інженери компанії Minesto по-своєму «приборкали» припливи і відливи, створивши підводну електростанцію Deep Green – «підводний повітря-

ний змій», як вони самі її називають. Ця станція – крило розмахом 8-14 м, що об'єднано з турбіною і генератором (Рис. 135). Сама турбіна закріплена під водним крилом, яке контролює курс її слідування. 7-тонна конструкція кріпиться тросом до морського дна і розташовується на глибині 50-300 м. Deep Green перетворює потужність припливних хвиль таким чином, що вхідна швидкість потоку вдсятеро більше швидкості хвиль. Потужність електростанції, яка «живиться» кінетичною енергією припливів і відливів, коливається від 150 до 800 кВт.

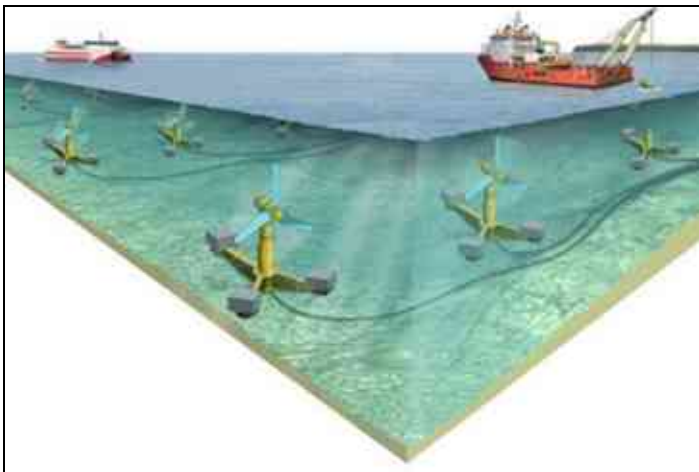


Рис. 134. Проект ПЕС MeyGen

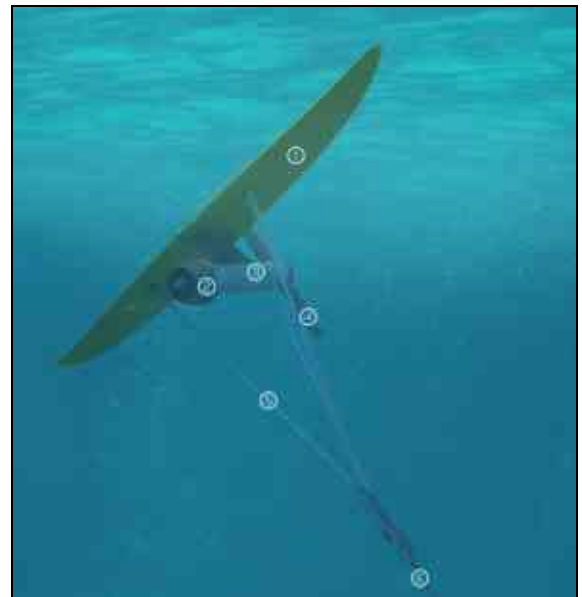


Рис. 135. ПЕС «Deep Green»: 1 – крило, 2 – турбіна, 3 – генератор, 4 – кермо, 5 – стійки, 6 – трос.

Спорудження ПЕС пов'язано з великими труднощами. Передусім, ці станції залежать від характеру припливів, на які неможливо впливати, оскільки вони визначаються астрономічними чинниками. Незважаючи на те, що нині запропоновано близько 300 різних технічних проектів будівництва ПЕС, далеко не у кожному регіоні земної кулі є умови для їхнього будівництва. Дослідженнями встановлено, що передача припливної електроенергії з узбережної зони углиб материків буде виправданою лише у деяких районах Західної Європи, США, Канади, Південної Америки. Тому масштабні проекти пов'язані з великими капітальними витратами, а також імпульсним характером одержання електроенергії у віддалених від споживачів районах.

Найпростішою припливною енергетичною установкою є будівля греблі з турбінами поперек гирла морської затоки, але це може викликати істотну деградацію навколишнього середовища. Електростанції, які використовують енергію

морських припливів, вигідно споруджувати на тих ділянках узбережжя, де припливи найвищі. До таких ділянок належать, наприклад, канадська затока Фанді (висота припливу до 18 м), затока Сен-Мало у Франції (до 14 м), Пенжинська затока Охотського моря (13 м). Уся потужність океанських припливів на планеті оцінюється у 3000 ГВт. З них приблизно 1000 ГВт розсіюються у мілководних прибережних районах, де принципово можливе зведення припливно-інженерних споруд.

Як насправді працює ПЕС? На річці будується гребля для затримки вод високого припливу. Коли припливні води відступають, затримана греблею вода випускається у океан через грушоподібні турбіни під греблею, і виробляється електроенергія. Електроенергію можна виробляти як за припливу, так і за відпливу. Припливна хвиля затримується за греблею в результаті відкриття ряду донних затворів, що дозволяє їй рухатися нагору річкою у напрямку джерела. Затвори закривають тоді, коли приплив досягає найвищого рівня, а потім, у міру відпливу, воді, замкненої за греблею, дозволяють стікати до моря через турбіни. За низького рівня води, тобто за відпливу, велика частина цієї води спускається. Коли знов настає приплив, вода зупиняється перед закритими затворами, і рівень води з боку моря перевищує її рівень на стороні греблі, зверненої до суші. Після того, як буде досягнутий достатній напір, воді дозволяють текти нагору річкою, проходячи через турбіни, і знову виробляти електрику. Таким чином, енергія виробляється і за рахунок відпливу, і за рахунок припливу.

На деяких ПЕС застосовується чудова технологія. В останній фазі припливу різниця у рівнях води у резервуарі за греблею і в океані може становити яких-небудь два метри. У цей час електроенергія з будь-якого іншого джерела може бути використана для перекачування океанської води (за допомогою турбін) у припливний басейн. Вода накачується на висоту лише декількох десятків сантиметрів, тому багато енергії не потрібно. Коли припливна хвиля відступає, ця додаткова вода падає з висоти 6-10 м, виробляючи набагато більше електроенергії, ніж її було витрачено. Та ж ідея реалізується і під час відпливу, але у цьому випадку вода відкачується з припливного басейну в океан.

Поки що через величезну дорожнечу цих споруджень уряди багатьох країн не дуже поспішають вкладати кошти у припливну енергетику. Адже такі станції коштують у рази більше, ніж річкові ГЕС з таким самим середнім виробленням енергії. Крім цього, у припливної енергетики є й інші негативні сторони. Якщо ПЕС розташовується далеко від крупних споживачів енергії, потребуватимуться протяжні й коштовні лінії електропередач.

І ще одна негативна риса припливної енергії – те, що її вироблення непростійне. Це витікає з її природи. За традиційної експлуатації, електрика виробляється тільки на початку відпливу, тобто тоді, коли рівень води, запасеної у басейні, достатньою мірою перевищує її рівень у морі. У міру зниження рівня води у басейні вироблення електроенергії зменшується і біля нижньої точки відпливу падає до нуля, оскільки різниця рівнів зникає. Якщо ПЕС обладнана реверсивними турбінами, то енергія може вироблятися і за рахунок наступаючого припливу, але тільки після того, як рівень припливу достатньо перевищить рівень води за греблею. Коли приплив досягає максимальної висоти, вироблення енергії знову наближається до нуля. Таким чином, крива вироблення енергії то піднімається, то падає двічі на добу відповідно до двох припливних циклів.

Спорудження ПЕС також тягне за собою деякі фізичні й біологічні наслідки. До *фізичних наслідків* призводить передусім вплив припливних басейнів. Навіть якщо амплітуда припливу збільшується усього на 30 см, це може призвести до вторгнення морської води у прибережні колодязі, що створить загрозу будівлям, розташованим поблизу верхньої відмітки припливу. Можливе також прискорення берегової ерозії, а низинні ділянки, включаючи дороги, затоплюватимуться, коли шторми і припливи об'єднують зусилля. Отже, берегова смуга може стати практично непридатною для використання.

Звісно, втрати берегової смуги через припливне затоплення (за оцінками, від 15 до 40 км²) залежать від крутизни схилів і характеру берегової лінії. Відлив, нижчий на 15 см, здатний ускладнити доступ до плавзасобів і до води з причалів. Збільшена висота припливу може викликати надходження більш солоної води в устя річок і цим змінити умови мешкання водних організмів. Зі збільшенням амплітуди припливів виникатимуть посилені припливні течії, що може призвести до розмивання піщаних відмілин і заповнення піском існуючих судноплавних рукавів. Судна незабаром почнуть застрягати, у міру того, як проходи мілітимуть через переміщення піску.

До *біологічних наслідків* може призвести негативний вплив ПЕС на припливну зону, що простягається від точки найвищого припливу до нижньої точки, яка оголюється під час відпливу. У цій зоні на піщаних берегах живуть риючі організми – краби, креветки, хробаки, двостулкові молюски, а на скелястих – організми, прикріплені до скель (мідії, устриці, морські жолуді, великі водорості). У воді припливної зони мешкає фітопланктон – діатомові водорості, які приносяться і виносяться з водою припливів. Припливна енергія здатна змінити стійкий баланс екосистем припливної зони.

Спорудження ПЕС може негативно вплинути не тільки на місцеві спільноти, але й завдати шкоди мігруючим видам, яким заважатиме прохід через турбіни електростанції. Перелітні птахи, що харчуються на солоних маршах⁴⁷ (пісочники і сивки), ймовірно, знаходитимуть менше їжі у приливному басейні за електростанцією через загибель організмів під час їхнього проходження крізь турбіну. Усе це локальні наслідки, але зона їхнього впливу може збільшуватися. Поки що залишається багато недосліджених питань, пов'язаних з біологічними наслідками впливу ПЕС на живу природу. Проте, незважаючи на усі негативні моменти, у світі небагато таких надійних речей, як припливи і відливи. Доки Місяць є на небі, і гравітація керує порядком на Землі, океан завжди відступатиме і повертатиметься назад.

Енергія припливів – не єдина у Світовому океані. Ще є *енергія морських хвиль* – кінетична енергія, яку несе коливання поверхні моря під дією вітру. Хвилі і береговий прибій мають дуже великий запас енергії. За допомогою хвильових перетворювачів енергія хвиль реалізується у електричну або іншу, придатну для використання. За оцінками американських дослідників, середня хвиля висотою 3 м несе приблизно 100 кВт енергії на 1 м² узбережжя. З давніх часів інженерно-технічну думку людини приваблювала ідея практичного використання колосальних запасів хвильової енергії океану. Однак це дуже складне завдання, і у масштабах великої енергетики воно ще далеке до остаточного вирішення.

Поки що вдалося досягти певних успіхів у використанні енергії морських хвиль для виробництва електроенергії. Хвильові енергетичні установки використовуються для живлення маяків, буїв, сигнальних морських вогнів, стаціонарних океанологічних приладів, розташованих далеко від берега. Порівняно зі звичайними акумуляторами, батареями та іншими джерелами току вони дешевші, надійніші й рідше потребують обслуговування. Таке використання енергії хвиль широко практикується у Японії, де понад 300 буїв, маяків тощо отримують живлення від таких установок.

Перший пік інтересу до створення технічних пристроїв для перетворення енергії хвиль на практично прийнятну форму припадає на період 1900-1930 рр. У 1910 р. поблизу м. Бордо було продемонстровано хвильову установку потужністю 1 кВт. Нині патентними відомствами різних країн зареєстровано декілька сотень оригінальних технічних рішень щодо хвильових перетворювачів – більше, ніж будь-яких інших видів перетворювачів енергії океану. У 1935 р. відомий радянсь-

⁴⁷ Солоні марші – екосистеми морського узбережжя.

кий вчений К.Е. Ціолковський опублікував статтю «Хвилелом і вилучення енергії з морських хвиль», де описав принципові схеми трьох типів пристроїв, які нині належать до найбільш перспективних.

Одну з перших хвильових електростанцій (ХвЕС) було споруджено у 1970 р. поблизу норвезького міста Берген. Вона має потужність 350 кВт і забезпечує енергією селище із сотні будинків. Усі типи морських хвильових електростанцій, які будуються і працюють нині, створені за єдиним принципом: у спеціальному буї-поплавку під дією хвилі коливається рівень води. Це призводить до стискання у ньому повітря, яке рухає турбіну. В експериментальних електростанціях навіть невеликі хвилі висотою 35 см примушують турбіну розвивати швидкість понад 2 тис обертів за хвилину.

У Японії з 1978 р. працює плавуча ХвЕС, яка дозволяє перетворювати енергію хвиль у камерах компресорного типу на енергію стиснутого повітря. Потім лопатки турбіни обертають електрогенератор. Хвильовий електрогенератор успішно експлуатується на плавучому маяку порту Мадрас в Індії. У Норвегії з 1985 р. діє перша у світі промислова ХвЕС потужністю 850 кВт. Енергоустановки такого типу є ефективними для невеликих населених пунктів на узбережжі океану.

Протягом останніх років з'явилося багато різних технічних проектів. Зокрема, в Англії спроектований агрегат, що виробляє електроенергію з ударів хвиль. На думку фахівців, 10 таких агрегатів, встановлених на глибині 10 м поблизу західних берегів Великобританії, дозволять забезпечити електроенергією місто з населенням 300 тисяч. Один з проектів використання морських хвиль базується на принципі водяного стовпа, що коливається. У гігантських «коробах» без дна і з отворами зверху під впливом хвиль рівень води то піднімається, то опускається. Стовп води діє на зразок поршня: засмоктує повітря і нагнітає його у лопаті турбін. Головна складність полягає в узгодженні інерції робочих коліс турбін з кількістю повітря у коробах, щоб за рахунок інерції зберігалася постійна швидкість обертання турбінних валів.

2011 р. на атлантичному узбережжі Іспанії введена у експлуатацію перша у світі комерційна ХвЕС. Вона збудована поблизу міста Сан-Себастьян і виробляє 10% електроенергії, яку споживають місцеві жителі. Недалеко від узбережжя штату Вікторія на південному сході Австралії розпочнеться будівництво найбільшої ХвЕС потужністю 62,5 МВт. В основу покладена технологія буй-генератора PowerBuoy, розроблена компанією Ocean Power Technologies. Це уловлювання енергії хвиль з використанням великих плавучих буїв, закорених на морському дні, і систем перетворення хвильової енергії на електричну.

Проривом у відновлюваній енергетиці називають проект хвильової електростанції (ХвЕС) Wave Hub, розташованої у Великобританії прибережних водах північного узбережжя півострову Корнуел. Wave Hub поєднана з чотирма електрогенераторами різних розробників. Проект виглядає як величезна розетка, до якої підключені генератори – перетворювачі хвильової енергії (Рис. 136). Незважаючи на статус демонстраційної, станція матиме потужність 20 МВт. Багатомільйонний проект Wave Hub передбачає незвичну схему розвитку: ділянки моря розміром 1х2 км будуть передані в оренду промисловим компаніям. На цих ділянках встановлять комплекси хвильових генераторів різних схем, які усі разом поєднуюватимуться з берегом.



Рис. 136. Проект ХвЕС Wave Hub

Постійно розширюються можливості використання хвильових енергетичних комплексів (ХЕК) для енергозабезпечення прибережних і острівних поселень, а також морських суден. На базі малопотужних ХЕК можливе створення метеосистем, глобальних і регіональних систем зв'язку та навігації, систем телекомунікації, апаратури аварійного індивідуального життєзабезпечення тощо. Потужні багатомодульні ХЕК можуть бути надійною енергетичною базою для створення екологічно чистих об'єктів переробної промисловості морського і прибережного базування. На таких об'єктах можна переробляти морепродукти, опріснювати воду, організувати хімічне виробництво на основі електролізу морської води, а на основі електросинтезу отримувати мономери і полімери.

Енергія, яку виробляє ХЕК, може накопичуватися за допомогою акумуляторних пристроїв для подальшого використання. Особливо перспективним є використання потужних багатомодульних ХЕК для масштабного електролізного виробництва водню, кисню і озону. Використання електролізерів морської води для виробництва водню набагато ефективніше від технології, яка ґрунтується на кон-

версії вуглеводнів чи нафтопродуктів. Тим більше, що запаси цих ресурсів скорочуються. Багатофункціональні ХЕК потужністю кілька мегават експлуатуються у багатьох країнах, при цьому вони виробляють електричну і теплову енергію, чисту питну воду, стиснуте повітря, кисень і водень, а також різноманітні хімічні речовини. Для переробних підприємств і зон відпочинку наявність ХЕК просто безцінна, адже вони мають значні переваги порівняно з іншими енергоносіями, зокрема:

- ХЕК зазвичай розташовуються близько до споживачів;
- це дозволяє оперативно реалізовувати і споживати вироблені енергетичні товари – електроенергію, тепло, кисень, водень тощо;
- стабільність частоти, напруги і форми синусоїди дає електроенергію високої якості та забезпечує стабільність технологічних процесів на виробництві, де ця енергія використовується;
- споживачі при цьому незалежні від централізованого постачальника енергії.

Поки що хвильова енергетика відстає у своєму розвитку; енергію хвиль важко опановувати, тоді як вітром користуються вже тисячі років. Добути енергію з вітряних турбін було доволі просто, а ось застосування хвильової енергії починається з чистого листа. Серйозну роботу в цьому напрямку проводять приблизно років 20, і знадобиться ще років 10, щоб конкурувати з вітряними генераторами. Хвилі можна використовувати уздовж густо заселених західних узбережь Європи, Сполучених Штатів, Чилі, Австралії, Нової Зеландії. Тобто, за рахунок локального використання такої енергії можна покрити майже половину світової потреби у електриці, просто встановивши хвильові генератори. А далі від берега її можна виробляти ще більше, хоча створення генераторної мережі буде у цьому випадку дорожчим. Проте японці, англійці й норвежці, які активно упроваджують свої розробки, віддають морську електрику в національні енергомережі. Адже потенціал енергії океану може перевершити усі інші ресурси, разом узяті.

Отже, переваги хвильової енергетики передусім у тому, що вона достатньо сильно сконцентрована, доступна для перетворення і на будь-який проміжок часу може прогнозуватися залежно від погодних умов. Утворюючись під дією вітру, хвилі добре зберігають свій енергетичний потенціал, розповсюджуючись на значні відстані. На сучасному рівні науково-технічного розвитку, а тим більше у перспективі, оволодіння енергією морських хвиль дозволить значно підвищити енергетичний потенціал морських країн.

Величезні нерозвідані запаси енергії, яка може бути ефективно перетворена на інші форми енергії, містяться у солоній океанській воді. Це так звана «солонна»

енергія. Осмотичний тиск, що виникає при змішуванні прісних річкових вод із солоними, пропорційний різниці концентрації солей у цих водах. Джерелом осмотичної енергії можуть бути також соляні куполи у товщі океанського дна. Розрахунки показали, що енергії при розчиненні солі середнього за запасами нафти соляного куполу можна отримати не менше, ніж при використанні нафти, яка міститься у цьому куполі. Роботи з перетворення «солоні» енергії на електричну поки що перебувають на стадії проектів.

У біомасі морських водоростей міститься велика кількість *біохімічної енергії*. Переробляти на паливо можна як прибережні водорості, так і фітопланктон. Водорості можна використовувати для виробництва метану шляхом анаеробного зброджування або етанолу – шляхом бродіння. Але найбільша їхня потенційна цінність полягає у тому, що вони можуть використовуватися для виробництва біодизельного палива. Біодизель з мікрководоростей має дві основні переваги, порівняно з його виробництвом з рослинних олій. По-перше, через уміст у водоростях великої кількості поліненасичених жирних кислот дизельні двигуни на цьому пальному можуть працювати і у холодних умовах. По-друге, вихід палива з мікрководоростей у 20-30 разів вищий, ніж з олійних культур, вирощених на однаковій площі.

У Японії, де виробляється дуже багато водоростей, існує проблема їхньої утилізації, коли водорості наминаються на берег і гниють. Японські дослідники розробили систему бродіння біомаси для виробництва палива, яке йде на отримання електроенергії. Tokyo Gas і NEDO створили систему бродіння біомаси водоростей із застосуванням мікроорганізмів, в результаті чого виділяється метан. Метанове паливо прямує у газовий двигун, що обертає електричний генератор. На дослідній станції Tokyo Gas така установка переробляє 1 т водоростей за день, створюючи 20 тис м³ метану. Для підвищення потужності генератора до газу, отриманого від водоростей, домішують ще й природний. У результаті генераторна установка виробляє потужність у 10 кВт, якої достатньо для опалювання 20 будинків.

Корпорація GreenFuel Technologies (США) розробила технологію вирощування водоростей Emissions-to-Biofuels, яка працює на викидах ТЕЦ. Водорості ростуть і живляться у біореакторі з прозорих колб. Окрім водоростей і води, у колби постійно додаються поживні речовини, наприклад, рослинні рештки. Димовий газ або інші газові потоки, збагачені CO₂, пропускають через біореактор за допомогою вентилятора. Газ оптимізує темпи росту водоростей, які починають активно розмножуватися. Частина біомаси постійно виводиться з біореактора і

проходить первинну сушку. Після остаточного зневоднення, біомаса готова для подальшої переробки. Вода, яка виділяється після зневоднення водоростей, повертається у біореактор. Цей процес дозволяє отримувати спирти, біодизель, високоякісний корм для тварин. При цьому значно знижуються димові викиди ТЕЦ: NO_2 – до 86% і CO_2 – до 40%.

Світовий океан – величезний природний колектор сонячного випромінювання. Між теплими поверхневими водами, які поглинають сонячне випромінювання, і холоднішими придонними, різниця температур досягає 20-25°C. Це забезпечує запас теплової енергії, яка безперервно поповнюється і принципово може бути перетворена на інші види енергії. Системи, які використовують різницю температур океанської води для виробництва електроенергії, називаються ОТЕС (Ocean Thermal Energy Conversion). В них використовується тепловий двигун, здатний з різниці температур отримати електроенергію. Освоєння теплової енергії океану за програмою ОТЕС входить у національні програми таких країн, як США, Франція, Японія, Швеція, Індія.

Спроби розвивати ОТЕС технології розпочалися ще у 1881 р., коли французький фізик-лікар Жак Арсен Д'Арсонваль запропонував використовувати теплову енергію океану. Перший ОТЕС завод був побудований на Кубі у 1930 р. Система виробляла 22 кВт електроенергії за допомогою турбін низького тиску. Завод був згодом знищений бурею. 1956-го французькі учені розробили ОТЕС завод у Абіджані, Кот-Д'Івуар (Західна Африка). Проте його будівництво не було завершено, оскільки нові знахідки дешевої нафти зробили його не вигідним. У 1967 р. Гілберт Андерсон і Джеймс Андерсон запатентували новий «замкнутий цикл», поліпшену конструкцію оригінального замкнутого циклу Ранкіна⁴⁸. Однак тоді їхні дослідження не привернули уваги, оскільки вугілля і ядерна енергія вважалися перспективнішими.

1974-го США побудували енергетичну лабораторію NELHA на узбережжі Гавайських островів (Рис. 137). Гавайї мають відмінне розташування для ОТЕС завдяки своїм теплим поверхневим водам і доступу до дуже глибокої холодної води. Лабораторія стала провідною у ОТЕС технологіях. Уже в 1979 р. на її базі побудували експериментальну станцію Mini-ОТЕС потужністю 50 кВт, яка розташовувалася у 2 км від Кіхоул-Пойнт (Рис. 138). Забір холодної води з температурою 6°C здійснювався з глибини 900 м поліетиленовою трубою, а теплообмінники були виконані з титану. Mini-ОТЕС стала першим в історії проектом з пози-

⁴⁸ Вільям Джон Ранкін (1820-1872) – британський інженер-будівельник, фізик і математик.

тивною нетто-потужністю, що видавала у мережу за оптимальних погодних умов до 15 кВт корисної потужності. Досвід, отриманий від експлуатації mini-ОТЕС, дозволив швидко приступити до проектування потужніших систем подібного типу.

У 1981 р. в Японії на острові Науру Tokyo Electric Power Company успішно запустила завод замкнутого циклу на 120 кВт електроенергії. Це був світовий рекорд за потужністю ОТЕС системи, яка працювала на реальну, а не на експериментальну електричну мережу. 2002-го Індія провела випробування на плавучій ОТЕС електростанції у штаті Таміл-Наду. Проте – безуспішно, внаслідок збою у глибоководній трубі холодної води. У 2011 р. Ocean Engineering завершила проектування і будівництво ОТЕС теплообмінника Test Facility в енергетичній лабораторії на Гавайях.



Рис. 137. Енергетична лабораторія NELHA



Рис. 138. Mini-ОТЕС в Кіхоул-Пойнт, Гавайї

Крім цього, невичерпними є також накопичені у океанах і морях запаси кінетичної *енергії морських течій*, яку можна перетворювати на механічну і електричну енергію за допомогою турбін, занурених у воду (подібно до вітряних млинів, «занурених» в атмосферу). Зважаючи на переваги постійних морських течій поблизу берегів Шотландії, компанія Scottish Power Renewables (SPR) отримала «добро» на встановлення десяти підводних турбін на дні океану. Операція створення нової ферми з підводних «вітряків» буде найбільшою у своєму роді. Вибране під цей проект місце – ідеальне з огляду на постійну течію швидкістю 11 км/год. У Оркні працює гігантська норвезька турбіна Hammerfest 1000 – велетенський пропелер з трьома лопатями, який «сідлає» на морському дні металеву

конструкцію вагою тисячу тон (Рис. 139). Вибрано саме цю турбіну, бо подібна вже декілька років працює на узбережжі Норвегії й досі не зламалася.

Японські компанії NEDO, IHI і Toshiba розпочали спільний проект з використання течії Куросіо, що проходить у безпосередній близькості від узбережжя Японії. Привабливість цього джерела енергії пояснюється простими законами фізики. Щільність води значно вища, ніж щільність повітря, а значить, вищою є й «щільність» енергії у потоці води. Швидкість руху течії Куросіо близько 5 км/год., а це відповідає швидкості вітру приблизно 50 км/год. Використання вільних морських течій, нехай і недалеко від узбережжя – таке завдання ставиться уперше. Тому аж до 2017 р. передбачаються дослідні й дослідно-конструкторські роботи. Основою мають стати генератори, закріплені на дні якорями (Рис. 140).



Рис. 139. Підводні турбіни

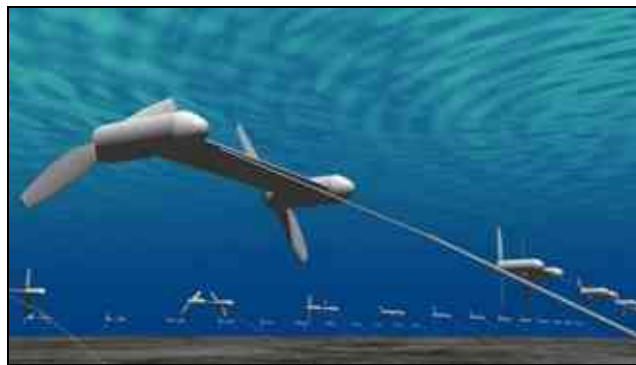


Рис. 140. Закріплені на дні генератори

Технічна реалізація проектів використання енергії морів і океанів, включаючи енергію течій, припливів, хвиль, змішування прісної і солоної морської води, різниці температур між шарами води, можлива за певних умов, зокрема освоєння тільки найпотужніших течій; наявності припливів зі збільшеною амплітудою чи енергії хвиль, достатньої для використання; значної різниці солоності між річковою і морською водою з температурним перепадом не менше 20°C тощо. За цих умов використання енергії Світового океану навряд чи зможе помітно негативно вплинути на режим вод і берегової смуги.

Воднева енергетика. Ключовою є теза, що тільки спалювання водню є абсолютно екологічно безпечним, оскільки у цьому процесі нічого, крім води, не утворюється. Якби водень був так само доступний, як і природний газ, він би й справді став ідеальним паливом. Однак реальні промислові методи одержання водню базуються або на генеруванні його з інших видів органічного палива (природного газу, продуктів нафтопереробки), або на електролізі води.

Вартість передачі електроенергії проводами становить близько третини собівартості енергії для споживача. Щоб знизити витрати, будують лінії електропередач вищої напруги. Але повітряні високовольтні лінії вимагають відчуження значних земельних площ, до того ж вони уразливі для сильних вітрів та інших метеорологічних чинників. Підземні кабельні лінії обходяться у рази дорожче, і їх прокладають лише у виняткових випадках, наприклад, з міркувань надійності.

Серйозною проблемою є накопичення і зберігання електроенергії, оскільки електростанції найбільш ефективно працюють за умов постійної потужності і повного навантаження. Тим часом попит на електроенергію змінюється протягом доби і року, тому потужність електростанцій доводиться до нього пристосовувати. Єдину можливість зберігати про запас великі кількості електроенергії дають гідроакумуючі електростанції, але й вони у свою чергу створюють безліч проблем. Майже усі ці проблеми могло б вирішити використання водню як палива і створення так званого водневого енергетичного господарства.

Водень, найпростіший і найлегший з усіх хімічних елементів, є усюди, де є вода. При спалюванні водню утворюється вода, яку можна знову розкласти на водень і кисень, причому цей процес не викликає ніякого забруднення навколишнього середовища. Водневе полум'я не виділяє в атмосферу продуктів, якими неминуче супроводжується горіння будь-яких інших видів палива: вуглекислого газу, окису вуглецю, сірчистого газу, вуглеводнів, золи, органічних перекисів тощо. Водень має дуже високу теплотворну здатність: спалювання 1 г водню дає на виході 120 Дж теплової енергії, а 1 г бензину – тільки 47 Дж.

Водень можна транспортувати трубопроводами, як природний газ, а це найдешевший спосіб дальньої передачі енергії. До того ж, трубопроводи прокладаються під землею, що не порушує природного ландшафту, і займають менше земельних площ, ніж повітряні електричні лінії. Водень – синтетичне паливо. Його можна отримувати з вугілля, нафти, природного газу або шляхом розкладання води. Згідно з оцінками, нині у світі споживають близько 20 млн т водню щороку. Половина цієї кількості витрачається на виробництво аміаку і добрив, а інша – на видалення сірки з газоподібного палива, у металургії, для гідрогенізації вугілля та інших палив. Тобто в економіці водень поки що залишається швидше хімічною, аніж енергетичною сировиною.

Водень отримують головним чином (близько 80%) з нафти. Енергія з такого водню обходиться у 3,5 разів дорожче, ніж енергія від спалювання бензину. До того ж собівартість такого водню постійно зростає у міру підвищення цін на нафту. Незначну кількість водню отримують шляхом електролізу – це дорожче, ніж

вироблення його з нафти, але з розвитком атомної енергетики може подешевшати. Поблизу АЕС можна розміщувати станції електролізу води, де уся енергія йтиме на розкладання води з утворенням водню. Щоправда, ціна електролітичного водню залишиться вищою за ціну електричного струму, зате витрати на транспортування і розподіл водню настільки незначні, що остаточна ціна для споживача буде цілком прийнятною порівняно з ціною електроенергії.

Дослідники працюють над здешевленням технологічних процесів великотоннажного виробництва водню за рахунок ефективнішого розкладання води, високотемпературного електролізу водяної пари, застосування каталізаторів тощо. Коли водень стане таким же доступним паливом, як природний газ, він зможе усюди його замінити. Водень можна буде спалювати у кухонних плитах, водонагрівачах і опалювальних печах, забезпечених пальниками, які майже або зовсім не відрізнятимуться від сучасних пальників для спалювання природного газу.

Оскільки спалювання водню не залишає ніяких шкідливих продуктів згоряння, відпадає потреба у системах відведення цих продуктів для опалювальних водневих пристроїв. Більш того, водяну пару, що утворюється при цьому, можна вважати корисним продуктом – вона зволожує повітря (як відомо, у квартирах з центральним опаленням повітря дуже сухе). А відсутність димарів не тільки сприяє економії будівельних витрат, але й підвищує ККД опалювання на 30%. Крім того, водень може служити й хімічною сировиною для багатьох галузей промисловості, наприклад, металургії й нафтохімії. Його можна використовувати і для вироблення електроенергії на місцевих ТЕС.

Отже, воднева енергетика – спосіб уникнення будь-яких токсичних викидів безпосередньо у місці вивільнення енергії. Ці беззаперечні переваги стимулювали дослідження у галузі паливних елементів. *Паливний елемент* (ПЕ) – це електрохімічний генератор, який забезпечує пряме перетворення хімічної енергії на електричну. Такі перетворення відбуваються і у звичайних електричних акумуляторах. Однак паливні елементи мають дві важливі відмінності: по-перше, вони функціонують доти, доки паливо (відновник) і окиснювач надходять із зовнішнього джерела; по-друге, хімічний склад електроліту в процесі роботи не змінюється, тобто паливний елемент не треба перезаряджати.

Уперше про можливість створення ПЕ повідомив англійський хімік-аматор, приятель знаменитого Майкла Фарадея, Вільям Гроув у 1839 р. Спостерігаючи процес електролізу води у розчинах сірчаної кислоти, він виявив, що після відключення зовнішнього струму в електролітичній комірці генерується постійний струм. Однак ці висновки В. Гроува не знайшли обґрунтування у подальших дос-

лідженнях. Свій електрохімічний пристрій він, за пропозицією М. Фарадея, назвав «газовою батареєю». Назву «паливний елемент» цей пристрій одержав лише через 50 років, з легкої руки Людвіга Монде – також хіміка-аматора, бізнесмена, співзасновника відомої фірми «Imperial Chem. Industries».

Інтерес до ПЕ знову відродився на початку 50-х рр. ХХ ст. після публікації монографії російського вченого, співробітника Московського нафтового інституту О.К. Давтяна, присвяченої проблемам безпосереднього перетворення хімічної енергії палива на електричну. Бум навколо водневої енергетики виник за часів активного освоєння космічного простору. У 1960-ті роки були створені ПЕ потужністю до 1 кВт для американських програм «Джеміні» та «Аполлон», у 1980-ті – 10-ти кіловатні для «Шаттла» і радянського «Бурану». У ті ж самі роки було збудовано електростанції потужністю 100 кВт на фосфорно-кислотних ПЕ. У Японії і США є дослідні 10-мегаватні електростанції. Від 1990-х рр. триває розробка ПЕ потужністю від 1 кВт до 10 МВт для стаціонарної автономної енергетики. Крім того, розробляються портативні джерела електроенергії потужністю менше 100 Вт для комп'ютерів, стільникових телефонів, фотоапаратів тощо. Паливом для них слугує спирт – метанол, з якого одержують водень.

Вартість паливних елементів доволі висока: 1 кВт встановленої потужності у кращих зразках коштує \$1-3 тис. Щоб зробити їх конкурентоспроможними на транспорті, треба знизити вартість 1 кВт принаймні до \$100. Розробки електрохімічних енергоустановок на основі ПЕ з твердополімерним електролітом активно здійснюються у багатьох країнах. Особливо актуальні упровадження паливних елементів на транспорті, який перетворює сучасні міста на «газові камери». Наприклад, компанія «Даймлер Крайслер» провела успішні дорожні випробовування автомобіля NECAR-5 на базі Мерседеса класу А з паливними елементами на водні. Електромобіль розрахований на п'ять чоловік, максимальна його швидкість досягає 145 км/год., а викиди в атмосферу практично відсутні. У цій моделі використано ПЕ, принцип дії якого ґрунтується на реакції окиснення водню на мембранному каталізаторі з утворенням води і генеруванням електричного струму.

З огляду на сучасні опрацьовані методи газифікації вугілля, ПЕ можливо включати і до ланцюгів виробництва електроенергії з твердого викопного палива. Таке широке упровадження паливних елементів дозволить не тільки знизити темпи витрачання запасів газу, нафти і вугілля, але й значно зменшити забруднення довкілля.

Розробляються також проекти щодо комплексного використання атомної і водневої технологій. Однією з проблем уранового ядерного циклу під впливом

повільних, а тим більше швидких, нейтронів є ефективне відбирання тепла, необхідного, крім іншого, для усунення небезпеки некерованого продовження процесу. Атомна технологія програє порівняно, наприклад, з гідроенергетикою, не дозволяючи оперативно регулювати відбирання енергії. Тому комплексна технологія, за якою процес конверсії проходить безпосередньо у активній зоні ядерного реактора, дає надію щодо забезпечення максимально ефективного керування процесом.

Отже, водень справедливо вважають паливом майбутнього. У багатьох країнах світу дослідження з водневої енергетики є пріоритетними напрямками розвитку науки. Вони забезпечуються фінансовою підтримкою і держави, і бізнесових структур. Основною метою розвитку водневих технологій є зниження залежності від традиційних енергоносіїв – нафти, газу і вугілля. Ключовою умовою переходу до водневої енергетики є створення надійних та економічно доцільних паливних елементів на основі водню.

Зробимо деякі *висновки* щодо альтернативної енергетики як головного шляху подолання сучасної енергетичної, а також і екологічної кризи. Основною перевагою використання ВДЕ є їхня невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічного стану і не призводить до зміни енергетичного балансу планети. Дослідження, виконані під егідою ООН, дають надію, що частка ВДЕ у світовому балансі споживання первинних енергоресурсів до 2050 р. становитиме близько 50%.

Винятково багатим на події у сфері альтернативної енергетики виявився 2008 рік. Різкий стрибок нафтових цін наприкінці 2007 – у першій половині 2008 р. змусив розвинуті країни серйозніше поставитися до потреби переорієнтації своїх енергетичних систем на ВДЕ. З іншого боку, кліматологи б'ють на сполох щодо глобального потепління через очевидні факти: не перший рік поспіль відкривається Північно-Західний прохід – вільний від льоду морський шлях з Атлантики у Тихий океан уздовж північного узбережжя Канади. А концентрація вуглекислого газу в атмосфері нині сягнула піку за останні 800 тис років.

Отже, світ активно переорієнтовується на «зелені» види енергії, і це підтверджують цифри. У 2013 р. 22,1% світового споживання енергії було задоволено з відновлюваних джерел: 16,4% дали ГЕС, 2,9% – ВЕС, 1,8% – біомаса, 0,7% – СЕС, 0,4% – геотермальна енергетика та енергія океану. 144 країни проголосили альтернативну енергетику пріоритетом своєї політики, у 98 з них надають пільги виробникам «зеленої» енергетики. Зокрема, у Данії в 2013 р. 33,2% електроенергії вироблялося вітроенергетикою, в Іспанії – 20,9%, а в Італії енергія Сонця викорис-

товувалася для виробництва 7,8% струму. У Європі 23,5% споживання забезпечується електроенергією з ВДЕ. Зокрема, в Австрії 65,5%, а у Швеції – 60% спожитої електроенергії вироблено з відновлюваних джерел.

Генерація енергії з використанням ВДЕ для деяких технологій нині зрівнялася або навіть стала дешевшою, ніж генерація енергії на основі викопного палива. Такий висновок зробило Міжнародне агентство відновлюваної енергетики у звіті Renewable Power Generation Costs in 2014. Виробництво електричної енергії з використанням біомаси, гідроенергетики, геотермальної енергії та вітрових електростанцій на суші уже може конкурувати з виробництвом на основі викопного палива навіть без додаткової фінансової підтримки.

Вартість генерації електричної енергії з використанням вугілля, нафти і природного газу оцінюється на рівні 4,5-14 центів за кВт/год., тоді як для сонячної і вітрової енергетики досяжними є 5-8 центів. Виробництво електроенергії на основі біомаси, гідроенергетики і геотермальної енергії ще впевненіше конкурує з викопним паливом. Лідером зі зниження вартості генерації електричної енергії є сонячна енергетика. За період з 2010 до 2014 р. вартість електроенергії, виробленої сонячними електростанціями, зменшилася удвічі. Нині вона становить лише 8 центів за кВт/год. Вартість спорудження СЕС промислової потужності за цей період зменшилася у середньому на 29-65%. На найкращих вітрових електростанціях досягається вартість генерації електроенергії на рівні 5 центів за кВт/год.

Ще декілька років тому біопаливо здавалося абсолютно безхмарним вирішенням усіх екологічних проблем. Проте останнім часом виробництво біопалива пов'язують з вирубкою тропічних лісів і навіть з продовольчою кризою. Зокрема, у Бразилії та Індонезії для виробництва біопалива вирубують величезні площі унікальних тропічних лісів – «легенів» планети. Виходить парадокс: виробництво біопалива, покликане послабити парниковий ефект в атмосфері, може цей ефект ще більше посилити. Отже, виробництво біопалива має бути збалансованим і супроводжуватися відновленням рослинних плантацій.

У Верхній Австрії опалювання будинків повністю забезпечується за рахунок використання біомаси і сонячних променів – там уже не будують будинків з газовим опаленням. І річ не стільки у потенціалі країни, скільки у здатності уряду проявити належну політичну волю. Наприклад, якщо говорити про енергію сонячних променів – кому, як не Греції або Італії використовувати її з максимальною вигодою. Проте у цих країнах відсутні навіть спроби вживання сонячної енергетики хоча б для нагрівання води. А на Кіпрі зовсім інша картина – практично в усіх будинках вода нагрівається від енергії Сонця.

Нині серед усіх ВДЕ (не враховуючи біопаливо, оскільки воно є поновлюваним ресурсом, а не джерелом енергії) найбільш просунутим і технічно досконалим є використання *енергії вітру*. По всій Європі можна бачити вітряні млини, і вони на тому рівні, який дозволяє конкурувати на ринку з традиційними джерелами енергії. Інші ВДЕ, на жаль, поки є досить високовартісними. Проте майбутнє за ними. Нафта, газ, вугілля – все це ринки ресурсів, які так чи інакше виснажуються, що позначатиметься на їхній ціні.

З іншого боку, у поновлюваній енергетиці немає ринків ресурсів, а є *ринки технологій*. А це зовсім інша справа, адже логіка ринків технологій схожа на ринок комп'ютерів. На зорі комп'ютерних технологій ЕОМ займали цілі кімнати, величезні зали, але пройшло всього декілька десятиліть – і все змінилося, комп'ютерна індустрія стала набагато економнішою. Таким чином, ринок технологій працює протилежно ринку ресурсів – чим більше виробляється, тим вигідніше це для виробника у плані зменшення витрат. Можна пригадати, наприклад, наскільки дорогими були рідкокристалічні екрани років п'ять тому, а тепер мало не кожен може дозволити собі таку «розкіш». Подібний сценарій актуальний і для технологій поновлюваної енергетики. Нові дослідження дозволяють упроваджувати усе більш ефективні технології, і в результаті собівартість альтернативної енергії знижується. *Виключенням є біопаливо, оскільки це єдиний вид поновлюваної енергії, який є не лише технологією, але й ресурсом.* Таким чином, альтернативна енергія стає усе дешевшою, а традиційна вуглеводнева сировина – навпаки, дорожчає. Одного дня цінові лінії перетнуться. І після цього вже буде не потрібна штучна підтримка з боку держав – попит на альтернативні джерела енергії забезпечуватиметься самими ринковими механізмами.

Країни, що через певні інструменти здійснюють підтримку альтернативної енергетики на своїх ринках, у майбутньому збиратимуть плоди високотехнологічного розвитку економіки, яка тим самим стане набагато конкурентоздатнішою. Найяскравіший позитивний приклад тут, звісно, Німеччина, де чітко налагоджена система важелів підтримки ВДЕ. Наприклад, хтось будує для постачання електрою свого приватного підприємства вітряний млин. І якщо він продає надлишки енергії суспільній мережі, то отримує додаткову субсидію за кожен проданий кіловат. Таким чином, підприємства зацікавлені у тому, аби вкладати кошти у альтернативну енергетику.

Забезпечення безперебійного енергопостачання – одне з головних завдань в рамках урядових реформ Німеччини, де намічено до 2020 р. довести частку використання ВДЕ у структурі енергоспоживання країни до 25-30%. Але де знайти до-

датковий потенціал? Заповзятливі німці не обмежуються експлуатацією енергії вітру, річок і Сонця. Виявляється, кіловати можна виробляти за допомогою стічних вод і опадів, що збираються у очисних спорудах.

Звісно, різні країни мають різні потенціали розвитку поновлюваної енергетики, але певною мірою можливості є у всіх. Якщо країни Середземномор'я виграють у плані сонячної енергії, то у північніших країн є перевага щодо наявності великих об'ємів біомаси. А Великобританія, наприклад, нещодавно стала активно використовувати енергію прибережного вітру, встановлюючи станції уздовж морського узбережжя. Отже, вибір є завжди, і немає жодних сумнівів у тому, що майбутнє економік європейських країн – за поновлюваною енергетикою.

За увесь час існування цивілізації неодноразово відбувалася заміна традиційних джерел енергії на нові, досконаліші. І не тому, що старе джерело було вичерпане. Сонце світило і обігрівало людину завжди, проте одного разу люди приручили вогонь, почали спалювати деревину. Потім деревина поступилася місцем кам'яному вугіллю. І хоча запаси деревини здавалися безмежними, парові машини вимагали калорійнішого «корму». Але і це був лише етап. Вугілля незабаром поступилося своїм лідерством на енергетичному ринку нафті. У наші дні провідними видами палива поки що залишаються нафта й газ. Проте за кожним новим кубометром газу або тонною нафти потрібно йти все далі на північ або схід, зариватися все глибше у землю. Зрозуміло, що нафта і газ з кожним роком коштуватимуть нам усе дорожче.

У гонитві за надлишком енергії людина все глибше занурювалася у стихійний світ природних явищ і до пори не дуже замислювалася про наслідки своїх вчинків. Але часи змінилися. Поза сумнівом, у майбутньому паралельно з лінією інтенсивного розвитку енергетики отримає широкі «права громадянства» і лінія екстенсивна – розосереджені джерела енергії не дуже великої потужності, але з високим ККД, екологічно чисті, зручні в обігу. Розповідь про енергію може бути нескінченна, нечисленні альтернативні форми її використання за умови, що люди мають розробити для цього ефективні методи.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які глобальні проблеми, на вашу думку, є нині найбільш значущими? Назвіть основні напрямки сучасної екологічної проблеми.
2. Прослідкуйте еволюцію джерел енергії протягом усієї історії людства.
3. Чому, на ваш погляд, ядерна енергетика втратила свою перевагу в нових генеруючих потужностях більшості країн світу? Обґрунтуйте.

4. Назвіть головні причини виникнення глобальної енергетичної кризи.
5. Розкрийте відомі вам напрямки енергозбереження. Наведіть приклади.
6. Які головні причини звернення людства до альтернативних джерел енергії?
7. Назвіть відомі вам способи отримання електрики і тепла із сонячного випромінювання. Які ви знаєте сфери застосування сонячної енергії?
8. Назвіть і обґрунтуйте сучасні переваги і недоліки використання енергії Сонця.
9. Які саме вади вітрової енергії «винні» у тому, що вона досі не стала основним джерелом забезпечення енергопостачання?
10. Які регіони світу мають найвищий вітроенергетичний потенціал? Обґрунтуйте.
11. Назвіть очевидні переваги вітроенергетичної техніки порівняно з іншими енергетичними установками.
12. Які ви знаєте напрямки застосування новітніх екобіотехнологій? Наведіть приклади.
13. Що, по-вашому, є головним недоліком простого спалювання органічних відходів? Який вихід?
14. Поясніть, чому біогазова установка – найактивніша система очищення, яка швидко окупається і приносить прибуток.
15. Охарактеризуйте відомі вам способи і методи отримання енергії з геотермальних джерел. У чому їхні головні переваги?
16. Чому, на вашу думку, геотермальна енергія вважається найбільш надійним джерелом відновлюваної енергії?
17. Проаналізуйте, у чому полягає велетенський енергетичний потенціал Світового океану. За яких основних причин він використовується недостатньо?
18. Обґрунтуйте, чому воднева енергетика має великі перспективи у світовій енергетиці, і чому водень можна вважати паливом майбутнього.

6.3 Демографічні проблеми

Змістом демографічної проблеми є все, що пов'язано з народонаселенням. Проблеми народонаселення мають глобальний характер, тому їхнє розв'язання може і повинно бути знайдено у формі компромісу і узгоджених стратегічних дій національних урядів і міжнародних організацій. Сучасна *демографічна криза* проявляється у глибокому порушенні відтворення населення, що загрожує самому його існуванню.

Протягом усієї демографічної історії людства аж до кінця XVIII ст. причинами виникнення демографічної кризи були голод, епідемії та війни; обумовлений

ними високий рівень смертності призводив до скорочення чисельності населення деяких країн і регіонів світу, а інколи і до повного обезлюднення територій. Історичний процес зміни репродуктивної поведінки у деяких розвинених країнах виявляє тенденцію до падіння рівня народжуваності нижче від необхідного для простого відтворення населення, що і є причиною сучасної демографічної кризи.

Чисельність населення на земній кулі неухильно зростає протягом, принаймні, останніх 2 тисяч років, однак найбільш інтенсивний ріст населення відбувається за останні 200 років. Нині чисельність населення збільшується зі швидкістю приблизно 85-90 млн людей щороку. Зовсім недавно народжуваність у багатьох країнах стала знижуватися, але у близькому майбутньому це призведе лише до уповільнення росту чисельності, а не до досягнення постійного рівня чи його зниження. Однак демографічні проблеми зводяться не тільки до приросту населення, але й до інших факторів, зокрема, природно-кліматичних особливостей регіонів, стану навколишнього середовища, економічних і соціальних умов життя. Основними демографічними показниками суспільства є народжуваність, смертність і середня тривалість життя.

Народжуваність – це процес відновлення суспільства за рахунок появи нового життя. Народжуваність визначається за допомогою коефіцієнта народжуваності (розподіл абсолютного числа немовлят до загальної кількості населення). *Смертність* визначається відношенням числа померлих до загальної кількості населення. Тенденція до збільшення смертності часто обумовлюється серцево-судинними захворюваннями, злоякісними утвореннями, нещасними випадками тощо. Демографічна ситуація значною мірою визначається дитячою смертністю, основними причинами якої є генетичні аномалії, інфекційні й інші хвороби.

Середня тривалість життя – це середнє число років, які має прожити новонароджена дитина. Тривалість життя людини залежить від багатьох факторів – як зовнішніх, так і внутрішніх. Наука, що вивчає проблеми старіння, з'ясовує основні його закономірності, починаючи з молекулярного і клітинного рівнів і закінчуючи цілісним організмом, називається *геронтологією*. Існує фізіологічна, психологічна і соціальна зрілість. *Фізіологічна зрілість* – етап статевого дозрівання організму, з індивідуальними термінами розвитку в кожному конкретному випадку. Термін досягнення фізіологічної зрілості залежить від спадкоємних, кліматичних та інших факторів. *Психологічна зрілість* – це період, коли формуються моральна стійкість, самоконтроль, відповідальність за свої вчинки. *Соціальна зрілість* означає повністю сформовану особистість, повноцінного і повноправного члена суспільства.

Середня тривалість життя у різних країнах різна. Наприклад, в Італії, Швейцарії і Японії – майже 83 роки, в Ісландії, Іспанії, Франції, Швеції і Австралії – 82, у Норвегії – 81 рік, у США – 78, Китаї – 73 роки, в Україні – 67 років, у Зімбабве – 36 років (Табл. 16).

Табл. 16. Країни з найбільшою очікуваною тривалістю життя при народженні

Місце серед членів ООН	Місце серед усіх територій	Країна	Очікувана тривалість життя при народженні	Чоловіча очікувана тривалість життя	Жіноча очікувана тривалість життя
	1	 Макао	84,36	81,39	87,47
1	2	 Андорра	82,51	80,33	84,84
2	3	 Японія	82,12	78,8	85,62
3	4	 Сінгапур	81,98	79,37	84,78
4	5	 Сан-Марино	81,97	78,53	85,72
	6	 Гонконг	81,86	79,16	84,79
5	7	 Австралія	81,63	79,25	84,14
6	8	 Канада	81,23	78,69	83,91
7	9	 Франція	80,98	77,79	84,33
8	10	 Швеція	80,86	78,59	83,26
9	11	 Швейцарія	80,85	78,03	83,83
10	13	 Ізраїль	80,73	78,62	82,95
11	14	 Ісландія	80,67	78,53	82,9
	16	 Кайманові о-ви	80,44	77,2	83,72
	17	 Бермудські о-ви	80,43	77,65	83,26
12	18	 Нова Зеландія	80,36	78,43	82,39
13	19	 Італія	80,2	77,26	83,33
	20	 Гібралтар	80,19	77,3	83,22
14	21	 Монако	80,09	76,3	84,09
15	22	 Ліхтенштейн	80,06	76,59	83,53
16	23	 Іспанія	80,05	76,74	83,57
17	24	 Норвегія	79,95	77,29	82,74
	25	 Джерсі	79,75	77,23	82,46
18	26	 Греція	79,66	77,11	82,37

Місце серед членів ООН	Місце серед усіх територій	Країна	Очікувана тривалість життя при народженні	Чоловіча очікувана тривалість життя	Жіноча очікувана тривалість життя
19	27	 Австрія	79,5	76,6	82,56
20	29	 Мальта	79,44	76,95	81,47
21	30	 Нідерланди	79,4	76,8	82,14

В індивідуальному розвитку людини виділяють такі періоди:

- юнацький: юнаки – 17-21 рік, дівчата – 16-20 років;
- зрілий вік (перший період): чоловіки – 22-36 років, жінки – 21-35 років;
- зрілий вік (другий період): чоловіки – 36-60 років, жінки – 36-55 років;
- похилий вік: чоловіки – 61-74 роки, жінки – 56-74 роки;
- старий вік: 75-90 років;
- довгожителі – більше 90 років.

Старість вважають заключним етапом онтогенезу – це віковий період, який характеризується суттєвими структурними, функціональними і біохімічними змінами, що відбуваються в організмі. Вони зазвичай обмежують адаптивні можливості людини.

Завершальною фазою індивідуального розвитку кожного людського організму є смерть. Розрізняють смерть фізіологічну (природну), що настає в результаті старіння організму, і патологічну (передчасну) – в результаті тих чи інших захворювань або ж нещасних випадків. *Смерть людини* – не раптовий процес. Він відбувається у два етапи: клінічна і біологічна смерть. *Клінічна* смерть – це призупинення діяльності життєво важливих функцій: втрата свідомості, припинення серцебиття і дихання. Інші ж органи продовжують жити і функціонувати, у них ще відбуваються процеси самовідновлення. *Біологічна* смерть пов'язана з припиненням процесів самовідновлення і поступовим відмиранням клітин. За клінічної смерті людину можна повернути до життя, у стані біологічної смерті – вже ні.

За результатами досліджень ВООЗ, провідними причинами смертельних випадків у світі нині є серцеві захворювання – 12,6%; хвороби мозку – 9,7%; дихальні інфекції – 6,8%; ВІЛ/СНІД – 4,9%; хронічна легенева хвороба – 4,8%; шлункові хвороби – 3,2%; туберкульоз – 2,7%; малярія – 2,2%; бронхіальний/легеневий рак – 2,2%; автомобільні катастрофи – 2,1% від загальної кількості смертей.

Народонаселення (у широкому розумінні) – це сукупність людей, які мешкають у даному місці, на даній території. Народонаселення – явище соціальне, що є носієм виробничих відносин. Народонаселення має такі характерні риси:

- природно-історична обумовленість;
- безперервне поновлення у процесі утворення і відтворення безпосереднього життя;
- соціально-часова визначеність;
- просторово-територіальна визначеність сукупності людей.

Невід’ємним атрибутом народонаселення є його рух, який відображає спосіб його існування. Іншими словами, *рух населення* – це будь-які зміни його чисельності. Він буває природним і механічним. В основі природного руху населення лежить безперервне його оновлення за рахунок появи одних життів і зникнення інших, тобто заміна поколінь людей, або відтворення населення. *Природний рух* – це різниця між народжуваністю і смертністю; процес, що змінює чисельність і склад населення шляхом його оновлення. *Механічний рух* змінює чисельність за рахунок територіального переміщення населення. Зниження показників народжуваності й смертності відбувається з ростом економічного розвитку країни: народжуваність падає через підвищення соціального статусу жінки, а смертність – завдяки покращанню медичного обслуговування і підвищенню рівня життя.

Статева і вікова структура населення залежить від динаміки народжуваності й смертності. Зміни у структурі й чисельності населення призводять до того, що незважаючи на обмежену тривалість життя кожної людини, населення продовжує своє існування. Цей процес називають *відтворенням населення*, а систему параметрів, які визначають хід процесу відтворення, називають *режимом відтворення*. У вузькому розумінні відтворення населення – це процес постійного оновлення поколінь під впливом взаємодії процесів народжуваності й смертності, який має історичну соціально-економічну обумовленість. Розрізняють два типи відтворення населення, які служать показниками його природного руху:

- *Перший* тип: низька народжуваність і низька смертність. Природний приріст – до 10 чол. на 1000 жителів (менше 1%). Призводить до скорочення трудових ресурсів, старіння нації. До цього типу належать країни Західної, Східної, Центральної Європи, США, Японія, Канада, Австралія. Від’ємний приріст населення мають ФРН, Угорщина, Бельгія, Австрія, Данія, Україна.
- *Другий* тип: висока народжуваність і низька смертність. Природний приріст перевищує 1,2% (понад 12 чол. на 1000 жителів). До цього типу належать країни Африки, Азії, Латинської Америки, Албанія.

Дія законів народонаселення впливає на тип зміни поколінь. Відомо два типи зміни поколінь – *традиційний* (тип швидкої зміни) і *сучасний* (тип повільної зміни). Перехід від традиційного до сучасного типу зміни поколінь зветься демографічним переходом.

Загальною кількісною мірою народонаселення світу, країни, окремих її частин є його чисельність. *Чисельність населення* визначається на яку-небудь дату, момент часу. Існують категорії наявного і постійного населення. До *наявного* населення належать особи, які у момент перепису перебували на даній території незалежно від місця їхнього постійного мешкання. До *постійного* населення належать особи, які постійно мешкають на даній території.

У процесі переходу до сучасного типу відтворення населення корінних змін зазнає його вікова структура: частка молодших вікових груп неухильно скорочується, а частка старших збільшується. Цей феномен називають демографічним старінням. *Старіння населення* – одна з тих необоротних змін, які сполучені з переходом до нового типу відтворення населення. *Демографічне старіння* – об'єктивний, історично зумовлений процес, його наслідки необоротні, і єдине, що можна й треба зробити, це усвідомити його неминучість, історичний характер та враховувати це у суспільній практиці, зокрема при розробці демографічної політики.

За всю свою історію людство пережило принаймні три так звані «*демографічні революції*». Перша починалася ще з часів неолітичної революції і продовжувалася аж до початку XIX ст. Тоді панував тип відтворення населення, який прийнято називати традиційним. Для нього були характерні висока народжуваність, близька до фізіологічного рівня (40-45 чоловік на 1000 жителів), дуже висока смертність (30-35 чол. на 1000 жителів) і в результаті – низький природний приріст населення. Цей тип був нерозривно пов'язаний з аграрною економікою, з докапіталістичними відносинами, з орієнтацією на багатодітну сім'ю, у якій діти з раннього віку беруть участь у господарських роботах. І саме висока смертність служила тоді регулятором усього процесу розвитку.

Друга «демографічна революція» сталася на початку XIX ст. у зв'язку з переходом від аграрної до індустріальної економіки, що ознаменувалося промисловими переворотами у багатьох країнах Європи. Поступове зниження смертності по мірі розвитку охорони здоров'я в цих країнах призвело тоді до помітного збільшення природного приросту населення. Але в усіх інших регіонах світу продовжував зберігатися традиційний тип відтворення населення.

Третя «демографічна революція» розпочалася у середині ХХ ст. і захопила насамперед економічно розвинуті країни. Саме для її характеристики широко застосовується термін «*демографічний вибух*», який з публіцистичної літератури перейшов і в науковий вжиток.

Homo sapiens існує на планеті майже 100 тис років, та лише приблизно 8 тис років тому на Землі стало проживати близько 10 млн людей. Чисельність землян збільшувалася дуже повільно, поки вони жили полюванням і збиранням, вели кочівний спосіб життя. З переходом до осілого землеробства, до нових форм виробництва, особливо промислового, кількість людей стала збільшуватися і до середини ХVІІІ ст. становила майже 800 млн. Приблизно у 1820 р. чисельність землян досягла першого мільярду. Потім ситуація різко змінилася – населення перейшло від стану повільного зростання до епохи вибухоподібного збільшення.

У 1927 р., лише через 100 років після досягнення мільярдного рівня, його чисельність перевищила 2 млрд. Третій мільярд був зафіксований у 1959 р., четвертий – вже через 15 років, у 1974 р., а всього через 13 років, 11 липня 1987 року було оголошено ООН «днем народження 5-мільярдної людини». Шостий мільярд з'явився у 2000 р. Днем народження 7-мільярдного жителя Землі стало 31 жовтня 2011 р. Декілька країн – Філіппіни, Індія, Росія і Туреччина – сперечалися тоді про його місце народження. Церемонія на честь народження 7-мільярдного жителя планети пройшла у столиці Філіппін Манілі. Чисельність населення світу, згідно із середнім варіантом прогнозів, становитиме 8 млрд у 2025 р. і 9 млрд. – у 2045 р. (Табл. 17).

Табл. 17. Динаміка чисельності населення світу (за оцінками ООН)

Роки	Населення, млн чол.	Приріст за десятиліття, млн чол.	Щорічний абсолютний приріст, млн чол.	Середньорічний темп росту, %
1950	2515	220	22	1,6
1960	3019	504	50	1,8
1970	3698	679	68	2,0
1980	4450	752	75	1,8
1990	5292	842	84	1,7
2000	6291	969	97	1,6
2010	7190	929	93	1,4
2023	8000	810	81	1,3

За прогнозами експертів ООН, до 2025 року населення світу досягне 8,3 млрд людей. На земній кулі щорічно народжується більш ніж 130 млн людей, вмирає приблизно 50 млн; таким чином, середній приріст населення становить 80-85 млн людей. Зниження темпів росту населення залежить від багатьох факторів,

зокрема забезпечення людей житлом належної якості, повної зайнятості, доступу до освіти і медичного обслуговування. Останнє ж неможливе без розвитку національної економіки на основі індустріалізації і модернізації сільського господарства, без розвитку освіти, вирішення соціальних проблем. Дослідження, проведені у деяких країнах Азії і Латинської Америки, свідчать, що за низького рівня економічного і соціального розвитку більшість населення безграмотне, народжуваність дуже висока, і навпаки, народжуваність знижується за умов здійснення прогресивних економічних перетворень.

З економічною і соціальною нерівністю пов'язують таке важливе демографічне явище, як міграції населення. *Міграція* (від лат. *migratio* – переселення) – це фізичне переміщення населення, внаслідок чого відбувається зміна його кількості. *Міграція* завершується зміною постійного місця мешкання, що у буквальному сенсі означає переселення. У широкому розумінні міграції, крім переселень, охоплюють усі види переміщень населення у просторі – сезонні, епізодичні, маятникові. *Сезонні міграції* – це переміщення населення до місць тимчасової праці й проживання із збереженням можливості повернення у місця постійного мешкання. *Епізодичні міграції* – це ділові, культурно-побутові, рекреаційні та інші поїздки, здійснювані не тільки нерегулярно у часі, але й необов'язково у тих самих напрямках. *Маятникові міграції* – це масові щоденні або щотижневі переміщення населення від місць мешкання до місць праці та у зворотний бік.

Однією з головних ознак міграцій є перетин кордонів тих чи інших територій, держав чи населених пунктів. На цій підставі виокремлюють зовнішні й внутрішні міграції. Переміщення з однієї країни до іншої називається зовнішньою міграцією. *Зовнішні міграції* також називають *міжнародними* і, у свою чергу, поділяють на міжконтинентальні й внутрішньоконтинентальні. *Внутрішні міграції* характерні практично для всіх країн – це переїзд, переміщення населення у межах країни.

Виїзд до іншої країни на постійне місце проживання називається еміграцією, в'їзд людей до країни – імміграцією. Люди, які виїждять з країни, називаються емігрантами, а які приїждять – іммігрантами. Найбільш інтенсивні потоки міграції спостерігаються нині з країн Північної Африки, Південно-Східної і Південно-Західної Азії – до країн Західної Європи, з країн Латинської Америки та Південно-Східної Азії – до США, з України, Білорусі, Росії – до США, ФРН та Ізраїлю. З внутрішньої міграції найбільш інтенсивним є переселення із села до міста.

Зовнішні міграції відбувалися постійно, але набули масового характеру з виникненням капіталістичних відносин. Центром масової міграції стала Західна

Європа. За 1815-1915 рр. з Європи виїхало 35-40 млн чол. Більшість переїхала до Північної Америки, де освоювалися величезні території. Прикладами насильницької еміграції є вивезення негрів з Африки до Америки (XVIII ст.), переселення кримських татар у XX ст. до Сибіру та Уралу. Існують міграції *тимчасові*, головним чинником яких виступає економічний і соціальний рівень розвитку країн. Наприклад, у країнах Західної Європи працюють 13-14 млн іноземців. Окремо можна говорити і про *сезонні* міграції (з Мексики – для збору врожаю до США). Важливе значення має й політичний фактор (після розпаду СРСР зросла еміграція до Західної Європи, США, Канади, Ізраїлю, Австралії).

Вивчаючи переміщення населення, демографи визначили основні *причини міграції*:

- природно-географічні (освоєння нових земель – США, Австралія);
- соціально-економічні (із слаборозвинених країн до розвинених, наприклад, переїзд кращих науковців до США, Японії, ФРН);
- релігійні (між Індією і Пакистаном, Бангладеш тощо);
- національні (наприклад, формування населення Ізраїлю);
- політичні (розпад держав, репресії, переслідування).

Відомості про чисельність населення окремих країн отримують на основі регулярних *переписів населення*, які проводяться кожні 5 або 10 років. Загальні дані усіх країн концентруються у демографів ООН. За останніми переписами, країнами – лідерами за чисельністю населення є Китай – 1355 млн осіб (19,5% від населення Землі), Індія – 1236 (17,37%), США – 318 (4,5%) (Табл. 18).

Табл. 18. Динаміка чисельності населення країн світу (за даними Eurostat)

№	Країна	Населення, кількість осіб				
		2007	2008	2009	2012	2014
-	Світ	6 602 224 175	6 677 563 921	6 706 993 152	7 041 407 423	7 174 611 584
1	 Китай	1 321 851 888	1 330 044 605	1 338 612 968	1 343 239 923	1 355 692 576
2	 Індія	1 129 866 154	1 147 995 898	1 166 079 217	1 205 073 612	1 236 344 631
3	 США	301 139 947	305 548 000	307 212 123	313 847 465	318 892 103
4	 Індонезія	234 693 997	237 512 355	240 271 522	248 645 008	253 609 643
5	 Бразилія	190 010 647	191 908 598	198 739 269	199 321 413	202 656 788
6	 Пакистан	164 741 924	167 762 040	176 242 949	190 291 129	196 174 380
7	 Нігерія	135 031 164	138 283 240	149 229 090	170 123 740	177 155 754
8	 Бангладеш	150 448 339	153 546 901	156 050 883	161 083 804	166 280 712

№	Країна	Населення, кількість осіб				
		2007	2008	2009	2012	2014
9	 Росія	141 377 752	140 702 094	140 041 247	142 517 670	142 470 272
10	 Японія	127 433 494	127 288 419	127 078 679	127 368 088	127 103 388
11	 Мексика	108 700 891	109 955 400	111 211 789	114 975 406	120 286 655
12	 Філіппіни	91 077 287	92 681 453	97 976 603	103 775 002	107 668 231
13	 Ефіопія	76 511 887	78 254 090	85 237 338	91 195 675	96 633 458
14	 В'єтнам	85 262 356	86 116 559	86 967 524	91 519 289	93 421 835
15	 Єгипет	80 335 036	81 713 517	83 082 869	83 688 164	86 895 099
16	 Туреччина	71 158 647	71 892 807	76 805 524	79 749 461	81 619 392
17	 Німеччина	82 400 996	82 369 548	82 329 758	81 305 856	80 996 685
18	 Іран	65 397 521	65 875 223	66 429 284	78 868 711	80 840 713
19	 ДР Конго	65 751 512	66 514 506	68 692 542	73 599 190	77 433 744
20	 Таїланд	65 068 149	65 493 298	65 905 410	67 091 089	67 741 401

За даними Світового банку, 70% прогнозованого приросту світового населення припадатиме на Бразилію, Індію, Індонезію, Нігерію і Пакистан. Експерти вважають, що до 2050 р. в Індії мешкатиме на 100 млн осіб більше, аніж у Китаї. А з розвинених країн високий рівень народжуваності зберігається лише у США, де 80% приросту населення забезпечують іммігранти. У Європі, навпаки, чисельність населення скорочується, незважаючи на імміграцію. Особливо швидкими темпами зростає населення у країнах Азії, Африки, Латинської Америки. Ще кілька років тому демографи ООН стверджували, що протягом одного-двох століть чисельність населення світу подвоїться і сягне 12 млрд. Тепер доводиться переглядати прогнози. Вони обережно передрікають, що до 2200 року кількість людей на планеті досягне 10 млрд, а потім почне скорочуватися. Ще кілька десятиліть тому рівень народжуваності у деяких країнах – Бразилії, Єгипті, Індії, Мексиці – доходив до 5-6 дітей у однієї жінки. Нині ж середній рівень народжуваності у світі становить 2,1 дитини на одну жінку.

Населення у різних регіонах світу розподілене нерівномірно: найбільша його кількість проживає в Азії – понад 60% населення світу, в Африці – 12%, у Західній Європі – 10%, в Латинській Америці – 8%, у Північній Америці – 5%, Австралії і Океанії – 0,5%. 70% населення світу проживає на суходолі, а 15% суходолу планети взагалі не заселено; 60% населення проживає у помірному поясі Північ-

ної півкулі. Можна виділити такі п'ять головних ареалів скупчення населення на земній кулі:

- Υ Східно-азіатський (КНР, Японія, Республіка Корея, КНДР);
- Υ Південно-Східна Азія (Індонезія, Малайзія, Таїланд);
- Υ Південна Азія (Індія, Бангладеш, Пакистан);
- Υ Європейський;
- Υ Північноамериканський (Атлантичне узбережжя США і Канади).

Середня густота населення становить до 40 осіб на км² (Європа – 70, Азія – 75, Африка – 22, Америка – 17, Австралія – 2,5 чол. на км²). Існують території, які внаслідок давнього освоєння і сприятливих природних умов заселені дуже щільно (понад 300 чол./км²): Індо-Гангська рівнина, Велика Китайська рівнина, Японські острови. Найменш заселеними є заполярні, високогірні й аридні території. Якщо не враховувати дрібні країни-карлики, то найбільшу густоту населення мають Бангладеш (1098 чол./км²), Тайвань (646), Південна Корея (503), Руанда (416), Нідерланди (406,9), Гаїті (397), Індія (386, чол./км²). Найменшу – Монголія (1,5 чол./км²), Ісландія (2,6), Канада (3,6), Австралія (3 чол./км²).

6.4 Шляхи розв'язання проблем

Як вже було зазначено, різке прискорення кількісного зростання світового населення – *демографічний вибух* – розпочалося у середині ХХ ст. Високі темпи росту чисельності населення значною мірою визначаються темпами його збільшення у країнах, що розвиваються. Це країни Азії, Африки і Латинської Америки, де проживає близько 70% населення світу, і середньорічний приріст населення перевищує 1,8-2,0%.

Якщо згадати, що п'ятий мільярд населення Землі з'явився ледь не за 10 років, легко підрахувати, що у 70-х роках ХХ ст. щосекунди народжувалося у середньому 5 дітей. Проте нині ситуація дещо змінилася. Експерти відзначають кілька найголовніших обставин сучасного моменту демографічного вибуху. По-перше, найвищі показники щорічного зростання населення «забезпечують» найбільш бідні країни світу. По-друге, спостерігаються чіткі ознаки сповільнення темпу демографічного вибуху – зменшується кількість країн із щорічним приростом понад 3%; в Азії швидко скорочується кількість пологів на одну жінку; в Африці зростає застосування сучасних засобів запобігання вагітності тощо.

Отже, демографічний вибух – явище тимчасове, а з розвитком *демографічного переходу* порушена узгодженість типів народжуваності й смертності відновлюється, проміжний тип відтворення населення поступається місцем основному, і

демографічний вибух припиняється. Але темпи демографічного переходу залежать від загального соціально-економічного розвитку, і коли він, як у більшості слаборозвинених країн, відбувається повільно, довго зберігається і проміжний тип відтворення населення. У багатьох країнах, що розвиваються, демографічна політика спрямована на подолання перехідного характеру відтворення населення. Процес має завершитися демографічною стабілізацією. У різних регіонах світу це відбудеться у різні строки, але у більшості країн, що розвиваються, – не раніше середини ХХІ ст.

Поки що далеко до справжньої стабілізації населення Землі. Аналіз ситуації свідчить, що для переходу слаборозвинених країн до європейської демографічної політики (досягнення темпу зростання 0,3-0,7%) має пройти 30-40 років, а за цей час населення Землі «за інерцією» збільшиться до 10 млрд (Табл. 19).

Табл. 19. Темпи і прогноз демографічних та економічних змін у найбільш населених країнах світу

Країна	1968 рік			1987 рік	2025 рік
	Населення, млн осіб	Щорічний приріст населення, %	Приріст ВВП ⁴⁹ за рік, %	Населення, млн осіб	Населення, млн осіб
Китай	730	1,5	0,3	1060	1 490
Індія	524	2,5	1,8	803	1 445
СРСР	238	1,3	5,8	283	—
США	201	1,4	3,4	243	300
Індонезія	113	2,4	0,8	172	256
Японія	101	1,0	9,9	122	129
Бразилія	88	3,0	1,6	147	246
Нігерія	63	2,4	-0,3	109	301
ФРН	60	1,0	3,4	62	—

Між 1950 і 2000 роками населення світу збільшилося від 2,5 млрд до 6,1 млрд (приріст на 3,6 млрд). І хоча народжуваність у більшості країн скоротилася, останні прогнози свідчать, що до 2050 р. населення зросте на 2,8 млрд і становитиме 8,9 млрд чоловік. Хоча попередній приріст населення відбувався як в індустріальних країнах, так і в країнах, що розвиваються, майже увесь наступний приріст буде у «третьому світі», де, згідно з багатьма екологічними показниками, країни уже перенаселені. Країни, де прогнозується подвоєння чи навіть потроєння населення, у майбутньому стикнуться з іще більшим зростанням, ніж раніше.

⁴⁹ Валовий національний продукт (ВНП) – сукупність усіх вироблених у країні товарів та наданих послуг за рік.

Демографічний вибух, з одного боку, сприяє омолодженню населення Землі, збільшує трудові ресурси країн світу, з іншого – породжує цілу низку глобальних і регіональних проблем. Демографічний вибух ускладнює економічний розвиток держав, породжує жебрацтво, загострює проблему охорони природи. Чисельність населення продовжує зростати, а природні екосистеми Землі не ростуть. Кількість прісної води, що виробляється гідрологічним циклом, нині по суті така ж сама, як була у 1950 р. й, мабуть, буде у 2050 р. Так само незмінним є вилов океанської риби, обсяг заготівлі лісів, продуктивність природних пасовищ тощо. Коли населення зростає, скорочення забезпечення кожним з цих ресурсів на душу населення загрожує не лише якості життя, але й, за певних обставин, навіть і самому життю.

Як відомо, «внесок» різних країн і континентів у загальну картину зростання народонаселення далеко не однаковий. За абсолютною чисельністю найбільший приріст дали великі азіатські країни – Китай, Індія, Індонезія; найбільша швидкість зростання спостерігалася у Африці та Латинській Америці. У деяких африканських країнах відносний приріст доходив до 4% щорічно. У більшості більш розвинутих країн і регіонів (Західна Європа, Північна Америка) ситуація демографічного вибуху спостерігалася набагато раніше – ще у XIX ст. Для багатьох з них нині характерний розвиток так званого демографічного переходу до стабілізації чисельності населення.

Динаміку чисельності й руху населення висвітлює теорія *демографічного переходу*. Вона пояснює відмінності у природному прирості населення різних регіонів насамперед соціально-економічними факторами. Виділяють такі етапи демографічного переходу:

- У Висока народжуваність і висока смертність через низький рівень життя населення і слабкий розвиток медицини. Зараз на цьому етапі перебувають Сомалі, Малі, Чад.
- У За традиційно високої народжуваності завдяки підвищенню рівня життя і поліпшенню медичного обслуговування зменшується смертність. Кількість населення різко збільшується, темпи природного приросту перевищують 1,2%. Така демографічна ситуація характерна для Венесуели, Болівії, Нігерії, Індії.
- У Народжуваність зменшується через підвищення соціально-економічного статусу жінки; смертність у межах 0,2-0,6%. Природний приріст малий або навіть від'ємний. Коли він знижується до 0,2%, настає *демографічна криза*. Зараз вона спостерігається в Україні, Німеччині, Данії, Угорщині.

Отже, з підвищенням рівня економіки країни чи регіону змінюються і демографічні показники. *Демографічний перехід* являє собою послідовну зміну типів відтворення населення, що призводить до стабілізації чисельності. Він схожий з тією фазою динаміки чисельності популяції в екосистемі, коли вона наближається до рівня ємності середовища. Під час демографічного переходу у зміні відтворення населення виділяють чотири фази:

- *Перша фаза* відповідає ситуації, коли і смертність, і народжуваність швидко знижуються, але падіння коефіцієнту смертності випереджає падіння коефіцієнту народжуваності, й тому приріст населення продовжує зростати, досягаючи найбільшого значення. Така ситуація склалася у багатьох країнах, що розвиваються; розвинуті країни минули першу фазу ще до середини ХХ ст.
- У *другій фазі* смертність досягає мінімуму і більше не знижується, але народжуваність продовжує падати, через що приріст населення уповільнюється.
- Для *третьої фази* характерно підвищення коефіцієнту смертності, обумовлене старінням населення, та одночасне уповільнення падіння народжуваності. Наприкінці третьої фази коефіцієнт народжуваності наближується до рівня простого відтворення населення, а коефіцієнт смертності залишається нижче цього рівня, оскільки вікова структура населення ще не стабілізувалася.
- У *четвертій фазі* коефіцієнт смертності підвищується і зближується з коефіцієнтом народжуваності, тобто процес демографічної стабілізації завершується. Це відповідає такому рівню відтворення населення, коли на кожну тисячу людей щорічно буде народжуватися та вмирати 12 чоловік. Тобто у складі такої популяції буде 23% дітей і юнаків до 18 років, 49% людей працездатного віку (18-60 років) і 28% людей у віці від 60 до 84 років (середня тривалість життя). На кожну 1000 чоловік буде 96 сімей з віком батьків від 20 до 36 років, у кожній з яких буде у середньому по дві дитини.

Сучасним суспільством у виробництво і споживання утягується така кількість речовин та енергії, яка у десятки і сотні разів перевищує чисто біологічні потреби людини. Інфраструктура цивілізації, її економіка багатократно збільшує споживання і деградацію природних ресурсів. Тобто головною причиною сучасної екологічної кризи є саме *кількісна експансія людського суспільства* – непомірний рівень та швидке нарощування сукупного антропогенного навантаження на природу.

Соціальні наслідки великої чисельності людей є своєрідним проявом закону «*на всіх не вистачить*». Пройшовши скрізь всю історію людства, економічна і соціальна нерівність не тільки не пом'якшала, а навіть стала контрастнішою, оскільки

ки цивілізація увесь час нарощувала розрив між максимальними можливостями отримання благ та їхньою реальною доступністю для багатьох людей. Ступінь нерівності життєвих шансів у людей така, якої ніколи не буває у природі в межах одного стабільного виду тварин.

Чисельність економічно активного населення (тобто людей, які безпосередньо беруть участь у виробництві й розподілі матеріальних благ) становить не більше 55% працездатного населення планети. Іншими словами, кожен працюючий забезпечує себе і ще п'ять чоловік. Але це – за відносно низької середньої продуктивності праці. У міру її підвищення частина трудових ресурсів переміщується у сферу обслуговування, проте загальний рівень зайнятості все ж помітно знижується.

Щодня населення Землі збільшується на чверть мільйона чоловік. З 50-х до початку 90-х років ХХ ст. кількість населення світу подвоїлась, а його частка, яка проживає у найбідніших регіонах світу – країнах, що розвиваються, і аграрних постсоціалістичних країнах – досягла $\frac{3}{4}$ світового показника. І хоча вже помітна тенденція до зниження темпів природного приросту населення, кількість населення у країнах, що розвиваються, продовжує зростати значно вищими темпами. За цим криється низка глобальних проблем, які мають бути вирішені, аби забезпечити умови життєдіяльності людини та гідну якість її життя. І якими б вражаючими не були успіхи розвинутих країн, добробут людства і безпека світу в цілому залежать від успіхів економічного розвитку всіх країн світу.

6.4.1 Зростання населення – першопричина глобальної екологічної кризи

Ще наприкінці ХVІІІ ст. англійський економіст і священник *Томас Роберт Мальтус* (1766-1834) виклав теорію, згідно з якою населення Землі зростає швидше, ніж виробництво продовольства з усіма зловісними наслідками, що з цього випливають. На щастя, життя двох останніх століть не підтвердило цієї теорії; виробництво продовольства, не кажучи вже про виробництво взагалі, зростало швидше, ніж збільшувалося населення. Протягом ХХ ст. у розвинутих країнах природний приріст був досить низький, а «демографічний вибух» першої половини ХХ ст. у більшості регіонів вже пішов на спад. Основними чинниками, що стримали темпи зростання населення світу, стали процеси індустріалізації та урбанізації, які поступово охопили всі регіони планети. В цілому, оцінюючи демографічну ситуацію, необхідно зважити на такі моменти.

По-перше, демографічні проблеми в різних країнах мають свої особливості. Головні з них, наприклад, в Україні не збігаються, з одного боку, з проблемами

Франції, з іншого – з проблемами Єгипту, Ефіопії або Таїланду, хоча усі ці країни мають майже однакову кількість населення. Для країн, що розвиваються, попри відмінності між ними, спільними є необхідність зменшення приросту населення, поліпшення здоров'я і харчування людей, ліквідація бідності й технологічної відсталості. У розвинутих країнах цих труднощів немає, натомість гостро стоять проблеми відвернення екологічної кризи і збалансованості використання робочої сили. У деяких постсоціалістичних країнах (зокрема в Україні) до цього додалися проблеми необхідності духовного і фізичного відродження нації.

По-друге, закономірності процесу сучасного світового демографічного переходу дають змогу прогнозувати певну стабілізацію відтворення населення у ХХІ ст., а технічні й технологічні можливості сучасного господарства уможливають досягнення середніх світових показників забезпечення земель продовольством та іншими життєво необхідними засобами. Для цього є всі підстави. Оскільки світові можливості збільшення виробництва сільськогосподарської продукції далеко не вичерпані, основними шляхами тут є такі:

- підвищення родючості ґрунтів завдяки агро меліорації і агрохімії;
- підвищення біологічної продуктивності сільськогосподарських культур шляхом упровадження досягнень генетики і селекції;
- виведення продуктивніших порід свійської худоби;
- ефективніше використання сонячної енергії для фотосинтезу органічної маси і упровадження генної інженерії;
- підвищення біопродуктивності Світового океану та широке упровадження аквакультури.

Людство має величезні ще не використані можливості у галузі енергетики. Вже багато країн світу стали на шлях переходу до енергетики, орієнтованої на використання практично невичерпних енергоносіїв – енергії Сонця, вітру, води, тепла Землі. З огляду на це, вже у першій половині ХХІ ст. стримуючим чинником розвитку енергетики стане не нестача енергоносіїв, а загроза ще більшого теплового забруднення атмосфери надпотужними електростанціями. То ж проблема упровадження енергозберігаючих технологій і надалі залишатиметься найбільш актуальною.

Економічне зростання супроводжуватиметься спорудженням нового житла та нарощуванням технічних потужностей виробництва. І тут наука і техніка готові забезпечити людство сучасними індустріальними технологіями, які застосовуються у містобудівництві; сучасними транспортними засобами, які у всіх сферах природного середовища – на суходолі, на воді, у повітрі, а з часом і у Космосі – «зву-

жують» світ і роблять доступнішими всі куточки планети; комп'ютерами та новими інформаційними і комунікаційними системами, які активно упроваджуються в усі сфери виробництва і побуту. Реалізувати ж ці можливості спроможні лише освічені, фізично здорові й вільні люди, забезпечені сучасними умовами життєдіяльності (харчування, одяг, житло, доступ до інформації тощо). Отже, постає проблема *якості життя* людини. Під час оцінки якості життя країн беруть до уваги такі показники: розміри валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення (як уособлення багатства і добробуту), середньостатистичну тривалість життя (віддзеркалення стану здоров'я і фізичної сили), а також рівень освіти населення (стан культури і науки).

Не менш актуальним є зв'язок між ростом світового населення і такими глобальними проблемами, як забезпечення людства природними ресурсами і забруднення навколишнього середовища. Швидке зростання сільського населення призводить до такого «тиску» на природні ресурси (грунти, рослинність, прісна вода тощо), що підриває їхню здатність до самовідновлення. Нині обсяги використання природних ресурсів для промислового виробництва у країнах, що розвиваються, удесятеро менші, ніж у розвинутих. Однак, якщо з часом ці країни стануть економічно розвинутими, їхні потреби у енергії та сировині виявляться приблизно удесятеро вищими, ніж зараз у країнах Євросоюзу. Якщо ж врахувати темпи росту населення країн, що розвиваються, то їхні потенційні потреби у природних ресурсах до 2025 року мають подвоїтися; відповідно зростатиме і промислове забруднення навколишнього середовища.

За даними ООН, для задоволення потреб сучасного цивілізованого суспільства, сировини та енергії вистачить тільки на 1 млрд людей – якраз на населення США, Західної Європи і Японії. Ці країни називають «золотим мільярдом». Разом вони споживають більше половини енергії, 70% металів і при цьому утворюють $\frac{3}{4}$ від усієї маси відходів. Значна кількість відходів залишається у країнах, що добувають сировину для «золотого мільярду».

Переважає більшість населення живе у країнах, що розвиваються. За прогнозами, до 2025 р. населення цих країн зросте ще на 3 млрд осіб, що становитиме 95% приросту населення світу. Якщо темпи приросту населення у країнах Південної Азії і Африки зберігатимуться на сучасному рівні, їхня частка у світовому населенні до кінця XXI ст. перевищить 60%. Таке швидке зростання кількості населення (подвоєння кожні 20-30 років) призведе до загострення соціально-економічних проблем, зокрема, збільшення числа безробітних і неграмотних.

У групі країн нової індустріалізації (Східна Азія, окремі країни Латинської Америки) завдяки втіленню програм планування сім'ї показники природного приросту населення знизилися до 0,7-1,5%. У великій групі країн Африки, Південної Азії, Центральної і Південної Америки, а також країн мусульманського Сходу зберігаються традиції високої народжуваності, і природний приріст перевищує 2,5-3%.

У найбільшій групі країн, що розвиваються (Індія, Індонезія, країни Індокитаю, Мексика, Колумбія, Венесуела, Чилі, Єгипет, Туніс), де діють державні програми планування сім'ї, показники природного приросту населення коливаються від 1,5 до 2,5%. Потенційна загроза розвитку сучасної демографічної ситуації полягає у тому, що населення світу розпочало ХХІ століття з 1 млрд безробітних, 1 млрд голодуючих, 1 млрд неграмотних, 2 млрд, що живуть в умовах відносного чи абсолютного перенаселення, 1,5 млрд знедолених, що перебувають за «межею бідності». Глобальність проблеми народонаселення у тому, що вона не може бути локалізована у якомусь одному регіоні, і нерівномірне зростання чисельності населення в окремих країнах може викликати помітні зміни на геополітичній карті світу.

6.4.2 Демографічна політика в різних країнах світу

Залежно від демографічної ситуації, кожна країна проводить свою *демографічну політику* – комплекс соціально-економічних заходів, за допомогою яких уряд скеровує демографічні процеси у потрібному напрямку. Цілі демографічної політики можуть бути діаметрально протилежні; вони зазвичай зводяться до формування бажаного режиму відтворення населення, збереження або зміни тенденцій динаміки чисельності й структури населення, темпів їхніх змін, динаміки народжуваності, смертності, сімейного складу, розселення, внутрішньої і зовнішньої міграції, якісних характеристик населення.

У більшості країн, що розвиваються, а також у Китаї, демографічна політика скерована на *зниження* природного приросту населення: родинам, які свідомо обмежують кількість дітей, надаються пільги. У Китаї, наприклад, ще у 50-ті роки ХХ ст. держава почала проводити активну демографічну політику. Головне її гасло – «одна дитина у родині». Сім'ї, що мають більше двох дітей, сплачують 10%-й податок на заробітну плату. Шлюб дозволяється жінкам лише у 23 роки, а чоловікам – у 25 років. У другій за кількістю населення країні світу – Індії – природний приріст населення становить 13-14 млн осіб щороку. Демографічна політика уряду принесла результати, але стабілізація кількості населення очікується не раніше

середини нинішнього сторіччя. Вражаючих успіхів щодо планування сім'ї досяг Сінгапур, який майже врегулював народжуваність. У бідній, невеличкій країні Коста-Ріка демографічна політика сприяла різкому скороченню кількості дітей в одній родині – лише за десять років вона знизилася у середньому з семи до чотирьох.

Демографічна політика розвинутих країн, навпаки, спрямована на підвищення народжуваності. Для її стимулювання уряди виділяють значні кошти. Починаючи з XVI ст., відбувалося стійке зростання населення Європи. Однак були періоди, коли в окремих регіонах цієї частини світу в результаті голодомору, епідемій, хвороб і війн чисельність населення зменшувалася. В останні десятиріччя у Європі народжуваність помітно знизилася, що пояснюється передусім соціально-економічними причинами. Наприклад, жінки активно залучені до трудової діяльності, а діти тепер не є фактором матеріальної підтримки батьків у старості. З низькою народжуваністю пов'язані зміни вікової структури населення Європи – зменшується частка дітей, молоді і, як наслідок, підвищується частка літніх людей. Тобто відбувається «старіння нації».

Тому в країнах Європи, Північної Америки, а також Японії і деяких інших проводиться політика, скерована на *збільшення* природного приросту населення. Для цього є два шляхи: по-перше, заохочення народжуваності через надання пільг родинам, які мають дітей; по-друге, зниження смертності за рахунок покращання соціального забезпечення і медичного обслуговування. Зазвичай у розвинутих країнах застосовують обидва методи підвищення природного приросту. Проте, одноразові вкладення у пільги на підвищення народжуваності дають ефект не раніше, ніж через 15-20 років, а отже, демографічна політика має бути довготерміновою.

Одне з перших місць у світі за темпами зростання населення займає Мексика, для якої характерний один з найвищих показників народжуваності. А найбільш густонаселеним регіоном є острів Ява в Малайському архіпелазі, де мешкає близько 141 млн осіб, а середня густота населення становить 1060,6 чол. на км². Для вирішення проблеми перенаселення острова уряд Індонезії впроваджує у життя програму переселення частини жителів на сусідні острови.

Цілі демографічної політики можуть бути задані у вигляді цільової вимоги (словесний опис цілей), цільового показника або системи показників, досягнення яких інтерпретується як реалізація цілей демографічної політики. Серед показників, апробованих у практиці різних країн, найрідше зустрічається власне чисельність населення. Наприклад, у КНР такою метою було не перевищити чисельність

у 1,2 млрд чоловік у 2000 р., а у Румунії часів Чаушеску – досягти чисельності у 30 млн чол. Країни, що розвиваються, найчастіше обирають цільовим показником зниження темпів зростання населення за певний період, зниження загального або сумарного коефіцієнта народжуваності. У Всесвітньому плані дій щодо народонаселення (Бухарест, 1974) і у Рекомендаціях з його подальшого здійснення (Мехіко, 1984) країнам з високим рівнем смертності було запропоновано обирати цілями демографічної політики досягнення певних рівнів середньої тривалості життя або зниження дитячої смертності. У розвинених країнах для регулювання притоку іноземців практикуються імміграційні квоти, наприклад, обмеження на в'їзд.

Об'єктами демографічної політики можуть бути населення країни в цілому або її окремих регіонів, соціально-демографічні групи, когорти населення, сім'ї певних типів або стадій життєвого циклу. Основні *напрями* демографічної політики включають державну допомогу родинам з дітьми, створення умов для поєднання батьківства з активною професійною діяльністю, зниження захворюваності і смертності, збільшення тривалості життя, регулювання міграційних процесів, урбанізації і розселення, соціальну підтримку інвалідів, немолодих і непрацездатних тощо. Демографічна політика не може і не повинна підміняти собою соціальну і економічну політику. Спроби вирішувати соціально-економічні проблеми заходами демографічної політики ніколи не призводили до ефективних результатів.

Демографічна політика зазвичай передбачає комплекс таких заходів:

- *економічних* (оплачувані відпустки і допомога при народженні дітей; допомога на дітей залежно від їхнього числа і віку; податкові, житлові пільги тощо);
- *адміністративно-правових* (законодавчі акти, що регламентують браки, розлучення, положення дітей в сім'ях, аліментні обов'язки, охорону материнства і дитинства, соціальне забезпечення непрацездатних);
- *виховних і пропагандистських*, покликаних формувати громадську думку, норми і стандарти демографічної поведінки, певний демографічний клімат у суспільстві.

Принципова особливість демографічної політики полягає у впливі на динаміку демографічних процесів не прямо, а опосередковано, через людську поведінку, через ухвалення рішень у сфері браку, сім'ї, народження дітей, вибору професії, сфери зайнятості, місця проживання. Політичні заходи впливають як на формування демографічних потреб, що обумовлюють специфіку демографічної поведінки, так і на створення умов для їхньої реалізації. Особливу складність демографічній політиці додає необхідність враховувати і погоджувати інтереси різних рівнів: індивідуальних, сімейних, групових і суспільних; локальних, регіональних

і загальнодержавних; економічних, соціально-політичних, екологічних і культурних; найближчих, середньострокових і довгострокових. І характер, і цільову спрямованість політики обумовлюють насамперед конкретна демографічна ситуація, її тенденції і перспективи.

Необхідність підтримувати певні пропорції між населенням, ресурсами і навколишнім середовищем завжди усвідомлювалася як важливе і складне управлінське завдання. Демографічна політика має давню історію і багатий досвід практичної реалізації: від надання стародавніми греками колоній для розселення швидко зростаючого населення або встановлення привілеїв багатодітним родинам римськими імператорами до політики «одна сім'я – одна дитина» у сучасному Китаї.

Виникнення античної держави з її законами, суспільною нерівністю і економікою, побудованою на праці рабів з украй низькою продуктивністю, зумовило зародження і розвиток демографічної політики як державної політики. Розробляючи і реалізуючи закони, держава прямо чи опосередковано регулювала і демографічну поведінку індивідуумів та їхніх сімей. Зокрема, в одному з найдавніших правових актів – зведенні законів вавилонського царя Хаммурапі («Кодекс Хаммурапі», створений близько 1780 р. до н.е.) – 68 статей з 282 було присвячено сімейному праву. Зростання чисельності населення стародавніх держав у сприятливі роки, коли війни і стихійні лиха, епідемії і неврожаї не скорочували населення, змушувало здійснювати контроль за його зростанням шляхом стимулювання розосередження населення аж до примусової еміграції.

Вже у V-IV ст. до н.е. відчувалося перенаселення у невеликих старогрецьких містах-державах, що спонукало вимушену еміграцію надлишку населення і приймало форму періодичного заснування колоній. Грецьку колонізацію Середземномор'я і Причорномор'я (а витoki її йдуть з VIII ст. до н.е.) можна, мабуть, вважати першою формою цілеспрямованого регулювання чисельності й розміщення населення. Переселення жителів з густонаселених районів у малонаселені для підтримки оптимальної пропорції між кількістю землі, продовольством і населенням пропонувалося у V ст. до н.е. старокитайським філософом Конфуцієм (551-479 рр. до н.е.) і його послідовниками як ефективний державний захід.

Проблема обмеження чисельності населення, небезпека його надмірного зростання, яка періодично виникала у державах античного світу, знайшла віддзеркалення у висловах і працях видатних грецьких мислителів того часу – Сократа, Платона і Аристотеля. На формування поглядів щодо відтворення населення також впливали релігійні доктрини, які цілком заміняли правові норми. Наприклад, християнство засуджувало аборти і дітовбивство, але заохочувало стриманість.

Релігійні доктрини Сходу, що переважали у Китаї, Індії, Персії, в цілому сприяли продовженню роду і дітородінню, але у буддизмі (і меншою мірою в індуїзмі) обітниця безшлюбності вважалася високим духовним ідеалом.

Економічні умови, що змінилися у середні віки, сприяли появі у селян стимулів до створення великої сім'ї, оскільки виховання дітей коштувало дешево, а робоча сила у господарстві була потрібна, тим більше що податками обкладалися тільки доросле населення. У XVII ст. Франція однієї з перших у Європі почала проводити політику заохочення зростання населення. Саме Франція зазнала великих втрат у 30-річній війні з Німеччиною (1618-1648 рр.), а також втрачала населення через еміграцію, викликану релігійними переслідуваннями гугенотів.

До середини XVIII ст. посилилися економічні передумови популяціонізму, пов'язані з розширенням мануфактурного виробництва і збільшенням попиту на робочу силу. Це сприяло подальшому розповсюдженню ідей бажаного зростання населення, які відображені у працях великих французьких просвітників Жан-Жака Руссо (1712-1778), Шарля Луї де Монтеск'є (1689-1755), Дені Дідро (1713-1784), Клода Адріана Гельвеція (1715-1771), Девіда Юма (1711-1776) та інших мислителів. Лише Вольтер (1694-1778) критично ставився до ідей про зростання населення, пов'язуючи проблеми населення з добробутом і духовним розвитком.

М.В. Ломоносов (1711-1765) у своєму трактаті «Про збереження і розмноження російського народу» (1761) запропонував заходи, направлені на створення сприятливих умов для народження дітей, скорочення дитячої смертності, припинення еміграції. Заходи були як культурно-освітнього характеру, так і адміністративно-правового (зокрема, перегляд церковних правил і звичаїв). За часів імператриці Катерини II (мабуть, не без впливу трактату Ломоносова) було скасовано мито за вінчання, полегшений вступ до браку вдовам і дружинам засланих, при виборах на суспільні посади перевагу почали надавати тим, у кого більше дітей. Указ Катерини від 1774 р. повелівав не вінчати малолітніх з дорослими дівами. Указ 1784 р. наказував Синоду у проповідях схиляти народ до нормального ставлення до позашлюбних дітей. Були установлені будинки для підкидьків і незаконнороджених.

На рубежі XVIII-XIX ст. на зміну популяціонізму прийшла інша, протилежна доктрина, що доводила необхідність заборони зростання населення. Вона отримала назву «мальтузіанство» від імені свого творця *Томаса Роберта Мальтуса* (1766-1834). Економічною передумовою виникнення антипопуляціонізму був промисловий переворот, який призвів до появи «зайвих робочих рук і ротів», накопичення надмірного населення. З ім'ям Томаса Мальтуса пов'язана перша

спроба оцінити динаміку кількості населення і відповісти на питання, чи може Земля прогодувати всіх на ній живучих.

Мальтус, один з найвідоміших вчених свого часу, висунув ідею про те, що швидкий ріст населення – головна причина убогості трудового народу. Вивчаючи роботи філософів та економістів попередніх епох, він натрапив на думку, що люди розмножуються швидше, ніж ростуть умови існування. І якщо ріст населення нічим не стримувати, то кожні 25-30 років населення Землі буде подвоюватися. Розвиваючи ці ідеї, Мальтус дійшов висновку, що плодючість бідняків – головна причина їхнього злиденного положення у суспільстві. Свої погляди він анонімно опублікував 1798 р. у праці «Дослід про народонаселення у зв'язку з майбутнім удосконаленням суспільства». За його життя вийшло 6 видань цієї книги.

Мальтус стверджував, що чисельність населення збільшується у геометричній прогресії, у той час як харчові ресурси, необхідні для прожитку цього населення, – у арифметичній. Таким чином, рано чи пізно, як би повільно населення не зростало, лінія його росту перетнеться з прямою харчових ресурсів – арифметичною прогресією. Коли чисельність населення досягне цієї точки, загальмувати його ріст зможуть тільки війни, злидні, хвороби і пороки. Проте до цих способів боротьби із збільшенням населення Мальтус ніколи не закликав. Він пропонував інші способи «гальмування» чисельності населення: безшлюбність, удівство, пізні шлюби. Перенаселення у концепції Мальтуса – не тільки біда людства, а й благо, яке змушує лінивих від природи робітників через конкуренцію якісно працювати за невисоку платню.

Теорія Мальтуса з моменту виходу книги стала предметом гострих дискусій – одні критикували автора за негуманність ідеї, інші стали його прихильниками, побачивши в ній закон. Послідовники Мальтуса у ХХ ст. – мальтузіанці та неомальтузіанці – пояснювали бідність населення не рівнем розвитку продуктивних сил, а «законом природи», а соціально-економічну відсталість країн – не економічною ситуацією у країні та світі, а винятково надмірним ростом населення. Насправді ж, зростання засобів існування спочатку дійсно викликає надмірний ріст народжуваності, проте на певному етапі тенденція змінюється на протилежну – підвищення рівня життя веде до зниження народжуваності й не тільки до стабілізації чисельності населення, але й до абсолютного його зниження.

Отже, Мальтус, запозичивши ідеї французького економіста Анна Робера Жака Тюрго та італійця Дж. Ортеса про зростання населення у геометричній прогресії і низку інших економічних теорій, пояснював причини виникнення бідності перенаселенням і безрозсудним розмноженням робочого класу, висловлювався за

попередження надлишку населення, зокрема розповсюдження у народі норм християнського аскетизму, утримання від вступу до браку і приборкання «інстинкту розмноження».

Наприкінці XIX ст. знову з'явилися передумови для відродження ідей популяціонізму. Економічна і географічна експансія, що супроводжувала боротьбу за розділ світу на сфери впливу, підвищила роль чисельності населення як чинника сили, можливості створення великої армії. Низька народжуваність у багатьох країнах Європи і зниження приросту населення сприяли тому, що демографічні проблеми стали предметом обговорень на засіданнях парламентів. Відомий французький демограф Жак Бертільон (1851-1922) оголосив теорію Мальтуса «ганебною» і вимагав законодавчими методами впливати на збільшення народжуваності.

Експансія і боротьба за життєвий простір були стрижнем геополітики італійського і німецького фашизму, що принесло незліченні біди народам Європи, призвело до загибелі десятків мільйонів людей у другій Світовій війні. Популяціоністська демагогія складала важливу ланку ідеологічного арсеналу фашизму. Зокрема, італійський дуче Муссоліні вважав, що висока народжуваність відрізнятиме фашистський народ від інших європейських народів і указуватиме на його життєздатність у століттях. Політика Гітлера, подібно до політики Муссоліні, диктувалася двома міркуваннями: по-перше, велике населення було необхідне для задоволення потреби у «гарматному м'ясі»; по-друге, демографічний компонент був важливою складовою частиною «расової теорії». Були заборонені протизаплідні засоби і аборти, рекламувалася і заохочувалася позашлюбна народжуваність. Фашизм на довгі роки скомпрометував ідеї демографічної політики, які й зараз нерідко пов'язують тільки з тоталітаризмом (фашизмом або комунізмом), з його агресивністю, що потребує мільйонних армій для затвердження своїх ідеологій серед інших народів.

Післявоєнний розвиток демографічної політики (50-60-ті роки) багато у чому визначався дискусіями навколо програм планування сім'ї в країнах третього світу. Соціально-політичною передумовою цього була істотна зміна політичної карти світу, звільнення десятків країн від колоніальної залежності, передусім в Африці й Азії. Традиційно висока народжуваність, практично не регульована на рівні сім'ї, у поєднанні з низькоякісною медициною і високою смертністю, породили феномен, що отримав назву «демографічний вибух». Швидке зростання населення виявилось серйозною проблемою для національних економік, що розвиваються, поступово набуваючи характеру глобальної проблеми.

Багато хто побачив у плануванні сім'ї і регулюванні народжуваності єдино доступний для убогої економіки колишніх колоній засіб гальмування зростання населення. Виступаючи на відкритті III Міжнародній конференції з планування сім'ї (Бомбей, 1952), колишній президент Індії, філософ, громадський і державний діяч Сарвепаллі Радхакрішнан закликав до зниження смертності й збереження здоров'я матерів і дітей, підкреслюючи, що розвиток економіки і зміни соціальної системи – «довгострокові лікувальні засоби».

Усе більше число бідних країн, стурбованих високими темпами зростання населення, з 60-х рр. XX ст. визнали і підтримали політику контролю народжуваності. До 1975 р. у 34 країнах Африки, Азії і Латинської Америки вже діяли державні програми, орієнтовані на скорочення темпів зростання населення. Деякі країни (Індія, Малайзія, Непал, Пакистан та інші) як один з методів обмеження величини родини застосовували добровільну стерилізацію і забезпечували її проведення.

У 1969 р. XV сесія Комісії з народонаселення рекомендувала не обмежуватися тільки фінансуванням програм контролю над народжуваністю, але й використовувати ці засоби для дослідження взаємодії соціально-економічного і демографічного розвитку. Програми планування сім'ї підтримувалися і підтримуються різними спеціалізованими і регіональними установами ООН, а також неурядовими організаціями – Міжнародною федерацією з планування сім'ї, Радою з народонаселення тощо. На жаль, низький культурно-освітній рівень населення і відсутність соціально-економічних стимулів до обмеження дітородіння не завжди дозволяли успішно здійснювати програми планування сім'ї. У 1970-х рр. до вирішення питань регулювання сім'ї підключився Дитячий фонд ООН ЮНІСЕФ.

Регіональні конференції з народонаселення у Мехіко (1970), Аккрі (1971), Токіо (1972), Бейруті (1973) і Каїрі (1973) у своїх резолюціях підкреслювали, що політика народонаселення є складовою частиною політики розвитку. У 1974 р. Комісія з народонаселення прийняла документ «Діяльність ООН в галузі народонаселення», у якому в число п'яти основних напрямів оперативної діяльності ООН увійшли політика в галузі народонаселення і програми планування сім'ї.

Прийнятий на Міжнародній конференції з народонаселення в Бухаресті (1974) *Всесвітній план дій у галузі народонаселення* передбачав створення у кожній країні органу, що займається проблемами народонаселення, а також систематичну оцінку ефективності демографічної політики. За 10 років на Міжнародній конференції з народонаселення у Мехіко (1984) був узагальнений досвід демографічної політики в різних країнах, проаналізовані тенденції, перспективи і цілі по-

літики. І у Рекомендаціях з подальшого здійснення Всесвітнього плану дій були намічені нові орієнтири у політиці народонаселення, зокрема, досягнення певних рівнів тривалості життя і зниження смертності, причому диференційовано для різних країн.

Важливість і значущість глобальної демографічної проблеми визнають усі країни, які усвідомили наступне. Населення світу швидко зростає. Переважна більшість цього населення припадає на країни, що розвиваються. Їхня відстала економіка і нерозвинута соціальна сфера не в змозі повернути це зростання на благо свого розвитку. Розповсюдження небезпечних захворювань типу СНІД, найбільші осередки якого припадають знову ж таки на бідні країни, призводить до збільшення смертності. Неконтрольована міграція і урбанізація з позитивного явища перетворюються на негативне. Збільшення збройних конфліктів і гонка озброєння, особливо в країнах, що розвиваються, ведуть до величезних матеріальних затрат, що значно погіршує можливості для економічного і соціального розвитку.

Також усвідомлено, що розв'язання цих проблем можливо лише за сумісних зусиль усього світового співтовариства. Саме це сприяло створенню у 1969 р. спеціального Фонду ООН для діяльності в галузі народонаселення (ЮНФПА) і проведення під його егідою трьох *Всесвітніх конференцій* з проблем народонаселення. Фонд вже на початку своєї діяльності розробив програму ООН у сфері народонаселення, яка охопила понад 100 країн і включає біля 1400 проектів.

У першій Міжнародній конференції з народонаселення у 1974 р. в Бухаресті взяли участь 136 країн, а вже у другій (Мехіко, 1984) – 147 країн. На ній були підбиті підсумки Всесвітнього плану дій за 10 років у галузі народонаселення і прийнято Декларацію з проблем населення та розвитку. У третій Всесвітній конференції з народонаселення і розвитку (Каїр, 1994) взяло участь вже 179 держав. На ній прийняли підсумковий документ – 20-річну Програму дій у галузі народонаселення і розвитку, де розкриваються практично усі зловбоденні проблеми. Програма містить питання народжуваності, смертності й темпів приросту населення; урбанізації і міграції, зумовлені погіршенням якості навколишнього середовища, ростом озброєних конфліктів тощо.

За 20 років підвели підсумки виконання Програми. На 47-й сесії комісії з народонаселення і розвитку ООН, яка відбулася у штаб-квартирі ООН в Нью-Йорку 2014 р., головними проблемами всіх землян було визнано *старіння населення і урбанізацію*. За період 1994-2014 рр. кількість людей старше 60 років подвоїлася, і нині літніх осіб більше, ніж дітей у віці до 5 років. Передбачається, що до 2050 р. частка літніх людей у загальному складі населення сягне 21%. Нині бі-

льше половини населення Землі проживає у міських районах (3,9 млрд осіб), і кількість городян зростатиме. Також наголошувалося, що у майбутні десятиліття істотно збільшиться чисельність населення Африки. За прогнозами експертів, до 2050 р. темпи зростання населення «чорного континенту» більш ніж у 6 разів перевищуватимуть темпи зростання населення у Латинській Америці й Карибському басейні та більш ніж у 15 разів – темпи зростання населення в Азії.

У більш ніж 40 країнах чисельність населення до 2050 р. скоротиться. Найзначніше скорочення населення відбудеться у Німеччині, Китаї, Польщі, РФ, Румунії, Сербії, Таїланді, Україні та Японії. Схожа доля спіткає багато інших країн, особливо у Східній Європі, а також у Східній, Південно-Східній і Західній Азії. Експерти вважають, що у 2025 р. у світі налічуватиметься 8,1 млрд осіб, а у 2050 р. – 9,6 млрд.

Нині немає сумнівів, що планета не здатна вмістити необмежену кількість населення через обмежені власні розміри і вичерпаність природних ресурсів. Тенденція підвищення рівня матеріального життя неминуча. Вона збільшує використання природних ресурсів і призводить до того, що подальше зростання населення досягається ціною погіршення умов його життя. Нові наукові відкриття і нові технології можуть, звісно, послабити гостроту цього питання, але не можуть зняти його з порядку денного, якщо зростання населення продовжиться. Диференціація економічних стандартів різних верств населення, країн і цілих континентів, загроза погіршення стану навколишнього середовища, безрозсудність гонки озброєння також негативно впливають на якість умов життя.

Отже, демографічна політика – це система заходів, що їх проводить уряд держави для зміни демографічної ситуації у бажаний бік. Прикладами країн, де поставлена мета зменшення приросту населення, є Китай, Індія, Бангладеш, Індонезія, Шрі-Ланка. Типовий приклад демографічної політики, спрямованої на зростання природного приросту (за рахунок збільшення народжуваності), – країни Західної Європи. Найгірша демографічна ситуація нині склалася у Африці. Країни Азії і Латинської Америки дещо стабілізували неконтрольований приріст населення, деякі з них наблизилися до показників першого типу відтворення (низька народжуваність, низька смертність).

Найзначніші зміни чисельності населення світу припали на ХХ ст. На початку 60-х рр. різко зросло населення Азії, Африки, Латинської Америки. Причинами цього явища були, зокрема, здобуття незалежності країнами цих регіонів, зменшення смертності населення, збільшення середньої тривалості життя і традиційно висока народжуваність. Починаючи з 80-х років, проблема демографічного ви-

буху втратила свою гостроту: уповільнилися темпи приросту населення з 2,3 до 1,5 щороку; за прогнозами демографів, до 2100 р. чисельність жителів Землі має стабілізуватися в межах 10-12 млрд. Але те, що 95% світового приросту припадає на країни третього світу, спричиняє інші проблеми – загальносвітове зниження рівня життя і зростання безробіття.

Вчені дослідницького Інституту Землі Колумбійського університету створили карту прогнозованого розподілу населення світу до 2025 року. Один з керівників проекту Стюарт Гаффін пояснив, що їхня робота допоможе нинішнім урядам не тільки краще будувати економічну політику, але й вже зараз працювати над поліпшенням екологічної ситуації у місцях найбільшого приросту землян. На перший погляд, карта населення 2025 року нічого нового не відкрила – число жителів країн, що розвиваються, продовжить збільшуватися, розвинутих – скорочуватися. Однак детальніший аналіз показує, що чисельність населення зменшиться в Африці південніше Сахари, у Центральній і Південній Америці, на Філіппінах, у Непалі, Туреччині, М'янмі (Бірмі) та Індонезії.

Крім того, людство ще більше зміщуватиметься у бік океанських і морських узбережь: у 2025 р. 2,75 млрд людей житимуть у прибережних районах, що на 35% більше, ніж у 1995 р. Найбільше скорочення чисельності населення відбудеться у Східній Європі та Японії. Також істотні втрати чисельності населення понесуть деякі західноєвропейські країни, особливо Італія, Іспанія і Португалія. Нині населення Японії становить 126,4 млн чоловік. Проте воно найбільш літнє у світі – частка громадян старше 65 років у японському суспільстві сягає 21%. На другому місці за цим показником Італія – 20%. У Європі за останнє десятиліття населення щорічно скорочувалося у середньому на 0,02%. Особливо серйозне зниження популяції у 2025 р. очікується в Польщі й на Балканах.

У США ситуація дещо інша. Відповідно до карти, невелике зниження чисельності населення прогнозується у центральних штатах. Проте на обох узбережжях кількість американців збільшиться. Найбільший приріст населення буде зафіксований в Індії і Китаї. Темпи приросту населення у країнах, що розвиваються, становлять 1,6%, у той час як у промислово розвинутих – 0,3% щороку. Очікується, що до 2030 р. населення Китаю виросте до 1,5 млрд (нині – 1,37 млрд). Але потім воно поступово знижуватиметься, передусім через дисбаланс співвідношення різностатевих немовлят, коли на кожні 100 хлопчиків припадатиме 119 дівчаток.

Складний характер взаємозв'язку соціально-економічних і демографічних процесів значно ускладнює їхні дослідження, особливо виявлення критерію *оптимальності* демографічних процесів. Йдеться про визначення найвигідніших

взаємин двох процесів у динаміці – процесу розвитку економіки і процесу відтворення населення протягом тривалого періоду. Такий вид співвідношення називають *динамічним оптимумом*. Оптимізація демографічних процесів має здійснюватися для вирішення довгострокових соціально-економічних завдань, зокрема зростання матеріального добробуту населення, досягнення його повної зайнятості, збільшення тривалості життя тощо.

Зробимо деякі висновки. У минулому для людства були характерні високі показники коефіцієнтів народжуваності і смертності (передусім дитячої). Швидке зростання народонаселення – демографічний вибух – розпочався через зниження дитячої смертності за умов збереження попереднього рівня народжуваності. Нещасні випадки і стихійні лиха не контролюють чисельність населення. Наприклад, у США щорічні втрати від автокатастроф (приблизно 50 тис людей) надолужуються протягом 10 днів. Коли в Індії припливною хвилею змило цілий рисовий район, загинуло близько півмільйона чоловік, але природні темпи приросту населення компенсували ці втрати за 30 днів. Навіть регулярна загибель 3-6 млн чоловік щорічно від голоду і неповноцінного харчування є несуттєвою, якщо порівняти її з глобальним приростом населення, яке за цей період становить майже 90 млн осіб. Тому ці втрати компенсуються приблизно за два тижні.

Проблема народонаселення ускладнюється. Нестача землі призводить до виснаження пасовищ, ерозії і зниження родючості ґрунтів. Природні ресурси, зокрема ліси, знищуються заради палива чи мізерного експорту. Велика кількість людей (головним чином, молоді) прямує у великі міста. Але в умовах слабкої індустріалізації їм не вистачає ані роботи, ані житла, ані чистої води і каналізації. Результатом стає швидке розростання міст з мільйонами безробітних, які живуть прямо на вулицях.

Процес взаємодії природи і суспільства підійшов до такої кількісної і якісної межі, коли виник феномен взаємодії усього людського суспільства з усією природою планети. Науково-технічна революція призвела, з одного боку, до формування всеохоплюючої системи знань і технологій, з іншого – до збільшення антропогенного тиску на природу. Сформувалися складні господарські системи, вплив яких поширюється на увесь світ. Як результат – зростає взаємозв'язок і взаємозалежність господарського життя країн і природи світу. Сутність цих процесів і явищ породжує глобальні проблеми людства. Вони охоплюють усі аспекти відносин між державами світового співтовариства, між суспільством і природою. Глобальні проблеми вимагають і глобальних рішень. Для цього необхідне широке співробітництво і координація зусиль усього людства у різних сферах: політичній,

економічній, науковій, освітянській. Нині існує кілька десятків проблем, які за своєю всеосяжністю можна вважати глобальними.

Проблема збереження миру на Землі – найважливіша, оскільки під час виникнення військових конфліктів у світі, нашпигованому ядерною зброєю і ядерними технологіями, усі інші проблеми втрачають сенс. Жорстока реальність полягає у тому, що ніколи в історії людства не накопичувалася така кількість смертоносної зброї. Її досить, щоб кілька разів знищити все живе на Землі, або й саму планету. Безумовно, якщо б людство скоротило витрати на військові потреби і пішло шляхом ядерного роззброєння, планета Земля стала б набагато спокійнішим місцем для життя. Отже, вирішення проблеми збереження миру є найважливішою передумовою для розв'язання інших глобальних проблем людства.

Перед людством нині гостро постала проблема забезпечення *поступального і пропорційного розвитку світового господарства*. Розрив у рівнях прибутків на душу населення між економічно розвинутими країнами і тими, що розвиваються, чималий, незважаючи на значний прогрес останніх десятиліть. Проте й досі у багатьох країнах Азії і Африки економічний стан приблизно такий, яким він був у країнах Західної Європи на початку XX ст. або перед II Світовою війною. Пересічні економічні показники – ВВП на душу населення – на крайніх полюсах багатства відрізняються у сотні разів. Світовий прогрес все ще обминає четверту частину людства.

Чи можливе подолання диспропорції у рівнях розвитку світового господарства? Економічний розвиток багатьох країн упродовж останніх двох століть продемонстрував, що ефективна перебудова господарства і його швидкий розвиток у окремій країні цілком можливі. Таких прикладів радикальних економічних перетворень на шляху розвитку цивілізації чимало. Економіка більшості сучасних розвинутих країн перебувала свого часу на доволі низькому рівні: США, Канада, Австралія розпочинали розбудову своїх економік на неосвоєних землях нових континентів. Японія у останній чверті XIX ст. розпочала розбудову індустріальної держави на островах, які століттями до цього були ізольовані від світу.

Серед передумов, що визначають успіх руху від відсталості до прогресу, найпершою є вибір шляху соціально-економічних перетворень – регулювання взаємодії держави і ринку, кругообігу товарів, ресурсів, капіталу. Другою передумовою є реалізація досягнень науково-технічного прогресу, на який, у свою чергу, впливають історія, культура, освіта і наука. Залучення новітніх технологій дало змогу багатьом країнам використовувати свої економічні ресурси набагато продуктивніше, ніж будь-коли раніше, і досягти різкого збільшення виробництва за по-

рівняно короткі періоди. Зокрема, якщо протягом першої промислової революції (XIX ст.) подвоєння обсягу виробництва на душу населення у Великобританії було досягнуто більш як за півстоліття, а у США – за 46 років, то у другій половині XX ст. такого ж самого результату Японія, Південна Корея і Китай досягли за 10-12 років економічного розвитку.

Третьою передумовою є інтеграція у світове господарство. Ефективний економічний розвиток стає можливим лише тоді, коли вільний рух товарів, капіталу, науково-технічної інформації сприяє економічному зростанню усіх країн світу. Під час промислової революції XIX ст. «піднялося» господарство країн Європи, а у наш час, завдяки обміну товарами, технологіями і капіталом, головними дійовими особами на світовому ринку стали США і Японія. Отже, проблема забезпечення поступального і пропорційного розвитку господарства світу і окремих його країн має глобальний характер, оскільки її неможливо вирішити без взаємодії всіх учасників світової спільноти і використання механізмів міжнародного поділу праці.

Серед інших глобальних проблем найважливішими є *екологічні*. Наслідки антропогенних впливів на біосферу окреслили наростання таких змін глобального характеру, які можуть призвести до незворотних явищ. Найлогічнішим шляхом відвернення екологічної кризи є організація раціонального використання природи. Глобальні завдання підвищення якості життя людини випливають з усвідомлення того, що людина є головною цінністю планети Земля. Тому поряд зі стабілізацією демографічних процесів людство має вирішити проблеми забезпечення життєдіяльності (продовольство, житло, енергія, знаряддя праці) і якості життя людини (добробут, освіта, культура, охорона здоров'я).

Необхідність «...пошуку правильного розуміння глобальної екологічної кризи і шляхів її подолання спонукала мене вирушати до місць найбільших екологічних катастроф на планеті». Такими словами розпочинає свою книгу «Земля у рівновазі. Екологія і людський дух» американський політик, борець за охорону довкілля, лауреат Нобелівської премії миру, Альберт Арнольд Гор. Він виділив п'ять стратегічних завдань для порятунку глобального довкілля.

Першим з цих завдань є *стабілізація населення світу*. При цьому слід створити у кожній країні умови, необхідні для цієї стабілізації – переходу від динамічної рівноваги високого рівня народжуваності й високого рівня дитячої смертності до стійкої рівноваги низьких рівнів народжуваності й смертності. Ці зміни відбулися у більшості індустриальних країн і фактично відсутні у країнах, що розвиваються, де ситуація прямо протилежна.

Друге завдання – *швидке створення і розвиток природозберігаючих технологій*, особливо у енергетиці, транспорті, сільському господарстві, будівельній промисловості, що сприятиме сталому економічному прогресу без одночасного руйнування довкілля. Нові технології розвинуті держави мають надати усім країнам, особливо країнам «третього світу». Третім стратегічним завданням Гор окреслив *повсюдну зміну економічних «правил гри», за допомогою яких вимірюється вплив на довкілля*. А система економічної звітності даватиме відповідну оцінку екологічним наслідкам на рівні держав.

Четверте стратегічне завдання – *проведення переговорів і укладання нової генерації міжнародних угод*, у яких буде визначено міжнародно-правові системи регулювання, конкретні заборони, механізми впровадження і планування, стимули, санкції і взаємні зобов'язання, необхідні для успіху плану в цілому. І п'ятим стратегічним завданням має бути *створення спільного плану екологічної освіти громадян усього світу*. Кінцевою метою є утвердження нового розуміння взаємовідносин цивілізації і глобального довкілля.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. У чому, на вашу думку, проявляється глобальна демографічна криза? Обґрунтуйте.
2. Охарактеризуйте типи відтворення населення і типи зміни поколінь.
3. Які зміни відтворення населення відбуваються під час демографічного переходу? Наведіть приклади.
4. Проаналізуйте динаміку чисельності населення світу за останні 200 років.
5. Що таке «демографічний вибух»? Назвіть найголовніші обставини сучасного моменту «демографічного вибуху».
6. Охарактеризуйте розміщення населення на земній кулі. Назвіть головні ареали його скупчення (країни і континенти).
7. Якими фазами характеризується відтворення населення під час демографічного переходу?
8. З якими глобальними проблемами пов'язаний ріст світового населення?
9. Охарактеризуйте демографічну політику та її цілі у різних країнах світу.
10. Проаналізуйте відомі вам теорії і концепції народонаселення. Які з них і чому призвели до виникнення фашистської ідеології?
11. Чому розв'язання демографічних проблем можливо лише за сумісних зусиль усього світового співтовариства? Обґрунтуйте.

12. Поясніть, чому вирішення проблеми збереження миру є найважливішою передумовою для розв'язання інших глобальних проблем людства.
13. Назвіть головні причини ускладнення проблеми народонаселення. Які ви знаєте шляхи вирішення демографічних проблем у різних регіонах світу?

7 ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ

Усі процеси в біосфері взаємозалежні. Людство – лише незначна частина біосфери, а людина є лише одним з видів органічного життя – *Homo sapiens* (людина розумна). Розум виділив людину з тваринного світу і дав їй величезну могутність. Людина протягом століть прагнула не пристосуватися до природного середовища, а зробити його зручним для свого існування. Лише тепер люди усвідомили, що будь-яка діяльність впливає на довколишнє середовище, а погіршення стану біосфери небезпечно для всіх живих істот, у тому числі й для людини. Всебічне вивчення людини, її взаємовідносин із навколишнім світом призвели до розуміння, що здоров'я – це не тільки відсутність хвороб, але й фізичний, психічний і соціальний добробут людини. Здоров'я – це капітал, даний людям не тільки природою від народження, а й тими умовами, у яких вони живуть.

Серед глобальних проблем сучасності однією з найважливіших є проблема виживання людства. Людина всіма своїми життєвими функціями пов'язана з природними екосистемами і повністю залежить від їхньої цілісності та безперервного функціонування. Складність природи людини визначена тим, що вона одночасно перебуває у трьох вимірах: як фізичне тіло, як жива система і як особистість. Тому взаємозв'язок людини і середовища її існування дуже складний. Це зумовлено складністю як людської природи, так і зовнішнього середовища.

Еволюція взаємин природи і суспільства пройшла довгий складний шлях. Тривалий час екологія була розділом біології і розвивалась у її межах. Однак застосування екологічного підходу в інших науках призвело до використання деяких термінів у декількох значеннях. Одним з цих термінів був «екологія людини», який застосовували географи і соціологи у розмовній мові ще до того, як його ввели у науковий обіг. Як окрема дисципліна, наука про взаємодію природи і людини з позицій впливу стану природного середовища на здоров'я людини була визначена у соціологічних дослідженнях американських вчених Роберта Парка і Ернста Берджесса у 20-х роках минулого століття.

Роберт Парк

Роберт Езра Парк (1864-1944) – американський соціолог, ідейний натхненник і лідер Чиказької школи емпіричної соціології, автор



класичної соціально-екологічної теорії. Загальним методологічним принципом Парка було розуміння соціальної системи як елемента глобальної екосистеми. Процеси, що відбуваються у суспільстві, залежать від умов середовища проживання. Цей екологічний принцип сприяв поглибленню системного погляду на суспільство у його єдності з природою. За Парком, рівновага суспільства з навколишнім середовищем досягається за допомогою еволюції форм конкуренції – тваринна змагальність замінюється соціальною. Ця ідея Парка підкріплювала висновок про однозначність боротьби за існування у природі й конкуренції – у суспільстві.

Ернст Вотсон Берджесс (1886-1966) – також представник Чиказької школи соціології, який надав загальним методологічним ідеям Парка конкретну оригінальність форм. Запропонований ними термін «*екологія людини*» був використаний у соціологічних дослідженнях населення міста Чикаго. При цьому вивчали такі соціальні процеси і явища, як урбанізація, соціальна структура, політичні рухи, расові відносини, соціальні зміни, релігія, родина.

Ернст Берджесс

У 1922 р. американський учений *Х. Берроуз* виступив на засіданні Асоціації американських географів з доповіддю «Географія як екологія людини». За висловом Берроуза, екологія людини охоплює взаємовідносини між людьми і територією. Тим самим він підкреслював антропоцентричність географії. Проте пізніше географи доволі рідко зараховували свої праці до екології людини у розумінні Берроуза, а соціологи сприйняли цей термін для визначення симбіозу в людських угрупованнях аналогічно з рослинними і тваринними асоціаціями.



Відтоді термін «*екологія людини*» найчастіше використовували соціологи, не згадуючи про те, що він уперше був застосований у американській географії людини. У використанні цього терміну соціологи обмежувалися лише стосунками між людьми. Насправді екологія людини дає змогу розширити межі вивчення і охопити набагато більше зв'язків: людей з територією, людей з людьми і не забувати про екологічний аспект, сформульований дуже давно і відтоді значно поширений. У 20-30 роки ХХ ст. у роботах американських соціологів Е. Берджесса, Р. Маккензі та інших вона називалася «людська екологія» (*human ecology*) або «соціальна екологія» (*social ecology*), на відміну від *ecology of man* – екології людини як біологічної істоти.

У 1927 р. відомий представник класичної екології людини *Радерик Мак Кензил* вказав на необхідність дослідження зв'язків між станом здоров'я людини і навколишнього середовища і одним з перших дав визначення *соціальної екології*. А вчення Вернадського про біосферу і ноосферу стало теоретичною базою соціо-екології.

Пізніше засновник медичної географії *М. Серре* видав у Франції свою працю «Нариси екології людини». Значний внесок у розвиток цієї науки зробив американський вчений *А. Тоулі*, який у 1950 р. опублікував монографію «Людська екологія». У 50-ті роки ХХ ст. людську, або соціальну, екологію вже розуміли значно ширше – як науку, що розглядає питання управління, прогнозування, планування всього процесу введення природного середовища у взаємозв'язок з людським суспільством. А саме суспільство розглядалося як *соціоекосистема*, тобто залежна і керована підсистема великої системи «природа – суспільство».

Становлення соціальної екології як науки прискорилося після Другої Світової війни і особливо у 60-ті роки минулого сторіччя, що засвідчив Всесвітній конгрес соціологів 1966 р. Подальший розвиток соціальної екології дозволив на черговому конгресі соціологів у Варні 1970 р. створити *Дослідницький комітет Всесвітнього об'єднання соціологів з проблем соціальної екології*. Тим самим було по суті визнано існування соціальної екології як самостійної галузі наукового знання і дано поштовх для швидшого її розвитку і уточнення визначення її предмета. У матеріалах цього конгресу соціоекологія визначалася як соціологічна дисципліна, що відповідало західному розумінню соціології у широкому розумінні як науки про суспільство.

В Україні соціоекологічними дослідженнями займався *Сергій Подолинський* (1850-1891) – громадський і політичний діяч, лікар, соціолог, економіст, публіцист. Він виклав головні положення своєї теорії у декількох працях – «Про багатство і бідність», «Про те, як наша земля стала не наша», «Ремесла та фабрики в Україні» та інших, – надрукованих українською і основними європейськими мовами. У 1880 р. С.А. Подолинський опублікував у Петербурзі дослідження «Праця людини та її відношення до розподілу енергії», що згодом була видана французькою, італійською і німецькою мовами. Провівши глибокий аналіз взаємодії людини і природи, вчений дійшов висновку про те, що «загальна кількість енергії, одержуваної поверхнею Землі з її внутрішності та від Сонця, постійно зменшується. У той же час загальна кількість енергії, яка нагромаджена на земній поверхні й перебуває у розпорядженні людства, постійно збільшується. Це збільшення відбувається під впливом праці людини і домашніх тварин».

С. Подолинський спробував виміряти людську працю одиницею фізичних сил, виходячи з правильної ідеї про працю як речовинно-енергетичний метаболізм, властивий соціальному організму і природному середовищу. Спроба ця була не зовсім вдалою, адже економічні відносини майже неможливо виміряти у фізичних одиницях. Півстоліття це відкриття не було до кінця зрозумілим людству, і тільки інший геній України, перший президент Всеукраїнської Академії наук В. Вернадський сприйняв ці ідеї і створив вчення про біосферу і ноосферу, які стали теоретичною базою соціоекології.

Значний внесок у розвиток вітчизняної соціоекології зробив професор *Георгій Бачинський*, який 1986 р. організував у Львові першу науково-практичну конференцію «Проблеми соціальної екології», завдяки чому ця наука дістала офіційне визнання. Він розробив теоретичні основи соціоекології як міждисциплінарного вчення про гармонізацію взаємодії суспільства і природи.

Досі не існує єдиного погляду на місце екології людини серед інших розділів сучасної екології. Це передусім обумовлено тим, що людина є істотою біосоціальною. Тобто, з одного боку, як істота біологічна вона залежить від фізичних факторів середовища і пов'язана із середовищем існування через харчування, дихання, обмін речовин. З іншого боку, людина не може жити поза сім'єю, колективу, суспільства. Людина є складовою одиницею суспільства, яке через технічний і соціальний розвиток впливає на природу.

Оскільки структура екологічної науки доволі складна, існують різні погляди на місце екології людини у цій структурі. Зокрема, відомий американський еколог Юджин Одум визначав екологію людини як екологію біологічного виду *Homo sapiens* і стверджував, що вона вивчає взаємодію з природою людини як біологічної істоти на рівні організму і популяції. Вчений протиставляв екологію людини соціоекології, яка зосереджує увагу на взаємодії природи і всього людського суспільства, яке впливає на довкілля своєю господарською діяльністю. Одум також вважав, що екологія людини може розглядатися подібно до екології рослин, тварин, мікроорганізмів, грибів як розділ біоекології.

Микола Реймерс також відокремлював екологію людини від соціальної екології. Соціальну екологію він бачив підрозділом екології людини і вважав, що соціальна екологія не охоплює біологічної сутності людини, наприклад, впливу природних чинників на здоров'я людини та її популяцій. Отже, екологія людини у вузькому розумінні – це біоекологія людини, а соціальна екологія – екологія соціального ряду «особистість – сім'я». Тому за об'єктом дослідження ці дві лінії екології практично синоніми, а за предметом – різні.

Російський академік-медик *Влаїль Казначеев* трактував екологію людини як спільний науковий підрозділ соціоекології та медицини, що вивчає медико-біологічні аспекти гармонізації взаємовідносин суспільства і природи. Учений зробив висновок, що здоров'я людини залежить від здоров'я біосфери, тому екологія людини – комплексний міждисциплінарний науковий напрям, що досліджує закономірності взаємодії людських популяцій з навколишнім середовищем, проблеми розвитку народонаселення у процесі цієї взаємодії, а також збереження його здоров'я з метою вдосконалення виду *Homo sapiens*.

На відміну від нього, Г.О. Бачинський називає соціоекологію «наднаукою», до якої належать спеціалізовані розділи традиційних наук: від біології – біоекологія, від географії – геоєкологія, від хімії – біогеохімія тощо. Проте, за такого підходу незрозуміло, як досліджувати екологію людського суспільства, якщо саме суспільство розвивається не за природними, а за суспільними законами розвитку і є предметом вивчення соціальних наук. Тому видавати соціоекологію за «наднауку», яка поєднує усі інші напрями сучасної теоретичної і прикладної екології, не зовсім доцільно.

За Бачинським, екологія людини сформувалася на стику соціоекології і медицини. Предметом її вивчення є медико-біологічні й медико-демографічні аспекти взаємодії суспільства і природи. Екологію людини Г. Бачинський ототожнив з антропоекологією і зазначив, що вона сформувалася на базі медичної географії і гігієни, які доповнюють одна одну. Таким чином він підтримав думку Ю. Одума про те, що екологію людини не можна ототожнювати із соціоекологією, оскільки у них різні предмети дослідження.

Інші українські вчені також не дійшли згоди щодо трактування і місця екології людини. Зокрема, професор Василь Бровдій у теоретичній екології надає екології людини біологічних рис, а у прикладній екології – соціальних. Академік Михайло Голубець вважає, що екологія людини є дисципліною суспільствознавчою і аж ніяк не розділом екології. Соціальне людство, на його думку, – не компонент екосистеми, а чинник зовнішніх впливів на неї, і тому суспільство є об'єктом дослідження іншої галузі знань – геосоціоекосистемології. А Володимир Кучерявий екологію людини зачисляє до біоекології поряд із соціоекологією, яка тісно пов'язана з екологією культури, екологією духу і етноекологією.

Професор Олег Шаблій у структурі екологічної науки виділяє два блоки дисциплін: наукове ядро і концентр окремих екологічних дисциплін. До наукового ядра він зачисляє метаєкологію, теоретичну і математичну екологію, а до концентру – антропоекологію разом з біоекологією, соціоекологією, економічною і конс-

труктивною екологією. На думку Шаблія, антропоекологія – це і є екологія людини, яка має досліджувати функціональні закономірності взаємодії природного середовища і організму людини як біологічної істоти.

Підсумовуючи ці різні думки, можна зробити висновок, що *екологія людини* – комплексна наука, яка вивчає взаємовідносини людини і навколишнього середовища з точки зору сприяння збереженню здоров'я, а також розвитку фізичних і психічних можливостей людини. Головним завданням екології людини є виявлення і виключення токсичних для людини речовин зі сфери виробництва, а також контроль за упровадженням екологічно чистих технологій. Відповідно екологія людини має виконувати такі функції:

- *теоретико-пізнавальну*, тобто накопичення, систематизацію і узагальнення знань про закономірності взаємодії людини і довкілля; вироблення обґрунтованих висновків і прогнозів щодо змін у природі внаслідок діяльності або бездіяльності людини, а також рекомендацій щодо доцільності чи недоцільності конкретних заходів;
- *інформаційну* – інформування суспільства про природні процеси і явища, а також форми і способи раціональної поведінки людини;
- *просвітницьку* – реалізація різноманітних просвітницьких програм;
- *практично-перетворювальну*, тобто реалізація конкретних заходів щодо збереження і оздоровлення довкілля, а також оптимізації поведінки людини у цьому довкіллі;
- *функцію соціально-економічного контролю* – цілеспрямований аналіз ситуацій, обґрунтування суспільних норм, забезпечення функціонування механізмів контролю за їхньою реалізацією;
- *організаційно-управлінську* – організація, аналіз, корегування процесів тощо.

Для кращого розуміння сутності екології людини як наукової дисципліни розглянемо її відмінності й співвідношення із соціальною екологією. Виробнича діяльність людини нині охопила цілу біосферу, глибокі шари літосфери, повністю стратосферу, гідросферу і прилеглий до Землі Космос. Таким чином утворилася нова надсистема – *соціосфера* – самоорганізована, саморегульована планетарна система, до складу якої належить біосфера, інші охоплені виробничою діяльністю геосфери, прилеглий до Землі Космос і людське суспільство з усіма наслідками його господарської і розумової діяльності.

Соціоекологія виникла і розвивається як окрема самостійна якісно нова наука. Безумовно, певним чином вона асимілює досягнення традиційних дисциплін, однак при цьому переводить їх у іншу площину і надає їм зовсім іншого змісту.

Іншими словами, беручи деякі знання із традиційних дисциплін, соціоекологія розглядає їх на системному рівні, на рівні ширших узагальнень. Взаємини суспільства і природи визначаються різними суб'єктно-об'єктними відносинами: об'єкт – природа, суб'єкт – суспільство. Ось чому соціоекологічний світогляд виступає ядром світогляду людини, складною системою орієнтирів і стимулів у ставленні людини до природи.

Суспільні науки дають соціальній екології теоретичні відомості про закономірності руху продуктивних сил, про економічні процеси на основі життя суспільства, картину прогресу цивілізації і культури. Технічні науки дають соціоекологічним узагальненням теоретичний матеріал про сукупність руху створених людиною матеріальних засобів підвищення ефективності його діяльності, систематизовані знання про властивості й закони розвитку технологічних систем. Гуманітарні науки (антропологія, етнологія, психологія, філологія, культурологія) характеризують якості людства, його діяння і розвиток людини як родової істоти у конкретних проявах.

Вивчення і порівняльний аналіз різних думок дозволяє стверджувати, що соціальна екологія *не може вкладатися у традиційну класифікацію наук*. Її не можна однозначно віднести ні до соціальних, ні до природничих наук. Це зумовлено специфікою її об'єкта – взаємодії між суспільством і природою, у якій природний і соціальний аспекти діалектично між собою поєднуються. Інша справа, що у предметі кожної соціально-природничої науки взаємовідносини між природним і соціальним аспектами можуть бути різними, однак це не змінює соціального статусу цих наук.

Соціоекологія розглядається як міждисциплінарна і одночасно інтегральна наука. Міждисциплінарний характер полягає у тому, що внаслідок багатоаспектності самої проблеми гармонізації взаємодії суспільства і природи її неможливо вирішити, не вивчаючи при цьому географічні, біологічні, геологічні, медичні, технологічні, економічні, юридичні, соціальні та інші аспекти. Інтегральний характер визначається системністю проблеми – взаємопов'язаністю усіх природних і соціально-економічних компонентів у соціоекосистемах. Саме соціоекологія є теоретичною базою охорони природи і раціонального використання природних ресурсів.

Об'єктом вивчення соціоекології є *соціоекосистеми* – соціоприродні саморегульовані системи, динамічна рівновага яких забезпечується людським суспільством. Це надзвичайно складні системи, кожна з яких складається з двох підсистем – природної і соціально-економічної. Вони, у свою чергу, мають у своєму

складі підсистеми нижчого рівня: *природна* – абіотичну і біотичну, а *соціально-економічна* – підсистеми населення і господарство. У свою чергу, названі підсистеми містять *компоненти*: природна – гірські породи, рельєф поверхні, ґрунти, рослинність, тваринний світ, поверхневі й підземні води, атмосферне повітря, а соціально-економічна – конкретних людей, житлові, промислові, інженерні, комунікаційні, господарські та інші антропогенні об'єкти (Рис. 141).

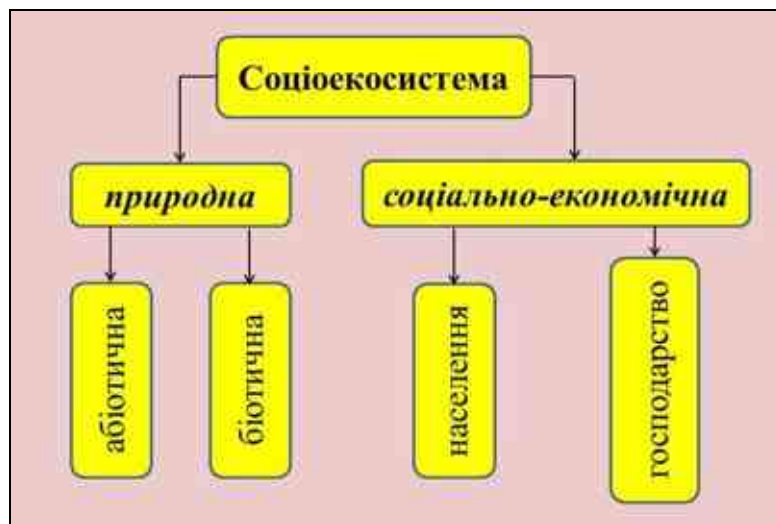


Рис. 141. Соціоекосистема та її підсистеми

Соціоекосистеми мають три рівні розмірності – глобальний, регіональний і локальний. При вивченні соціоекосистем необхідно прагнути відновити їхню динамічну рівновагу, а досягається це через їхню оптимізацію. *Оптимізація* соціоекосистем полягає у створенні їхньої оптимальної функціональної структури, тобто у гармонійному поєднанні й раціональному функціонуванні природних і антропогенних підсистем, що б забезпечувало відновлення та подальше збереження речовинно-енергетичного балансу. У кожній соціоекосистемі людина займає одне з центральних місць. Проте, це зовсім не означає, що людина може вільно керувати природними і суспільними законами або довільно змінювати внутрішні процеси, що відбуваються у природній і соціально-економічній підсистемах.

Протягом усієї історії цивілізації ставлення суспільства до природи суттєво змінювалося. Тому можна умовно виділити такі три періоди:

- Ї Людина змінює та перетворює природу, але й залежить від неї і *не стоїть* над нею.
- Ї Людина створює «нову» природу і повністю упевнена у тому, що вона може *безроздільно панувати* над природою.

У Сучасний період – зміни природи людиною вже ставлять багато питань про існування самої людини як біологічного виду. Це період усвідомлення *помилковості концепції* про невичерпність природи.

За М. Реймерсом (1994), функціонування системи «природа – людина» з позицій екології можна охарактеризувати як «ресурси – споживач», де людина виступає як «розумний паразит». Отже, людина не є пасивною, цілком залежною від зовнішнього середовища істотою. Завдяки своїй унікальній тілесно-душевній організації вона спромоглася піднятися над світом тварин, стала суспільною особистістю, здатною планомірно і цілеспрямовано діяти, змінюючи навколишній світ, своє життя і власну сутність. Духовно-культурне панування над природою (одночасно із залежністю від неї) вирізняє людину з-поміж інших живих істот, робить її творцем свого життя, його матеріальних, духовних і культурних реалій. Крім того, людина здатна відокремлювати значуще, цінніше від корисного, доцільного, функціонального, що збагачує особливим змістом її життя і форми взаємодії з довкіллям.

Створення людиною реалій свого матеріального буття, утвердження духовних цінностей відбувалося у процесі та завдяки пізнанню, використанню природних закономірностей, тому людські творіння значною мірою повторюють витвори природи. Використовуючи її потенціал у своїх цілях, людина не завжди діяла виважено, завдаючи шкоду довкіллю і собі. Навчити людину усвідомлювати себе невід’ємним елементом природного світу, враховувати і раціонально, без негативних наслідків, використовувати його закономірності, покликана така галузь екологічної науки, як екологія людини, або антропоєкологія.

Фахівців цікавить передусім, як впливає руйнівна діяльність людини на стан її здоров’я, і які заходи можуть сприяти зміцненню цього здоров’я. Середовище функціонування людини охоплює не лише природні, а й технологічні й соціокультурні елементи. Це означає, що життєдіяльність людини відбувається у *антропоєкосистемі* – заселеному просторі, якому властиві однорідні для певного часу форми взаємодії людей з довкіллям. Кожну антропоєкосистему формують такі компоненти і процеси: природа, її забрудненість, населення, його культура, рівень освіти, здоров’я, екологічна свідомість, соціально-побутові умови життя, господарська діяльність тощо.

Виходячи з цього, *об’єктом* дослідження екології людини є система «людина – навколишнє середовище», або антропоєкосистема – територіальна система, у межах якої однотипна (міська чи сільська) людська популяція взаємодіє з відносно однорідним навколишнім середовищем, а критерієм ефективності її функціо-

нування є високий рівень здоров'я населення. Антропоекосистеми є складовими частинами соціоекосистем відповідного ієрархічного рівня. *Предметом* екології людини як науки є взаємодії людського організму та людської популяції із середовищем їхнього існування як цілісної системи. Людина при цьому фігурує на рівні окремого організму і на рівні популяції, а середовище охоплює природні, культурні, техногенні компоненти.

З огляду на це, антропоекологія та екологія людини мають *однаковий об'єкт* дослідження, яким є система «людина – довкілля» на рівні організму та популяції. Поняття *предмета* вивчення екології людини і антропоекології поки що перебуває на стадії розробки. З погляду застосування, зручнішим є термін *антропоекологія*, оскільки він має більшу деривативність («відгалуження від існуючого»), тобто від нього легше утворювати похідні поняття (наприклад, антропоекологічні проблеми тощо).

Екологія людини аналізує здоров'я, спосіб життя і довкілля разом з чинниками, що їх зумовлюють у межах динамічних екосистем. Вона розглядає захворювання як порушення динамічної рівноваги системи організму і виявляє фактори, ліквідація яких допоможе відновити цю рівновагу. На сучасному етапі розвитку антропоекології актуальним є створення антропоекологічного моніторингу, на підставі якого можна складати медико-географічні карти, зіставляти їх з картами забруднення довкілля, визначати граничнодопустимі техногенні навантаження на людський організм. Отже, екологія людини націлена на вирішення медико-гігієнічних проблем – зміцнення здоров'я людей, попередження захворювань, підвищення працездатності, подовження терміну активної життєдіяльності людини.

Щодо ототожнення антропоекології та екології людини з іншою наукою – соціоекологією, тут слід зауважити, що антропоекологія сформувалася на базі медичної географії і гігієни, а екологія людини – в результаті поєднання соціоекології з медициною. Тому антропоекологію та екологію людини *не можна ототожнювати* із соціальною екологією (як це іноді буває). Адже антропоекологія – це екологія біологічного виду *Homo sapiens*, її можна розглядати подібно до екології рослин, екології тварин або екології мікроорганізмів як розділ популяційної екології. Вона вивчає взаємодію людини з природою як *біологічної істоти* на рівні організму і популяції, що займає свою екологічну нішу у екосистемі. На відміну від неї, соціоекологія зосереджує увагу на розгляданні взаємодії з природою усього *людського суспільства*, яке впливає на довкілля різноманітною господарською діяльністю.

Головні завдання екології людини сконцентровані на вивченні впливу факторів довкілля на організм людини, на прогнозуванні можливих змін у параметрах здоров'я людей під дією зовнішніх факторів, виробленні обґрунтованих нормативів життєзабезпечення з урахуванням прогнозів антропоєкологічного напруження. Не менш значущими є й такі завдання:

- прогнозування можливих змін здоров'я людей внаслідок процесів, що відбуваються у зовнішньому середовищі;
- прогнозування стану здоров'я майбутніх генерацій;
- створення антропогенетичного моніторингу – системи спостережень за змінами процесів життєдіяльності людей у зв'язку з дією на них різних факторів довкілля, а також дослідження умов, що погіршують здоров'я населення і зумовлюють поширення захворювань;
- визначення гранично допустимих техногенних навантажень на природне середовище і людський організм;
- вивчення впливу окремих факторів середовища на здоров'я та життєдіяльність людських популяцій;
- дослідження процесів збереження і відновлення здоров'я людських популяцій;
- аналіз глобальних і регіональних екологічних проблем, які зумовлюють стан здоров'я людини;
- вироблення нових методів дослідження екологічних факторів впливу на здоров'я людини (космічних, біохімічних та інших);
- аналіз і обґрунтування шляхів поліпшення рівня здоров'я і трудового потенціалу населення.
- складання медико-географічних карт з відображенням територіальної диференціації захворювань населення, пов'язаних з погіршенням якості навколишнього середовища.

Методи дослідження екології людини пов'язані з тим, що людина – істота біосоціальна. Тому для виконання перелічених вище завдань використовують як біологічні, так і соціальні методи досліджень. Зокрема, методи математичного моделювання, статистичні методи, біохімічні, фізичні, бактеріологічні, клінічні, фізіологічні тощо. Екологія людини як комплексна наука, яка виникла на стику біологічних і соціальних дисциплін, тісно пов'язана з багатьма іншими дисциплінами, а особливо з такими:

- *Імунологія – наука про імунну систему організму, яка відіграє важливу роль у захисті людини від несприятливих факторів навколишнього середовища.*

- *Гігієна навколишнього середовища* – вивчає і розробляє принципи і методи оздоровлення умов праці й відпочинку людей у конкретних умовах.
- *Екологічна токсикологія* – вивчає вплив токсичних речовин на здоров'я людини.
- *Медична географія* – вивчає територіальну диференціацію захворювань та їхню залежність від конкретної екологічної ситуації.
- *Гігієнічне нормування* – наукове обґрунтування гігієнічних нормативів для повітря населених пунктів і виробничих приміщень, для води і продуктів харчування, для будівельних матеріалів і предметів побуту. *Гігієнічним нормативом* називають суворо визначений діапазон параметрів будь-якого фактора довколишнього середовища, який є оптимальним або принаймні не є небезпечним з точки зору збереження нормальної життєдіяльності та здоров'я людини, людської популяції і майбутніх поколінь. При розробці гігієнічних нормативів оперують такими поняттями, як гранично допустимі концентрації (ГДК), гранично допустимі рівні (ГДР) і гранично допустимі дози (ГДД).

Існуючі потреби людини можна об'єднати у такі групи:

- ✓ *Біологічні (фізіологічні)* потреби – це тепловий і радіаційний комфорт, склад повітря, чиста вода, збалансована їжа, повноцінний відпочинок, захищеність від паразитів і епідемій, продовження роду тощо.
- ✓ *Поведінкові (психологічні)* потреби – входження людини у етологічну групу, утворення родини, спілкування чи ізолюваність батьків і дітей.
- ✓ *Етнічні* потреби – етнічна самостійність, належність до певної етнічної групи через національний одяг, побут, традиції.
- ✓ *Соціальні* потреби – це гарантовані громадянські свободи (совісті, волевиявлення тощо); моральні норми спілкування між людьми; свобода самовиразу в усіх сферах діяльності; відчуття потрібності суспільству.
- ✓ *Трудові* потреби – праця за фізичними і розумовими здібностями, освіта за інтересами, адекватне заохочення за результати праці (матеріальне і моральне).
- ✓ *Економічні* потреби – це забезпечення їжею, одягом, постійним або тимчасовим житлом, предметами побуту, засобами праці, сферою послуг, рекреацією і охороною здоров'я, джерелами інформації, а також утилізація відходів як умова забезпечення якості природного середовища.

Отже, екологія людини досліджує загальні закономірності взаємодії людської популяції з довкіллям, вплив факторів зовнішнього середовища на функціонування людського організму, розробляє важелі цілеспрямованого управління збереженням і поліпшенням людського здоров'я. В екології людини акумульовані

надбання багатьох природничих і суспільних наук, внаслідок синтезу яких вона сформувалася у багатомірну галузь знань, своєрідну філософію гармонічного буття людини у світі. Головна особливість екології людини полягає у виокремленні із загального контексту екології та охорони природи найскладнішого елемента – людини, дослідженні різноманітних впливів на неї (природного, техногенного, культурного середовища), законів і закономірностей гармонійного буття людини у світі. З цього погляду для екології людини значний інтерес становлять стан і процеси, що відбуваються у біосфері, зокрема у *техносфері* – сукупності створених цілеспрямованою діяльністю людини штучних і змінених нею природних об'єктів. Екологія людини не обмежується дослідженням проблематики довкілля, а постає як синтез знань про людину і все, що її оточує, їхні взаємозв'язки і взаємовпливи, збагачує інші галузі знань і людської діяльності.

7.1 Вплив на здоров'я людей змінених компонентів природного середовища

Оскільки головними завданнями екології людини є аналіз впливу факторів навколишнього середовища на організм людини, а також прогнозування можливих змін у здоров'ї людей під дією зовнішніх факторів, розглянемо, як впливають зміни основних компонентів природного середовища на стан здоров'я кожної людини і людських популяцій.

Вплив зміненої атмосфери. Потужними джерелами забруднення атмосфери є теплоенергетика, промисловість, транспорт, нафто- і газопереробка, випробування зброї. Промисловість і транспорт споживають кисень у надмірних кількостях. У стані спокою людина споживає 200-300 л кисню на добу, при здійсненні легкої роботи – до 500 л, а важкої – до 900 л. У середньому щороку людині потрібно 150 м³ кисню. Зменшення вмісту кисню у повітрі до 8% спричинює падіння температури тіла, зневоднення і може навіть призвести до смерті. А збільшення концентрації двоокису вуглецю понад 3% призводить до підвищення артеріального тиску, серцебиття, а згодом – також до смерті.

Наявність у повітрі токсичних речовин техногенного походження (кадмію, миш'яку, ртуті, свинцю) спричинює *гострі отруєння* людей, а у великих концентраціях може призвести до смерті. Головною причиною деяких *хронічних захворювань* (бронхіт, пневмонія, емфізема, ракові пухлини, алергічні реакції, уроджені дефекти розвитку) також є забруднення повітря, особливо у промислових центрах. Крім цього, забруднення атмосфери різко знижує продуктивність домашніх тварин.

Отже, вплив забруднення атмосфери на людину можна звести до таких головних аспектів:

- Υ Зниження загального імунітету організму та підвищення вразливості організму до інфекцій.
- Υ Підвищення дитячої захворюваності.
- Υ Поширення хронічних захворювань, зокрема бронхіту, рахіту.
- Υ Зростання кількості алергічних захворювань.
- Υ «Омолодження» хвороб.

Вплив забрудненого водного середовища. Основними видами забруднення водних об'єктів є хімічне, фізичне, біологічне і теплове (Рис. 142). Внаслідок хімічного забруднення у водойми надходять шкідливі домішки неорганічної і органічної природи, більшість з яких є отруйними для живих організмів. Найбільш поширеними з них є *важкі метали*, які потрапляють у водні об'єкти через стічні води і з атмосфери. Велику частку шкідливих речовин становлять *хлоровані вуглеводні* та *детергенти* – синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), які входять до складу різноманітних миючих засобів. Практично усі вони є токсичними і здатні концентруватися у тканинах і органах живих організмів, передусім людини.



Рис. 142. Види забруднення водного середовища

Внаслідок фізичного забруднення зменшується прозорість води, підвищується вміст суспензій та інших нерозчинних домішок, радіоактивних речовин, змінюються запах, смак, забарвлення тощо. Найбільш небезпечним для здоров'я людини є біологічне забруднення води патогенними мікроорганізмами – джерелами виникнення кишкових, вірусних і бактеріальних інфекцій, зокрема холери, дизентерії, інфекційного гепатиту, поліомієліту тощо. Органічні речовини, що містяться у стічних водах, розкладаються ферментами аеробних бактерій, які пог-

линають розчинений у воді кисень і виділяють вуглекислий газ у міру засвоєння органічних залишків. Кінцевими продуктами розпаду є вуглекислий газ і вода, але можуть утворюватися і багато інших сполук. Наприклад, бактерії переробляють азот з відходів на аміак (NH_3), який, сполучаючись з натрієм, калієм або іншими хімічними елементами, утворює солі азотної кислоти – нітрати.

Теплове забруднення водойм пригнічує розвиток водних організмів, часто створюючи умови, що приводять до загибелі риб. Забруднені води каламутні, з неприємним запахом, не придатні для пиття, часто містять величезну кількість бактерій і водоростей. Система самоочищення води (аерація проточною водою і осадження на дно зважених частинок) не спрацьовує через надлишок у ній антропогенних забруднювачів. Головні наслідки забруднення водного середовища для здоров'я людини такі:

- Υ Поширення інфекційних захворювань.
- Υ Споживання небезпечних для здоров'я речовин разом з питною водою, рибою та іншими морепродуктами.
- Υ Збільшення фінансових витрат на очищення води для споживання.
- Υ Відсутність екологічно безпечного відпочинку біля водойм.

Вплив зміненого ґрунтового-рослинного покриву. Щорічно у світі перетворюється на пустелю 6 млн га родючих земель, вирубається і гине через пожежі більше 11 млн га лісу. Приблизно стільки ж земель руйнується внаслідок добування корисних копалин. А можливості рекультивації порушених земель обмежені через дорожнечу і тривалість процесу. Зокрема, для утворення 1 см гумусного шару ґрунту потрібно приблизно 150 років.

На відміну від інших компонентів довкілля, процеси самоочищення ґрунтів відбуваються дуже повільно, тому токсичні речовини накопичуються, що призводить до поступової зміни хімічного складу ґрунтів. З ґрунту токсичні речовини через ланку рослин потрапляють в організми тварин і людей. За масштабами впливу на біологічні об'єкти особливе місце посідають *важкі метали*, які до того ж майже не виводяться з ґрунту. Надмірні дози застосування *азотних добрив* призводять до накопичення *нітратів* у рослинах і продуктах харчування. Потрапляючи у організм з водою чи їжею, нітрати перетворюються на нітроти, які знижують гемоглобін у крові, порушують функціонування щитовидної залози людини. З мінеральними добривами у ґрунт вносять не лише азот, фосфор, калій, а також численні домішки, серед яких і важкі метали – ртуть, цинк, мідь, свинець, миш'як.

Однією з найнебезпечніших проблем є застосування у сільському господарстві хімічних засобів захисту рослин – *пестицидів*, яких у світі випускають десят-

ки тисяч форм. Найнебезпечнішими є пестициди промислового органічного синтезу – органічні сполуки хлору, фосфору, ртуті, які мають застосовуватися лише як виняток – у мінімально необхідних кількостях і лише там, де хімічні засоби захисту поки не можна замінити біологічними. Пестициди надзвичайно токсичні для людей і тварин, а їхні залишкові кількості акумулюються і концентруються у трофічних ланцюгах, а також виносяться за межі оброблюваної території. З часом з'являються резистентні до пестицидів форми шкідливих організмів, а також збільшується ймовірність віддалених наслідків, пов'язаних з патологічною і генетичною дією деяких препаратів на біоту і людину.

Серед головних наслідків забруднення ґрунтово-рослинного покриву для здоров'я людини можна назвати наступні:

- Υ Накопичення небезпечних речовин у ланцюгах живлення.
- Υ Споживання забруднених харчових продуктів.
- Υ Збільшення алергічних хвороб.
- Υ Ймовірність опосередкованих наслідків через вплив на інші компоненти довкілля.

Наслідки забруднення відходами. Внаслідок нероздільного збирання відходів, у атмосферу потрапляють фільтрати з тіла звалищ, а також газоподібні продукти розпаду твердих побутових відходів (ТПВ) – метан, аміак тощо. Наприклад, одна розбита люмінесцентна лампа середньої довжини викидає у повітря близько 50 м³ отруйної ртутної пари.

При спалюванні 1 т ТПВ утворюється від 4 до 8 тис м³ газів, які містять оксиди азоту й сірки, важкі метали, сполуки групи діоксинів⁵⁰. А у стічних водах сміттєспалювальних заводів, окрім важких металів, містяться сульфати, нітрати, нітроти, нафтопродукти. Органічна речовина у складі ТПВ є сприятливим середовищем для розвитку патогенної мікрофлори, яєць гельмінтів (аскариди, анкілостоміди, гострика), а також виплоду мух і гризунів. У відходах може бути присутня паличка черевного тифу, паратифу, туберкульозу та сибірської виразки. Також міститься велика група сапрофітної флори, представлена мезофілами і термофілами, що беруть участь у розкладі органічної речовини відходів.

Звалища не лише створюють епідеміологічну небезпеку, вони також неминуче стають потужними джерелами біологічного забруднення. Відбувається це

⁵⁰ Діоксини – група хлорованих вуглеводнів. Дуже стійкі сполуки, з тривалим часом напіврозпаду, мають здатність до біоаккумуляції, тобто до накопичення в організмі. Усі діоксини є високо-токсичними, а «лідер» цієї групи – 2,3,7,8-тетрахлордибензо-р-діоксин – за токсичністю «перемагає» такі отрути, як синильна кислота, стрихнін, кураре.

через те, що анаеробний розклад органічних відходів супроводжується утворенням вибухонебезпечного біогазу, який містить метан, азот, діоксид вуглецю, водень і сірководень. Таким чином, очевидно, що звалище ТПВ, окрім відчуження значних земельних площ, є джерелом забруднення оточуючого середовища великими токсичними елементами, які не можуть бути включеними до природних кругообігів речовин. Рухаючись трофічними ланцюгами, ці елементи потрапляють до організму людини, завдаючи їй незворотних змін. Зокрема, Zn, Cd, Pb, Hg впливають на проникність клітинних мембран, змінюють структуру білків, утворюють комплекси з фосфоліпідами. Кадмій (Cd) викликає хвороби нирок, остеомаліцію, анемію, здійснює мутагенну і канцерогенну дію, мідь (Cu) – пневмонію і гепатит. В результаті дії свинцю (Pb) відбувається ушкодження центральної нервової системи, печінки, нирок, мозку, статевих органів, а ртуть (Hg) спричинює появу інтоксикації, паралічу і психічної неповноцінності немовлят.

Якість споживчих товарів і продуктів харчування. Товар є продуктом людської праці, здатним задовольнити ті чи інші людські потреби. Якість – це сукупність характеристик товару щодо його здатності задовольняти ці потреби. Товари народного споживання (ТНС) за своїм призначенням поділяють на такі групи:

- товари споживчого попиту, призначені для особистого споживання;
- товари промислового призначення, що служать для виробництва інших товарів;
- оргтехнічні товари, призначені для покращення адміністративної чи управлінської діяльності.

Під час споживання людиною ТНС, продуктів харчування і питної води небезпека має такі основні прояви:

- У *Токсичність* – здатність деяких агентів (токсикантів) призводити до отруєння людей. Вони можуть потрапляти в організм з їжею, через легені або через шкіру. Отруєння за умовами виникнення поділяють на побутові, медикаментозні і професійні.
- У *Здатність викликати алергічні реакції* внаслідок заміни натуральних харчових продуктів консервованими, застосування неякісних ліків, засобів побутової хімії тощо. Алергія може уражати будь-який орган, проте найчастіше це дихальна, серцево-судинна і травна системи, а також шкіра.
- У *Накопичення у продуктах харчування і предметах побуту важких металів* – міді, нікелю, кобальту, свинцю, олова, цинку, кадмію, ртуті. Потрапляючи в організм людини, вони спричинюють гострі й хронічні захворювання.

- У Застосування антибіотиків для подовження терміну придатності харчових продуктів, залишкові кількості яких призводять до різних захворювань (дисбактеріоз, мутації).
- У Застосування у побуті синтетичних поверхнево-активних речовин спричинює загальну токсичну, онкологічну, алергенну та імунно-депресивну дію на організм людини.

Одним з основних факторів, які визначають стан здоров'я людини, є *екологічна чистота продуктів харчування і питної води*. До 80% шкідливих речовин надходить до організму людини з їжею та напоями (Рис. 143).



Рис. 143. Основні шляхи надходження шкідливих речовин у продукти харчування

Харчові добавки – це речовини або група речовин, що не є основними харчовими продуктами і спеціально додаються до складу продуктів. Значна частина синтетичних харчових добавок зазвичай є токсичними, а тому забороненими для використання. Крім того, особливу увагу звертають на забруднення харчових добавок супутніми токсичними речовинами. До харчових добавок належать речовини, які:

- покращують зовнішній вигляд продуктів – барвники, освітлювачі, загусники;
- подовжують термін зберігання продуктів – консерванти, інгібітори, антиоксиданти;
- змінюють фізичні властивості продуктів – поверхнево-активні речовини;
- поліпшують смак і аромат – ароматичні речовини, кислоти, цукри тощо;
- підвищують харчову цінність продуктів – мікро- і макроелементи, вітаміни, біологічно активні речовини.

Продукти харчування забруднюються пестицидами, нітратами, важкими і рідкісними металами, радіоізотопами тощо (Рис. 144). *Пестициди* – загальна назва різних хімічних засобів, призначених для боротьби із шкідливими організмами рослинного і тваринного походження; усі вони є отрутохімікатами. *Нітрати* – це солі азотної кислоти, найпоширенішими з яких є нітрат натрію (NaNO_3), нітрат калію (KNO_3), нітрат кальцію (CaNO_3) і нітрат амонію (NH_4NO_3). Їхнє щоденне вживання людиною з продуктами харчування неминуче, але небезпечним є надходження в організм *надмірної кількості нітратів*. Механізм токсичної дії нітратів полягає у кисневому голодуванні, що розвивається внаслідок порушення транспортування кисню кров'ю, а також у пригніченні ферментативних систем, які беруть участь у процесах тканинного дихання.



Рис. 144. Головні забруднювачі харчових продуктів

Токсичні ефекти спостерігається за недостатнього або надмірного надходження в організм людини деяких *важких металів*. Наприклад, хром, миш'як, кадмій, берилій, нікель спричиняють канцерогенну і ембріотоксичну⁵¹ дію. Якщо в організм людини надходить значна кількість таких металів, як титан, алюміній, барій, телур, олово, сурма, спостерігається хронічна інтоксикація, яка має своєрі-

⁵¹ *Ембріотоксична дія* – властивість речовини при попаданні у організм матері викликати загибель чи патологічні зміни ембріону.

дний для кожного металу характер і патогенез. Щодо *радіоізотів* у харчових продуктах, то у середньому понад $\frac{5}{6}$ річної еквівалентної дози, що її одержує населення, становить природна радіація внаслідок внутрішнього опромінення, а решту людина отримує через зовнішнє опромінення.

Серед шляхів запобігання забрудненню продуктів харчування шкідливими речовинами основними є наступні:

- ✧ Широкодоступна, постійна і оперативна інформація про справжній хімічний склад, придатність і безпечність усіх харчових продуктів.
- ✧ Контроль за використанням азотних добрив, які є причиною нагромадження у сільськогосподарських продуктах і кормах нітратів, нітритів і нітрозамінів.
- ✧ Обмеження, а у окремих випадках і заборона, на використання засобів захисту рослин, деяких добрив, що призводять до забруднення сільськогосподарських продуктів шкідливими речовинами.
- ✧ Науково обґрунтоване та беззастережне дотримання державних стандартів, що регламентують вміст шкідливих речовин у продуктах харчування.
- ✧ Створення спеціальних санітарно-контрольних лабораторій для визначення екологічної чистоти харчових продуктів.
- ✧ Підготовка кваліфікованих спеціалістів у галузі екологічного захисту продуктів харчування.

Ми розглянули головні наслідки для здоров'я людини забруднення різних компонентів навколишнього середовища, небезпеки під час споживання людиною товарів народного споживання, продуктів харчування і питної води, які негативно впливають на стан здоров'я, а також психічний і фізіологічний стан людини. Отже, наслідки найчастіше проявляються у різноманітних захворюваннях, які називають екологозалежними.

7.2 Основні екологозалежні захворювання людини

Суспільством у виробництво і споживання утягується така кількість речовин та енергії, яка у десятки і сотні разів перевищує суто біологічні потреби людини. Тобто основною причиною сучасної екологічної кризи є саме *кількісна експансія людського суспільства* – непомірно високий рівень та швидке нарощування сукупного антропогенного навантаження на природу.

Суспільне здоров'я – інтегральна характеристика всієї сукупності індивідуальних рівнів здоров'я членів суспільства, яка характеризує імовірність досягнення ними максимального рівня здоров'я і творчої активності протягом максимально можливої тривалості життя, а також життєздатність усього суспільства в умовах

соціально-економічного і екологічного розвитку. Для характеристики суспільного здоров'я користуються негативними показниками (захворюваність, смертність, інвалідність тощо), які відображають лише умовну негативну характеристику і розраховуються за певний період (частіше за рік) відносно певної кількості населення (зазвичай на 100 тис осіб).

Захворюваність населення – показник, що характеризує вплив оточуючого середовища на людину. Статистичні показники захворюваності не завжди достовірні, а показники *смертності*, навпаки, достовірніші, оскільки ґрунтуються на випадках смерті кожної окремої людини, які обов'язково реєструються. Серед показників *нездоров'я* населення виділяються такі, поширення яких певним чином залежить від стану навколишнього середовища. Подібні захворювання називаються екологозалежними і за характером прояву можуть бути випадковими чи не випадковими. За ступенем залежності від якості навколишнього середовища *невипадкові* екологозалежні захворювання поділяються на такі види:

- індикаторна патологія, яка характеризує *високий ступінь залежності* здоров'я від якості навколишнього середовища (профзахворювання, онкологічні захворювання, вроджена патологія, генетичні дефекти, алергії, токсикози, ендемічні захворювання тощо);
- екологічно залежна патологія, що характеризує *середню залежність* від якості навколишнього середовища (загальна і дитяча смертність, хронічний бронхіт і пневмонія у дітей, загострення основних захворювань серцево-судинної і дихальної систем);
- *помірний ступінь залежності* від якості навколишнього середовища (патологія вагітності, захворювання з тимчасовою втратою працездатності, хронічний бронхіт і пневмонія у дорослих, захворювання серцево-судинної системи).

Випадкова патологія виникає внаслідок зовсім інших причин. Навколишнє середовище може мати певні властивості, які самі по собі не є патогенними для людини, але при контакті з ними у людини підвищується *потенційна небезпека захворіти*. До випадкової патології належать травматизм, інфекційні захворювання, спричинені випадковими контактами людини зі збудниками хвороб і, як наслідок, виникнення захворювань. Зв'язки між випадковими хворобами, за винятком травматизму, і навколишнім середовищем динамічніші, легше піддаються зовнішньому впливу, тому рівень захворюваності можна знизити доволі швидко.

Однією з найпоширеніших реакцій організму на вплив антропогенних факторів є *отруєння (токсикози)*. Вони розвиваються внаслідок надходження в організм тих чи інших речовин-токсикантів у небезпечних концентраціях. Їхню кіль-

кість у довкіллі не можна обчислити, оскільки, відповідно до концепції лімітуючих факторів, будь-яка речовина у певних дозах може стати токсичною. Найбільш поширеними токсикантами за частотою захворювань є отрутохімікати, нітрати, важкі метали, промислова і побутова хімія.

«Візитною карткою» сучасного людського суспільства стали алергічні реакції (алергії). *Алергія* – це стан підвищеної чутливості організму до певних речовин, які називають алергенами. Унаслідок контакту з алергеном знижується імунітет організму і можуть розвинути різні захворювання, передусім дерматит (запалення шкіри), бронхіальна астма, набряки, ураження слизових оболонок внутрішніх органів. Зазвичай припинення контактів з алергеном веде до одужання. Алергенами можуть бути шерсть тварин, пір'я подушок, пилок рослин, лікарські засоби, продукти харчування, численні речовини природного і штучного походження, вироби побутової хімії. Кількість алергенів постійно зростає *пропорційно кількості нових речовин*, які людина залучає у свій побут чи використовує у виробництві.

Велику групу екологозалежних захворювань становлять *злаякісні пухлини*; найнебезпечнішим з них є рак. Такі пухлини характеризуються необмеженим ростом, не контролюються гормонами і нервовою системою, здатні утворювати метастази – нові пухлини на здорових тканинах і здебільшого призводять до летального (смертельного) кінця. Речовини, які сприяють розвитку злаякісних пухлин, називають *канцерогенами*. Найпоширенішими канцерогенами є бензопірен, бензол, фенольні сполуки, вінілхлорид, сажа, смоли, мінеральні масла⁵².

Канцероген (від лат. *cancer* – рак, *gen* – утворення, створення) – це речовина або фізичний агент, що пригнічує еритроцити крові й сприяє розвитку злаякісних утворень. За впливом на геном людини канцерогени поділяють на генотоксичні, які руйнують та змінюють діяльність клітинного ядра, таким чином перебудовуючи генетичний код, та негенотоксичні, які впливають тільки на фізіологічні процеси, але так само викликають ракові захворювання.

Наприклад, бензо(а)пірен ($C_{20}H_{12}$) (benzo[a]pyrene) – поліциклічний ароматичний вуглеводень, який міститься у кам'яновугільній смолі, тютюновому димі, забрудненому повітрі великих міст, особливо на автомагістралях і поблизу заправних станцій, у ґрунті, сирій нафті. Виділяється під час переробки нафтопродуктів, викидається в атмосферу з автомобільними вихлопами, утворюється при всіх способах спалювання твердого і рідкого палива, під час пожеж, виверженні вул-

⁵² *Мінеральні масла, мінеральна олія, мінеральна олива* – суміш рідких вуглеводнів, яку добувають з мінеральних речовин, продукт перегонки нафти, вугілля і смолистих сланців.

канів, продукується на кожній кухні під час високотемпературної обробки їжі (смаження, копчення). Ця речовина може потрапляти в організм людини усіма можливими способами (не тільки з повітрям і їжею, але й безпосередньо через шкіру).

Бензопірен – дуже сильний мутаген і канцероген, є одним з найнебезпечніших вуглеводнів, для якого не існує порогових концентрацій – він є загрозою для здоров'я у будь-якій кількості. Спроби організму знешкодити бензопірен призводять до утворення іншої, ще більш токсичної, речовини, спроможної безпосередньо ушкоджувати ДНК. Якщо бензопірен найчастіше спричинює рак легенів, то бензол і феноли – лейкоз (рак крові), вінілхлорид – рак печінки, сажа, смоли, мінеральне масло – рак шкіри. Відомо близько 60 хімічних канцерогенів і два фізичних – ультрафіолетове випромінювання та іонізуюча радіація. До канцерогенів належать також деякі віруси.

У довкіллі, поряд з канцерогенними, існують й інші токсичні речовини, які виконують роль своєрідних модифікаторів того чи іншого канцерогену. Отож слід враховувати комплексну дію біологічних, фізичних, хімічних чинників на організм людини у оточуючому її середовищі. Нині постає необхідність врахування ще й чинників психологічних. Благополуччя і рівновага кожного організму залежить від стану систем, покликаних оберігати здоров'я людського організму, – імунної, ендокринної, біохімічної.

Спадкові хвороби пов'язані з виникненням *мутацій*, тобто ушкодженнями ДНК чи хромосом. Генетичні ушкодження зазвичай успадковуються лише тоді, коли мутація відбувалася у статевих клітинах. Такі мутації спричинюють безпліддя, призводять до народження мертвих дітей або дітей з фізичними чи розумовими вадами. Фактори, які викликають мутації, називають *мутагенами*. Переважна більшість канцерогенів також мають мутагенні властивості.

Протягом життя людина постійно стикається з мутагенними чинниками середовища. До факторів хімічного походження (або екзомутагенів), які пошкоджують геном людини, належать лікарські засоби, пестициди, деякі сільськогосподарські отрутохімікати, хімічні сполуки побутового призначення тощо. Через велику кількість синтезованих ксенобіотиків особливого значення набуває мутагенна забрудненість продуктів харчування.

Ксенобіотики – чужорідні для біосфери хімічні речовини, що природно не синтезуються, не можуть асимілюватися організмами, внаслідок чого не беруть участі у природному кругообігу речовин і тому накопичуються у зовнішньому середовищі (наприклад, пластмаси). У вужчому значенні так називають речовини,

зазвичай присутні у природі у набагато менших кількостях, прямо чи побічно породжені господарською діяльністю людини. Типовими прикладами ксенобіотиків є ліки, наркотики та інші подібні речовини. Часто термін ще сильніше звужують, відносячи до ксенобіотиків різноманітні забруднювачі, зокрема, пестициди, мінеральні добрива, миючі засоби, радіонукліди, синтетичні барвники. Потрапляючи у навколишнє природне середовище, вони можуть викликати алергічні реакції, загибель організмів, мутації, знижувати імунітет, порушувати обмін речовин, хід процесів у природних екосистемах.

Нині найбільш поширеними забруднювачами харчових продуктів і навколишнього середовища є чотири групи ксенобіотиків: сполуки важких металів і миш'яку; пестициди; нітрати, нітроти і нітрозаміни; антибіотики. Висока потенційна небезпека забруднення сполуками важких металів і миш'яком значною мірою пов'язана з їхньою здатністю до акумуляції. Сполуки важких металів і миш'яку, що містяться у харчових продуктах, виявляють токсичну дію головним чином за рахунок своїх іонів, які міцно і на тривалий час зв'язуються із сульфгідрильними групами білків, порушуючи цим відповідні функції організму людини. Зв'язуючись, сполуки важких металів і миш'яку в організмі накопичуються.

На фоні радіаційного навантаження, зростання рівнів шуму та електромагнітного випромінювання вплив ксенобіотиків на організм людини посилюється. Це проявляється у підвищенні поширеності та розповсюдженості генетичних патологій серед населення. Ефективність хімічних мутагенів обумовлена їхніми фізико-хімічними властивостями, стійкістю, ступенем проникнення у клітини і доступністю до геному. Хімічні мутагени мають велику проникну здатність і викликають переважно генні мутації.

Без сумніву, найціннішою потребою людини у всі часи була потреба збереження власного здоров'я та збільшення ефективної тривалості життя. Формування здоров'я кожної людини починається задовго до народження і залежить від чотирьох відомих факторів: генетичної спадковості, способу життя, стану довкілля та рівня медичної допомоги. Збільшення частки якості довкілля у погіршенні стану здоров'я населення властиве регіонам, де відбувається екстенсивне зростання промислового виробництва. Тільки поєднане використання методів генетичної токсикології та епідеміологічної генетики сприятиме вирішенню теоретичних завдань медичної екології та екології людини, обґрунтуванню профілактичних програм щодо захисту геному людини від згубних впливів оточуючого середовища.

7.3 Екологічні фактори та їхній вплив на здоров'я людини

Комплексним показником стану людського суспільства є рівень здоров'я самих людей. За сучасними уявленнями, *здоров'я* – це природний стан організму, що перебуває у повній рівновазі з біосферою і характеризується відсутністю будь-яких патологічних змін. За визначенням ВООЗ, *здоров'я* – це стан повного фізичного, духовного і соціального добробуту, а не лише відсутність захворювань чи фізичних дефектів.

Стан здоров'я віддзеркалює динамічну рівновагу в системі «природне середовище – організм». На здоров'я людини впливають спосіб життя, генетичні фактори і фактори навколишнього середовища. *Гомеостазом* вважають відносну динамічну сталість внутрішнього середовища і фізіологічних функцій організму, що підтримуються механізмами саморегуляції в умовах коливань внутрішніх і зовнішніх подразників. Здоров'я людини, забезпечене гомеостазом її організму, може зберігатися і за певних змін факторів навколишнього середовища. Такі зміни зумовлюють появу в організмі людини відповідних біологічних реакцій, але завдяки процесам адаптації вони не призводять до негативних наслідків у певних діапазонах зміни факторів. Для кожної людини межі цих діапазонів індивідуальні.

Адаптація – це пристосування організму на індивідуальному і популяційному рівнях до змін умов зовнішнього середовища, вироблене у процесі еволюційного розвитку. На людину впливають різні природні, економічні, соціально-культурні, психологічні фактори, що позначаються на її здоров'ї. У зв'язку з цим екологія людини трактує адаптованість до нових умов як *сукупність соціально-біологічних параметрів, необхідних для стійкого існування організму в конкретному екологічному середовищі*. Адаптивні можливості індивіда і популяції виявляються у реальних умовах, які утворюють антропоекологічне напруження – проблеми організму людини, спричинені дією факторів зовнішнього середовища. Його чинниками є соціально-психологічна, виробнича і побутова напруженість, гіпокінезія (порушення функцій організму внаслідок обмеження рухової активності), неправильне харчування, забруднення води і повітря, посилення шумів тощо.

Людина поки що не навчилася спрямовано змінювати свій генотип, і тому межі стійкості її організму проти дії різних факторів середовища практично не змінилися. Як і десятки тисяч років тому, оптимальними для людини залишаються, зокрема, температура повітря 18-35°C, атмосферний тиск 80-150 кПА, рН питної води 5,5-8,0. Проте дедалі менше стає місць на Землі, де ці фактори перебувають у зоні оптимуму людини: води з низьким умістом нітратів і оптимальним рН дуже багато в тундрі чи у високогір'ях, однак температура, а в горах і тиск, вихо-

дять за межі оптимуму. І навпаки, на рівнині, де й тиск, і температура оптимальні, вода все частіше забруднюється нітратами. Незважаючи на це, люди живуть і на рівнинах, і у горах. За принципом лімітуючих факторів, якщо хоч один з них виходить за межі діапазону толерантності, він стає лімітуючим. Коли значення такого фактора виходить поза зону оптимуму, але ще не досягає летальної межі, організм відчуває фізіологічний стрес. У нашому прикладі: в гірських районах – це гірська хвороба, а на рівнині за підвищеного вмісту у воді нітратів – загальна кволість і депресія.

На людину, як і на будь-яку живу істоту, конкретний фактор впливає не сам по собі, а у взаємодії з іншими, і залежно від характеру цієї взаємодії діапазон толерантності може змінюватися. Наприклад, за відносної вологості повітря 30% температура повітря 28°C відповідає зоні оптимуму. Але за вологості 70% ця сама температура виходить за межі оптимуму і потрапляє у зону песимуму: пришвидшується дихання, з'являються відчуття задухи, пригніченість, людина може знепритомніти.

Від часів Гіппократа здоров'я визначалося як відсутність хвороб; як стан організму, за якого він здатний повноцінно виконувати свої функції. У такому розумінні здоров'я – об'єкт медицини. Лікар-практик завжди працює з конкретною людиною. Обстежуючи стан здоров'я пацієнта, лікар визначає, чи є у нього хронічні захворювання, аналізує функціональний стан його органів і систем, індивідуальну опірність, психічний і фізичний розвиток, і за результатами обстеження приймає конкретне рішення про лікування.

Залежність здоров'я від спадковості й факторів зовнішнього середовища – основний аспект проблеми здоров'я людей на популяційному рівні. У цьому випадку об'єктом дослідження виступає не окрема особа, а популяція чи сукупність популяцій – етнічна група, нація, людство в цілому. Здоров'я на популяційному рівні – загальна категорія, оскільки те, що стосується популяції, обов'язково проявляється і на конкретних індивідах. Наприклад, у деяких районах Полісся поширене захворювання ендемічний зоб, від якого потерпає близько півмільйона людей. Причиною цього захворювання є дефіцит йоду в питній воді та високий вміст у ній гумінових кислот. У кожному конкретному випадку лікар призначає препарати, що містять йод. Проте на популяційному рівні є більш дієвий спосіб боротьби із захворюванням – корекція мінерального складу питної води чи їжі шляхом додаванням необхідної кількості йоду. Ця процедура поширюється одразу на всю популяцію і має не лише лікувальний, але й профілактичний характер.

Проблемою здоров'я людини на популяційному рівні опікується одна з нових галузей екології – *медична екологія*. У медичній екології, як і у популяційній екології в цілому, основними показниками стану популяції людини вважаються статистичні. Визначаючи здоров'я популяції, медики-екологи аналізують передусім народжуваність і смертність, тривалість життя, захворюваність та її структуру, працездатність, психологічні показники, наприклад,доволеність життям. Демографічні показники (тривалість життя, співвідношення народжуваності й смертності) дають змогу оцінити загальний стан популяції. Проте екологічно найбільш інформативними є захворюваність та її структура. Захворюваність відображає ступінь пристосованості популяції до умов середовища, а структура захворюваності – питому вагу кожного захворювання у їхній загальній кількості.

Знання захворюваності та її структури, причин захворювань, умов середовища, через які ці причини виникають, дає людині потужний інструмент захисту своєї популяції і кожної конкретної особи від впливу несприятливих факторів середовища. Захворюваність – явище не випадкове. Приблизно на 50% вона зумовлюється способом життя кожної окремої людини. Шкідливі звички, неправильне харчування, недостатнє фізичне навантаження, самотність, стреси, порушення режимів праці та відпочинку сприяють розвитку хвороб. Десь на 40% захворюваність залежить від спадковості та екологічних умов – клімату, рівня забрудненості довкілля і приблизно на 10% визначається сучасним рівнем медичної допомоги.

В межах діапазону толерантності людина пристосовується до умов довкілля завдяки численним захисним і адаптивним реакціям організму, головними з яких є імунітет, регуляція обміну речовин, регенераційні процеси тощо. В межах оптимуму ці реакції забезпечують найефективніше функціонування, високу працездатність, ефективне відновлення. Та у разі переходу якого-небудь фактора у зону песимуму ефективність окремих адаптивних систем знижується або пристосувальна здатність взагалі втрачається. В організмі починаються патологічні зміни, що свідчить про певне захворювання. Патологічний стан під впливом несприятливих факторів середовища найчастіше проявляється у отруєннях (токсикозах), алергічних реакціях, злоякісних пухлинах, спадкових хворобах, уроджених аномаліях.

7.3.1 Вплив на здоров'я людини абіотичних екологічних факторів

Людина є частиною природи, і фактори середовища впливають на неї так само, як і на будь-який інший біологічний вид. Навіть за відсутності антропогенного впливу здоров'я людини залежить від багатьох абіотичних і біотичних фак-

торів. Вихід значень тих або інших факторів за межі зони оптимуму погіршує стан людини, знижує її стійкість та опірність до різноманітних захворювань. Абіотичні екологічні фактори, що впливали на людину ще у далекому минулому, продовжують впливати й нині.

Вплив Сонця на здоров'я людини було помічено ще у глибоку давнину. Проте детальні дослідження щодо цього розпочалися тільки у XVIII-XIX ст. Вплив Сонця пов'язаний передусім з 11-річним циклом сонячної активності, підвищення якої спричинює збурення магнітосфери та іоносфери. Такі збурення, у свою чергу, зумовлюють збільшення напруженості електромагнітного поля Землі, а це вже безпосередньо впливає на організм людини. У періоди підвищеної сонячної активності або під час магнітних бур частішають випадки порушення діяльності серцево-судинної та нервової систем, психіки і поведінки. Сплески сонячної активності призводять, з одного боку, до ослаблення імунітету, з іншого – до підвищення агресивності патогенів і природних носіїв інфекцій. Отже, зростає ймовірність інфекційних захворювань, у тому числі тих, які мають характер епідемій, зокрема грипу, холери, дизентерії.

Іншим фактором є *рівень ультрафіолетового випромінювання*, що протягом майже усієї еволюції біосфери визначав частоту мутацій. У невеликих дозах ультрафіолет необхідний для еволюції: мутації створюють генетичну різноманітність популяцій і тим самим поставляють матеріал для природного добору. Невеликі дози ультрафіолету корисні й для людини, що пов'язано передусім з антисептичною і бактеріостатичною дією. У великих дозах ультрафіолетове опромінення небезпечне – воно спричинює здебільшого шкідливі мутації. Надмірне опромінення підвищує ймовірність розвитку злоякісних утворень – раку, саркоми, лейкозу. Від згубного впливу ультрафіолету живу речовину захищає тонкий озоновий екран у верхніх шарах атмосфери, існування якого нині під загрозою. Тому ультрафіолетове випромінювання все частіше розглядають як фактор, ступінь небезпеки якого залежить від людини.

З кліматичних факторів на людину найбільшою мірою впливають температура, відносна вологість повітря і атмосферний тиск. З ними тісно пов'язані функціональний стан і захисні реакції організму, а також мотивація поведінки. Це, у свою чергу, визначає ймовірність виникнення цілої низки захворювань, зокрема психічних розладів. За надмірно високої температури повітря пригнічується фізична активність людей, збільшується ймовірність захворювань серцево-судинної системи. Низька температура сприяє розвитку запалень органів дихання і ревматизму, виживанню та поширенню вірусу грипу. Особливо небезпечні раптові ко-

ливання температури, адже вони спричиняють порушення діяльності серцево-судинної системи, психічні розлади. Вплив температури значно посилюється в умовах підвищеної вологості.

Зміни *атмосферного тиску* позначаються передусім на стані здоров'я людей, хворих на артрити і артрози. Одним з проявів впливу атмосферного тиску є гірська хвороба. На висоті, починаючи приблизно з 3000 м, через зниження парціального тиску газів, гемоглобін крові недостатньо насичується киснем, і розвивається гіпоксія (киснєве голодування). При цьому з'являються задишка, кволість, пришвидшується серцебиття, іноді людина непритомніє. На більших висотах (понад 5000 м) може розвинути набряк легенів, а внаслідок гіпоксії мозку – навіть кома. Значні й швидкі перепади атмосферного тиску можуть спричинити кесонну хворобу, пов'язану також з раптовими змінами парціального тиску газів у крові й «кипінням» у судинах азоту. Пухирці азоту, що при цьому виділяються, можуть закупорити капіляри та призвести до непритомності й навіть смерті. Кесонна хвороба найчастіше розвивається у аквалангістів і водолазів, якщо вони порушують правила підйому на поверхню.

На нервову систему людини та її психічний стан істотно впливають *вітри*. Через поривчасті суховії частішають випадки ненормальної поведінки людей. Багатьох людей уражає так звана «фенна» хвороба, коли за 1-2 дні до початку вітрів у крові й тканинах збільшується вміст біологічно активної речовини серотоніну, який впливає на передавання нервових імпульсів. Нині людина сама почала відчутно впливати на клімат і погоду. Внаслідок викидів у атмосферу великої кількості вуглекислого газу збільшується діапазон коливань температури і тиску. Клімат і погода псується людиною, і це прямо позначається на її самопочутті.

Хімічні фактори. На здоров'ї конкретних популяцій значною мірою впливають нестача або надлишок у довкіллі тих чи інших хімічних елементів. Захворювання, пов'язані з регіональними епідеміологічними особливостями, дістали назву *ендемичних* хвороб (тобто властивих певним регіонам). Наприклад, дефіцит у воді або продуктах харчування йоду спричинює захворювання щитоподібної залози, нестача кальцію – ламкість кісток, нестача кобальту чи заліза – анемія. Надлишок такого елемента, як бор, спричинює захворювання органів травлення та пневмонію. Через нестачу фтору зазвичай виникає карієс, але його надлишок (до 1 г/л) призводить до ураження зубів – флюорозу; за ще більших концентрацій (від 5 г/л) починається скостеніння зв'язок, порушується робота печінки, шлунку.

У багатьох випадках кілька факторів, кожний з яких перебуває у зоні песимуму, впливають комплексно. Зокрема, низький вміст кальцію у поєднанні з над-

лишком заліза, стронцію, свинцю, цинку спричинює деформацію кісток, порушення формування хрящів, викривлення хребта. Найчастіше погіршення стану здоров'я внаслідок нестачі або надлишку певних речовин у воді та їжі пов'язують з дефіцитом кальцію, заліза, йоду чи надлишком цинку, свинцю, ртуті, бору. Нестача мікроелементів, які входять до складу вітамінів, є причиною авітамінозів.

7.3.2 Вплив біотичних екологічних факторів на здоров'я людини

До найважливіших біотичних факторів, які впливають на здоров'я людини, належать ті, що визначають санітарно-епідеміологічну ситуацію. Збудники багатьох хвороб зберігаються у довкіллі через їхній розвиток усередині тварин-господарів. Наприклад, збудник туляремії (гостре інфекційне захворювання) може нескінченно довго передаватися від покоління до покоління у популяціях норки і за сприятливих умов заражати людину. Природні осередки інфекцій пов'язані з певними біогеоценозами, у яких збудники, переносники і тварини-хазяї еволюціонують разом, пристосовуючись одне до одного. При цьому збудник зазвичай не знищує хазяїна. Саме такий характер мають природні осередки чуми, туляремії, жовтої гарячки, малярії, вірусного гепатиту, кліщового енцефаліту. Переносниками багатьох хвороб є комахи-кровососи – москіти, комарі, блохи, кліщі. Збудники деяких інфекційних захворювань (наприклад, сказу, холери, лептоспірозу, бруцельозу) не мають переносників.

У природі хвороботворні організми відіграють дуже важливу роль обмежувачів надмірного розвитку популяцій. Тільки-но якась популяція починає зростати вибухоподібними темпами, на неї одразу ж накладаються численні хвороботворні віруси, бактерії, найпростіші, гриби. Людина ніколи не була винятком: у давніх і середньовічних містах епідемії відбувалися доволі часто. Наприклад, у VI ст. н.е. Північну Африку, Сирію, Європу і Малу Азію охопила так звана «чорна смерть» – епідемія чуми, яка забрала життя близько 100 млн чоловік (більш як третину тогочасного населення планети). Друга велика епідемія чуми пронеслася над Європою у XIV ст. і знищила близько 25 млн людей, тобто майже половину населення Європи, а на острові Кіпр не лишилося жодної живої людини.

Головними факторами, що сприяли виникнення епідемій, були висока щільність населення (передусім у містах), а також катастрофічний санітарний стан. Чума, природними носіями якої є гризуни, а переносниками – блохи, передавалася людині через «свійських» щурів. Серед людей хвороба поширювалася вже не тільки блохами, а й повітряно-крапельним шляхом або під час безпосереднього контакту. У ті часи чума мала майже 100% смертельний кінець. Коли щільність

людської популяції зменшувалася, епідемія вщухала, і відновлювалася відносна рівновага.

У XVII-XIX ст., завдяки розвитку гігієни і медицини, ймовірність виникнення епідемій знизилася. Проте щільність людських популяцій, особливо у великих містах, не тільки не зменшилася, а навпаки, зросла. Через це й досі час від часу трапляються спалахи туляремії, холери, гепатиту; повністю не ліквідовані осередки малярії, енцефаліту, поширюються венеричні захворювання, з'являються нові захворювання, наприклад, СНІД. Інший аспект непрямого впливу на людину біотичних факторів пов'язаний із продуктами харчування, про що вже було сказано вище.

7.3.3 Вплив антропогенних факторів на людину

Як це не парадоксально, негативний вплив людини на своє власне здоров'я величезний. Вражає різноманітність засобів, якими людина руйнує своє здоров'я і генофонд, – це отрутохімікати і побутова хімія, важкі метали і пластмаси, наркотики і тютюн, шум та електромагнітні поля, радіація і кислотні дощі, біологічна і хімічна зброя, промислові відходи, нафта і багато іншого. Людина дослідила вплив на саму себе лише декількох груп створених нею факторів і тільки умовно виокремила кілька їхніх категорій, які вважає провідними. До них належать *хімічні* фактори – пестициди, мінеральні добрива, важкі метали, сильнодіючі отруйні промислові речовини, дими (у т. ч. тютюновий), будівельні матеріали і побутова хімія; а також *фізичні* фактори – шум, електромагнітне випромінювання і радіація.

Багато шкідливих речовин не розкладаються протягом тривалого часу і накопичуються у ланцюгах живлення. Деякі речовини довго не виводяться з організму, акумулюючись у тканинах і органах; через це їхній негативний вплив на організм людини постійно зростає (так званий кумулятивний ефект). За деякими даними, промисловість нині виробляє більше ніж 11 тис хімікатів, з яких близько 3 тис становлять серйозну загрозу не лише для здоров'я людини, але й для самого життя.

Основним методом контролю за ступенем чистоти навколишнього середовища є оцінка вмісту в ньому певних шкідливих речовин відносно гранично допустимих концентрацій і доз цих речовин як у біотопі, так і на певних рівнях трофічних ланцюгів. Розробку цих ГДК і ГДД здійснюють спеціалізовані науково-дослідні організації. Зазвичай ГДК відображують критичний діапазон якогось фактора, за межами якого людина із зони оптимуму потрапляє у зону песимуму. Пе-

ревищення ГДК і ГДД завжди супроводжуються погіршенням популяційного здоров'я населення.

Багато з використовуваних нині пестицидів мають комбіновану дію, наприклад, інсектицид ДДТ знищує і комах, і нематод, і гризунів. Ці отрутохімікати легкі, здатні проникати крізь шкіру, накопичуватися, розкладатися і виводитися з організму. Промисловість виробляє декілька основних груп отрутохімікатів, кожна з яких характеризується специфічною дією на людський організм.

Перша група – *хлорорганічні сполуки (ХОС)*. Найвідомішим пестицидом цієї групи є інсектицид ДДТ (дихлородифенілтрихлорометилметан). Інсектицидні властивості ДДТ відкрив швейцарський хімік Пауль Герман Мюллер (1899-1965) – лауреат Нобелівської премії з фізіології і медицини у 1948 р. «за відкриття високої ефективності ДДТ як контактної отрути». З 1943 р. розпочалося масове виробництво ДДТ, одна мільйонна частка грама якого миттєво паралізувала комаху. До середини 1960-х років у світі вже було вироблено і розпилено на полях близько 1,5 млн т цього препарату. Застосування ДДТ різко підвищило сільськогосподарське виробництво і дало змогу здійснити «зелену революцію» у країнах Латинської Америки та Південно-Східної Азії.

Однак вже у 1950-х роках з'явилися відомості про те, що деякі комахи втрачали чутливість до ДДТ, а також про загибель деяких видів комахоїдних птахів, бджіл і креветок, що призвело до зменшення ефективності опилення квіткових рослин. ДДТ у підвищених концентраціях стали виявляти у тканинах промислових риб, зокрема макрелі, споживання якої призводило до тяжких отруєнь людей. Підвищений вміст препарату виявляли у печінці пінгвінів і навіть у жіночому молоці. З'ясувалося, що ДДТ є хімічно стійкою сполукою з періодом природного напіврозпаду 49 років, що має здатність накопичуватися у ґрунті й воді, а звідти потрапляти у ланцюги живлення. На кожному наступному трофічному рівні концентрація ДДТ збільшувалася у десятки, сотні й навіть тисячі разів. Потрапляючи у таких дозах до останнього консумента трофічного ланцюга – людини, ДДТ концентрувався у тканинах і спричиняв захворювання нервової системи, серця, печінки.

Отже, ДДТ виявився токсичним довгоживучим пестицидом з вираженою кумулятивною дією. Через небезпечність для здоров'я людини цей пестицид було заборонено практично в усіх країнах світу, але й досі його вміст у тканинах людини десь удвічі перевищує ГДК. Близькими до ДДТ за своєю дією на живі організми є гексахлорциклогексан (ГХЦГ), гептахлор, хлорбензол, внаслідок чого ці ХОС майже повсюдно заборонені або ж їхнє застосування дуже обмежено. Гекса-

хлорциклогексан уперше отримав Майкл Фарадей у 1825 р. ГХЦГ й досі посідає друге місце після ДДТ за масштабами застосування і виробництва.

Друга група пестицидів – *фосфорорганічні сполуки (ФОС)*. Серед них є речовини отруйні (метафос, меркаптофос) і високотоксичні (фосфамід), застосування яких цілком заборонено; є сполуки середньої токсичності (хлорофос, карбофос), які поки що використовуються обмежено; є низько токсичні препарати (метилацетофос, авенін), які застосовуються доволі широко. Більшість ФОС, навіть низько токсичні, характеризуються кумулятивним ефектом і тому можуть становити небезпеку для здоров'я людини. Отруйна дія ФОС проявляється у пригніченні ферменту, який бере участь у процесі передавання нервових імпульсів. При цьому порушуються функції усіх внутрішніх органів. Отруєння супроводжується головним болем, запамороченням, кволістю. У тяжких випадках настає непритомність, уражаються нирки, печінка, серце, можливий летальний кінець. Порівняно з ХОС, фосфорорганічні сполуки діють набагато сильніше, але період їхнього напіврозпаду зазвичай менший – від кількох тижнів до кількох місяців.

Третя група – *ртутьорганічні сполуки (РОС)* – потужні фунгіциди і бактеріциди. Вони високотоксичні, легко проникають у мозок, характеризуються кумулятивним ефектом. РОС, передусім гранозан і меркуран, використовуються для передпосівного протруювання насіння. Тому найчастіше отруєння пов'язані з випадковим вживанням такої дезінфікованої сировини. Головною діючою речовиною є ртуть. Потрапляючи у кров, вона накопичується в різних органах, зв'язується з ферментами і порушує їхню роботу. У випадку отруєння з'являються металевий присмак у роті, кволість, головний біль. Високі дози ртуті призводять до тяжких порушень свідомості або навіть до смерті від гострої серцево-судинної недостатності.

Отруєння можуть спричиняти будь-які ртутювмісні сполуки. Ртуть сама по собі ні в організмі, ні у біотопах не дезактивується. Вона накопичується в ґрунтах чи водоймах і далі мігрує трофічними ланцюгами, поступово концентруючись, як ДДТ. З біологічного кругообігу ртуть вилучається лише шляхом виносу її у Світовий океан та поховання у донних осадових відкладах. Наприклад, у балтійській трісці вміст ртуті іноді сягає 800 мг на 1 кг маси. Тобто, з'ївши п'ять-шість таких рибин, людина отримує стільки ртуті, скільки міститься у медичному термометрі. Відомі численні випадки отруєння ртуттю навіть за концентрації її у довкіллі, нижчій від ГДК.

Пестициди наступної групи – *карбамати* – синтезовані на основі карбамінової кислоти та її похідних. Найпоширенішими вітчизняними препаратами є се-

вім, тіурам, цирам, цинеб, а зарубіжними – пропоксур, метоміл. Карбамати мають широкий спектр дії і тому можуть бути використані і як інсектициди, і як фунгіциди, і як бактерициди, і як гербіциди. Спільна їхня особливість полягає у відсутності кумулятивного ефекту, швидкому розпаді (протягом одного-кількох тижнів), низькій токсичності для людини і малій леткості. Завдяки цим властивостям карбамати є основною групою комерційних пестицидів, які застосовуються у розвинених країнах. Поки що єдиною негативною властивістю цих препаратів є їхня однакова токсичність для усіх комах, зокрема для бджіл. Останнім часом з'явилися дані про небезпечність карбаматів і для людини – доведено, що севім і деякі інші препарати спричиняють мутагенні ефекти.

Нітрофеноли – це фенольні сполуки, що добуваються з кам'яного вугілля і застосовуються як інсектициди, фунгіциди та гербіциди. Нітрофеноли впливають на будь-які клітини організму, тобто мають неспецифічну дію, порушуючи регуляцію процесів окисного фосфоритування. В результаті посилюється робота мітохондрій, значно активізуються процеси окиснення й дихання. Нітрофеноли токсичні для людини, мають канцерогенні властивості, тому в розвинених країнах їхнє виробництво і використання заборонено.

Специфічні гербіциди. До них належать так звані контактні гербіциди (атразин, симазин, паракват) і системні (2,4-Д, діурон). Ці препарати порушують фотосинтез у рослин і тому застосовуються для боротьби з бур'янами. Специфічні гербіциди нестійкі, не виявляють кумулятивного ефекту, проте деякі з них високотоксичні. На основі таких гербіцидів було розроблено дефоліант «оранж» (пестицид, що викликає усихання і опадання листя). «Оранж» застосовувався армією США під час війни у В'єтнамі для демаскування партизанів, і це спричинило численні захворювання і мутації не тільки у в'єтнамців, які потрапили під «оранжеву» пилюку, але й і у американських солдатів. Наслідки цієї хімічної війни досі даються взнаки як у В'єтнамі, так і у Сполучених Штатах. Діючою речовиною «оранжу» є специфічний гербіцид з групи діоксинів.

Найнебезпечнішими з усіх забруднювачів довкілля, що виробляються людиною, є *діоксини* – надзвичайно стійкі речовини з тривалим часом напіврозпаду. Вони активно нагромаджуються у довкіллі, переносяться повітряними потоками на великі відстані, становлячи загрозу для усього людства. Оскільки розчиняються жирами, то мають здатність до біоаккумуляції, тобто до накопичення в організмі. Діоксини, які називають «екологічним брудом», є побічними продуктами, які утворюються у процесах синтезу деяких гербіцидів, виробництва целюлози, електролізних процесах отримання нікелю і магнію, литті сталі й міді, переплавці ло-

му заліза, виробництва алюмінію, нафтопереробки, спалювання хлоровмісних сполук, автомобільного мастила і бензину, сміття.

Усі діоксини є високотоксичними, а «лідер» цієї групи – 2,3,7,8-тетрахлордибензо-р-діоксин – за токсичністю переважає такі отрути, як синильна кислота, стрихнін, кураре. Його ГДК становить усього 10^{-12} г (0,0000000000001 г) на кілограм речовини або літр рідини. Розрахункова смертельна доза діоксину для людини становить 70 мкг/кг маси тіла.

Ще однією групою пестицидів є *мідєвмісні фунгіциди*, зокрема бордоська рідина та мідний купорос. Мідєвмісні препарати накопичуються у ґрунті, частково – у винограді, і можуть потрапляти в організм людини. Мідь спричинює загальне отруєння, у разі якого з'являються металевий присмак у роті, слинотеча, блювання. За великих концентрацій посилюється розпад еритроцитів і виникають симптоми жовтяниці, ймовірним стає летальний кінець.

Отруєння пестицидами і продуктами їхньої трансформації належать до основних проявів зворотного впливу антропогенних факторів на людину. У сукупності гербіциди та інсектициди є сильними «наркотиками» для екосистем, адже вони модифікують функції життєво важливих ланок ланцюгів живлення – консументів і продуцентів. Тобто застосування цих речовин може відбуватися лише під наглядом кваліфікованих фахівців, подібно до того, як це заведено з лікарськими препаратами, що використовуються для лікування людей.

Крім пестицидів, до основних забруднювачів природного середовища належать також *мінеральні добрива*. Промисловість нині випускає кілька сотень найменувань азотних, фосфатних, калійних і комбінованих добрив. Щороку в ґрунт вносяться десятки мільйонів тон добрив. Рослини засвоюють лише близько 40% цієї маси, решта потрапляє у водойми і забруднює їх. Питна вода, забруднена мінеральними добривами (передусім азотними), стала звичайним явищем у багатьох регіонах світу. Крім того, через надмірні концентрації добрив у ґрунті вони також у надмірних кількостях нагромаджуються у рослинах і потрапляють до людей.

Діючими речовинами багатьох азотних добрив є нітратні та нітритні сполуки, які становлять реальну загрозу здоров'ю і життю людини. Нітрати взаємодіють з гемоглобіном, переводячи його у форму, не здатну зв'язувати кисень. Летальна доза нітратів для людини – близько 2,5 г. Гостре отруєння, що супроводжується нудотою, проносом, синюшністю шкіри, болем у грудях, настає за концентрації нітратів близько 1 г на 1 л питної води або на 1 кг їжі. Легке отруєння, що проявляється у загальній депресії, настає за концентрації від 300 мг/л у дорослих і від 100 мг/л – у дітей.

Третє місце після отруєнь пестицидами і нітратами посідають *важкі метали* – ртуть, свинець, цинк, манган, хром, нікель, які використовуються людиною з давніх часів. Наприклад, у 1953 р. ртуттю отруїлися більше 200 жителів японського містечка Мінамата, 52 з яких померли. Як з'ясувалося, причиною масового отруєння стало споживання крабів, у тканинах яких містилося багато ртуті. В крабах вона накопичувалася в результаті скидання у затоку забруднених стоків хімічного заводу, на якому хлорна ртуть застосовувалася як каталізатор. При цьому концентрація ртуті у нирках померлих людей була у 6 разів вищою, ніж в організмах крабів. Таким чином було виявлено кумулятивні властивості важких металів.

Також у XX ст. було відкрито хвороби, спричинені отруєнням свинцем (так званий сатурнізм). У хворих на сатурнізм з'являються кволість, апатія, порушується пам'ять, відбувається прогресуюча фізична і розумова деградація. Непрямі відомості про це захворювання сягають часів, коли із свинцю виготовляли водопровідні труби. Такий водопровід діяв, наприклад, у Давньому Римі, коли тривалість життя римських патриціїв не перевищувала 25 років.

І хоч нині майже ніде у світі немає свинцевих водопроводів, кількість випадків захворювань на сатурнізм зростає. Адже свинець викидається в атмосферу під час згоряння бензину в автомобільних двигунах. У стометровій смузі навколо шосе вміст свинцю становить 100-150 мкг на 1 кг ґрунту, у той час як нормальним вважається його середній вміст у літосфері до 10 мкг/кг. Свинець потрапляє у довкілля під час видобування свинцевих руд. В Україні, наприклад, велика кількість свинцю забруднила ґрунти і водойми, а потім надійшла у ланцюги живлення під час ліквідації аварії на Чорнобильській АЕС. Сучасне забруднення біосфери свинцем підтверджує такий факт: уміст свинцю в кістках первісної людини становив лише 2 мг, тоді як у сучасної людини – 100-200 мг. Саме свинець, що надходить у повітря у вигляді аерозолі, є причиною виникнення протоплазматичної отрути, яка денатурує білки, що у свою чергу викликає порушення ферментативної активності. Він же знижує кількість гемоглобіну та руйнує еритроцити.

Інші важкі метали, подібно до ртуті й свинцю, також виявляють загальну токсичну дію і уражають насамперед нервову систему. Всі вони здатні накопичуватися в організмі людини, характеризуються пролонгованою дією і вилучаються з кругообігу тільки після їхнього вимивання у Світовий океан та поховання у його донних відкладах.

Повсюдними супутниками людини нині стали *сильнодіючі отруйні речовини (СДОР)* та *дими*. До отруєнь ними призводять пожежі, пошкодження звалищ, вибухи, аварійні викиди підприємств, катастрофи на морському і залізничному

транспорті. За даними Всесвітнього центру лікування у разі отруєнь, найчастіше трапляються отруєння хлором, аміаком, випарами різних кислот, сірководнем, сумішшю вуглеводнів і меркаптанів. Унаслідок отруєння хлором розвиваються астматичний бронхіт, токсичний набряк легенів, а за його великих концентрацій – хімічний опік легень, спазм голосових зв'язок і навіть смерть. Отруєння аміаком спричинює ларингіт, трахеїт, трахеобронхіт. Легкі отруєння парами кислот (сірчаної, хлорної, азотної, оцтової) призводять до ураження дихальних шляхів, викликають опіки шкіри та сприяють розвиткові її хвороб; за високих концентрацій імовірний летальний кінець.

Отруєння кислотами можуть спричинятися смогами. Наприклад, NO_3 , що потрапляє в атмосферу з димогазовими промисловими викидами, взаємодіючи з водяною парою, вуглекислим газом і киснем, утворює азотну кислоту, альдегіди, специфічні нітратні сполуки, які осідають на землю у вигляді смогу. Всесвітньо-відомі лондонські смоги, які утворювалися взимку внаслідок спалювання вугілля з високим вмістом сірки. Сірчистий газ після взаємодії з водяною парою осідав разом з пиловими частинками на місто, утворюючи сірий туман. Наслідком були численні випадки хронічних захворювань дихальних шляхів. Нині Лондон позбувся цієї примітної ознаки. Промислові смоги можна часто спостерігати над індустріальними центрами України – Дніпродзержинськом, Кривим Рогом, Маріуполем.

Небезпечним джерелом СДОР є вихлопи автомобільних двигунів. Набір отруйних речовин у них дуже різноманітний: чадний газ, тетраетилсвинець, оксиди азоту і сірки, альдегіди, бензопірен тощо – загалом майже 200 найменувань. Систематичний вплив вихлопних газів на людину підвищує частоту захворювань на бронхіт, гострі респіраторні інфекції, пневмонію, рак. Зокрема, у Японії близько 12% усіх хвороб пов'язані з впливом автомобілів.

Непередбачувані наслідки може мати також необґрунтована інтродукція людиною нових видів. Наприклад, 1956 р. у Бразилію з метою селекції нових перспективних гібридів було завезено диких африканських бджіл, набагато агресивніших за європейських. Випадково декілька бджолиних сімей потрапили у природу. Африканські бджоли почали швидко розселятися, винищуючи місцевих бджіл або схрещуючись з ними. Від їхніх нападів у Латинській Америці загинуло кілька сотень людей; бджоли знищили десятки тисяч свійських тварин. Гібридні бджоли вже почали «освоювати» територію Північної Америки. За даними Національного музею природної історії США, станом на 2000 рік жертвами «бджіл-вбивць» стала понад тисяча людей.

Джерелом постійного шкідливого впливу на здоров'я людини також є *будівельні матеріали і побутова хімія*. Будівельні матеріали, лаки, фарби, органічні розчинники, синтетичні миючі засоби, дезодоранти, зволожувачі повітря, аерозолі, численні полімери – усе це підвищує рівень захворюваності людських популяцій. Серед речовин, які виділяються будівельними матеріалами, найбільшу загрозу становлять формальдегід і азбестові мікрочастинки. Формальдегід потрапляє у повітря переважно з деревостружкових і деревоволокнистих плит, які широко використовуються у виробництві меблів та оформленні приміщень. ГДК формальдегіду в повітрі становить 0,1-0,12 мг/м³. Проте концентрація його у повітрі сучасних квартир у середньому становить близько 0,5 мг/м³, а в окремих випадках досягає 3 мг/м³. Формальдегід викликає кон'юнктивіти, запалення шкіри, захворювання органів дихання, має певні канцерогенні властивості. Азбест застосовується як ізоляційний і протипожежний матеріал, що входить до складу азбоцементних труб. У вигляді мікрочастинок (діаметром близько 5 мкм) він потрапляє у повітря, а далі – у легені, спричинюючи цілий «букет» захворювань, у т. ч. онкологічних.

Різноманітні органічні розчинники, лаки й фарби, дезодоранти і аерозолі, зволожувачі повітря мають слабкі й середні канцерогенні властивості, здатні викликати алергічні реакції, подразнення слизових оболонок, захворювання дихальних шляхів, печінки і нирок, нервові розлади. Навіть з хлорованої гарячої води у невеликих кількостях виділяється канцероген хлороформ. Тому дедалі популярнішими стають будівельні матеріали і побутові речовини, виготовлені з природної сировини.

Шумове забруднення. Про шкідливий вплив шуму на здоров'я людини було відомо давно. Ще у XVI ст. німецький лікар Теофраст Парацельс⁵³ вважав, що саме шум спричинює глухоту і головний біль у шахтарів, мірошників і карбувальників. Досвід ведення будь-яких військових дій доводить, що бойові крики чи барабанний бій пригнічують противника, а сирени штурмовиків і бомбардувальників викликають у нього жах. Пояснення цьому просте: гучні звуки збуджують людину, сприяють надходженню в кров великої кількості гормонів, зокрема адреналіну, внаслідок чого виникає відчуття небезпеки, страху. Нині рівень шуму у великих містах проти XIX ст. зріс у десятки, сотні й навіть тисячі разів. Джерелами шуму є усі види транспорту, промислові об'єкти, гучномовні пристрої, ліфти, телевізори і радіоприймачі, музичні інструменти, скупчення людей тощо.

⁵³ *Парацельс*, справжнє ім'я Філіп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгайм (1493-1541) – лікар епохи Відродження. Його псевдонім означає «той, хто наблизився до Цельса, видатного римського філософа та лікаря I ст.».

Радіація. Протягом усієї своєї історії людина, як і біосфера в цілому, зазнавала впливу радіоактивного випромінювання, що надходило з Космосу та від радіоактивних ізотопів, розсіяних у літосфері, гідросфері й атмосфері. Це випромінювання становило природний радіаційний фон (ПРФ). Таке опромінення сприяло еволюційному процесу, адже забезпечувало стійкий незначний фон мутацій, що, у свою чергу, збільшувало генетичну різноманітність популяцій і давало матеріал для природного добору. Проте із середини ХХ ст. людина почала інтенсивно освоювати атомну енергію. З'явилися атомна зброя, атомні електростанції, дослідні й лікувальні радіоактивні препарати і пристрої. В результаті випробувань і застосування ядерної зброї, аварій на АЕС (тільки на момент аварії на Чорнобильській атомній станції у світі їх уже сталося більш як 200), порушень гігієнічних вимог поводження з радіоактивними речовинами, дози опромінення на планеті та її окремих регіонах почали стрімко зростати.

Серед радіоактивних елементів найактивнішу участь у процесах метаболізму беруть стронцій-90 (^{90}Sr), цезій-137 (^{137}Cs), йод-131 (^{131}I). Їм притаманні кумулятивні властивості й здатність накопичуватися у трофічних ланцюгах. У організмі людини радіоактивний йод концентрується у щитоподібній залозі, цезій – у печінці, стронцій – у кістках. Йод-131 спричинює сильне, але короткочасне опромінення (він має короткий період напіврозпаду і доволі швидко виводиться з організму). Стронцій і цезій, період напіврозпаду яких становить тисячі років, викликають опромінення протягом усього життя людини.

Іонізуюче випромінювання має високу біологічну активність, негативно впливає на живу речовину біосфери, а у великих дозах призводить до смерті. Дія іонізуючого опромінення може мати різні прояви: по-перше, воно уражає носіїв спадковості – молекули ДНК, спричинюючи хромосомні й генні мутації, наслідки яких проявляються одразу або через кілька поколінь; по-друге, воно здатне уражати клітини і тканини та викликати соматичні порушення – опіки, катаракти, зниження імунітету, розвиток злоякісних пухлин різних органів.

Нині вже доведено, що не буває нешкідливих доз радіації: ймовірність захворювань зростає прямо пропорційно поглинутій дозі опромінення. Радіація за своєю природою шкідлива для життя. Малі дози опромінення можуть спровокувати ще не до кінця вивчені зміни у клітинах живого організму, які призводять до раку чи генетичних ушкоджень. За великих доз радіація може руйнувати клітини, пошкоджувати тканини органів та спричиняти швидку загибель організму.

Ушкодження, викликані великими дозами опромінення, проявляються протягом кількох годин або днів. Ракові ж захворювання проявляються через багато

років після опромінення, зазвичай не раніше, ніж через одне-два десятиліття. А природжена вада та інші спадкові хвороби, викликані ушкодженням генетичного апарату, проявляються лише у наступному поколіннях. Людина, що підпала під дію радіації, не обов'язково має захворіти на рак або стати носієм спадкових хвороб; проте вірогідність або ризик таких наслідків у неї більші, ніж у людини, яка опромінення не отримувала. І ризик цей тим більший, чим вища доза опромінення. Якщо доза опромінення велика, людина може загинути.

У деяких випадках дуже великі дози опромінення – близько 100 Гр⁵⁴ – викликають настільки серйозні ураження центральної нервової системи (ЦНС), що загибель настає протягом кількох годин або днів. За доз опромінення від 10 до 50 Гр, коли під дією радіації перебуває вся ЦНС, ураження може бути не настільки серйозним, щоб людина одразу померла; найвірогідніше вона помре через 1-2 тижні від крововиливу у шлунково-кишковий тракт. За менших доз може й не бути серйозних ушкоджень шлунково-кишкового тракту, оскільки організм з ними справляється, але смерть може настати через 1-2 місяці після опромінення через руйнування клітин червоного кісткового мозку – головного компонента кровотвірної системи організму. Від дози у 3-5 Гр при опроміненні всього тіла помирає приблизно половина усіх постраждалих. Отже, великі дози опромінення відрізняються від малих лише тим, що смерть у першому випадку настає раніше, а у другому – пізніше. Найчастіше людина помирає внаслідок одночасної дії всіх вказаних наслідків опромінення.

Небезпечними джерелами надходження радіонуклідів у організм людини можуть бути вода, молоко, овочі, фрукти, м'ясо, риба. На зменшення небезпеки радіації значно впливає період напіврозпаду радіоактивних речовин. Майже всі країни, які використовують атомну енергію, використовують норми і правила радіаційної безпеки, що базуються на рекомендаціях Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ). Їхньою метою є попередження несприятливих наслідків опромінення людей у процесі застосування, зберігання і транспортування радіоактивних речовин і джерел іонізуючого опромінення.

Отже, екологія людини як міждисциплінарна наука, що досліджує взаємовпливи природи і людської популяції з метою поліпшення стану здоров'я, підвищення соціально-трудового потенціалу людини, зародилася майже одночасно з класичною біоекологією. Однак інтерес людини до того, що відбувається у навко-

⁵⁴ Грей (Гр) – одиниця вимірювання поглинутої дози іонізуючого випромінювання у системі СІ. Один грей дорівнює дозі випромінювання, за якої опроміненій речовині масою один кілограм передається енергія один джоуль будь-якого іонізуючого випромінювання.

лишньому світі і як це впливає на її здоров'я, виявився значно раніше – тоді, коли вона сформувалася як мисляча істота. З часом знання про взаємозв'язки у природі, вплив зовнішніх чинників на самопочуття, здоров'я і розвиток людства були систематизовані, осмислені, збагачені результатами різноманітних експериментів та синтезовані у науковий напрям, який поєднує набутки природничих (астрономія, геологія, географія, фізика, хімія, біологія, медицина), соціальних, філософських і економічних галузей наукової діяльності.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте основні події, пов'язані зі становленням соціальної екології та екології людини як науки.
2. Чому, на вашу думку, серед вчених не існує єдиного погляду на місце екології людини серед інших розділів сучасної екології?
3. Розкрийте основні функції і головні завдання екології людини.
4. Охарактеризуйте поняття «соціоекосистема» і «антропоекосистема», об'єкт і предмет дослідження екології людини.
5. Проаналізуйте зміни основних компонентів навколишнього середовища та їхній вплив на здоров'я людини.
6. До яких головних аспектів можна звести вплив забруднення атмосфери і водного середовища на стан здоров'я людських популяцій?
7. Охарактеризуйте фактори негативного впливу на ґрунтово-рослинний покрив, що відображаються на здоров'ї людини.
8. Розкрийте основні прояви небезпеки для людини під час споживання нею товарів народного споживання, продуктів харчування і питної води.
9. Охарактеризуйте випадкові й не випадкові екологозалежні захворювання людей.
10. Проаналізуйте вплив абіотичних екологічних факторів на здоров'я людини.
11. Які з найважливіших біотичних екологічних факторів значно впливають на здоров'я людини?
12. У чому, на вашу думку, полягає парадокс величезного негативного впливу людини на своє власне здоров'я?
13. Назвіть і охарактеризуйте основні хімічні й фізичні антропогенні фактори, що спричиняють погіршення людського здоров'я.

ПІСЛЯМОВА

Сучасна екологія – одна з найбільш актуальних і життєво необхідних наук нарівні з фізикою, хімією, біологією, географією та іншими науками. Нині традиційна екологія Геккеля поступилася місцем міждисциплінарному науковому напрямку, що охоплює та об'єднує навколо себе більшість наук, покликаних вирішувати проблеми виживання людства на межі глобальної екологічної катастрофи. Екологічна ж наука у тому розумінні, яке вона мала у період її становлення і тривалого розвитку, також має розвиватися у майбутньому.

Самостійна наука екологія давно вийшла за межі геккелевської біоекології, адже сучасні знання об'єднують здобутки цілої сукупності наукових дисциплін. Понятійно-термінологічний апарат об'єднує поняття і терміни багатьох наук. З огляду на політичне і міждержавне забарвлення сучасних екологічних проблем, пропонуються нові поняття, такі як «екологічний світогляд», «екологічна свідомість», «екологічна політика», «екологічна культура», «екологічна безпека» тощо. Це свідчить про те, що людство поступово переходить до екологічного етапу загальносвітової культури.

Сучасній екології притаманний широкий системний міжгалузевий підхід до розв'язання проблем, створених людиною, які можуть призвести до катастрофи. Як висловлювався Б. Коммонер, *«...якщо ми хочемо вижити, ми маємо зрозуміти причину катастрофи, що наближається»*. Тому відбувається тотальна екологізація будь-яких знань і будь-яких сфер людської діяльності. Виникло багато наукових дисциплін, що визначають структуру сучасної екології, наприклад, хімічна екологія, історична екологія, промислова екологія, цикл еколого-економічних наук тощо. Саме останній напрям розвиватиметься бурхливо, адже екологія і економіка тісно взаємопов'язані й взаємообумовлені.

І все ж таки інтегровані екологічні знання у своїй основі мають спиратися на знання традиційної (геккелевської) екології. Саме тому в запропонованому підручнику викладені основи традиційної екології, які дають можливість майбутнім фахівцям будь-якої галузі мати необхідні фундаментальні екологічні знання. Екологічна криза змусила визнати нову екологічну парадигму – екологічну і водночас культурну систему цінностей, понять і сприймань, що формує нове бачення реальності, ґрунтоване на гармонізації взаємин Людини, Суспільства і Природи. Екологічна парадигма дала, у свою чергу, поштовх процесові формування сучасної філософії життя – ноосферогенезу, тобто розумному, цілковито взаємоприйнятному співіснуванню людини і природи.

ВИКОРИСТАНІ Й РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Акимов Т.А. Экология: учебник / Т.А. Акимов, В.В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ, 2002. – 566 с.
2. Алексеев С.В. Экология человека: учебник / С.В. Алексеев, Ю.П. Пивоваров. – М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2001. – 640 с.
3. Бачинський Г.О. Основи соціоекології: навч. пос. / Г.О. Бачинський, Н.В. Беренда, В.Д. Бондаренко. – К.: Вища школа, 1995. – 238 с.
4. Білявський Г.О. Основи екологічних знань: підручник / Г.О. Білявський, Р.С. Фурдуй. – К.: Либідь, 1997. – 297 с.
5. Боков В.А. Основы экологической безопасности: уч. пос. / В.А. Боков, А.В. Лущик. – Симферополь: Сонат, 1998. – 224 с.
6. Бровдій В.Н. Екологічні проблеми України (проблеми неогеніки) / В.Н. Бровдій, О.О. Гац. – К.: НПУ ім. М. Драгоманова, 2000. – 111 с.
7. Будыко М.И. Глобальная экология / М.И. Будыко. – М.: Мысль, 1977. – 327 с.
8. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1967. – 376 с.
9. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1989. – 258 с.
10. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1991. – 271 с.
11. Вернадський В.І. Декілька слів про ноосферу / В.І. Вернадський // Хроніка-2000. Український культурологічний альманах. – Випуск 57-58. – К., 2004. – С. 485-495.
12. Вороновский Г.К. Экологические аспекты энергетики / Г.К. Вороновский. – Харьков, 2003. – 242с.
13. Гавриленко О.П. Основи екології та безпека життєдіяльності: навч. пос. / О.П. Гавриленко. – К.: Ніка-Центр, 2004. – 456 с.
14. Гавриленко О.П. Екогеографія України: навч. пос. / О.П. Гавриленко. – К.: Знання, 2008. – 646 с.
15. Голубець М.А. Плівка життя / М.А. Голубець. – Львів: Поллі, 1997. – 186 с.
16. Голубець М.А. Экосистемология / М.А. Голубець. – Львів: Поллі, 2000. – 315 с.
17. Гумбольдт А. Картины природы / А. фон Гумбольдт [пер. с нем. Т.И. Коншиной под ред. С.В. Обручева]. – М.: Географиз, 1959. – 270 с.
18. Данилишин Б.М. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України / Б.М. Данилишин, С.І. Дорогунцов, В.С. Міщенко [та ін.]. – К.: НІЧЛАВА, 1999. – 716 с.
19. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь / И.И. Дедю. – Кишинев, 1990. – 406 с.

- 20.Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. пос. – 4-те вид., випр. і доп. / В.С. Джигирей. – К.: Знання, КОО, 2006. – 319 с.
- 21.Добровольський В.В. Екологічні знання: навч. пос. / В.В. Добровольський. – К.: ВД «Професіонал», 2005. – 304 с.
- 22.Залеський І.І. Екологія людини: підручник / І.І. Залеський, М.О. Клименко. – К.: ВЦ «Академія», 2005. – 287 с.
- 23.Злобін Ю.А. Основи екології: підручник / Ю.А. Злобін. – К.: Лібра ТОВ, 1998. – 249 с.
- 24.Казначеев В.П. Учение В.И. Вернадского о преобразовании биосферы и экология человека / В.П. Казначеев, Ф.Т. Яшина. – М.: Знание, 1986. – 48 с.
- 25.Казначеев В.П. Ноосферная экология и экономика человека / В.П. Казначеев, А.А. Кисельников, И.Ф. Мингазов. – Новосибирск, 2005. – 448 с.
- 26.Ковда В.А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1975. – 74 с.
- 27.Коммонер Б. Замыкающийся круг / Б. Коммонер. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 278 с.
- 28.Корабльова А.І. Екологія: взаємовідносини людини і середовища / А.І. Корабльова. – Донецьк: Поліграфіст, 1999. – 255 с.
- 29.Корсак К.В. Основи екології: навч. пос. / К.В. Корсак, О.В. Плахотнік. – К.: МАУП, 1998. – 228 с.
- 30.Крисаченко В.С. Людина і біосфера: основи екологічної антропології: підручник / В.С. Крисаченко. – К.: Заповіт, 1998. – 688 с.
- 31.Кучерявий В.П. Екологія: підручник / В.П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2000. – 499 с.
- 32.Левківський С.С. Рациональное використання і охорона водних ресурсів: підручник / С.С. Левківський, М.М. Падун. – К.: Либідь, 2006. – 280 с.
- 33.Мельник Л.Г. Екологічна економіка: підручник / Л.Г. Мельник. – Суми: Університетська книга, 2003. – 346 с.
- 34.Микитюк О.М. Екологія людини: підручник / О.М. Микитюк, О.З. Злотін, В.М. Бровдій. – [3-є вид., випр. і доп.] – Харків: «ОВС», 2004. – 254 с.
- 35.Мусієнко М.М. Екологія і охорона природи. Словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков. – К.: Знання, 2002. – 550 с.
- 36.Мусієнко М.М. Екологія: тлумачний словник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. – К.: Либідь, 2004. – 376 с.
- 37.Небел Б. Наука об окружающей среде: как устроен мир. В 2-х томах / Б. Небел – [пер. с англ.] – М: Мир, 1993. Т. 1 – 424 с. – Т. 2 – 413 с.
- 38.Одум Ю. Экология. В 2-х томах / Ю. Одум. – [пер с англ.] – М.: Мир, 1986. Т. 1 – 328 с. – Т. 2 – 376 с.

- 39.Перхач О.Р. Формування антропоекології та екології людини: єдність і відмінність наукових напрямів / О.Р. Перхач // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2004. – Вип. 30. – С. 229-233.
- 40.Пономарева И.Н. Общая экология: уч. пос. / И.Н. Пономарева, В.П. Соломин, О.А. Корнилова. – М.: Мой учебник, 2005. – 462 с.
- 41.Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
- 42.Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы, гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
- 43.Скиннер Б. Хватит ли человечеству земных ресурсов? / Б. Скиннер. – М.: Мир, 1989. – 264 с.
- 44.Тейяр де Шарден П. Феномен человека / П.Т. Шарден. – [пер. с фр. Н.А. Садовский]. – Москва: Наука, 1987. – 240 с.
- 45.Тутковський П.А. Загальне землезнавство / П.А. Тутковський. – К.: Держвидав України, 1927. – 496 с.
- 46.Шаблій О.І. Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії / О.І. Шаблій. – Львів: ЛНУ, 2001. – 744 с.
47. IUCN Protected Areas Categories System / Електронний ресурс. – Режим доступу: http://www.iucn.org/about/work/programmes/gpap_home/gpap_quality/.
48. Українська вітроенергетична асоціація / Електронний ресурс. – Режим доступу: http://www.uwea.com.ua/world_wind_energy.php.

ГЛОСАРІЙ

Адаптація – пристосування організму на індивідуальному і популяційному рівнях до змін умов зовнішнього середовища, вироблене у процесі еволюції.

Альтернативні джерела енергії – поновлювані джерела, до яких належать енергія сонячного випромінювання, вітру, морів, річок, біомаси, теплоти Землі, а також вторинні енергетичні ресурси, що існують постійно або виникають періодично у довкіллі.

Аменсалізм – тип взаємозв'язку, коли один вид «безкорисливо» шкодить іншому, не маючи з цього безпосередньої вигоди і не відчуваючи протидії.

Антропоєкосистема – заселений простір, якому властиві однорідні для певного часу форми взаємодії людей з довкіллям; територіальна система, у межах якої однотипна (міська чи сільська) людська популяція взаємодіє з відносно однорідним навколишнім середовищем, а критерієм ефективності її функціонування є високий рівень здоров'я населення.

Атмосферне забруднення – надходження у повітря різних газів, частинок рідких або твердих речовин, парів, що перевищує нормальний фон концентрації речовин і негативно впливає на організми, погіршуючи їхні життєві умови; несприятливі зміни стану атмосферного повітря, цілком або частково викликані діяльністю людини, які безпосередньо чи опосередковано змінюють розподіл енергії, рівні радіації, фізико-хімічні властивості атмосфери і умови існування живих організмів.

Атмосферне повітря – життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, природна суміш газів за межами житлових, виробничих та інших приміщень.

Біоконсервація – система заходів, спрямованих на збереження генетичної і видової різноманітності шляхом збереження популяційних і видових генотипів окремих особин поза природними місцями проживання: у зоопарках, ботанічних садах, колекціях культур тощо.

Біомаса – сумарна жива вага організмів у екосистемі, або кількість живої органічної речовини в екосистемі, накопиченої всією сукупністю рослинних, тваринних, грибних і бактеріальних організмів, виражена у одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму.

Біопродуктивність – швидкість виробництва біомаси на певній площі за одиницю часу.

Біорізноманіття – сукупність всіх живих організмів, їхньої мінливості та біологічних процесів. Рівні організації Б. включають гени, популяції, види, ареали мешкання, екосистеми, а також природні процеси, що їх підтримують.

Біота – всі види живих істот у сукупності.

Біотичний потенціал – генетично зумовлена здатність організмів, видів, популяцій, структурних чи функціональних блоків екосистем існувати у певному діапазоні екологічних умов та підтримувати структурно-функціональну організацію екосистеми, у складі якої вони знаходяться.

Біосфера – загальнопланетна оболонка, до складу якої належать нижні шари атмосфери, ціла гідросфера і верхні шари літосфери. Її склад і будова зумовлені сучасною і минулою діяльністю живої речовини.

Біосферні заповідники – природоохоронні, науково-дослідні установи міжнародного значення, що створюються з метою збереження у природному стані найбільш типових природних комплексів біосфери, здійснення фонових екологічного моніторингу, вивчення навколишнього природного середовища, його змін під впливом антропогенних факторів.

Відходи – будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їхній власник має позбутися шляхом утилізації або видалення.

Відходи небезпечні – відходи, що мають такі фізичні, хімічні, біологічні чи інші властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я людини і тому потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними.

Вид – певна категорія рослин, тварин і мікроорганізмів, здатних схрещуватися між собою.

Водокористування – використання вод (водних об'єктів) для задоволення потреб населення, промисловості, сільського господарства, транспорту та інших галузей господарства, включаючи право на забір води і скидання стічних вод.

Гомеостаз – здатність екосистем протистояти зовнішнім і внутрішнім змінам, зберігаючи при цьому динамічну рівновагу складу і властивостей.

Демографічний вибух – безмежний вибухоподібний темп зростання населення.

Демографічний перехід – послідовна зміна типів відтворення населення, що призводить до стабілізації його чисельності.

Демографічна політика – діяльність органів державного управління і соціальних інститутів, спрямована на створення сталих кількісних і якісних параметрів відтворення населення.

Детрит – мертві рослинні або тваринні рештки.

Детритофаги (сапрофаги) – організми, які спеціалізуються на харчуванні мертвою органічною речовиною – детритом – і при цьому виконують функцію очищення екосистеми.

Еврибіонти – організми з великою здатністю пристосовуватися до змін умов середовища, тобто до широкого варіювання значень екологічних факторів.

Екологічна безпека – комплекс станів, явищ і дій, що забезпечують екологічний баланс на Землі та в її окремих регіонах на рівні, до якого фізично, соціально-економічно, технологічно і політично готове людство.

Екологічна валентність – здатність організмів пристосовуватися до змін умов середовища, або межі витривалості між критичними точками у різних діапазонах дії екологічних факторів.

Екологічна експертиза – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, експертних формувань і об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати на стан навколишнього середовища. Е. е. спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Екологічна небезпека – імовірність розвитку негативних чинників або явищ, які спричиняють незворотну деградацію природних систем, у т. ч. в системі «населення – навколишнє середовище».

Екологічна проблема – який-небудь невивчений або слабо вивчений аспект взаємодії людини і природи, що потребує подальшого дослідження і вирішення.

Екологічна ситуація – сукупність станів екологічних об'єктів у межах певної території у певний проміжок часу.

Екологічна ситуація надзвичайна – ситуація, що виникає внаслідок раптових природних лих або техногенних аварій і супроводжується великими збитками.

Екологічний потенціал території – здатність природного середовища відновлювати певний рівень якості протягом досить довгого часу; сукупність речовинно-енергетичних ресурсів і властивостей екосистем, що забезпечують максимально можливі структурно-функціональні параметри і корисні функції, які можуть бути використані людиною.

Екологічні проблеми – протиріччя, які виникають в системі речовинних, енергетичних, інформаційних зв'язків суспільства з природним середовищем, вплив цих протиріч на людину та умови її життєдіяльності.

Екологічні фактори – усі складові (елементи) природного середовища, що впливають на існування та розвиток організмів, і на які живі істоти реагують реакціями пристосування.

Екологія – наука про закономірності формування, розвитку і функціонування біологічних систем різного рангу у їхніх зв'язках між собою та з умовами середовища;

міждисциплінарна область знань (синтез наук) про структуру і функціонування природних і суспільних систем у їхньому взаємозв'язку.

Екологія людини – комплексна наука, що вивчає взаємовідносини людини і навколишнього середовища з погляду сприяння збереженню здоров'я, а також розвитку фізичних і психічних можливостей людини.

Екосистема – сукупність різних видів рослин, тварин і мікроорганізмів, які взаємодіють між собою та довкіллям таким чином, що вся ця сукупність може зберігатися невизначено довгий час.

Енергетична безпека – стан готовності паливно-енергетичного комплексу країни щодо максимально надійного, технічно безпечного, екологічно прийнятного, економічно ефективного і обґрунтовано достатнього енергозабезпечення економіки і населення, а також щодо здійснення політики захисту національних інтересів у сфері енергетики без зовнішнього і внутрішнього тиску.

Енергозбереження – діяльність, спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної і перетвореної енергії, а також природних енергетичних ресурсів, яка реалізується з використанням технічних, економічних і правових методів.

Епідемія – масове розповсюдження інфекційної хвороби людей у часі й просторі, що перевищує звичайний рівень захворюваності на цій території, у 1,5 рази протягом 3-х днів.

Епізоотії – одночасне поширення інфекційної хвороби серед великої кількості одного чи багатьох видів тварин, що значно перевищує звичайний зареєстрований рівень захворюваності на певній території.

Епіфітотії – масове інфекційне захворювання рослин, що супроводжується чисельною загибеллю культур і зниженням їхньої продуктивності.

Еукаріоти – ядерні клітинні організми, які розмножуються статевим шляхом.

Забруднення водних ресурсів – внесення людиною прямо чи опосередковано речовин та енергії у водне середовище, що викликає збитки живим ресурсам, небезпеку для здоров'я людей, ускладнення морської діяльності, погіршення якості морської води та зменшення її корисних властивостей.

Забруднення ґрунтів – процес привнесення у ґрунт нових, нехарактерних для нього, фізичних, хімічних чи біологічних агентів, або перевищення за певний час середнього багаторічного природного рівня концентрації цих агентів.

Заповідання – вилучення певної території зі сфери господарської діяльності з метою підтримки екологічної рівноваги, збереження еталонів недоторканої природи, наукових досліджень для збереження і відтворення ландшафтів.

Знеліснення – повне знищення лісової рослинності та переведення земель у інший тип господарського використання.

Зона оптимуму – сила впливу фактору, в межах якої зростає життєздатність і чисельність організмів.

Катастрофа – раптове лихо чи велика подія, що тягне за собою тяжкі наслідки для людини, тваринного і рослинного світу, змінюючи умови середовища існування.

Клімат – характерний для конкретної території багаторічний режим погоди, зумовлений сонячною радіацією, її перетвореннями у діяльному шарі земної поверхні та пов'язаною з нею циркуляцією атмосфери і океанів.

Коменсалізм – тип взаємозв'язку організмів, коли один вид має суттєву вигоду, а для іншого зв'язок є нейтральним (однобічне сприяння).

Конкуренція – безкомпромісна боротьба видів за ресурси, коли «сили» видів близькі й обидва потерпають втрати.

Консументи – організми, які споживають готову органічну речовину інших організмів та продуктів їхньої життєдіяльності.

Копрофаги – спеціальна екологічна група детритофагів, які харчуються екскрементами.

Ландшафтне різноманіття – реально існуюча на земній поверхні множинність створених природою цілісних дискретно-континуальних структур – ландшафтних комплексів будь-якого розміру чи ієрархічного рангу.

Лімітуючий фактор – фактор, який за межами свого оптимуму призводить до стресового стану організму.

Ліс – сукупність землі, рослинності (у якій домінують дерева і чагарники), тварин, мікроорганізмів та інших природних компонентів, що у своєму розвитку впливають один на одного і на довколишнє середовище.

Лісові ресурси – сукупність матеріальних благ лісу, які можна використати без шкоди навколишньому середовищу з найбільшою господарською ефективністю.

Мортмаса – загальна кількість мертвої органічної речовини, накопиченої в екосистемі, виражена у одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму.

Мутуалізм – тип взаємокорисного впливу видів, або взаємний позитивний вплив.

Навколишнє природне середовище – частина географічної оболонки, яка оточує людину, і з якою безпосередньо пов'язані життя і виробнича діяльність суспільства.

Небезпека – явища, процеси, об'єкти, властивості, здатні за певних умов завдати шкоди здоров'ю чи життю людини прямо чи опосередковано.

Небезпечна ситуація – умови, за яких небезпека може реалізуватися у подію.

Нейтралізм – тип взаємовідносин, коли обидва види існують незалежно, не впливаючи істотно один на одного.

- Паразитизм** – взаємовідносини організмів, за яких один з «партнерів» (паразит) використовує іншого (хазяїна) як середовище проживання або джерело їжі.
- Парниковий ефект** – здатність атмосфери, що пропускає короткохвильове електромагнітне випромінювання від Сонця, затримувати тепловий потік від земної поверхні, повертаючи його до Землі у вигляді «зустрічного випромінювання».
- Пестициди** – токсичні речовини, їхні сполуки або суміші речовин хімічного чи біологічного походження, призначені для знищення, регуляції і припинення розвитку шкідливих організмів, внаслідок діяльності яких уражаються рослини, тварини, люди і завдається шкода матеріальним цінностям.
- Популяція** – сукупність особин одного виду з однаковим генофондом, яка живе на спільній території протягом багатьох поколінь.
- Природні ресурси** – компоненти природного середовища, що використовуються або можуть бути використані у процесі господарської чи іншої діяльності як джерела енергії, продукти виробництва і предмети споживання і мають споживчу цінність.
- Природно-ресурсний потенціал** – міра потенційної можливості будь-якої природної системи (або території) задовольняти різні потреби суспільства; сукупність природних ресурсів і природних умов, які знаходяться в певних географічних межах і забезпечують задоволення економічних, екологічних, соціальних, культурно-оздоровчих і естетичних потреб суспільства.
- Природні заповідники (резервати)** – території, повністю вилучені з будь-якого господарського використання та призначені для збереження інформації про незайману природу, наукових цілей, спостереження за загальним станом природного середовища планети (моніторингу) і підтримки екологічної рівноваги у особливо уразливих місцях, які мають важливе значення для збереження природи регіонів.
- Природні умови** – сукупність явищ, об'єктів і факторів природного середовища, які впливають на існування людського суспільства та можуть полегшувати або ускладнювати розвиток суспільного виробництва.
- Природокористування** – сфера виробничої і наукової діяльності, спрямованої на комплексне вивчення, освоєння, використання, відновлення, поліпшення і охорону природного середовища і природних ресурсів з метою розвитку продуктивних сил, забезпечення сприятливих умов життєдіяльності.
- Природокористування раціональне** – високоефективне господарювання, що не призводить до різких змін природно-ресурсного потенціалу та несприятливих змін у природному середовищі, які можуть нанести шкоди здоров'ю і самому життю людини.

- Продуценти (автотрофи)** – організми, які виробляють органічну речовину з неорганічних сполук.
- Прокаріоти** – без'ядерні одноклітинні організми, які розмножуються простим діленням в умовах безкисневого середовища.
- Редуценти (деструктори)** – організми, які перетворюють (розкладають) органічні рештки на неорганічні сполуки.
- Рекультивація земель** – відтворення продуктивності територій, порушених гірничою промисловістю, та їхнє повернення у різні види використання, що передбачає проведення комплексу інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, сільськогосподарських чи лісгосподарських робіт.
- Ресурсний цикл** – сукупність перетворень і просторових переміщень речовин, які відбуваються на всіх етапах використання природних ресурсів.
- Родовища корисних копалин** – нагромадження мінеральних речовин у надрах, на поверхні землі, в джерелах вод чи газів, на дні водойм, які за кількістю, якістю та умовами залягання придатні для промислового використання.
- Симбіоз** – форма співжиття організмів (симбіонтів) різних видів, яка забезпечує їм взаємовигідне співжиття.
- Соціоекосистема** – територіальна соціоприродна саморегульована система, динамічна рівновага якої має забезпечуватися людським суспільством.
- Стенобіонти** – організми з незначною здатністю пристосовуватися до змін умов середовища.
- Стічна вода** – вода, яка утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності, а також відведена із забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів.
- Структура екосистем** – складові частини екосистем та шляхи їхніх взаємодій, що забезпечує збереження єдиного цілого.
- Сукцесія** – послідовні зміни структури і функціонування екосистем або їхніх окремих блоків на одній і тій самій ділянці.
- Техногенні родовища корисних копалин** – відвали видобутку та відходи збагачення і переробки мінеральної сировини, які містять цінні корисні копалини і мають промислове значення.
- Техносфера** – глобальна сукупність знарядь, об'єктів, матеріальних процесів і продуктів суспільного виробництва, простір геосфер Землі, який зазнає впливу виробничої діяльності людини та є зайнятим її продуктами.
- Трофічні ланцюги (живлення)** – шляхи переносу енергії їжі від її джерела (напр., зеленої рослини) через ряд організмів на вищі трофічні рівні.
- Трофічний рівень** – сукупність всіх живих організмів, які належать до однієї ланки харчового ланцюга.
- Червона книга МСОП** – списки рідкісних і зникаючих видів рослин і тварин.

ДОДАТОК

Основні міжнародно-правові акти у сфері охорони довкілля за участі України

№ п/п	Назва міжнародно-правового акту	Дата прийняття	Дата набуття чинності	Дата ратифікації Україною
1.	Договір про Антарктику	01.12.1959	23.06.1961	17.09.1992
2.	Конвенція про захист працівників від іонізуючої радіації	22.06.1960	17.06.1962	05.08.1967
3.	Міжнародна конвенція про охорону нових сортів рослин	02.12.1961	10.08.1968	02.06.1995
4.	Віденська конвенція про цивільну відповідальність за ядерну шкоду	21.05.1963	12.11.1997	12.07.1996
5.	Міжнародна конвенція щодо втручання у відкритому морі у випадку аварій, які призводять до забруднення нафтою	29.11.1969	06.05.1975	17.12.1993
6.	Конвенція про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовища існування водоплавних птахів	02.02.1971	21.12.1975	29.10.1996
7.	Міжнародна конвенція про створення Міжнародного фонду для компенсації шкоди від забруднення нафтою	18.12.1971	16.10.1978	25.05.1980
8.	Конвенція про заборону розроблення, виробництва і накопичення запасів бактеріологічної (біологічної) і токсичної зброї і про їх знищення	10.04.1972	26.03.1975	26.03.1975
9.	Стокгольмська декларація (щодо питань навколишнього середовища)	16.06.1972		
10.	Конвенція про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини	16.11.1972	17.12.1975	04.10.1988
11.	Конвенція про попередження забруднення моря викидами відходів і інших матеріалів	29.12.1972	30.08.1975	17.12.1993
12.	Конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої флори і фауни, що перебувають під загрозою зникнення	03.03.1973	01.07.1975	30.12.1999
13.	Конвенція про заборону військового чи будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище	10.12.1976	05.10.1978	16.05.1978
14.	Конвенція про майбутнє багатостороннє співробітництво в галузі рибальства в північно-західній частині Атлантичного океану	24.10.1978	01.01.1979	06.07.1999
15.	Конвенція про збереження мігруючих видів диких тварин	23.06.1979	01.11.1983	19.03.1999
16.	Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі	19.09.1979	01.06.1982	29.10.1996
17.	Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	13.11.1979	16.03.1983	05.06.1980
18.	Конвенція про фізичний захист ядерного матеріалу	03.03.1980	08.02.1987	06.07.1993

№ п/п	Назва міжнародно-правового акту	Дата прийняття	Дата набуття чинності	Дата ратифікації Україною
19.	Конвенція про збереження живих морських ресурсів Антарктики	20.05.1980	07.02.1982	04.02.1994
20.	Всесвітня хартія природи	01.01.1982		
21.	Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права	10.12.1982	16.11.1994	03.06.1999
22.	Віденська конвенція про охорону озонowego шару	22.03.1985	22.09.1989	20.05.1986
23.	Протокол про скорочення викидів сірки або їх транскордонних потоків принаймні на 30 відсотків до Конвенції 1979р. про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	08.07.1985	02.09.1987	12.08.1986
24.	Конвенція про допомогу у випадку ядерної аварії чи радіаційної аварійної ситуації	26.09.1986	26.02.1987	26.01.1987
25.	Конвенція про оперативне сповіщення про ядерні аварії	26.09.1986	27.10.1986	30.12.1986
26.	Монреальський протокол про речовини, що руйнують озонний шар	16.09.1987	01.01.1989	20.09.1998
27.	Конвенція про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства	10.03.1988	01.03.1992	17.12.1993
28.	Протокол про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки стаціонарних платформ, розташованих на континентальному шельфі	10.03.1988	07.01.2002	17.12.1993
29.	Протокол про обмеження викидів окислів азоту або їх транскордонних потоків до Конвенції 1979р. про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	01.11.1988	14.02.1991	24.07.1989
30.	Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням	22.03.1989	05.05.1992	01.07.1999
31.	Конвенція про оцінку впливу на навколишнє природне середовище у транскордонному контексті	25.02.1991	10.09.1997	19.03.1999
32.	Угода про збереження кажанів в Європі	04.12.1991	06.01.1994	14.05.1999
33.	Конвенція про охорону і використання транскордонних водотоків і міжнародних озер	17.03.1992	06.10.1996	01.07.1999
34.	Конвенція про захист Чорного моря від забруднення	21.04.1992	15.01.1994	04.02.1994
35.	Рамкова конвенція ООН про зміну клімату	09.05.1992	21.03.1994	29.10.1996
36.	Декларація Ріо-де-Жанейро з навколишнього середовища і розвитку	03.06.1992		
37.	Конвенція про охорону біологічного різноманіття	05.06.1992	29.12.1993	29.11.1994
38.	Конвенція про заборону розробки, виробництва, накопичення і застосування хімічної зброї та про її знищення	13.01.1993	29.04.1997	16.10.1998

№ п/п	Назва міжнародно-правового акту	Дата прийняття	Дата набуття чинності	Дата ратифікації Україною
39.	Протокол до Конвенції 1979р. про транскордонне забруднення повітря на великі відстані щодо подальшого скорочення викидів сірки	14.06.1994	05.08.1998	17.12.1996
40.	Конвенція про ядерну безпеку	20.09.1994	07.07.1998	17.12.1997
41.	Угода про збереження афро-євразійських мігруючих водно-болотних птахів	16.06.1995	01.11.1999	04.07.2002
42.	Угода про виконання положень Конвенції ООН з морського права від 10 грудня 1982р., які стосуються збереження транскордонних рибних запасів далеко мігруючих риб і управління ними	04.12.1995	11.12.2001	28.11.2002
43.	Об'єднана конвенція про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами	05.09.1997	18.06.2001	20.04.2000
44.	Київський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату	11.12.1997	16.02.2005	04.02.2004
45.	Протокол про стійкі органічні забруднювачі до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	24.06.1998	23.10.2003	
46.	Протокол про важкі метали до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	24.06.1998	29.12.2003	
47.	Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості у прийнятті рішень і доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля	25.06.1998	30.10.2001	06.07.1999
48.	Роттердамська конвенція про процедуру попередньої обґрунтованої згоди відносно окремих небезпечних хімічних речовин та пестицидів у міжнародній торгівлі	10.09.1998	24.02.2004	26.09.2002
49.	Протокол з проблем води і здоров'я до Конвенції про охорону і використання транскордонних водотоків і міжнародних озер	17.06.1999		
50.	Протокол про відповідальність і компенсацію за шкоду, завдану в результаті транскордонного перевезення небезпечних відходів і їх видалення	10.12.1999		
51.	Картахенський протокол про біобезпеку до Конвенції про біологічне різноманіття	29.01.2000	11.09.2003	12.09.2002
52.	Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі	22.05.2001	17.05.2004	

ПЕРЕЛІК ВЖИВАНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС	атомна електростанція
АФ	антропогенні фактори
БГУ	біогазова установка
ВВП	валовий внутрішній продукт
ВЕС	вітроелектростанція
ВЕУ	вітроенергетична установка (вітряк)
ВООЗ	Всесвітня Організація Охорони Здоров'я
ВРХ	велика рогата худоба
ГГ	горючий газ
ГДВ	гранично допустимий викид
ГДД	гранично допустима доза
ГДЕН	граничнодопустиме екологічне навантаження
ГДК	гранично допустима концентрація
ГДН	гранично допустиме навантаження
ГДР	гранично допустимий рівень
ГДС	гранично допустимий скид
ГЕС	гідроелектростанція
ГеоТЕС	геотермальна електростанція
ЄВРАТОМ	Європейське співтовариство з атомної енергії
ІМО	Міжнародна морська організація (International Maritime Organization)
ККД	коефіцієнт корисної дії
КРЗ	критичний рівень забруднення
КРЧ	критичний рівень чистоти
МАБ	«Людина і біосфера» («Man and Biosphere»)
МЕА	Міжнародне енергетичне агентство
МКРЗ	Міжнародна комісія з радіаційного захисту
МСОП	Міжнародний союз охорони природи і природних ресурсів
НВ	небезпечні відходи
НПС	навколишнє природне середовище
НС	надзвичайна ситуація

ОЕСР	Агентство з атомної енергії
ПДЕ	поновлювані джерела енергії
ПЄЕМ	Панєвропейська екологічна мережа
ПЕ	паливний елемент
ПЕР	паливно-енергетичні ресурси
ПЕС	припливні електростанції
ПЗФ	природно-заповідний фонд
ПРП	природно-ресурсний потенціал
ПСХ	полярні стратосферні хмари
СДОР	сильнодіючі отруйні речовини
СЕС	сонячна електростанція
СПАР	синтетичні поверхнево-активні речовини
ТЕС	теплоелектростанція
ТНС	товари народного споживання
ТПВ	тверді побутові відходи
ТР	токсичні речовини
ФАО	Продовольча і сільськогосподарська організація ООН
ХвЕС	хвильова електростанція
ХЕК	хвильовий енергетичний комплекс
ХФВ	хлорфторвуглеці
ЦНС	центральна нервова система
ЮНЕП	Програма ООН з проблем навколишнього середовища
ЮНЕСКО	Програма ООН з питань освіти, науки та культури
ЮНІСЕФ	Дитячий фонд ООН
ЮНФПА	спеціальний Фонд ООН для діяльності в галузі народонаселення

Навчальне видання

ШИЩЕНКО Петро Григорович
ГАВРИЛЕНКО Олена Петрівна

Основи екології

Підручник

Видавництво ДП «Прінт Сервіс»,
вул. Ялтинська, 14, м. Київ, 02096,
тел. (044) 559-56-58.

Свідоцтво про внесення до державного
реєстру суб'єктів видавничої справи
серія ДК № 3655 від 24.12.2009 р.

В авторській редакції

Підп. до друку 26.08.2015. Формат 70х100/16. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 24. Наклад 100 прим.