

Ю.А. Злобін
Н.В. Кочубей

ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

502.3(0.78)
368

Ю.А. ЗЛОБІН
Н.В. КОЧУБЕЙ

ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Друге видання, стереотипне

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

АБОНЕМЕНТ-2



Суми
«Університетська книга» 2005

УДК 28.081я73
ББК 20.1
З-68

Рецензенти:

професор, доктор біологічних наук Т.Л. Андрієнко (м. Київ)
академік Національної Академії наук України Ю.Р. Шеляг-Сосонко
(м. Київ),

Гриф надано Міністерством освіти і науки України.
Лист №14/18.2-2007 від 30.10.2002 р.

427108

Злобін Ю.А., Кочубей Н.В.

З-68

Загальна екологія: Навчальний посібник. – 2-ге вид., стер.
– Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. – 416 с.

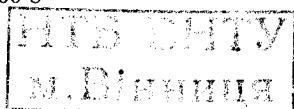
ISBN 966-680-060-8

У навчальному посібнику викладені основні положення і концепції сучасної загальної екології, розглянуто будову і функціонування біосфери в сучасних умовах, розкрито причини антропогенної деградації природного середовища, показано шляхи розвитку екологічного знання і причини трансформації екології від суто біологічної науки в соціально високозначущу сферу людських знань і дій.

Для студентів вищих навчальних закладів, спеціалістів, що проходять курси підвищення кваліфікації, та осіб, що цікавляться екологією.

ББК 20.1

ISBN 966-680-060-8



© Злобін Ю.А., Кочубей Н.В.,
2003

© ТОВ «ВТД «Університетська
книга», 2005

З М І С Т

Передмова	7
1. Предмет екології	8
2. Екологія як загальнобіологічна і гуманітарна наука	16
2.1. Розвиток екологічних знань та їх роль у становленні цивілізації	16
2.2. Ідея системності в екології	18
2.3. Соціальні аспекти екології	19
2.4. Об'єкти вивчення в екології	22
2.5. Методи екологічних досліджень	29
2.6. Короткий нарис історії екології. Українська екологічна школа	31
2.7. Екологія початку ХХІ століття	34
3. Біосфера	38
3.1. Поняття біосфери	38
3.2. Структура біосфери	40
3.3. Потік енергії на земній кулі	47
3.4. Біогеохімічні цикли	52
3.5. Місце людини в біосфері	62
3.6. Поняття середовища	66
3.7. Загальні закони екології	68
3.8. Людська цивілізація як новий фактор в існуванні біосфери	69
4. Екосистеми	73
4.1. Екосистеми – основні структурні одиниці біосфери	73
4.2. Абіотичні компоненти екосистеми. Ресурси та умови існування	76
4.3. Ґрунт як біокосний елемент екосистем	83
4.4. Живі організми в екосистемах. Біоценози	88
4.5. Життя в ґрунті	91
4.6. Трофічні ланцюги та трофічні піраміди	95
4.7. Концентрація речовин у трофічних ланцюгах	99
4.8. Розвиток та еволюція екосистеми	100
4.9. Сукцесії	103
4.10. Штучні екосистеми – екосфери	106
5. Екосистеми світу та України	109
5.1. Різноманіття екосистеми	109
5.2. Тундри	113
5.3. Лісові екосистеми помірного поясу	115
5.4. Вічнозелений тропічний дощовий ліс	121
5.5. Степи	124
5.6. Пустелі	126

5.7. Екосистеми луків	129
5.8. Болота	131
5.9. Прісноводні екосистеми	133
5.10. Океанічні й морські екосистеми	135
5.11. Принципи екологічного районування	137
6. Популяції	139
6.1. Поняття популяції	139
6.2. Особливості популяції рослин та тварин	140
6.3. Екологічні ніші	142
6.4. Співіснування популяції – норма їх існування	144
6.5. Стратегії життя рослин та тварин	145
6.6. Розмір популяції	149
6.7. Просторова структура популяції	150
6.8. Внутрішньопопуляційна структура	155
6.9. Динаміка популяції	160
6.10. Популяція як об'єкт використання, моніторингу та управління	163
7. Біологічна продуктивність	166
7.1. Автотрофне та гетеротрофне живлення	166
7.2. Особливості живлення мікроорганізмів, рослин, тварин і людини	168
7.3. Продукційний процес. Продуценти, консументи і редуценти	173
7.4. Генетичні фактори продуктивності	176
7.5. Екологічний контроль продуктивності	179
7.6. Ценогічний контроль продуктивності. Біопродукція в різних біомах	186
7.7. Принципи лімітування біопродукції. Управління продукційним процесом	191
8. Біологічна та екологічна рівновага	194
8.1. Біологічне різноманіття – основа стійкого існування екосистем	194
8.2. Загальні принципи стабільності та стійкості біосистем та екосистем	196
8.3. Адаптація	198
8.4. Стійкість організмів, популяцій та екосистем	200
9. Антропогенна деградація біосфери	206
9.1. Науково-технічний прогрес і проблеми екології	206
9.2. Джерела екологічної кризи ХХ століття та її вплив на біосферу	211
9.3. Форми та механізми деградації біосфери. Роль промислового та сільськогосподарського виробництва	215
9.3.1. Забруднення атмосфери	219
9.3.2. Забруднення та деградація ґрунту	221
9.3.3. Забруднення Світового океану та континентальних вод	224
9.3.4. Фізичні фактори забруднення середовища	227
9.3.5. Радіоактивне забруднення навколишнього середовища	229
9.4. Військові аспекти деградації біосфери	235

9.5. Вплив людини на глобальні біосферні процеси	240
9.6. Живі організми в умовах антропогенного стресу. Трансформація і деградація біоти земної кулі	248
9.7. Територіальні аспекти антропогенного забруднення навколишнього середовища. Стан навколишнього середовища України	252
10. Агроєкосистеми	257
10.1. Забезпечення населення продуктами харчування	257
10.2. Агроєкосистеми	261
10.3. Ресурси в агроєкосистемах	264
10.4. Сільськогосподарські рослини і тварини – продукт добору та генетичного конструювання	268
10.5. Енергетичний аналіз агроєкосистем	270
10.6. Співжиття в агроєкосистемах. Бур'яни, хвороби та шкідники	272
10.7. Фактори стабілізації агроєкосистем. Сівозміни. Меліорація	275
10.8. Інтенсифікація сільського господарства	280
10.9. Відходи сільськогосподарського виробництва. Забруднення природного середовища	282
10.10. Стратегія сільськогосподарського користування в XXI столітті. Адаптивне рослинництво та альтернативне землеробство	286
11. Промислові екосистеми	292
11.1. Типи промислового виробництва	292
11.2. Енергетика	294
11.3. Промислові об'єкти як екосистеми	298
11.4. Географія промислового виробництва. Транспортні системи	298
11.5. Науково-технічний прогрес та екологія	300
11.6. Вплив промислового виробництва на біосферу	301
11.7. Конфліктні ситуації промислового природокористування	306
12. Міські екосистеми	309
12.1. Інфраструктура міст	309
12.2. Міські споруди. Будівельні матеріали і водозабезпечення	311
12.3. Енергетичні системи міст	313
12.4. Екологія міського транспорту	314
12.5. Екологічне середовище в містах. Мезо- та мікроклімат .	315
12.6. Рослини і тварини в місті	318
12.7. Людина в міському середовищі. Медична екологія	320
12.8. Утилізація та знешкодження відходів. Очисні споруди .	322
12.9. Міста майбутнього	327
13. Перспективи екологічної конверсії промислового та сільськогосподарського виробництв	330
13.1. Екологічна конверсія – актуальна проблема цивілізованого людства	330
13.2. Демографічні фактори	334

13.3. Соціальна екологія	336
13.4. Роль громадського екологічного руху в екологічній оптимізації виробництва	337
13.5. Екологічна експертиза і екологічні паспорти	339
13.6. Екологічна конверсія в промисловості	342
13.7. Екологічна конверсія в сільському господарстві	344
13.8. Екологізація енергетики	350
13.9. Програма екологічної конверсії промисловості та сільського господарства України	354
14. Принципи раціонального природокористування та охорони природи	357
14.1. Екологія і моральність. Цивілізоване використання природних угідь	357
14.2. Природоохоронні концепції	360
14.3. Охорона генофонду. Червона книга України	362
14.4. Охорона ценофонду. Зелена книга України	364
14.5. Охорона екосистем. Національні парки, заповідники, заказники, пам'ятники природи, екологічні стежки	365
14.6. Моніторинг. Методи та форми контролю стану екосистем	372
14.7. Екологічне нормування антропогенних навантажень ...	376
14.8. Соціально-організаційні та правові основи охорони природи	379
14.9. Економічні критерії в екології	381
14.10. Екологічна політика. Охорона природи на державному і міждержавному рівнях	386
15. Моделювання і прогнозування в екології	392
15.1. Екологічні процеси і природокористування як об'єкти математичного моделювання	392
15.2. Метод моделювання в екології	395
15.3. Описова і прогностична цінність екологічних моделей ..	398
15.4. Основні етапи побудови екологічних математичних моделей	401
15.5. Аналіз часових рядів (ARIMA) і нейронні мережі як нові підходи до прогнозування	402
Післямова	405
Словник основних понять і термінів екології	408
Додаткова навчальна література	413

ПЕРЕДМОВА

Людство зустріло ХХІ століття в обстановці наближення глобальної екологічної кризи. Вона викликана не тільки використанням сучасних технологій у промисловості і сільському господарстві, але в першу чергу загальним характером взаємозв'язків людини і природного середовища. У цьому сенсі глобальна екологічна криза – результат нерозумних дій усіх людей планети, і всі однаковою мірою мають шукати вихід з неї, щоб не допустити небезпечної для нашого існування повної деградації природного середовища, яке забезпечує наші нагальні потреби.

На початку ХХІ століття людство усвідомило, що кожен фахівець, працівник будь-якої сфери діяльності повинен мати екологічні знання, розуміти, які дії ведуть до руйнування природного середовища, а які, навпаки, сприяють його відновленню і збереженню. Людина має розбиратися в причинній взаємообумовленості природних процесів і господарської діяльності, вона повинна вміти об'єктивно оцінювати, як позначається на природному середовищі кожна її дія і зобов'язана узгоджувати ці дії з вимогами природоохоронних положень. Із цього випливає, що екологічна освіта й виховання впродовж нинішньої історичної епохи стають найважливішою частиною освіти й виховання.

Навчальний посібник, що пропонується, розрахований на студентів вищих навчальних закладів III і IV рівнів акредитації, які одержують ступінь бакалавра і магістра. У ньому викладені основні положення сучасної екології, розглянуті будова і функціонування біосфери нашої планети, показані шляхи впливу людини на природне середовище і її компоненти та обговорюються способи екологізації господарської діяльності людини, як і екологізації менталітету людства в цілому.

Основою даного навчального посібника є підручник Ю.А. Злобіна «Основи екології», що був визнаний одним із кращих на конкурсі, організованому Міністерством освіти України і Міжнародним фондом «Відродження». Підручник добре зарекомендував себе в практиці роботи вищих навчальних закладів України; було опубліковано кілька позитивних рецензій на нього. У новому виданні розширено колектив авторів, текст переопрацьовано і доповнено сучасними матеріалами і концепціями. Авторський колектив сподівається, що навчальний посібник «Загальна екологія» виявиться корисним для студентів і викладачів екологічних дисциплін – як технічних, так і гуманітарних – у вищих навчальних закладах нашої країни.

1 | Предмет екології

Людина і людство в цілому пов'язані з природним середовищем тисячами незримих ниток. Ми дихаємо киснем, утвореним зеленими рослинами в процесі фотосинтезу, а вуглекислий газ, що виділяється при диханні й усіх видах горіння, у свою чергу поглинається зеленими рослинами, які синтезують за його допомогою органічні речовини. Ці органічні речовини – основа нашої їжі, кормів тварин і база для багатьох видів технічної переробки. Гармонія взаємин людства з природою складалася впродовж багатьох тисячоліть, про що свідчать літописи, легенди, перекази.

Взаємозв'язок живих організмів із навколишнім середовищем вивчає біологічна наука, а з другої половини XIX століття її окрема галузь – екологія. Уперше термін «екологія» був запропонований німецьким біологом Е. Геккелем у 1866 році. У буквальному перекладі (*oikos* грецькою означає дім) екологія – це наука про «дім» людства, тобто про навколишню природу. Вона протягом тривалого часу вивчала умови існування живих організмів (рослин і тварин) та їх взаємодію з навколишнім середовищем і одне з одним. Та ці проблеми складають лише частину наукової будівлі сучасної екології. Наприкінці XX століття зміст екології став набагато ширшим, а її місце в системі наук істотно змінилося. Екологія виникла як суто біологічна дисципліна, але в сучасну епоху вона трансформувалася і стала наукою про структуру і функції природи в цілому, наукою про біосферу, наукою про місце людства на нашій планеті, наукою про взаємозв'язки всього живого на нашій планеті між собою та з навколишнім світом.

Видатний американський учений Ю. Одум одним із перших став розглядати екологію не як вузьку біологічну наукову дисципліну, а як міждисциплінарну науку, що досліджує багатокомпонентні й багаторівневі великі системи в природі й у суспільстві. Ця якісна зміна, зберігши за екологією її історичну назву, приве-

ла до зміни об'єкта і предмета екології, збагатила її новими методами і надала надзвичайної дієвості у розв'язанні соціальних і економічних проблем, що постають перед людством. Власне кажучи, екологія переростає, як відзначив В.С. Крисаченко (1992), в інтегральну наукову дисципліну – життєзнавство.

Одна з галузей сучасної екології – соціальна екологія – усе більше збагачує концептуальний і методичний апарат вивчення соціальних процесів і активно досліджує проблеми, що виникають на межі соціального і біологічного.

Людина – жива істота, і з цього погляду її взаємозв'язки з природним середовищем також відносяться до сфери екологічного знання. Та зв'язки людини з її оточенням якісно відрізняються від таких зв'язків у рослин і тварин. В останніх взаємини з середовищем існування визначаються лише біологічними властивостями організму, тоді як у людини вони обумовлені науково-технічною озброєністю. Індустріальний тип розвитку цивілізації у ХХ столітті виявився настільки швидким і потужним, що гармонія людства і природного середовища почала порушуватися.

Розв'язання екологічних проблем, як стало очевидним на межі ХХ і ХХІ століть, зробилося неможливим унаслідок тісного сплетіння з демографічними, соціальними й економічними проблемами. Основні екологічні проблеми по своїй суті є глобальними, і вирішити їх може тільки людство в цілому. Але в даний час нашу цивілізацію роздирають небезпечні соціальні суперечності, викликані протистоянням бідних і багатих країн (проблема «золотого мільярда» людства, до якого належить населення США, Канади і ряду країн Західної Європи), різних релігійних конфесій, глобалістів і антиглобалістів. ХХІ сторіччя почалося з хвилі варварського тероризму. Усе частіше людські життя забирають не тільки стихійні лиха, але й великі техногенні катастрофи. Отже, розв'язання екологічних проблем – завдання не лише екологів, але й соціологів та економістів, і обов'язковою умовою подолання перепон, створених суперечливими інтересами різних угруповань і блоків, є широке впровадження екологічної освіти й виховання. Люди планети, незалежно від напрямку своєї професійної діяльності, повинні розуміти, як улаштована біосфера, як функціонують екосистеми, наскільки тісно пов'язане задоволення потреб людства і конкретної людини зі станом природного середовища, чому такими небезпечними є її деградація і руйнування, усвідомлювати глобальний характер екологічних процесів і зростаючої екологічної кризи. З колом цих проблем і знайомить студентів вищої школи курс загальної екології.

Як міждисциплінарна наука, екологія має у своєму арсеналі всі методи теорії систем і знаходиться немов на стику біологічних



Рис. 1.1. Місце екології в системі наук

і гуманітарних наук (рис. 1.1). З одного боку, екологія залишається точною біологічною наукою в тому розумінні, що вона досліджує живі об'єкти та їх сукупності, але водночас вона стала гуманітарною наукою, оскільки визначає місце людини в природі, формує її світогляд і сприяє оптимізації розвитку соціальних і виробничих процесів.

Сучасна екологія є розчленованою на чотири взаємозалежні, але певною мірою самостійні розділи, що логічно впливають один з одного. Це *факторіальна екологія*, яка вивчає фактори середовища існування, суттєві для живих організмів, *аутекологія*, завданням якої є вивчення взаємозв'язків між живими організмами і навколишнім середовищем, *синекологія*, що розглядає закономірності спільного існування живих організмів, їх співтовариств у взаємозв'язку один з одним і умовами існування, і *соціальна екологія*, що вивчає взаємозв'язки людини з біосферою і місце людського суспільства в природі.

Пропонуються й інші способи класифікації екології. К.М. Ситник і М.І. Будико (1990-1992) поділяють екологію на три частини: загальна екологія, що вивчає основні закономірності функціонування екологічних систем; глобальна екологія, яка вивчає біосферу в цілому (в іншій термінології це біосферологія), і приватна екологія, об'єктом вивчення якої є взаємозв'язки живих організмів із середовищем існування. На думку Г. Білявського і М. Падун (1991), екологія складається з п'яти основних блоків: а) біоекології з 11-ти розділів і підрозділів, б) геоекології, в) техноекології, г) соціоекології і д) космічної екології. Н.Ф. Реймерс вважає, що сучасна екологія складається з 39 основних розділів і поєднана з 70-ма великими науковими дисциплінами.

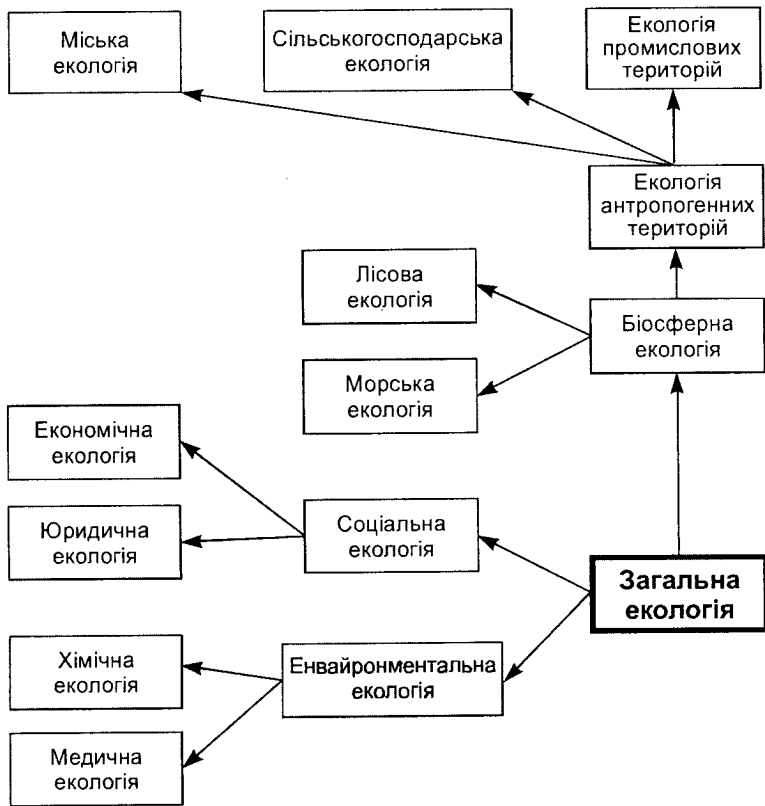


Рис. 1.2. Диференціація загальної екології на окремі наукові галузі

Таким чином, схема на рис. 1.1 ілюструє тільки головні напрями розвитку екології як метанауки.

У ході активного розвитку загальна екологія диференціювалася на окремі наукові підрозділи (рис. 1.2). Енвайронментальна екологія зосереджена на дослідженні стану природного середовища. Біосферна екологія вивчає біосферу і екосистеми нашої планети. Соціальна екологія досліджує роль людської діяльності в існуванні біосфери і способи екологічної оптимізації соціальних процесів. Екологія антропогенних територій займається міськими, сільськогосподарськими і промисловими екосистемами.

Становлення екології як синтетичної науки є наслідком науково-технічного прогресу та якісної зміни місця людини в природі. Адже на перших етапах розвитку вплив людства на природне середовище мав локальний характер, був незначним, а

виробнича діяльність спиралася на природні сили навколишнього середовища (енергія води, вітру, викопні ресурси та ін.). У ХХ столітті людина стала спроможною до активного впливу на довкілля й почала користуватися раніше недоступними для неї ресурсами. Виникла ідея, що людина – господар природи, а природа – невичерпне джерело потрібних їй ресурсів. У цьому важливу роль відіграли:

а) стрімке зростання чисельності населення, що зробило можливим фактично необмежене використання трудових ресурсів;

б) поява атомної енергетики, у початковій ейфорії від чого здавалося, що відтепер людство вільне від необхідності застосовувати інші енергетичні джерела;

в) розробка та створення озброєння нового типу, спроможного знищити всю живу природу нашої планети;

г) формування на базі супутникових та комп'ютерних технологій єдиного світового інформаційного простору.

Сукупність цих факторів визначила в другій половині ХХ століття технократичну стратегію виробництва та використання природних ресурсів, стратегію, що завершилася зростанням екологічної кризи. У відповідь на це почала розвиватися та змінюватися екологія.

Тільки в розробках саме цієї науки можна знайти відповідь на питання щодо меж припустимого впливу людини на природне середовище Землі, на питання про способи оптимізації природокористування та взагалі про перспективу існування людства. Ці проблеми набули такої значущості та очевидності, що зараз жодна людина не може обійтися без екологічних знань.

Дані сучасної екологічної науки та результати виробничої діяльності призвели до усвідомлення чотирьох важливих факторів.

Перший фактор – будь-який вид живого організму є унікальним. Знищення окремих видів рослин та тварин є непоправною втратою, збитки від якої в наш час навіть важко уявити, оскільки деякі види, що зникли або зникають, можуть мати поки що невідомі, але потенційно корисні людині властивості.

Другий фактор – природні ресурси, які ще донедавна оцінювалися як невичерпні й до того ж розглядалися як безплатний дар природи, насправді виявилися вичерпними і такими, що можуть бути знищені. Сама ж якість ресурсів під впливом глобального антропогенезу отримала іншу оцінку.

Третій фактор – біосфера та її складові частини мають досить складну структуру та непрості закони функціонування. Штучне конструювання екосистем та самої біосфери – завдання, непосильне для сучасної людини, а, можливо, і для майбутньої. Більшість біосферних структур, як виявилось, мають не

таку вже й високу стійкість та пластичність. Зруйнувати їх людина може, але відновити, відтворити – поки що ні.

Четвертий і, напевно, найбільш важливий фактор – усвідомлення сучасною людиною можливості виживання тільки в умовах збереження такого природного середовища, до якого вона адаптована як живий організм і як учасник сучасних технологічних процесів.

Ці та багато інших факторів показують, що хоча людина й може жити на просторах від Арктики до Антарктиди, та все ж таки вона залишається частиною природи, а людство – частиною біосфери. Повітря, воду та їжу сучасна людина на 99% отримує або у формі безпосередньо природних ресурсів, або ж спеціально вирощує чи виробляє, та знову ж таки, використовуючи природні ресурси. Сучасна суперечлива епоха, що поєднує технічні можливості людини з її залежністю від природи, поставила перед цивілізованим світом серйозну альтернативу: або ж ми повністю зруйнуємо та докорінно перетворимо існуючу біосферу на своєрідну техносферу, де все потрібне людині для життя буде вироблятися штучно, або збережемо зв'язки людства з тією біосферою, в якій воно виникло і з якою протягом мільйонів років пов'язане тисячами видимих та невидимих ниток.

Класична екологія першої половини нашого століття була наукою, що тільки пояснювала. На підставі аналізу тих чи інших природних явищ вона пояснювала причину їх виникнення та механізм дії. Сучасна екологія стала наукою, що прогнозує та конструє. Завдяки методу математичного моделювання, що став одним із основних у сучасній екології, створюються серії картин, які показують можливі результати того чи іншого впливу людини на природу. Такі прогнози на основі моніторингу певних ділянок біосфери за допомогою наземних засобів або супутникового зондування можуть постійно уточнюватися. Усе більш відчутною, хоча ще недостатньою, є конструкторська функція екології, коли на основі екологічних знань спеціалістів та часто за широкого залучення громадського руху приймаються рішення про реалізацію тих чи інших промислових або сільськогосподарських проєктів. Так, наприклад, наприкінці 1980-х років під тиском екологів-професіоналів та за підтримки громадськості, журналістів і письменників був відхилений проєкт перекидання частини водотоку північних річок (Об, Єнісей та ін.) на південь, у Середню Азію. В Україні припинені роботи з перекидання дунайської води до Дніпра, які були розпочаті в межах проєкту каналу Дунай – Дніпро.

Характерною особливістю кінця ХХ століття стала екологізація багатьох конкретних наук, посилюється та набув нових форм зв'язок екології з філософією та соціологією. Постало питання про

необхідність широкомасштабної екологічної конверсії сільського господарства та ряду галузей виробництва. Усі заходи з охорони природи здійснюються на основі теоретичних екологічних знань.

У сучасних умовах інтерес до екології став загальним, екологічний підхід до вирішення проблеми взаємодії людини та природи пройняв усі сфери життя. Курс екології у вищій школі України вводить студентів у широке коло проблем життя сучасного суспільства, проблем, що однаково стосуються й інженера, й агронома, й лікаря, і юриста, і політичного діяча, і фахівця будь-якого іншого профілю.

Розуміння людиною складності законів екології прийшло тільки наприкінці ХХ століття. Але ці закони існували завжди й не залежали від волі людини. Нерозуміння закономірностей існування екосистем уже не раз призводило до непоправних природних катастроф та дорого коштувало людству. Так, найродючіші, добре обводнені та вкриті лісом землі Месопотамії під впливом бездумного вирубування лісу, меліорації та розведення худоби перетворилися на напівпустелю. Незліценних моральних та матеріальних збитків зазнали Україна, Білорусія та Росія в результаті економії коштів на будівництво Чорнобильської АЕС та розміщення її в густонаселеній частині України. Докорінне перетворення ландшафтів та втрата ними багатьох цінних властивостей стали наслідком інтродукції кролів та овець в Австралії. На жаль, кількість таких прикладів досить велика.

Перед ученими, що працюють у галузі екології, постають і моральні проблеми. Наскільки глибоко та в яких напрямках повинні розроблятися ті чи інші наукові проблеми, якщо їх використання може зашкодити людині? На це питання сьогодні має відповісти не тільки вчений-атомник чи генетик, але й еколог. Адже як зброя може використовуватися не тільки атомна бомба. На основі екологічної інформації та технічних промислових засобів людина вже сьогодні може викликати штучні посухи, повені, землетруси, епідемії. Американський учений, лауреат Нобелівської премії Макс Дельбрюк (1989) взагалі розглядає вчених як особливу соціальну групу *Homo scientificus*, рушієм діяльності якої є допитливість і наукова одержимість. А його колега, відомий американський біохімік, колишній президент Національної академії наук США Філіп Хендлер (1989) відверто писав: «Не наука завдає лиха, а люди чинять лихо».

Завдання сучасної екології різноманітні й складні. Основними напрямками екологічних досліджень є:

- 1) визначення типів основних екосистем та ландшафтних одиниць з оцінкою особливості їх складу та функціонування, щорічної та багаторічної динаміки, що є основою для здійснення раціонального влаштування великих та малих територій;

2) розробка методів пошуку інформації та її аналізу й отримання інтегральних параметрів, що характеризують стан біосфери в цілому;

3) оцінювання рівня стійкості біосфери та окремих екосистем до зовнішніх впливів, їх здатності до повернення в початковий стан після тих чи інших змін та вироблення рекомендацій щодо розміру та обсягу антропогенних змін біосфери;

4) розробка пропозиції щодо створення заповідних та охоронних територій;

5) обґрунтування пропозицій щодо розробки законодавства з питань експлуатації природних ресурсів та охорони природного середовища;

6) вчасне складання на основі екологічних знань прогнозів про можливість епідемій, епізоотій, стихійних лих і техногенних катастроф та подання рекомендацій щодо їх запобігання;

7) формування природоцентричного світогляду.

Екологія вирішує також багато інших загальнонаукових і прикладних проблем. Вона формує уявлення про біосферу як про природний дім людства і підводить кожну людину до усвідомлення першорядної важливості збереження біорізноманіття як головного чинника стабільного існування біосфери. Загроза втрати біорізноманіття – це загроза самому людству, тому проблема біорізноманіття на початку ХХІ століття набула соціального, політичного та етичного значення. Запропонований у даному підручнику курс загальної екології вміщує опис загальних законів і принципів існування та функціонування біосфери та її компонентів в умовах сучасного природокористування, розглядає питання взаємодії людини та природи. Екологічна підготовка спеціаліста-професіонала не може вважатися завершеною без подальшого вивчення і глибокого освоєння того чи іншого спеціального курсу: агроекології, екології будівель і споруд, промислової екології, медичної екології тощо.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть зміст та значення курсу екології.
2. Назвіть основні завдання та проблеми сучасної екології.
3. Наведіть приклади відомих вам великих і малих екологічних катастроф та назвіть їх можливі причини.

Питання для обговорення

1. Які види виробництва, на вашу думку, потребують першочергової екологічної конверсії?
2. Наведіть приклади великих наукових відкриттів, упровадження яких може суттєво вплинути на біосферу в цілому.
3. Яким, на вашу думку, має бути ступінь відповідальності вчених за соціальні та моральні наслідки наукових відкриттів.

2 | Екологія як загальнобіологічна та гуманітарна наука

2.1. РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНИХ ЗНАНЬ ТА ЇХ РОЛЬ У СТАНОВЛЕННІ ЦИВІЛІЗАЦІЇ

У сиву давнину людина сприймала навколишній світ як єдине ціле, тому природничі науки формувалися в межах цього бачення природи як всеосяжні наукові дисципліни. У Давній Греції і Давньому Римі їх кількість була зовсім незначною. Кінець XVIII та початок XIX століть ознаменувалися переходом до аналітичного розгляду природи. Відповідно до цього почався досить швидкий процес диференціації наук. Так, наприклад, із природознавства першою виділилася біологія – наука про живі організми, пізніше вона розчленувалась на ботаніку й зоологію, які згодом диференціювалися на ряд інших (анатомію рослин, морфологію рослин тощо). До кінця XX століття процес диференціації в основному завершився і почався новий етап – синтезу наукового знання.

У галузі вивчення природи почала формуватися екологія як одна з перших синтетичних міждисциплінарних наук. Вона й досі зберігає свою назву «екологія», успадковану з періоду аналітичних наук, але мета її вже інша: на основі спеціальних аналітичних наукових дисциплін дати загальну картину структури і функціонування природи та визначити місце і роль людини в природних процесах. У цьому розумінні екологія – це наука майбутнього. Саме існування живої природи на нашій планеті та процвітання людського суспільства залежать від того, наскільки об'єктивно та своєчасно будуть розкриті глобальні закономірності існування біосфери, і на цій основі сформульована та реалізована стратегія дій людини щодо природи.

Структура сучасних екологічних знань досить складна. Як синтетична наука екологія постійно вбирає в себе різноманітні наукові дані, отримані аналітичними науками. У межах основних чотирьох підрозділів екології (*факторіальна екологія, деме-*

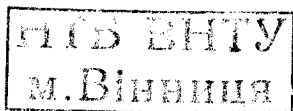
кологія, синекологія і соціоекологія) безперервно виникають нові «точки росту». У ролі відносно самостійних підрозділів екології виступають хімічна екологія, агроєкологія, урбоєкологія та інші.

Актуальність екології визначається тим, що вона дає можливість синтезувати природознавчі, соціальні, економічні та технічні знання.

Теоретичні узагальнення в галузі екології перш за все пов'язані з визначенням співвідношення живих та неживих компонентів у природних комплексах й оцінкою їхнього місця у виробничих процесах. Непростим є навіть розмежування біологічних і екологічних систем. Вважалося, що біологічні системи базуються на живій речовині і цим принципово відрізняються від екологічних систем. Аналіз, проведений М.А. Голубцем у 1982 році, показав, що такий підхід не має підстав. Фактично будь-яка жива система, починаючи з клітини, містить в собі як компонент і неживу речовину. Більш того, без зв'язків із неживими компонентами біосистеми не можуть існувати. Відмінність між біологічними й екологічними системами лежить в іншій площині. Вони пов'язані з основною функцією системи й основними механізмами регуляції та самопідтримання систем.

Після відкриття Ч. Дарвіном у 1859 році законів біологічної еволюції стало очевидним, що ускладнення та самоорганізація є основними властивостями живої матерії. На противагу цьому неживі системи підкоряються закону зростання ентропії: імовірність їх існування найвища при досягненні ними повного одностійності. З точки зору цих уявлень екологічні системи – це особливий клас природних об'єктів, ускладнення та самоорганізація яких забезпечується наявністю живих організмів. Ця обставина зумовлює єдність природи як матеріального цілого і підкреслює неможливість забезпечення благополуччя людини поза цією єдністю.

Формування екологічних знань здійснюється шляхом рівноважної реалізації принципу редуccionізму та принципу холізму. Суть редуccionізму полягає у зведенні цілого до сукупності його частин із нехтуванням чи редуccionією тих компонентів або властивостей, що для даної системи несуттєві. Лауреат Нобелівської премії П. Медавер (1983) писав, що в галузі біологічних наук редуccionізм – «найбільш вдалий метод пояснень серед усіх, що колись використовувалися в науці». У галузі екологічних знань, навпаки, більш важливим є принцип холізму, в основі якого лежить цілісне розуміння світу. Холістичний підхід забезпечує адекватний аналіз природних комплексів. Хоча фактично в конкретних екологічних дослідженнях використовують і редуccionізм, і холізм у розумному співвідношенні.



2.2. ІДЕЯ СИСТЕМНОСТІ В ЕКОЛОГІЇ

Провідним у вивченні природних комплексів є *принцип системності*, який з урахуванням концепції холізму забезпечує підхід до них як до органічно цілісних.

Принцип системності – це загальнонауковий філософський принцип, в основі якого лежить поняття про систему. Один із засновників теорії систем Л. Берталанфі (1973) визначив систему як цілісну сукупність елементів, що знаходяться у такому взаємозв'язку, що їх незалежне існування неможливе. Принцип системності виявився ефективним при вивченні біологічних та екологічних систем.

Визначення Л. Берталанфі неодноразово критикувалося. В.І. Василевич (1983) слушно підкреслював його невизначений характер. Справді, у природі все пов'язане з усім, тому поняття системи втрачає конкретність і будь-який набір об'єктів може розглядатися як система. З цих позицій В.І. Василевич і ряд інших авторів пропонують застосовувати поняття «система» тільки до таких сукупностей елементів, взаємозв'язки між якими надають даній системі цілісного характеру. Допомогає виділенню системи як природної одиниці також оцінка її цілісності та спроможності самостійно існувати.

Біолого-екологічні системи можуть характеризуватися різноманіттям елементів у системі та кількістю взаємозв'язків між ними. Чим більше значення мають ці показники, тим система складніша. Г. Форстер (1965) зауважував, що в фізичних системах збільшення складності робить систему менш стійкою, а в біолого-екологічних системах навпаки – стійкість та надійність зростають зі збільшенням складності систем. Значний внесок у стійкість екологічних систем додає неідентичність їхніх компонентів.

Методологічну основу системного підходу в екології складають три головні положення:

1. Будь-яка екологічна система (від організму до біосфери) становить внутрішньо погоджену, організовану цілісність, що функціонує як єдине ціле внаслідок взаємодії компонентів цієї системи. Рівень цілісності біологічних та екологічних систем буває різним і може коливатися. Системи можуть бути досить неміцними або, навпаки, жорстко детермінованими, але та чи інша цілісність залишається фундаментальною властивістю будь-яких систем.

2. Біологічні та екологічні системи динамічні, вони змінюються в тій чи іншій амплітуді, зберігаючи свою цілісність навіть за помітного складу та характеру взаємодії компонентів, що їх складають.

3. Системи навколишньої природи мають здатність до розвитку, самоорганізації та ускладнення.

Одним із завдань екології є *класифікація тих систем*, з якими вона пов'язана. Л. Барталанфі одним із перших поклав в основу класифікації систем поняття їхнього ієрархічного порядку. Стосовно живої природи найбільшого значення має ієрархія організованості. Прикладом може бути така ієрархія: поле – плазма – елементарні частинки – атоми – молекули – міцели – клітини – органи – організми.

Відповідно до теорії систем вони поділяються на три види:

а) відкриті системи, які обмінюються з навколишнім середовищем речовиною та енергією;

б) закриті системи, які обмінюються з навколишнім середовищем тільки енергією;

в) ізольовані системи, повністю ізольовані від середовища.

Очевидно, що екологія має справу з відкритими системами. Такі системи не мають жорсткої детермінованості структури та функціонування, у них завжди спостерігається той чи інший ступінь стохастичності, випадковості, але однаково вони зберігають типовий для них рівень цілісності.

Оскільки екологічні системи є відкритими, слід розрізняти внутрішню та зовнішню структури системи. Внутрішня структура – це система немовби сама в собі, зовнішня – її зв'язки з елементами, необхідні для забезпечення цілісності та функціонування даної системи. Зрозуміло, що один і той же елемент може виступати як частина різних систем, знаходячись на їх пересіченні.

Усе це ускладнює визначення меж реальних систем. У працях з теорії систем питання про межі систем виявилось досить слабо розробленим. «Жорсткі» системи легко відмежовуються одна від одної, як, наприклад, особини в багатьох видів тварин. Але у випадку крихких систем (їх не так мало) межі систем настільки розмиті, що система перетворюється мовби в систему-поле. У цьому разі визначення меж між системами може базуватися на оцінці сили зв'язку та сили взаємодії між елементами. Межа проходить там, де ці зв'язки явно та різко слабшають.

2.3. СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЇ

Закони соціального життя традиційно розглядалися комплексом суспільних наук. Центральною ідеєю цих наук є поняття про «соціально-економічну формацію». Для марксистсько-ленінської соціології це поняття було самодостатнім, хоча вже

наприкінці XIX століття накопичилося багато фактів, що свідчили про не останню роль у житті та розвитку людського суспільства біологоекологічних феноменів.

Одними з перших, хто зробив спробу пов'язати соціальне та біологічне людини, були соціал-дарвіністи. Однак їхнє трактування еволюції та розвитку суспільства мало явно вульгарно-спрощений характер, а висновки були політизовані та поставлені на службу пануючого класу. За цих обставин уже в середині XX століття інтерес до соціал-дарвінізму різко впав.

Відродила інтерес до проблеми співвідношення соціального та біологічного публікація в 1975 р. *О. Уїлсоном* роботи «*Соціобіологія: новий синтез*». Послідовники *О. Уїлсона* шукають нові шляхи синтезу соціальних, екологічних та біологічних закономірностей у розвитку людської цивілізації. Завдяки їхнім зусиллям на стику соціальних та біологічних наук почала формуватися своєрідна «метаекологія» як частина загального гуманітарного знання.

Основою для розвитку екології як гуманітарної дисципліни є статус людини як біосоціальної істоти. Людина водночас і суб'єкт суспільно-історичного процесу, і біологічна істота, взаємодія якої з природним середовищем підкоряється загальним екологічним законам.

Містком між соціальними явищами та екологічними законами до певної міри послужила розробка в 1930-х роках лауреатом Нобелівської премії *К. Лоренцом* науки про поведінку тварин – *етології*. *К. Лоренц*, зокрема, вважав схильність до агресії характерною особливістю поведінки не тільки тварин, але й людини. Ним же було показано, що навіть у тварин агресивне начало затушовується так званою «зміщеною поведінкою», коли агресія не проявляється в прямих діях, а обмежується ритуальними сигналами та позами. Як результат – у групах організмів устанавлюються стосунки, які сприятливі для групи в цілому, хоча завдають шкоду окремій особині. Слід зауважити, що більшості прихильників *К. Лоренца* було властиве досить вільне перенесення даних, отриманих під час спостережень за тваринами, на людське суспільство з ігноруванням соціально-культурного оточення.

За *О. Уїлсоном*, соціобіологія покликана розкривати біологічні основи всіх форм суспільної поведінки, включаючи людину. Цю тезу прийняти важко. У поведінці тварин переважають інстинктивні механізми, поведінка людини знаходиться під домінуючим впливом соціальних законів. Неможливо ставити знак рівності між соціобіологією та соціоекологією. Предмет соціоекології як гуманітарного блоку загальної екології інший. Вона вивчає систему «людина – природне середовище».

Статус людини в цій системі явно зазнав еволюції. Тут є щонайменше три етапи.

1. Первісна людина, яка була, скоріше, суспільною твариною і вирізнялася лише здатністю використовувати знаряддя праці для здобування їжі.

2. Людина епохи рабовласництва та феодалізму використовувала природні ресурси переважно в непереробленому вигляді. Вона була спроможна вносити в природне середовище лише локальні зміни, що не впливали на біосферу в цілому. Роль соціальних факторів у її житті вперше стає провідною.

3. Сучасна людина епохи науково-технічної революції використовує все різноманіття природних ресурсів і перетворює їх. Результати її діяльності спричиняють глобальні зміни в біосфері. Соціальні закони домінують у розвитку людської цивілізації.

Паралельно до цих трьох етапів відбувався процес соціальної інтеграції людини. Зростала роль соціального начала в усій діяльності людини. Соціальні критерії поведінки почали безумовно домінувати над біологічними.

Еволюція рослин та тварин упродовж усього їх існування була спрямована на підвищення ефективності адаптації організмів та популяцій до середовища. Еволюція людини виявилася якісно іншою: вона спрямована на вдосконалення спроможності досягати автономності людського суспільства від природного середовища, а в ідеалі – підкорити природне середовище своїм потребам. Це зробило актуальним гуманітарний аспект екології людини, призвело до необхідності розробки системи етичних критеріїв у взаємовідносинах людського суспільства з природним середовищем.

Серцевиною гуманізації та гуманітаризації екології є зміна напрямку екологічних досліджень. Гуманістичні ідеї при цьому збагачують біологічний блок екології, а біологічні підходи ведуть до орієнтації гуманітарних наук на знаходження, в обмін споживчих, нових критеріїв оцінки стану системи «людина – природне середовище». У результаті екологічна наука повертається обличчям до людини, а в людському суспільстві зростає роль морально-етичних цінностей у взаємодії з природою.

Гуманізм визнавав та визнає людину найвищою цінністю. Гуманізація екологічного знання веде до збереження цієї тези, але трансформує її, визначаючи, що людське розкривається в людині в процесі взаємодії з природним середовищем.

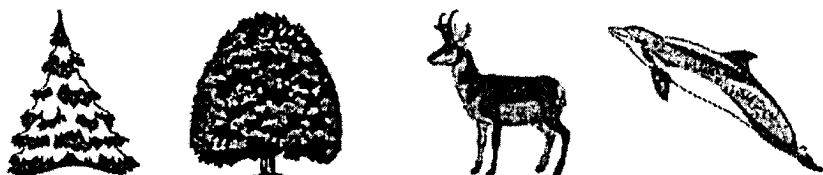
Соціальна роль екології в сучасному суспільстві полягає в орієнтації науково-виробничих та технічних рішень на відповідність гуманістичній етиці, яка перетворюється в екологічну етику. Зрозуміло, що провідна роль критеріїв екологічної етики можлива лише в демократичному суспільстві з добре розвиненим виробничо-економічним базисом. Досвід передових країн Західної Європи, США та Канади показує, що екологічна етика й економічна потужність держави можуть іти пліч-о-пліч.

Етичні критерії виявляються незамінними при розв'язанні таких пекучих проблем сучасності, як можливість зміни клімату великих регіонів Землі, штучна зміна геному людини методами генної інженерії, генетичний контроль при укладанні шлюбів і, нарешті, клонування людей методами біотехнології. Науково-екологічних критеріїв у цих випадках недостатньо.

2.4. ОБ'ЄКТИ ВИВЧЕННЯ В ЕКОЛОГІЇ

Як і будь-яка інша наука, екологія має справу з безліччю об'єктів. Ці об'єкти своєрідні за внутрішньою структурою та функціями. Але в таких наборах об'єктів можна виділити цілісний об'єкт, що лежить в основі утворення інших екологічних об'єктів. В екології таким об'єктом є *екосистема*.

Живі організми представлені в екосистемах особинами. В одноклітинних рослин і тварин, як і в мікроорганізмів, особини представлені окремими клітинами (рис. 2.1). У них реалізуються всі життєві функції організму: обмін речовин, розмноження та ін. У багатоклітинних організмів особина формується із заплідненої яйцеклітини або іншого зачатка. Оскільки в таких особин забезпечена єдність генотипу в усіх клітинах організму, то для їх найменування був запропонований термін «генет». Особливо часто цей термін використовують для назви особин у рослин.



Генети у рослин та тварин



Рамети у рослин

Рис. 2.1. Приклади особин у живих організмів
(масштаб не витриманий)

При наявності вегетативного розмноження та розростання, що особливо характерне для рослин, структура організму ускладнюється. Ті чи інші частини набувають здатності до самостійного існування. Межі окремих індивідуумів у цих випадках стають розмитими. Для таких організмів може бути застосована назва «рамети». *Рамет* – це продукт розпаду генета на самостійно існуючі біологічні одиниці, що мають єдиний для всіх (у межах даного генета) генотип. Рамети дуже поширені серед рослин. Це окремі кущики брусниці в її клонах, це пагони малини, це такі ж самостійні пагони бур'янів пирію чи будяка.

Видиме різноманіття форми, розмірів та властивостей особин рослин та тварин поєднується з наявністю в них загальної фундаментальної властивості – усі вони живі. Навіть сучасній науці досить складно дати вичерпне визначення життя, хоча окремих таких визначень існує достатньо. Одне з останніх належить *В.І. Гольданському* (1986): «Життя – це форма існування біополімерних тіл (систем), здатних до самореплікації в умовах постійного обміну речовиною та енергією з навколишнім середовищем». Але корисніше не шукати єдине формальне визначення, а намагатися підійти до визначення життя функціонально, з'ясувавши основні, обов'язкові для живих організмів властивості. Таких властивостей шість.

1. Живі організми характеризуються певним хімічним складом, обов'язковим компонентом їхнього тіла є білки та нуклеїнові кислоти.

2. Живі організми характеризуються високовпорядкованою будовою, яка самопідтримується впродовж їхнього існування. Саме ця особливість складає суть принципу організованості.

3. Життєдіяльність полягає в тому, що організми постійно отримують з навколишнього середовища енергію та багато різних речовин. У той же час вони виділяють у навколишнє середовище продукти своєї життєдіяльності. Ця властивість живих організмів отримала назву метаболізму, або обміну речовин.

4. Існуючі, живі організми постійно змінюють свої розміри та властивості, тобто розвиваються. На певних етапах життя особин здатність до росту та розвитку може зовні проявлятися досить мало (наприклад, у насіння, що знаходиться в стані спокою), але в цілому це обов'язкова властивість усіх живих істот.

5. Живі організми розмножуються. Самоутворення живих організмів із неживої матерії поки не зареєстровано. Ця закономірність отримала назву принципу біогенезу.

6. Інформація про особливості кожного виду живих організмів зберігається в них самих як генетичний код. При розмноженні особин вона зчитується і передається нащадкам, тому діти в основних рисах та властивостях схожі на своїх батьків.

Кожну з названих особливостей живих організмів, взяту окремо, можна знайти й у неживих тіл природи. Життя визначає саме повний комплекс цих властивостей та особливостей.

Використання ідей термодинаміки розкриває явище життя на рівні організмів з нового боку. Відповідно до іншого закону термодинаміки усі спонтанні автономні процеси в природі йдуть в одному напрямку – від упорядкованого стану до неупорядкованого. За міру безладності прийнято використовувати поняття ентропії (S). На його основі для матеріального світу можна запропонувати вираз

$$S \rightarrow \infty.$$

Останні відкриття в галузі синергетики показують, що зростання ентропії в неорганічній матерії не є універсальним правилом, хоча воно досить широко проявляється. Знайомство з живими організмами засвідчує, що під час їх життєдіяльності, навпаки, відбувається закономірне впорядкування внутрішньої структури, тобто процес, протилежний тому, який має місце в навколишньому матеріальному світі. Ентропія в межах світу живих організмів таким чином зменшується:

$$S \rightarrow 0.$$

У навколишньому світі тільки живі організми перешкоджають загальному процесу зростання ентропії, що з погляду термодинамічного підходу і є суттєвою ознакою життєдіяльності. При цьому стає очевидною унікальність життя в усьому Всесвіті, де тільки вияви життя забезпечують зворотність ентропійного процесу.

Екологія вивчає широке коло об'єктів, але дослідження живого – її центральна задача. Пізнання явищ життя дозволяє сформулювати кілька важливих принципів, пов'язаних з існуванням та функціонуванням живої матерії.

Принцип Реді стверджує, що живі організми походять тільки від інших живих організмів у процесі розмноження. У сучасних умовах на Землі жива речовина заново з неживої матерії утворюватися не може.

Принцип дискретності стверджує, що жива матерія не існує як континуальна маса, вона завжди розчленована на дискретні одиниці. Ними є індивідуальні організми, тобто особини рослин і тварин. Дійсно, уся жива матерія – від вірусів і бактерій до вищих рослин і ссавців – завжди представлена на нашій планеті окремими індивідуумами.

Принцип еволюції полягає в необоротній зміні живих організмів у ході їхнього історичного розвитку – філогенезу. Цей принцип був відкритий і обґрунтований Ч. Дарвіном, який довів, що з елементарного живого матеріалу, будова і властивості якого

варіюють під впливом мінливості, у ході природного добору виділяються і зберігаються найбільш життєздатні форми. Еволюція охоплює всі рівні організації живої матерії – від окремих популяцій і видів живих організмів до екосистем і біосфери.

Принцип адаптації стверджує, що живі організми мають сукупність морфологічних, фізіологічних, поведінкових і популяційних особливостей, що забезпечують існування того чи іншого виду рослин і тварин у певних умовах середовища існування. Завдяки адаптаціям будь-яка жива істота може жити і розмножуватися в тій чи іншій амплітуді конкретних екологічних умов, однак ці ж адаптації обмежують здатність даного виду живих організмів до існування за різкої зміни цих умов.

Принцип структурно-функціональної єдності свідчить про наявність відповідності структури функціям і навпаки. Живі організми практично не мають структурних частин, які б не виконували тієї чи іншої функції, так само як будь-яка функція реалізована у формі тієї чи іншої матеріальної конструкції тіла рослин і тварин.

Принцип адекватності конструкції, сформульований *Рашевським*, впливає з принципу адаптації. Він показує, що біологічні системи відповідають за структурою і функціями тому абіотичному середовищу, в якому вони живуть. Адекватність конструкції будь-якого організму є результатом дії природного добору.

Принцип найпростішої конструкції (за *Рашевським*), чи в більш точному формулюванні принцип оптимальності (за *Р. Розеном*) свідчить, що з усіх можливих конструкцій біосистем у природі реалізується найбільш простий за організацією варіант. Можливо, це є результатом мінімізації витрат речовини й енергії на формування даної біосистеми, будь це елементарний організм чи біоценоз.

Принцип найменшої взаємодії з середовищем існування поки що залишається дискусійним, але видається досить правдоподібним, тому що живі організми завжди мають механізми захисту від флуктуації навколишнього середовища. І, чим краще захищена жива матерія від непередбачених коливань абіотичних чинників, тим вона стійкіша. Особливо яскраво реалізація цього принципу виражена у вищих форм тварин, що виробили внутрішнє середовище, параметри якого (температура тіла, склад крові, електричні потенціали в нервовій системі та ін.) стійко зберігаються при досить широкому варіюванні зовнішнього середовища.

Принцип біологічної ієрархії полягає в наявності в природі біосистем різних рангів і їхніх упорядкованих за структурних ієрархій, в яких кожен вищий член ієрархії базується на нижчих членах цієї ж ієрархії. Найбільш очевидний приклад біологічної ієрархії – це таксономічні категорії: вид, рід, сімейство, порядок, відділ.

Принцип якісної неоднорідності свідчить про те, що будь-яка біосистема складається з компонентів якісно не схожих одне на одного. Це одна з базових ознак організації екологічних біосистем. Вони тим надійніші і стабільніші, чим більша кількість організмів із різними типами харчування і різними властивостями входить до їхнього складу.

Принцип зворотних зв'язків, дуже чітко розроблений І.І. Шмальгаузенем, стверджує, що біосистеми самопідтримуються і саморегулюються внаслідок наявності різноманітних зворотних зв'язків. В особин рослин і тварин принцип зворотних зв'язків проявляється перш за все в їхньому впливі на середовище існування, яке реалізується у ході життєдіяльності будь-якого організму.

Інша форма елементарних об'єктів в екології – це *абіотичні компоненти*, що входять до складу екосистем та біосфери. Вони різноманітні та численні і в цілому складають так званий екотоп. До них належать сонячна радіація, газовий склад повітря, волога, сукупність елементів мінерального живлення та багато інших.

Існує багато варіантів класифікації абіотичних факторів середовища. До кліматичних факторів відносять звичайно ті, що пов'язані з атмосферою та сонячною радіацією (температура, освітленість, вологість повітря, вміст у повітрі кисню та вуглекислого газу, вітер та ін.). Деякі з цих факторів прямо діють на рослини та тварин, інші впливають на них опосередковано, а треті поєднують прямий та опосередкований вплив. Наприклад, концентрація вуглекислого газу в повітрі є фактором безпосередньої дії, оскільки вуглекислий газ поглинається при фотосинтезі. Вітер виступає як фактор прямої дії у той момент, коли він забезпечує перенесення пилку у вітрозапильних рослин або розносить плоди анемохорів, та водночас він виступає і як фактор опосередкованої дії в тих випадках, коли висушує ґрунт або спричинює вітрову ерозію.

До едафічних факторів належить більшість ґрунтових параметрів: кількість у ґрунті елементів мінерального живлення, вміст гумусу, насиченість ґрунту повітрям і хімічний склад цього повітря, рН ґрунтового розчину та ін. Едафічні фактори також можуть мати пряму та опосередковану дію.

Біотичні фактори включають у себе весь комплекс впливу на даний живий організм, який виникає в результаті співіснування цього організму з іншими рослинами і тваринами.

У цілому, наявність постійного обміну речовинами між рослинами і тваринами, з одного боку, та їхнім середовищем, що включає в себе кліматичні, едафічні та біотичні фактори, – з іншого, веде до виникнення різноманітних і тонких зв'язків у системі «організм – середовище». Ці зв'язки охоплюють перш за все ту частину екологічного простору – екотопу, яка безпосе-

редньо оточує живий організм, контактує з ним. Виникає комплексна система, яка включає сам організм та елементи середовища, що складають його найближче оточення. За пропозицією італійського вченого *Д. Негрі* (1914) цей комплексний об'єкт отримав назву *екоїд*. У межах екоїда середовище не тільки активно використовується живим організмом, але й суттєво змінюється під його впливом. Тому було запропоновано щодо рослин називати абіотичну частину екоїда *фітогенним полем*. Поняття *екоїда* та *фітогенного поля* виявилось досить корисними при аналізі аутокологічних закономірностей на рівні окремих організмів.

Як екоїди, рослини та тварини входять до екосистем більш високого ієрархічного рівня, а інші формують біосферу. У результаті утворюється певний набір біоекосистем, які й виступають об'єктами досліджень екологів-професіоналів: особини – екоїди – популяції – екосистеми – біосфера. Це проілюстровано на *рис. 2.2*. Видно, що різноманітність структурних одиниць, які можуть бути виділені в природі, досить велика, а одні й ті самі об'єкти можуть належати до різних типів біологічних ієрархій.

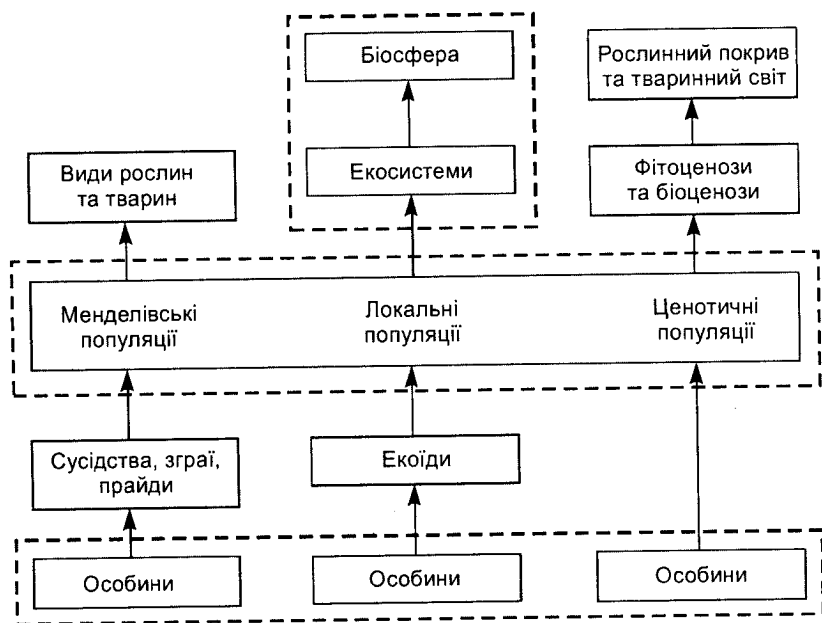


Рис. 2.2. Ієрархія рівнів організації в природі. Основні структурні рівні – організменний, популяційний та екосистемний – виділені пунктиром.

Концепція біологічної ієрархії не зводиться до простого ускладнення об'єктів при переході від нижчих до вищих ланок ієрархії. По мірі підняття ієрархічними щаблями вони набувають нових властивостей, що були відсутні на попередніх рівнях ієрархії.

Поява нових властивостей при переході від одного рівня організації до іншого отримала назву принципу емерджентності. Відповідно до цього принципу властивості та функції об'єктів вищих рівнів організації включають у себе властивості та функції нижчих ланок даного ієрархічного ряду. Але вони не зводяться лише до них. Так, властивості та функції такої екосистеми, як ліс, не можуть бути зведені до властивостей та функцій окремих організмів – дерев, що складають ліс. Здатність багатьох типів лісу до самовідновлення після вирубки через заміну порід – це властивість екосистеми, але не особин.

Залежно від підходу до вивчення природи може бути сформовано кілька різних видів ієрархії. Основні з них представлені на *рис. 2.2*. Для зоолога, який вивчає різноманіття форм життя, основною є ієрархія типу «організм – сусідство – популяція – вид». Дослідження законів сумісного життя рослин вимагає усвідомлення ієрархії типу «особини – консорції – ценотичні популяції – біоценози». Але основними ланками екологічної структурної ієрархії є організми, популяції та екосистеми. Аналіз різних видів біологічної ієрархії засвідчує, що рівень організованості біологічних та екологічних систем знижується по мірі підвищення їхнього місця в ієрархії. На нижчих ланках ієрархії системи жорстко організовані, на вищих – усе більш і більш нестійкі.

Екологічні об'єкти, що знаходяться на різних рівнях структурної ієрархії, таким чином, мають деякі сукупні властивості, які складаються:

а) із властивостей, привнесених до даного об'єкту з нижчих ланок ієрархії;

б) емерджентних властивостей, які виникли внаслідок взаємодії елементів біосистеми як якісно нові й типові тільки для даного рівня ієрархії. Недо врахування цієї фундаментальної особливості об'єктів екології приводило і приводить до значної кількості випадків технологічних і соціальних рішень, що руйнують природне середовище і спричиняють розвиток екологічної кризи.

Своєрідність особин – індивідуальних організмів – полягає в тому, що вони входять в усі ланки екологічної ієрархії. Але залежно від конкретних завдань, що вирішує екологія, центр ваги переміщується на той чи інший об'єкт загальної ієрархії. Це веде іноді навіть до різних визначень екології як науки. Вона розглядається то як наука про екосистеми, то як наука про біосферу, а то і як наука про взаємини рослин і тварин із середовищем існування.

2.5. МЕТОДИ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Екологія – це комплексна наука. Вона використовує широкий арсенал різноманітних методів, які можна поділити на три основні групи:

1) методи, за допомогою яких збирається інформація про стан екологічних об'єктів: рослин, тварин, мікроорганізмів, екосистем, біосфери;

2) методи обробки отриманої інформації, згортання, ущільнення та узагальнення;

3) методи інтерпретації отриманих фактичних матеріалів.

Будь-яке екологічне дослідження починається зі спостережень, відмітною рисою яких є невтручання спостерігача в перебіг процесів. Такі спостереження можуть здійснюватися, так би мовити, неозброєним оком, що було характерним для екології першої половини ХХ століття. В останні десятиріччя екологічні спостереження ведуться із застосуванням різноманітних приладів та технічних засобів. Це вже начебто і не спостереження в побутовому значенні цього слова, а отримання інформації про стан об'єктів.

У сучасній екології спостереження за допомогою приладів – один з основних методів дослідження. Шлях до нього був досить довгим – від мальовничих описів картин природи, чудові взірці яких зустрічаються в працях *А. Гумбольдта*, *А. Уоллеса*, *Ч. Дарвіна* в першій половині ХІХ століття, до сучасних комп'ютерних баз даних видового складу, параметрів середовища тих чи інших екосистем. Для вивчення властивостей природного середовища – повітря, води та ґрунту – застосовуються досить різноманітні прилади та устаткування, до обслуговування яких доводиться залучати спеціально підготовлені інженерні кадри. Специфічними є також і методи вивчення живих організмів. Для їх реалізації необхідні спеціалісти-біологи.

Особливістю сучасних екологічних спостережень за допомогою приладів є комплексність та довгостроковість, коли на одній і тій же ділянці екосистеми ведуться протягом досить великого відрізка часу спостереження за живими організмами та факторами середовища. Для реалізації комплексних спостережень створюються спеціальні стаціонари, що розміщуються в типових і особливо характерних біотопах так, щоб вони давали найбільш характерну інформацію про екосистему.

Крім комплексних спостережень, на стаціонарах може проводитись глобальний моніторинг екосистем і біосфери в цілому. Так, серією стаціонарів був організований глобальний моніторинг концентрації вуглекислого газу в атмосфері. За допомогою літаків, супутників та спеціальних ракет проводиться моніторинг стану озонового екрану нашої планети.

Як міждисциплінарна наука екологія широко застосовує *метод експерименту*. Його суть полягає в тому, що до екосистеми свідомо вноситься якась зміна, і через деякий час зіставляються результати спостережень на контрольній (вона обов'язкова) та експериментальній ділянках екосистеми. Але такі класичні однофакторні експерименти в екології мало реальні. Тут більш доречні багатofакторні експерименти, коли змінюються значення відразу багатьох факторів, а стан екосистеми в кінці експерименту оцінюється за багатьма параметрами.

Прикладом екологічного експерименту може служити внесення мінеральних добрив у замкнену водойму з реєстрацією розміру первинної біопродукції та взаємозв'язків різних груп організмів; штучне витоπτування й ущільнення ґрунту в лісах чи на луках для встановлення впливу рекреації (відпочинку населення) на ці екосистеми тощо. Широкої популярності набули результати комплексних польових експериментів, проведених у 1956-64 роках у лісових біогеоценозах під керівництвом *В.М. Сукачова*. Всесвітнє значення мають численні експерименти, здійснені в 1964-1974 роках за так званою Міжнародною біологічною програмою (МБП). В її реалізації взяли участь учені практично всіх країн світу, і вона дала дуже важливі результати по встановленню основних глобальних закономірностей біопродукційного процесу.

Значну роль в екології відіграють модельні експерименти. Вони проводяться в спеціальних лабораторних установках і полягають у вирощуванні окремих видів рослин чи розведенні тварин у контрольованих екологічних умовах. У результаті таких експериментів було отримано чимало цікавих даних і висновків. Класичними є лабораторні експерименти з інфузоріями, виконані *Г.Ф. Гаузе* в 1933-45 роках. У них уперше було виявлено роль щільності популяції і хижацтва в народжуваності, смертності і підсумковій чисельності особин. *В.М. Сукачов* у середині ХХ сторіччя провів польові модельні експерименти (що вже стали класичними) з вирощування окремих видів вищих рослин при підвищеній щільності їх розміщення, які показали, що відмирання особин у таких випадках має гомеостазуючий характер, сприяючи збереженню популяції.

Екологія широко використовує результати стихійних експериментів, які ставить сама природа або які є наслідком виробничої діяльності людини. Відоме виверження вулкану Кракатау, що сталося наприкінці ХІХ століття, знищило все живе на ряді островів Південно-Східної Азії. Ці острови були використані для вивчення природного ходу заростання та заселення вулканічних покладів. Чимало корисної інформації додає вивчення масових вирубок лісу, створення великих водосховищ і т.п.

У результаті спостережень та експериментів у розпорядженні еколога накопичується сукупність наукових фактів. Але за науковий факт не можна приймати результати будь-якого спостереження. Важливим критерієм достовірності результатів спостережень та експериментів є відтворність. Вона досягається, як правило, багаторазовим повторенням спостережень та експериментів. Результати таких повторюваних спостережень або обліків у сукупності складають так звану вибірку. Відповідне статистичне опрацювання даних дослідження дозволяє оцінити рівень статистичної достовірності результатів та вважати їх науковим фактом.

Певним джерелом фактів для еколога є літературні дані та службова інформація. Використання літературних даних цілком допустиме з урахуванням репутації автора та з посиланням на нього. Складніше буває з використанням службової інформації. Вона нерідко «захищена», тому слід отримати дозвіл на ознайомлення з нею. З іншого боку, усім відомі випадки, коли службова інформація (особливо щодо якості природного середовища) упереджено викривлялася чи приховувалася. Населення м. Києва після Чорнобильської аварії не мало своєчасних достовірних відомостей про забруднення радіоактивними речовинами атмосфери та водойм у місті та передмісті. Повністю була викривлена та прихована від населення південного Уралу інформація про викиди радіоактивних речовин на початку 1950-х років.

2.6. КОРОТКИЙ НАРИС ІСТОРІЇ ЕКОЛОГІЇ. УКРАЇНСЬКА ЕКОЛОГІЧНА ШКОЛА

Історія розвитку екології як синтетичної наукової дисципліни порівняно нетривала. Одним із перших, хто на межі XVIII та XIX століть усвідомив необхідність цілісної оцінки природних комплексів, був німецький натураліст *А. Гумбольдт*. Його наукова спадщина величезна – понад 600 робіт, у тому числі чудові монографії з історії Південної Америки. Можливо, *А. Гумбольдт* одним із перших став на шлях вияву глибинних зв'язків між людством та природним середовищем. У своїй книзі «Картини природи», що вийшла в 1808 році, він писав: «Я скрізь помічаю той вплив, який постійно здійснює фізична природа на моральний стан та долю людства».

Ці праці послужили поштовхом до синтезу даних геології, геоботаніки, гідрології, ґрунтознавства, кліматології багатьма вченими. Протягом XIX та початку XX століття розвиток спеціальних аналітичних наук сприяв накопиченню фактичних

даних, без яких було б неможливим формування екології як сучасної синтетичної науки. Було встановлено, що живі організми у своєму існуванні та розвитку найтіснішим чином залежать від природного середовища. Аутоекологія тварин та рослин у першій половині ХХ століття стала повноправною науковою дисципліною.

Засновником екології в її сучасному вигляді можна вважати німецького вченого *Е. Геккеля*, який визначив екологію як науку про загальну «економіку природи». Він же запропонував і сам термін «екологія». У становленні екології помітну роль зіграли праці *К. Мьобіуса* (1877) і, зокрема, запропоноване ним поняття біоценозу, або біоми, як сукупності організмів, що існують разом. *Ф. Даль* (1890) у свою чергу запропонував термін *біотоп*, що означав комплекс абіотичних факторів, які визначають життєдіяльність організмів. У наш час його частіше замінюють синонімом *екотоп*. *К. Фрідерікс* доповнив цей підхід ідеєю про «голоцен» як про цілісну одиницю, що включає в себе біоценоз та його екотоп.

Синтетичний погляд на природні комплекси поділяв *Г.Ф. Морозов* (1912), засновник учення про ліс як цілісну природну систему. Видатний учений *В.В. Докучаєв* у першій половині ХХ століття створив учення про ґрунт як особливе біокозне природне тіло, яке є результатом взаємодії материнських гірських порід та живих організмів. Прогресивну роль в історії екології відіграло поняття екосистеми, яке було введене англійським ученим *А. Тенслі* (1948).

Особливе місце в історії екології посідають відкриття всесвітньо відомого вченого *В.І. Вернадського* (1930–1945), автора вчення про біосферу. Він довів наявність широкомасштабного впливу живих організмів на абіотичне середовище. У той період, коли наукова громадськість уже була підготовлена до цілісного бачення природи, він своєчасно запропонував учення про біосферу як про одну з оболонок Землі, що визначається присутністю живої речовини. В.І. Вернадський уперше ввів у вивчення біосфери кількісний підхід, що дозволило об'єктивно оцінити обсяги біогеохімічного кругообігу речовин. Вчення В.І. Вернадського про ноосферу додатково узагальнило численні дані про нерозривність зв'язку людини з природним середовищем. Найбільшу роль у становленні сучасної екології відіграла публікація монографій американського вченого *Ю. Одума* в 1970–90 роках.

Середина та друга половина ХХ століття ознаменувалися проведінням широкого фронту екологічних досліджень, в яких помітну роль відіграють і екологи України. Першим науковим центром екологічних досліджень в Україні був створений у 1930 році сектор екології при Інституті зоології та ботаніки Харківського уні-

верситету. Дослідження в галузі екології, виконані в цьому центрі *В.В. Станчинським* (1930–1940), мали пріоритет з багатьох питань і відзначалися оригінальністю. Він на 10 років раніше за *В.М. Сукачова* підійшов до ідеї біогеоценозу як функціональної єдності біоценозу та абіотичних факторів. Праця *В.В. Станчинського* «До розуміння біоценозу» (1933) є класичною в галузі вивчення зв'язків між організмами в центричних системах.

Світове визнання отримали проведені у 1940–1980 роках дослідження українських учених *І.Г. Підолічка*, *Ф.А. Гриня*, *С.М. Стойка*, *П.С. Погребняка*, *Д.В. Воробйова* та багатьох інших (принципи раціонального природокористування, типологія лісів на основі едафічних мереж, роботи в екології ландшафтів та ін.).

Набули широкого визнання дослідження штучних лісів України, виконані *О.Л. Бельгардтом* (1971); *А.П. Травлєєв* (1980–1985) є засновником учення про лісові підстилки та їх екологічне значення.

Праці академіка *М.Г. Холодного* в екології залізобактерій зробили значний внесок у розвиток концепції про біогеохімічні цикли. Він же першим знайшов фітогенні речовини в атмосфері та заклав фундамент нової науки – аелопатії.

Нині у головних наукових центрах України – в Києві, Львові, Дніпропетровську – ведуться активні розробки складних екологічних проблем. Широке визнання отримали роботи академіків *М.А. Голубця*, *К.М. Ситника*, *Ю.Р. Шеляг-Сосонка*. У працях *М.А. Голубця* та *Ю.Р. Шеляг-Сосонка* розвинуті методологічні та концептуальні основи сучасної екології. Особливо важливими для розвитку екології стали монографія «Актуальні питання екології» *М.А. Голубця* та монографія «Методологія геоботаніки» (автори *Ю.Р. Шеляг-Сосонко*, *В.С. Крисаченко* та *Я.І. Мовчан*). Оригінальні методи рекультиватії териконів Донбасу розробив *Є.М. Кондрагяж* (1970–1980). Вони склали новий концептуальний етап у промисловій екології.

Екологи України, зокрема *Д.М. Гродзинський*, зробили вагомий внесок у розробку методів оцінки рівня радіоактивного забруднення великих територій та обґрунтування заходів зниження екологічних збитків від наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. Українським екологам завжди був притаманний інтерес до філософських проблем, що виникають при аналізі системи «людина – природне середовище».

2.7. ЕКОЛОГІЯ ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ

Розвиток екологічної науки в останні десятиріччя ХХ століття характеризується двома особливостями.

Перша особливість полягає в ідеологізації екології, у використанні її даних як інструменту політичної боротьби тих чи інших соціальних угруповань. У 1960–80-х роках в умовах холодної війни і протистояння капіталістичної та соціалістичної суспільних формацій екологічні проблеми та загроза екологічної кризи розглядалися не як об'єктивні наслідки глобального антропогенезу і технічного прогресу, а як наслідок відповідно капіталістичного чи соціалістичного способів господарювання. Під таким кутом зору друкувалася велика кількість робіт як у Радянському Союзі і країнах РЕВ, так і в країнах Західної Європи та США. Автори намагалися довести, що екологічні труднощі є результатом політичної системи.

З розпадом СРСР інтерес до такого підходу відпав і з'явилася можливість об'єктивної оцінки витоків екологічних проблем, що стоять перед людством. Об'єктивний аналіз показує, що деградація природного середовища є в першу чергу результатом загального технократичного і споживацького типу розвитку цивілізації.

Друга особливість сучасного статусу екології полягає в широкому застосуванні екологічної інформації різними громадськими рухами. Звичайно, це йде на користь екології, оскільки привертає увагу урядів до екологічної кризи та погіршення якості природного середовища. Позитивний вплив на суспільну свідомість мали в США та країнах Західної Європи різноманітні рухи «зелених».

Громадські рухи «зелених» публікують численні літературні видання, здійснюють зйомки фільмів про природу, популяризують екологічні знання і здоровий спосіб життя. Вони нерідко активно опираються здійсненню антиекологічних технічних проєктів. Особливо ефективною стала діяльність «зелених» після того, як у середині 1980-х років 13 національних «зелених» рухів об'єдналися в неурядову організацію «Грінпіс» («Зелений світ»). На рахунку «Грінпіса» на цей час є велика кількість різноманітних природоохоронних екологічних акцій.

Авторитетною неурядовою організацією є створений у 1968 році під керівництвом *Ауреліо Печчеї* Римський клуб. До роботи у Римському клубі залучаються вчені різних країн, які працюють над екологічною проблематикою. Римський клуб періодично публікує доповіді. Найбільш важливу роль відіграли доповіді *Д. і Д. Медоузів* «Межі росту» (1979), *Д. Боткіна* «Немає меж навчанню» (1980), *А. Кінга і А. Снайдер* «Перша глобальна

революція». У цих доповідях було обґрунтовано принцип вичерпності матеріальних та енергетисних ресурсів планети, доведено необхідність енергозбереження на всіх рівнях споживання електроенергії, показана необхідність широкої екологічної пропаганди з використанням усіх засобів суспільної інформації тощо.

У 1974 році в США було створено інститут «Всесвітня вахта» (World-wach) на чолі з відомими екологом Лестером Брауном. Американські вчені, що працюють у цьому фонді, дають оцінки екологічній ситуації у світі і розробляють прогнози оптимального розвитку цивілізації. Ці матеріали публікуються в інститутському щорічнику. Інститут «Всесвітня вахта» орієнтує на ресурсо- і енергозбереження в усіх видах господарчої діяльності, обґрунтовує необхідність міжнародної співпраці в галузі охорони природи.

Мають високу активність і громадські екологічні рухи в Україні. Згідно з обліком, проведеним ІСАР «Єднання», до 2001 року в Україні налічувалося 431 неурядова громадська організація, що працює у галузі екології. Вони проводять лекційну роботу, висаджують у населених пунктах дерева, кущі, створюють газони і квітники, ведуть природоохоронну роботу в заповідниках, заказниках і національних парках, організовують акції, спрямовані на підвищення екологічної безпеки атомних електростанцій та інших промислових об'єктів, ведуть постійну лекційну роботу з пропаганди законів України, прийнятих з метою збереження природного середовища нашої держави.

Сучасна екологія досить об'єктивно підходить до вирішення питань щодо місця людського суспільства в природі. Людське суспільство взагалі не можна розглядати як частину біосфери, як її компонент. Це різні форми буття – біотична та соціальна. Сучасне людське суспільство до певної міри відчужене від природного середовища і виступає щодо нього як зовнішня перетворююча сила, що вносить у біосферу ті чи інші збурення.

На сьогодні актуальною проблемою є не оцінка рівня детермінованості людського суспільства природним середовищем – це очевидно, а визначення того, до якої міри може бути перетворене природне середовище в ході його аграрного та промислового освоєння. Можна бачити, що намагання стати незалежним від навколишнього середовища є внутрішньою якістю людства. Але де лежить об'єктивна межа цієї незалежності щодо природного середовища? Відповідь на це питання може дати тільки екологія.

Сучасна екологія намагається вирішити проблему «людина – природне середовище» незалежно від існуючих політичних ситуацій. Екологічна криза з точки зору науки екології – це глобальне явище, яке є результатом зростання технічних

можливостей людини. Конфлікт між суспільними формаціями – капіталізмом та соціалізмом уже став фактом історії, але екологічні проблеми залишилися. Сучасне суспільство – високоінтегрована цілісність. Ми надто залежимо одне від одного, щоб ізольовано вирішувати проблеми єдиного за своєю суттю природного середовища. Одна тільки Чорнобильська аварія наочно показала, наскільки ми близькі сусіди, який невеликий наш європейський дім.

Стимулом для прогресу екологічної науки на межі XXI століття виявився загальний громадський інтерес до неї. У 1992 році Міжнародний інститут Геллопа провів опитування у 22 країнах світу за комплексною анкетною «Здоров'я планети». Аналіз даних опитування показав, що екологію як проблему «номер один» оцінили 39% населення Нідерландів, 29% – населення Мексики, 28% – населення Фінляндії, 18% – населення Туреччини і т.д. Населення 15 країн з 22, у яких проводилося опитування, вважає, що екологічний стан навколишнього середовища є складовою частиною трьох головних проблем, які має вирішити сучасне людство.

Це опитування показало, що більшість населення світу справедливо пов'язує погіршення свого власного здоров'я зі станом природного середовища, а серед причин деградації природних комплексів послідовно називає індустрію, погані технології, марнотратство та екологічне неучтвo. У 20 країнах з 22, де проводилося опитування, населення віддає перевагу екології над економікою.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення екологічних та біологічних систем та вкажіть на їх відмінності.
2. Дайте визначення структурної біологічної ієрархії та наведіть приклади.
3. Назвіть критерії, за якими в природі можна виділити біологічні та екологічні системи, та проведіть їх межі.
4. Назвіть шість загальних властивостей живих організмів.
5. Поясніть, що таке принцип зворотного зв'язку, та наведіть приклади зворотних зв'язків у природі.
6. Що таке принцип емерджентності? Поясніть терміни «гіпотеза», «спостереження», «експеримент», «контрольний дослід».
7. На кількох прикладах найбільш відомих вам біологічних та екологічних систем визначте, до якого виду (відкриті, закриті або ізольовані) вони належать; умотивуйте своє рішення.

Питання для обговорення

1. Розгляньте корисність термодинамічного підходу до аналізу екологічних систем.
2. Наведіть приклади, що підтверджують чи заперечують принцип найпростішої конструкції, та сформулюйте своє ставлення до нього.
3. Наведіть та обговоріть ряд прикладів, що ілюструють принцип структурно-функціональної єдності.
4. Запропонуйте експерименти, що можуть розкрити значення великих викидів вуглекислого газу потужними промисловими підприємствами в життєдіяльності рослин та тварин.
5. Спробуйте скласти концепцію та програму суспільного руху, спрямованого на екологічний захист прісноводних водойм України. Обґрунтуйте їх.

3 | Біосфера

3.1. ПОНЯТТЯ БІОСФЕРИ

Німецький учений Е. Зюсс у 1875 році виділив у масштабах планети Земля кілька структурних частин – оболонок (рис. 3.1). Він назвав їх геосферами.

Основні геосфери – це літосфера (шар гірських порід, що складають основу земної кулі), гідросфера (сукупність вод планети, океанічних і прісних) та атмосфера (повітряний океан Землі, що поділяється залежно від особливостей на тропосферу, стратосфе-

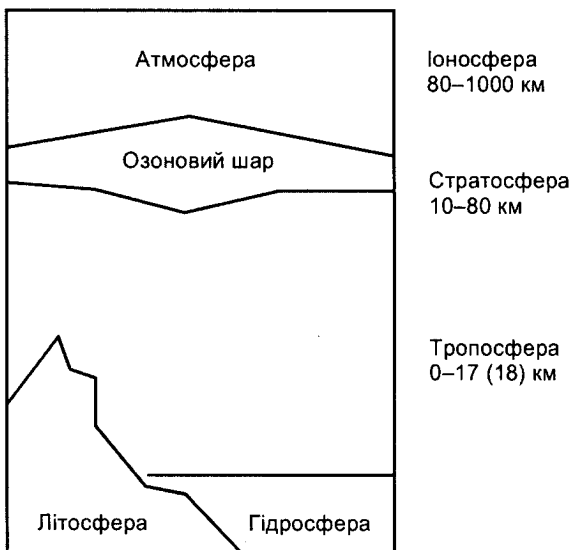


Рис. 3.1. Вертикальний розріз геосфер Землі. Показано взаємне розташування атмосфери, гідросфери та літосфери, а також поділ атмосфери на окремі шари

ру та іоносферу). У верхній частині стратосфери виділяється особливий озоновий шар, у якому кисень має форму озону – O_3 . Одна з геосфер отримала назву біосфери. Існує кілька визначень біосфери. Більшість сучасних екологів (*Ю. Одум, В.Д. Федоров, Т.Г. Гільманов, М.Ф. Реймерс, К.М. Ситник*) розуміють біосферу як об'єднання усіх живих організмів, що знаходяться у взаємозв'язку з фізичним середовищем Землі. З цього погляду біосфера становить сукупність екосистем нашої планети.

Фактично поняття біосфери охоплює не лише сукупність живих організмів, а й усі елементи неорганічної природи, залучені у потік життя.

Основоположниками вчення про біосферу є *В.І. Вернадський* (1967) та *Тейяр де Шарден* (1987). Вони обґрунтували високу хімічну та геологічну активність живої речовини біосфери, підкреслюючи, що розвиток життя на планеті забезпечується особливими фізичними властивостями біосфери. *В.І. Вернадський* першим вказав на існування біокосних тіл, які є продуктом взаємодії неживої та живої матерії.

Біосфера – це єдина планетарна система. У ній підтримується необхідне для життєдіяльності організмів середовище, та й самі організми суттєво змінюють параметри інших сфер земної кулі в межах біосфери. Біосфера не тільки охоплена життям, але й певним чином організована внаслідок діяльності живих організмів. У межах біосфери здійснюється біогенний кругообіг речовин та спрямований потік енергії.

Сучасна біосфера характеризується стабільністю та високою надійністю функціонування. Вона досить успішно гасить більшість внесених у неї збурень. Стабільність біосфери є наслідком високого рівня організованості, цілісності й структурованості.

Цілісність біосфери забезпечується багатьма механізмами, її структуру підтримує наявність різноманітних живих організмів, що постійно взаємодіють між собою. Прямі та зворотні зв'язки між продуцентами, консументами та редуцентами є потужною об'єднуючою силою біосфери.

У межах біосфери розвивається жива матерія, тут сформувалося людство. Якщо земна куля – колыска людства, то біосфера – лоно, що породило його. Необхідність цілісного розуміння біосфери та вивчення закономірностей її існування є актуальною проблемою сучасної науки. *Ю.Р. Шеляг-Сосонко, В.С. Крисаченко та Я.І. Мовчан* (1991) цілком обґрунтовано підкреслювали необхідність виділення окремої науки про біосферу – біосферології.

У методологічному плані біосферологія поєднана з іншою інтегральною наукою – геобіологією, формування якої почалося наприкінці XIX століття. Детальний аналіз, проведений українським філософом *В.С. Крисаченко* (1988), показав, що існує чотири

головні підходи до розуміння об'єкту геобіології. З них екологічний інтерес становлять два. У межах першого підходу геобіологія виступає як частина біосферології та концентрує свою увагу на дослідженнях біосфери як геологічного утворення. Цей підхід синтезує в собі аутокологію та синекологію. При іншому підході геобіологію розуміють як науку про біосферу, зорієнтовану перш за все на вивчення загальних процесів розвитку матерії. На основі цього аналізу можна побачити, що виділення геобіології як окремої науки на противагу біосферології не має ніяких переваг. Біосфера – це досить складне природне явище, і може існувати багато різних підходів до її вивчення. Кожний такий підхід може бути зародком нової науки.

3.2. СТРУКТУРА БІОСФЕРИ

Важливою особливістю біосфери є її злитість з іншими геосферами Землі. *Біосфера розміщена в межах атмосфери, гідросфери та частини літосфери.* Загальна протяжність біосфери за радіусом Землі становить близько 40 км. Вона простягається від нижньої частини озонового екрану атмосфери, розташованого на висоті 20–25 км над рівнем моря, до верхньої частини гірських порід суші та дна Світового океану. Нижня межа простягання біосфери лежить на 23 км вглиб суші та на 1–2 км нижче дна океану.

Основна маса живої речовини, наявність якої відрізняє біосферу від інших геосфер, зосереджена в порівняно невеликому прошарку – *біостромі*. Біострома лежить на поверхні суходолу та охоплює верхні шари водойм. У цій зоні знаходиться 98% усієї живої речовини планети.

Біосфера сформована з різних речовин. За В.І. Вернадським, виділяють шість головних типів речовин біосфери:

1. Жива речовина, що представлена організмами різних видів.
2. Біогенна речовина, що є продуктом життєдіяльності організмів (наприклад, кам'яне вугілля, торф).
3. Нежива (косна) речовина, в утворенні якої живі організми не брали участі. Це, наприклад, гірські породи та мінерали.
4. Біокосна речовина, що сформована внаслідок взаємодії живої та косної речовин. Основним видом біокосної речовини є ґрунт.
5. Радіоактивна речовина.
6. Космічна речовина (наприклад, метеорити).

Описаний підхід до структурування біосфери не єдиний. В наш час більшість спеціалістів поділяють її на сукупність жи-

вих організмів – біоту планети – і комплекс абіогенних екологічних компонентів: атмосферу, гідросферу і літосферу. Радіоактивна речовина в основному входить до літосфери – тверді планети, а речовина метеорів – частково в атмосферу при їхньому згоранні, частково – в літосферу.

Біосфера складається з окремих екосистем, але слід мати на увазі, що біосфера як глобальна система вищого рангу якісно відрізняється від регіональних екосистем більшою цілісністю і більшою замкненістю біогеохімічних циклів. Так, цикл живої речовини у біосфері повністю замкнений, чого немає в жодній екосистемі, і цикли азоту, вуглецю і води в біосфері маловідходні.

Замкненість і стійкість біосфери такі, що англійський учений *Дж. Ловлок* (1979) висунув концепцію «Геї» (за іменем богині Землі Геї), головним у якій є визнання наявності в біосфері високого гомеостазу, завдяки чому зрушена зі свого постійного стану тими чи іншими впливами, вона самостійно знову повертається у цей стан. Це справді так, але стійкість біосфери є відносною, і поріг її нам не відомий. Певні грубі порушення цілком можуть безповоротно вивести біосферу з нинішнього стану.

Г. Вальтер розділяв біосферу на біогеосферу (суходіл) та біогідросферу (усі види водойм). Такий поділ виправдовується тим, що в цих двох зонах зосереджена основна маса живої речовини. Розглянемо основні компоненти біосфери більш детально.

Жива речовина

За останніми оцінками, жива речовина складає $24 \cdot 10^{11}$ тонн. *К.М. Ситник* та *С.П. Вассер* (1992) вважають, що на Землі існують 1 447 609 видів живих організмів. На думку інших дослідників, їх набагато більше – можливо, 80 млн. видів. Повнота виявлення живих організмів неоднакова в різних царствах. Види судинних рослин виявлені на 80 %, мохів – на 70 %, водоростей – на 50 %, грибів – тільки на 1–10%, членистоногих – на 3–20%, монер – на 15–20% та вірусів – усього на 5%.

Порівняно з масою інших речовин планети на долю живої речовини припадає мізерна частини (*табл. 3.1*). Вона становить 1/11 000 000 маси земної кори. Жива матерія подібна до тонкої шкірки яблука, якщо порівняти розмір земної кулі з яблуком.

Унікальна роль живої речовини в біосфері полягає в її високій біогеохімічній активності. Жива речовина автотрофних організмів здійснює поглинання сонячної енергії та її перетворення на енергію хімічних зв'язків. Сукупна біогеохімічна активність живої речовини призвела до значної зміни газового

Таблиця 3.1. Порівняльна маса різних форм речовини в біосфері Землі

Речовина	Маса, т	Порівняння: масу живої речовини взято за одиницю
Жива речовина	$2,4 \cdot 10^{12}$	1
Атмосфера	$5,15 \cdot 10^{15}$	2 146
Гідросфера	$1,5 \cdot 10^{18}$	602 500
Земна кора	$2,8 \cdot 10^{19}$	1 670 000

складу атмосфери, в результаті чого атмосфера відновного типу перетворилася в атмосферу окислювального типу зі значним вмістом кисню. У результаті діяльності біосфери на земній кулі сформувався озоновий екран, який перехоплює більшу частину жорсткого космічного випромінювання та створює сприятливі умови життя на поверхні планети. Жива речовина змінила гірські породи та сприяла появі нових видів (вапняки та ін.). Життєдіяльність рослин, тварин та мікроорганізмів спричинила появу ґрунту.

Жива речовина планети є ініціатором та рушієм біогеохімічних циклів речовин. Велике значення в цьому має розмноження організмів, яке *В.І. Вернадський* називав «розтіканням» живої матерії, її «прагненням до всюдності». Робота (E), що виконується живою матерією, за *В.І. Вернадським*, може бути оцінена за формулою:

$$E = \frac{PV^2}{2},$$

де P – вага організмів; V – швидкість розтікання.

Для всієї живої речовини біосфери характерна майже абсолютна кіральна чистота. *Кіральність* – це особлива властивість органічних молекул існувати в двох оптично ізомерних формах: D (правих) та L (лівих). Ізомерія була відкрита ще в 1848 році французьким ученим *Л. Пастером*. При синтезі органічних речовин у лабораторних умовах D - та L -форми утворюються в рівних кількостях: 50% на 50%. Якщо, наприклад, штучно отриману L -форму амінокислоти зберігати протягом деякого часу, тоді частина її молекул самовільно перейде у D -форму, і таким чином виникне зрівноважена суміш лівого та правого полімерів.

Сучасні дослідники довели, що всі органічні молекули, що входять до складу живої речовини, зокрема, цукру та амінокислот, належать виключно до L -форм. D -цукри знаходяться тільки

в молекулах нуклеїнових кислот. Така кіральна чистота органічної речовини в живих організмах свідчить, що її механізм сформувався на певному й досить ранньому етапі виникнення життя на Землі і відтоді підтримується при біогенезі живої матерії.

Матеріали, отримані *В.І. Гольданським* (1986), показали, що кіральна чистота живих істот є необхідною умовою для редуплікації ДНК при передачі спадкової інформації від одного організму до іншого. Глобальний антропогенез та забруднення біосфери сторонніми для неї оптичними ізомерами ксенобіотиків створюють певну загрозу для вихідної кіральної чистоти живої матерії. Наслідки можливих порушень кіральної чистоти поки що важко передбачити.

Атмосфера

Газова частина біосфери представлена атмосферою. Її загальна маса дорівнює $5,2 \cdot 10^{15}$ т. Основу атмосфери складає азот – 78% за об'ємом. У значній кількості представлений кисень (20,95%), є вуглекислий та інші гази. В атмосфері завжди присутня водяна пара, основна частина якої (86%) утворюється при випаровуванні з поверхні океанів та суходолу. З висотою газовий склад атмосфери змінюється мало, тільки помітно зменшується кількість водяної пари.

Постійним компонентом атмосфери є *аерозолі*. Це молекулярні агрегати розміром від кількох нанометрів до десятків мікрометрів. Основу аерозолів складають молекули *води*, але до них входять й інші речовини – *тверді частки, сірчаний газ* тощо. Загальна маса аерозолів в атмосфері не менше 20 млн. т.

Важливою властивістю атмосфери є її рухливість. Циркуляція повітря під впливом різниці температур і обертання земної кулі універсальні. Унаслідок утворення вітру відбувається переміщення великих мас повітря, водяна пара переноситься з місць підвищеного випаровування в більш прохолодні місця, де випадає у вигляді дощу чи снігу. Вітер є важливим агентом переносу зачатків життя – спор, насіння тощо. Для багатьох рослин вітер служить агентом переносу пилку. З вітром переносяться і різні газоподібні та пиловидні речовини, що потрапляють в атмосферу в результаті господарської діяльності.

Газовий склад атмосфери не є постійним. За час існування нашої планети він різко змінився приблизно 2 млрд. років тому, коли зелені рослини в процесі фотосинтезу почали виділяти вільний кисень. До цього часу атмосфера складалася тільки з азоту, окислів вуглецю і водяної пари. Ця важлива зміна мала наслідком появу тварин, які дихають киснем, а також зробило можливим горіння речовин в атмосферному повітрі.

В екваторіальних широтах атмосфера поглинає більше сонячної енергії, ніж у високих широтах. Енергія, що поглинається атмосферою, є джерелом глобального переміщення повітряних мас, які, у свою чергу, визначають клімат.

Життєво важливим є *озоновий шар* атмосфери, розташований на висоті 20–25 км. *Озон* – це особлива форма кисню O_3 . Шар озону у верхній частині атмосфери порівняно малопотужний (при нормальному тиску його товщина була б рівною 3 мм), але він виконує найважливішу для життя функцію – перехоплення ультрафіолетових променів сонячного випромінювання, яке дуже небезпечно для живих організмів, зокрема тим, що викликає порушення ДНК та призводить до появи небажаних генетичних мутацій. Сучасне активне вивчення озонowego шару атмосфери є наслідком реалізації програми дослідження впливу вихлопних газів надзвукових літаків типу «Конкорд» на стратосферу. Було встановлено, що вихлопні гази безпечні, але з'ясувалося, що озон активно руйнується молекулярним хлором, який є у фреонах, які широко застосовуються в промислових та побутових холодильних установках. Фреони, підіймаючись у верхні шари атмосфери, розкладаються, виділяючи хлор, який руйнує озон.

Озонометрія, яка здійснюється впродовж останніх 25 років, показала, що за період спостережень втрати озону склали 3% від його початкової кількості. Начебто це й небагато, але такої втрати виявилось достатньо, щоб на певних ділянках озоновий шар втратив цілісність і утворилися «озонові дірки». У 1987 році в Монреалі на міжнародній конференції 36 країн світу підписали протокол зобов'язань щодо скорочення на 50% виробництва речовин, що руйнують озон. Це тимчасові заходи, оскільки механізми формування та збереження озонowego шару атмосфери до кінця ще не вивчені.

Важливість атмосферних параметрів для клімату та погоди широко відома. Практична необхідність прогнозування погоди та оцінки вікових тенденцій зміни клімату призвели до організації спеціальної метеорологічної служби.

За високої розрідженості атмосфери живі організми не можуть знаходитися в ній постійно. Утримання в атмосфері під час польоту вимагає значних затрат енергії. Здатність до тривалого ширяння в атмосферному повітрі мають тільки одноклітинні мікроорганізми та деякі види птахів. Для наземних організмів корисними властивостями атмосфери є її прозорість для сонячного випромінювання.

Гідросфера

Гідросфера сформована в основному з води. Вона з'явилася на планеті приблизно 4 млрд. років тому за рахунок процесу диференціації речовин. До початку фанерозоя утворився *Світовий океан*. В еволюції гідросфери відбулися два великі переломні моменти. Перший був пов'язаний з виходом рослин на суходіл. Оскільки поверхня випаровування листя суходільних рослин швидко збільшувалася і привезла до зростання втрат води (що прирівнювалося до випаровування з поверхні океану), то живі організми в результаті цього суттєво трансформували кругообіг води.

Другий переломний етап у розвитку гідросфери був викликаний вирубкою лісів та розорюванням ґрунтів для організації агроекосистем. Ліси витрачають на випаровування 90% поглиненої сонячної енергії, а рілля – тільки 40%. Вирубування лісу та розширення орних земель зменшили випаровування на континентах приблизно у 2 рази, що дало поштовх процесам запустелювання. Швидкість запустелювання в наш час складає, за *В.Г. Горшковим* та *К.С. Лосєвим* (1992), 20 га за 1 хвилину.

Вода надзвичайно важлива для живих організмів. У загальній кількості води планети, що дорівнює 1 млрд. 7 млн. тонн (або м³), 96,5% припадає на морську. На материках зосереджено тільки 3,5% загальних запасів води. Прісної води у світі нараховується 35 млн. км³, з них 30 млн. км³ води утримується в льодовиках.

Площа Світового океану становить 361,3 млн. км², що перевищує 70% поверхні планети. Вода океанів та морів солоні. Середня солоність сягає 35 г/л. Солоність залежить від випаровування та кількості опадів. На солоність невеликих морів впливає приток прісної води з рік. Тому вона, наприклад, висока в Червоному морі та низька в Балтійському.

Вода океанів та морів постійно перемішується внаслідок вертикальних та горизонтальних течій. У морській воді мало біогенних мінеральних речовин (особливо фосфору), і цей фактор є основним в обмеженні біопродукції автотрофних водяних рослин. Кількість розчиненого у воді вуглекислого газу лімітує фотосинтез менше.

Між океанами і сушею відбувається переміщення речовин. Зокрема, при хвилюванні води і в зоні прибою формуються аерозолі, що містять карбонати і сульфати. Вони переносяться вітром на материки і тут потрапляють на сушу разом з опадами. З іншого боку, ріки постійно вносять в океани велику кількість органічних і неорганічних речовин.

Води Світового океану мають високу теплоємність. Світовий океан поглинає 80% усієї сонячної радіації, яка досягає поверхні планети. Поглинальна здатність океанів складає 90 ккал/см² на рік, а суходолу – тільки 50 ккал/см² на рік. Природно, що основна частина тепла поглинається океанами в тропіках. У помірних та крайніх північних і південних широтах, навпаки, йде віддача тепла в атмосферу. Океан – це важлива «фабрика» погоди на планеті та основний стабілізатор середньої температури Землі. За відсутності Світового океану на континентах при зміні сезонів виникали б досить різкі коливання температур, мало сумісні з існуванням живих організмів.

Світовий океан виконує й іншу роботу в біосфері. У холодних областях вода поглинає вуглекислий газ з атмосфери, а в теплих відбувається його виділення. У цілому Світовий океан дуже важливий для планетарного обміну речовин та обміну енергією.

Моря та прісні води є середовищем життя багатьох видів організмів. Вода – щільне середовище, і живі організми знаходяться в ній або в завислому стані, або підтримують себе в потрібному їм шарі води шляхом активного плавання. Життям пронизана практично вся товща гідросфери. У Світовому океані синтезується 21 млрд. тонн органічних речовин. Це в основному біомаса фітопланктону. Завдяки автотрофним морським організмам океани продукують вільний кисень. Його вихід з океанів оцінюється в 61 млрд. тонн на рік.

Континентальні води переважно прісні, їхня солоність не перевищує в середньому 1–2 г/л солей. На континентах гідросфера представлена річками та озерами. У ріки суходолу стікає приблизно половина тієї кількості води, що випадає на суходіл у вигляді опадів. В Україні загальний стік води в ріках становить 87 млрд. тонн на рік.

Для гідросфери досить важливе співвідношення рідкої та замерзлої (лід) води. Воно визначається температурними умовами. Нині під льодом знаходиться до 10% поверхні суходолу. Сукупність усього льоду планети *В.І. Вернадський* називав кріосферою. Потужність кріосфери не стабільна. Упродовж довгих періодів при змінах клімату в тих чи інших регіонах планети може переважати утворення льоду. Він починає вкривати поверхню ґрунту та формувати цілорічний льодовиковий щит. Такі періоди в історії Землі отримали назву льодовикових.

В останню льодовикову епоху площа льодовиків у Європі збільшилася в 2 рази, а в епоху максимального зледеніння – у 4 рази. При цьому південна межа льодовика проходила на 48° п.ш.

Літосфера

Літосфера утворена гірськими породами. На виходах гірських порід безпосередньо можуть жити тільки деякі організми – лишайники, водорості. Для життя необхідний ґрунт, що утворюється як суміш мінеральних речовин, які виникають при руйнуванні гірської породи та органічних речовин – продуктів життєдіяльності організмів. Для формування ґрунту особливо важливі мікроорганізми та коріння рослин.

Поняття про ґрунт як біокосне тіло природи було вперше сформульоване *В.В. Докучаєвим*. Ще наприкінці XIX століття він підкреслював, що ґрунти виникають у результаті тісної взаємодії між водою, повітрям, гірськими породами та живими організмами. *Ґрунт* – головне середовище життя наземних рослин і важлива структурна частина біосфери. *Родючість* ґрунтів визначається сполученням багатьох фізичних та хімічних властивостей. Вона залежить від кількості в ґрунтах гумусу, від наявності біогенних макро- та мікроелементів, від вологості ґрунту, від її кислотності тощо.

Серед інших параметрів ґрунту не останнє місце посідає його *вологість*. Вона визначається співвідношенням кількості опадів та випаровування. Вважають, що при кількості опадів менш ніж 250 мм на рік формуються пустелі, при 250–750 – савани, степи, лісостепи та ліси, а при кількості, більшій за 1250 мм – вологі ліси та болота. В Україні основні опади надходять від Атлантичного океану, Середземного та Чорного морів. Найбільш зволожені ґрунти в Західній Україні.

У цілому треба зазначити, що всі оболонки земної кулі (геосфери) активно взаємодіють між собою, обмінюючись речовиною та енергією.

3.3. ПОТІК ЕНЕРГІЇ НА ЗЕМНІЙ КУЛІ

Енергія – це загальна кількісна міра руху та взаємодії усіх видів матерії. Відповідно до закону збереження енергії вона не зникає та не виникає з нічого, а тільки переходить з однієї форми в іншу.

На відміну від речовин, які можуть циркулювати по різних блоках екосистем, використовуватись повторно і формувати круговороти, енергія становить собою постійний односпрямований потік. У таких потоках енергія може перетворюватися з однієї форми на іншу доти, доки не розсіється в космічному просторі у вигляді тепла. Поведінку енергії описують закони термодинаміки. Перший з них (закон збереження енергії) стверджує, що

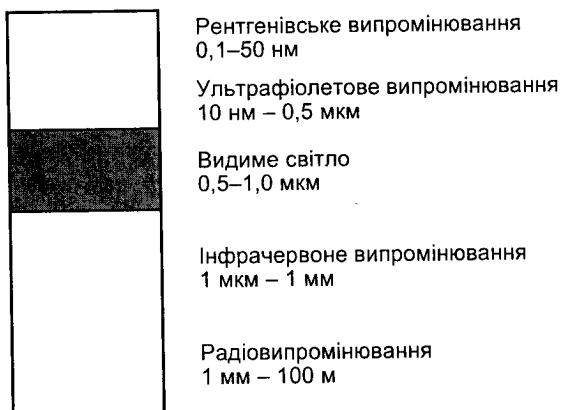


Рис. 3.2. Спектр випромінювання Сонця

енергія не може бути створена заново або знищена, вона лише перетворюється з однієї форми на іншу. Другий закон говорить, що при перетвореннях енергії з однієї форми на іншу ніколи не може бути 100-відсоткового її переходу. Якась частина енергії буде втрачена, розсіяна.

Потік енергії на Землі має три джерела:

а) *кінетична енергія* обертання Землі та її супутника Місяця як космічних тіл. Вона проявляється в морських припливах, енергія яких недоступна живим організмам, але може використовуватися людиною;

б) *енергія земних надр*, яка підтримується ядерним розпадом урану та торію. Ця енергія виділяється у формі геотермічного тепла. У вулканічних районах вона використовується для опалення оранжерей та басейнів;

в) *сонячна енергія*, на базі якої здійснюється життєдіяльність автотрофних організмів.

На Сонці енергія виникає в результаті ядерних перетворень. Головне з них – це перетворення водню в гелій через дейтерій. Променева енергія Сонця (рис. 3.2) проявляється в амплітуді довжини хвиль від 0,3 до 2,0 мкм. Частка ультрафіолетового випромінювання в ній невелика. Воно в основному затримується озоновим екраном планети. Приток енергії до зовнішньої поверхні атмосфери планети від Сонця порівняно постійний – це так звана сонячна постійна, яка дорівнює 1,93 кал/см² за 1 хв. Вона відхиляється від середнього значення лише на 0,1-0,2%. Але тривалих спостережень за величиною сонячної постійної поки що не велося, і її багатівікові тенденції не відомі.

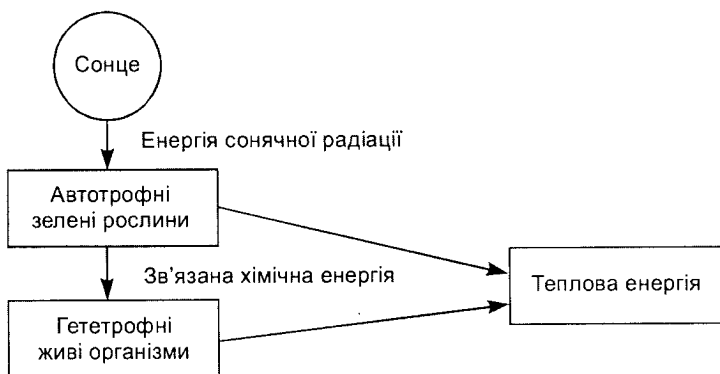


Рис. 3.3. Основні напрямки потоку енергії в біосфері земної кулі

Спеціалісти вважають, що протягом останнього мільярду років сонячна постійна не змінювалася.

Всього до Землі доходить $10,5 \cdot 10^6$ кДж/м² на рік променистої енергії. Але 40% її відразу відбивається у космічний простір, а 15% – поглинається атмосферою: або перетворюється в тепло, або витрачається на випаровування води. В атмосфері сонячну радіацію поглинає здебільшого водяна пара. В океанах цю роль виконує рідина (вода), на суходолі – гірські породи та ґрунт. Велика частина радіації відбивається в атмосферу від поверхні льоду та снігу.

Усю біосферу можна розцінювати як єдине природне утворення, що поглинає енергію з космічного простору та направляє її на внутрішню роботу. У біосфері енергія тільки переходить з однієї форми до іншої та розсіюється у вигляді тепла. Основними перетворювачами енергії в біосфері є живі організми. Вони перетворюють вільну променисту енергію в хімічно зв'язану, яка потім переходить від одних біосферних структур до інших (рис. 3.3). При кожному переході частина енергії перетворюється в тепло та розсіюється в навколишньому просторі. У більш детальному вигляді схема потоку енергії показана на рис. 3.4. Рослини та земна поверхня в середньому поглинають $5 \cdot 10^6$ кДж/м² енергії на рік. Ця величина різна на різних широтах. Ефективність перенесення енергії в живій речовині досить низька. При перенесенні від продуцентів до консументів першого порядку вона складає всього 10%. Перенесення від консументів першого порядку до консументів другого порядку більш ефективне – 20%. Таким чином, бачимо, що травоядні тварини менш ефективно використовують їжу, ніж м'ясоїдні. Це в багатьох випадках пов'язано з хімічним складом їжі. У рослинах переважає лігнін і целюлоза та є захисні речовини від фітофагів. Завершується потік

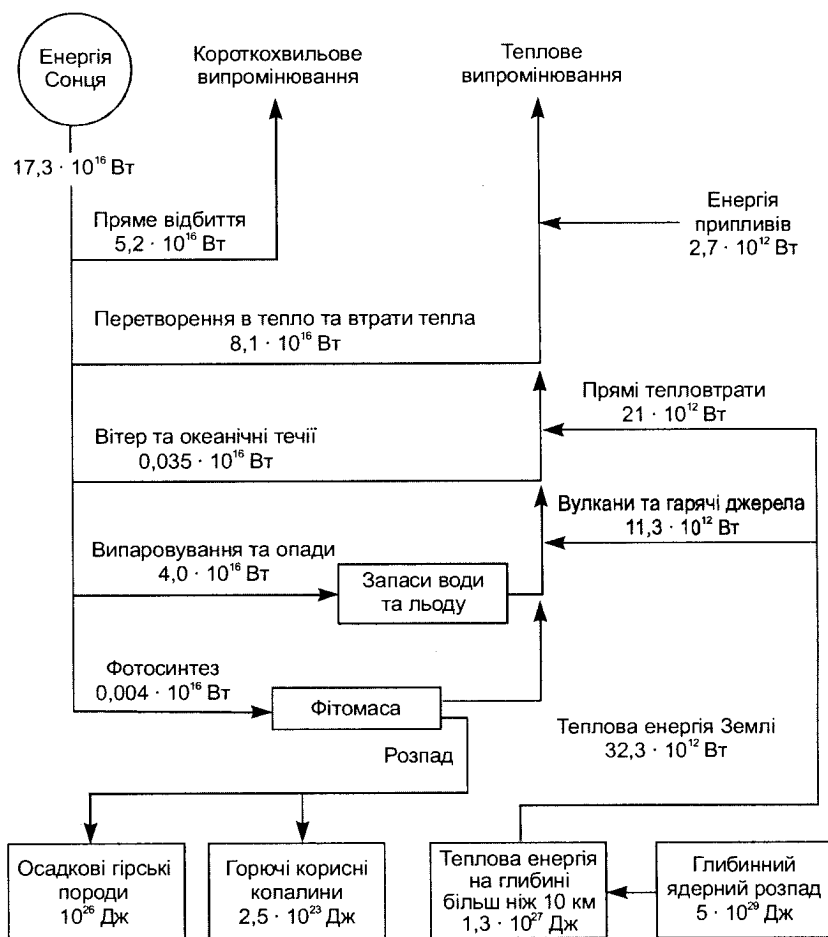


Рис. 3.4. Планетарний потік енергії (за Скіннером, 1989)

енергії на редуцентах, де енергія або ж остаточно розсіюється у вигляді тепла, або акумулюється в мертвій органічній речовині (детрит). Однією з форм тривалого збереження акумульованої енергії є нафта, кам'яне вугілля та торф.

У різних екосистемах, що складають біосферу, потоки енергії своєрідні та відрізняються кількісними показниками, але напрямком та принциповий тип потоку енергії в біосфері однаковий. Для аналізу особливостей потоку енергії корисно розглянути схеми на рис. 3.5, що показують своєрідність потоку енергії в екосистемі лісу, та на рис. 3.6, де показані напрямки потоку енергії в екосистемах луків.

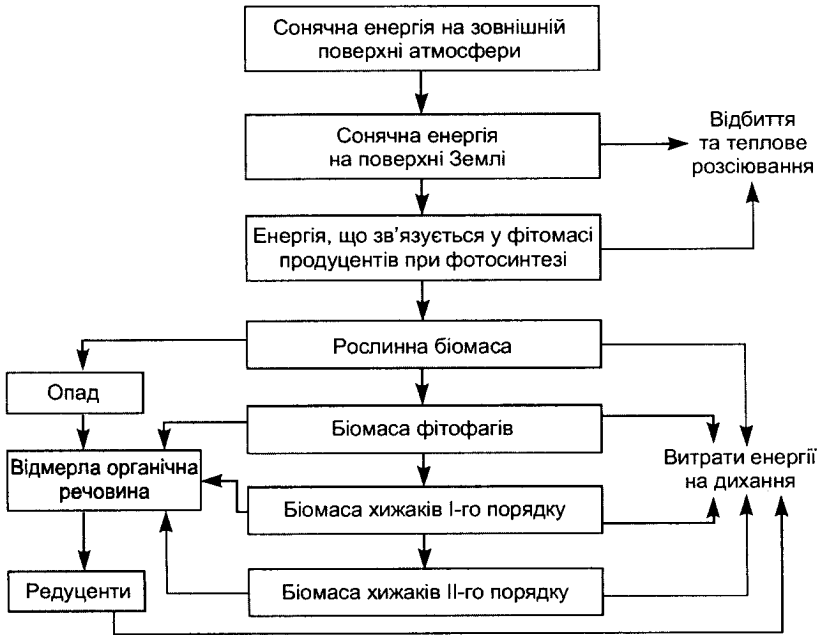


Рис. 3.5. Деталізована схема потоку енергії в екосистемі лісу

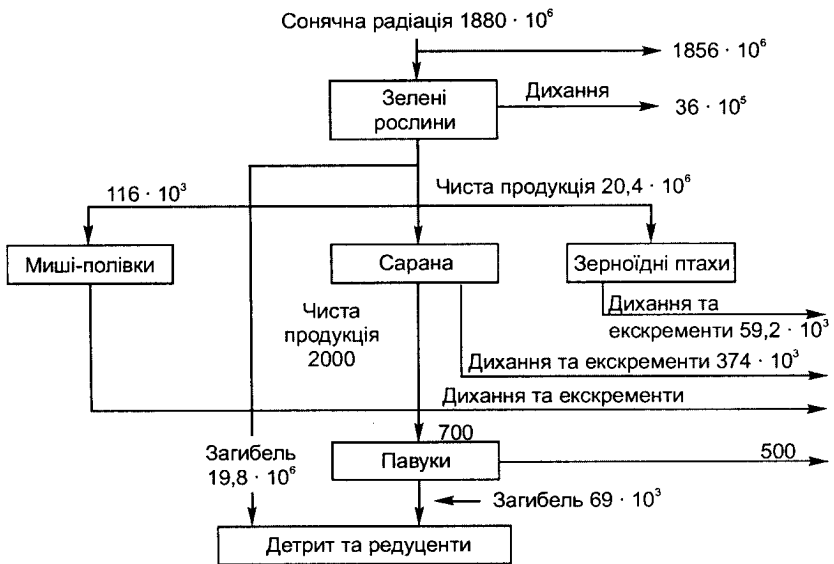


Рис. 3.6. Потік енергії через екосистему луків (за Трайбом, 1974). Енергія виражена в кДж/м² на рік

3.4. БІОГЕОХІМІЧНІ ЦИКЛИ

Унаслідок процесів міграції хімічних елементів усі геосфери Землі зв'язані єдиним циклом кругообігу цих елементів. Такий кругообіг, рушійною силою якого є тектонічні процеси та сонячна енергія, отримав назву *великого (геологічного) кругообігу*. Цей кругообіг має абіотичний характер. Тривалість його існування – близько 4 млрд. років. Потужність великого (геологічного) кругообігу речовин в атмосфері, гідросфері та літосфері оцінюється в $2 \cdot 10^{16}$ тонн/рік.

Виникнення життя на Землі спричинило появу нової форми міграції хімічних елементів – біогенної. У результаті біологічної міграції на великий кругообіг (геологічний) наклався *малий (біогенний) кругообіг* речовин. У малому біологічному кругообігу переміщуються в основному вуглець (10^{11} тонн на рік), кисень ($2 \cdot 10^{11}$ тонн на рік), азот ($2 \cdot 10^{11}$ тонн на рік) та фосфор (10^8 тонн на рік). У наш час обидва кругообіги відбуваються одночасно та тісно пов'язані між собою.

Завдяки взаємодії різних груп живих організмів між собою та з навколишнім середовищем, в екосистемах виникає певна характерна для кожного з видів екосистем структура біомаси, створюється своєрідний тип потоку енергії та специфічні закономірності її передачі від однієї групи організмів до іншої, формуються трофічні ланцюги, що визначають послідовність переходу органічних речовин від одних груп живих організмів до інших. Живі організми в біосфері ініціюють кругообіг речовин та призводять до виникнення біогеохімічних циклів. Пріоритетні дослідження біогеохімічних циклів були розпочаті *В.І. Вернадським* ще на початку 1920-х років.

Біогеохімічний цикл можна визначити як циклічне поетапне перетворення речовин та зміну потоків енергії з просторовим масоперенесенням, яке здійснюється за рахунок сумісної дії біотичної та абіотичної трансформації речовин. Біогеохімічні цикли становлять циклічні переміщення біогенних елементів: вуглецю, кисню, водню, азоту, сірки, фосфору, кальцію, калію та ін. – від одного компоненту біосфери до інших так, що на певних етапах цього кругообігу вони входять до складу живої речовини.

Рушійною силою переміщень усіх речовин в біогеохімічних циклах є потік сонячної енергії або частково енергії геологічних процесів Землі. Витрати енергії необхідні й для переміщення речовин у біогеохімічних циклах, і для подолання біогеохімічних бар'єрів. Такими бар'єрами на різних рівнях виступають мембрани клітин, самі особини рослин і тварин та інші матеріальні структури. Переміщення речовин у біогеохімічних циклах одночасно забезпечує життєдіяльність живих організмів. Голо-

вними оцінки параметрами ефективності та напрямку роботи біогеохімічного циклу є кількість біомаси, її елементарний склад та активне функціонування живих організмів.

Просторове переміщення речовин у межах геосфер, або, інакше кажучи, їх *міграція*, поділяється на п'ять основних типів:

1. *Механічне* перенесення (відбувається без зміни хімічного складу речовин).

2. *Водне* (міграція здійснюється внаслідок розчинення речовин та їх наступного переміщення у формі іонів або колоїдів). Це один із найбільш важливих видів переміщення речовин у біосфері.

3. *Повітряне* (перенесення речовин у формі газів, пилу або аерозолів із потоками повітря).

4. *Біогенне* (перенесення здійснюється за активної участі живих організмів).

5. *Техногенне*, що проявляється як результат господарської діяльності людини.

Інтенсивність кругообігу речовин у будь-якому біогеохімічному циклі є найважливішою характеристикою. Оцінку такої інтенсивності зробити непросто. Одним із найбільш доступних індексів інтенсивності біологічного кругообігу речовин може служити співвідношення маси підстилки та іншого органічного опаду, який є в будь-якому біомі, та маси опаду, що утворюється за один рік. Чим більший цей індекс, тим, очевидно, нижча інтенсивність біологічного кругообігу. Реальні оцінки показують, що в тундрі значення цього індексу максимальні, отже, тут мінімальна інтенсивність біогеохімічних циклів. У зоні тайги інтенсивність біологічного кругообігу зростає, а в зоні широколистяних лісів стає ще більшим. Найбільша швидкість кругообігу речовин реєструється в тропічних та субтропічних біомах: саванах та вологих тропічних лісах. В агроекосистемах біогеохімічний кругообіг відбувається інтенсивно, але якісні його параметри вже інші.

Живі організми біосфери ініціюють та реалізують велику кількість широкомасштабних фізико-хімічних процесів. Метаболізм живих організмів супроводжується серйозними змінами газового складу атмосфери. З атмосфери вилучаються або, навпаки, надходять до неї кисень, вуглекислий газ, азот, аміак, метан, водяна пара та багато інших речовин. Під впливом накопичення в атмосфері вільного кисню, який є продуктом життєдіяльності зелених рослин, на Землі почали переважати окислювальні процеси, які відіграють важливу роль в абіогенному та біогенному перетвореннях вуглецю, заліза, міді, азоту, фосфору, сірки та багатьох інших елементів. У той же час на планеті збереглися й відновні процеси, які здійснюються анаеробними організмами. Результатом цих планетарних процесів є утворення

таких суто біогенних покладів, як осадкові гірські породи: вапняки, фосфати, силікати, кам'яне вугілля та ін. Усі вони – результат життєдіяльності живих організмів.

Аналізуючи біогеохімічні цикли, *В.І. Вернадський* виявив концентраційну функцію живої речовини. Унаслідок реалізації цієї функції жива речовина вибірково поглинає з навколишнього середовища хімічні елементи. Якщо наша планета в цілому сформована зі сполук заліза, нікелю, магнію, сірки, кисню в першу чергу, то в результаті вибіркового поглинання та концентраційної функції біомаса має зовсім інший склад. Вона утворена з вуглецю, водню за порівняно малої участі інших елементів (рис. 3.7).

Хімічні елементи, що переважно беруть участь у побудові живої речовини і є необхідними для його синтезу, отримали назву біогенних. Концентраційна функція тварин та рослин по-різному реалізується в різних видів. Мають свої особливості й окремі біоми. *Д.А. Криволуцький* та *А.Д. Покаржевський* (1986) за характером накопичення хімічних елементів поділяють організми тварин на три групи: *накопичувачі* (концентрують певні елементи у своєму тілі), *розсіювачі* (завдяки міграціям розсіюють хімічні елементи переважно на терені біому) та *очищувачі* (утримують певні елементи у своєму тілі меншою мірою, ніж одержують з їжі, і таким чином сприяють очищенню трофічних ланцюгів від даних елементів). Накопичувачами та очищувачами є й рослини.

Принцип циклічності в перетвореннях та переміщенні речовин у біосфері є основоположним. *Збереження циклічності – це умова існування біосфери.* Введення в біосферу односпрямованих процесів, які здійснює людина при конструюванні техносфери та агросфери, виявляється для біосфери згубним та найбільш небезпечним.

Для біосфери характерна висока замкненість біогеохімічних циклів. Втрати речовин у них складають не більше 3–5%. Однак

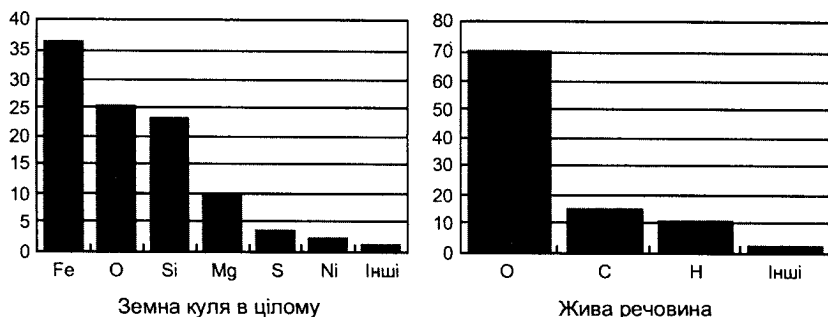


Рис. 3.7. Співвідношення хімічних елементів на земній кулі та в живих організмах. Частка елементів виражена у відсотках

усі біогеохімічні цикли дають певну кількість «відходів». Такі природні відходи для біосфери не шкідливі. Вони є накопиченням речовин, певною мірою інертних, які акумулюються в атмосфері (за Ю.Одумом, це газовий тип циклу), або тих, що надходять у літосферу у вигляді осадкових порід (осадковий тип циклу). Більш того, відходи окремих біогеохімічних циклів є умовою виникнення та підтримки існування багатьох груп живих організмів. Так, біогенне походження має весь кисень атмосфери, що виникає як «відходи» фотосинтетичного процесу. За рахунок відходів біогеохімічного циклу вуглецю в земній корі накопичилися великі запаси вуглецевмісних геологічних покладів: кам'яного вугілля, нафти, вапняків. Загальна кількість їх сягає 10^{16} – 10^{17} тонн.

Біогеохімічні цикли змінюються в процесі еволюції біосфери. Реалізація окремих біогеохімічних циклів та накопичення відходів є основою виникнення біогеохімічних циклів нового типу або ускладнення існуючих. Так, накопичення в атмосфері вільного кисню створило передумову виникнення великої групи організмів, які використовують вільний кисень для дихання. Процеси хімічного біогенного окислення стали складовою частиною біогеохімічних циклів.

Центральне місце в біосфері посідають біогеохімічні цикли: вуглецю, води, азоту та фосфору. Ці цикли зазнали значної трансформації при формуванні техносфери та агросфери, і вивчення їх стало важливим завданням екології.

Біогеохімічний цикл вуглецю базується на атмосферному депо, яке утримує його в кількості приблизно 700 млрд. тонн у формі вуглекислого газу (рис. 3.8). Цей цикл ініціюється фотосинтезом

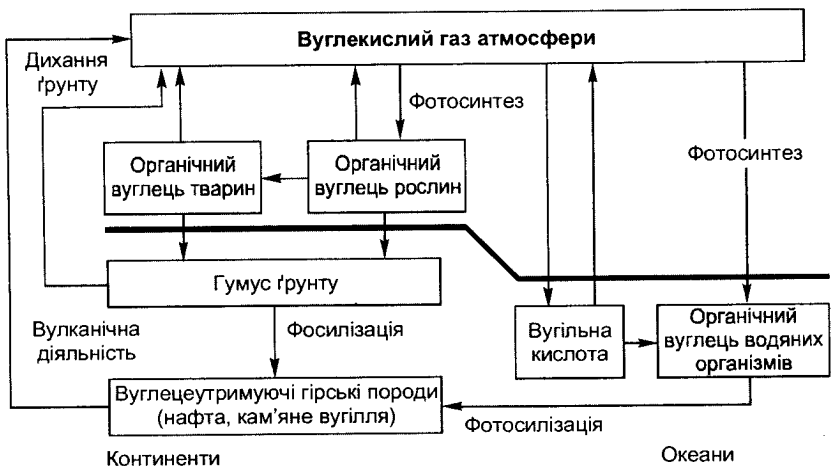


Рис. 3.8. Біогеохімічний цикл вуглецю

та диханням. Обидва процеси відбуваються так інтенсивно, що у рослин та тварин на долю вуглецю припадає до 40–50% загальної маси. Залишки відмерлих рослин та тварин сприяють утворенню гумусу. Аналогічно утворюється й торф. У цих формах вміщується до 99% вуглецю нашої планети. Швидкість кругообігу вуглецю обчислюється в середньому від 300 до 1000 років.

Із загальної кількості вуглекислого газу атмосфери близько 200 млрд. щорічно засвоюється автотрофними рослинами у процесі фотосинтезу. При цьому обсяги такої фіксації вуглецю рослинами суші і Світового океану приблизно однакові.

Кількість вуглекислого газу в атмосфері над тією чи іншою територією має закономірну динаміку. У тропічній і субтропічній зонах його в атмосфері менше, оскільки в цих зонах активність фотосинтезу найбільш висока. При переміщенні на південь і північ від тропіків вміст вуглекислого газу в повітрі збільшується і є максимальним над районами тундри й арктичних і антарктичних пустель. Відбуваються й сезонні коливання вмісту вуглекислого газу в атмосфері: улітку його менше, узимку більше, що також пов'язано з фотосинтезом зелених рослин.

Утворення техносфери суттєво змінило цей цикл. Зараз антропогенне надходження вуглекислого газу в атмосферу зросло більше природного на 6–10%. Це пов'язано, головним чином, з вирубуванням лісів та заміною їх менш продуктивними агроценозами. Певний внесок робить і промисловість та всі виробництва, які пов'язані зі спалюванням палива.

Вуглекислий газ повітря має парниковий ефект, і збільшення його кількості в атмосфері є однією з головних причин потепління клімату планети.

Біогеохімічний цикл води. Схема біологічного кругообігу води наведена на *рис. 3.9*. Основна її кількість (96,5%) зосереджена в океанах. Частка підземних вод становить 30%, ґрунтових – 0,05%, атмосферної води – 0,04%, води боліт – 0,03%, біологічної, що входить до складу живих організмів, – 0,003%. Переважна частина води засолена. Прісної води на планеті всього 2% загальної її кількості. Тіла всіх живих організмів (досить сильно обводнені) мають високий вміст води: у тварин на долю води припадає 70%, а в рослин – 90–95% їхньої маси.

Загальний кругообіг води ініціюється потоком сонячної радіації. Випаровування та трансляція переводять воду з рідкого стану в газоподібний, і вона надходить в атмосферу. Атмосферні опади забезпечують обводнення континентів (хоча частина опадів випадає безпосередньо над водоймами). Кількісні показники кругообігу води визначаються кліматом та й самі визначають клімат. Головним параметром оцінки інтенсивності кругообігу

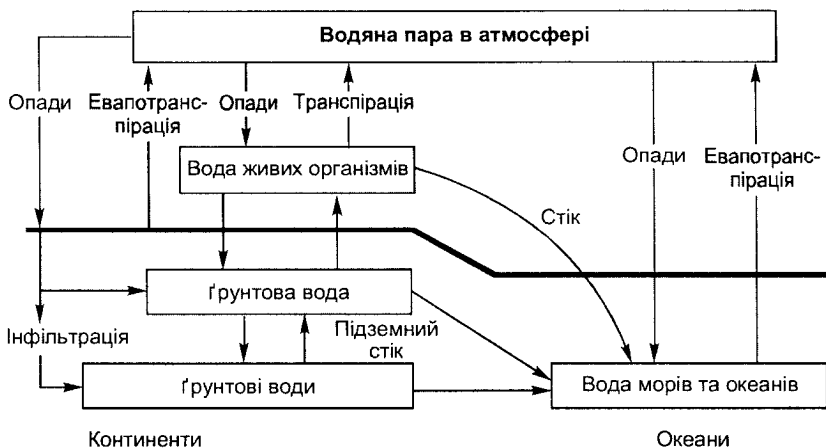


Рис. 3.9. Біогеохімічний цикл води

води служить евакотранспірація з її розділенням на випаровування та власне транспірацію.

Безпосередньо до формування біомаси залучається всього десь 1% води від загальної її кількості на планеті. На утворення 1 кг біомаси використовується 130–230 кг води, і тому її кругообіг є досить активним.

Вода морів та океанів, а також підземні води служать як депо води. Моря втрачають від випаровування більше (1200 мм на рік), ніж отримують від опадів (1100 мм на рік). Ця різниця забезпечує обводнення континентів. На суходолі середня річна кількість опадів дорівнює 710 мм, а випаровування – 470 мм. Зворотне надходження води до океанів та морів йде через поверхневий та підземний стоки.

Сільськогосподарське та промислове виробництво, не змінюючи загальної кількості води в її біогеохімічному циклі, суттєво перерозподіляє надходження води до різних регіонів. Виявляється, меліорацією охоплені величезні території. Відірваність меліоративних проектів від екологічних концепцій призвела в підсумку до запустелювання, обміління рік, висихання замкнених водойм, що знаходяться в умовах континентального клімату. Яскравим прикладом є обводнення півдня Середньої Азії за рахунок забору води з Амудар'ї та Сирдар'ї, що завершилося трагедією Аралу.

Суттєвий вплив на цикл води здійснює промислове виробництво. Більшість його видів пов'язані з використанням великої кількості води, яка повертається в депо вже сильно забрудненою.

Природний біогеохімічний кругообіг води є рівноважним. Але в епоху індустріалізації він почав помітно порушуватися.

Зменшився внесок у випаровування лісів через їх вирубування, знижується випаровування з поверхні морів і океанів унаслідок збільшення нафтових та інших плівок на поверхні води, зате різко збільшилося випаровування на зрошуваних сільськогосподарських угіддях. Однак найбільший вплив на кругообіг води починає здійснювати потепління клімату планети. Воно веде до надходження з льодових депо планети в кругообіг усе більшої та більшої кількості рідкої та пароподібної вологи, що спричиняє підняття рівня води у Світовому океані і випадання катастрофічно великої кількості опадів у вигляді дощу і снігу в тих регіонах, де раніше таке не спостерігалось.

Біогеохімічний цикл азоту. Це один із найшвидших кругообігів речовин (рис. 3.10). Реалізується він в основному за рахунок діяльності різних груп живих організмів і, в першу чергу, за активної участі мікробів. Основним депо азоту є газоподібний азот атмосфери. Його зв'язування здійснюється вільноіснуючими азотфіксаторами (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Nostoc*, *Rhizobium*). Органічні речовини, які вміщують зв'язаний азот, мінералізуються шляхом амоніфікації та нітрофікації, що робить нітратний та амонійний азот доступним для вищих рослин. Загальні оцінки фіксації атмосферного азоту суперечливі і в середньому для планети складають від 100–170 мг/м² на рік до 1–20 г/м² на рік. Це відповідає приблизно 126 млн. тонн азоту на рік.

В антропогенну епоху на кругообіг азоту великий вплив має виробництво синтетичних азотних добрив. Воно полягає у зв'я-

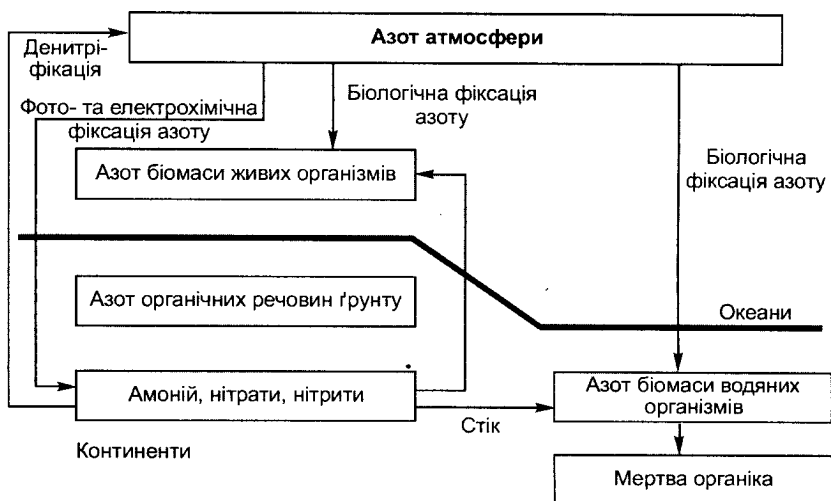


Рис. 3.10. Біогеохімічний цикл азоту

зуванні азоту повітря та поетапного його перетворення спочатку в аміак, потім в азотну кислоту, необхідну для отримання нітратів. Цей процес став широкомасштабним та залучив до біогеохімічного циклу азоту з атмосферного депо велику його кількість. Введення антропогенного азоту в його біогеохімічний цикл дорівнює $6,4 \cdot 10^7$ тонн азоту на рік (Garrels et al., 1973). Очікується, що до 2020 року обсяг промислової фіксації азоту збільшиться приблизно удвічі.

Розвиток промисловості і транспорту привів до різкого зростання кількості окислів азоту, що надходять в атмосферу. Ці окисли реагують з водяною паром і випадають з атмосфери у формі кислотних дощів. Частота реєстрації таких кислотних опадів збільшується майже в усіх регіонах світу, але особливо великою вона є в промислово розвинених країнах Західної Європи та США.

З усіх синтетичних мінеральних добрив азотні добрива вимагають найбільших енергетичних витрат при їх виробництві і тому є найдорожчими. Однак у сільському господарстві не розроблені технології безвідходного застосування азотних добрив. Нітрати не повністю використовуються культурними рослинами і суттєво збіднюють ґрунтові води та водойми. Проблема нітратного забруднення навколишнього середовища в наш час стала однією з найбільш актуальних.

Біогеохімічний цикл фосфору. Цей цикл має найбільш простий характер (рис. 3.11). Основний запас фосфору зосереджений

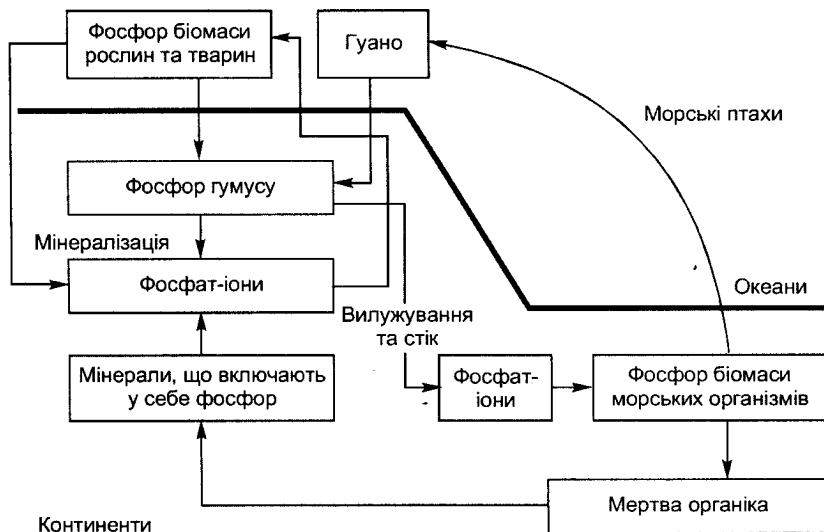


Рис. 3.11. Біогеохімічний цикл фосфору

на планеті у вигляді гірських порід та мінералів. При їх вивітрюванні утворюються фосфати, які використовуються рослинами для побудови органічних речовин свого тіла. Після відмирання рослин фосфор мінералізують мікроорганізми – редуценти. Втрати фосфору в біогеохімічному циклі пов'язані переважно з винесенням фосфору в моря та океани. Звідти назад на суходіл він може потрапити тільки через рибу або гуано.

Фосфорні добрива виробляють в основному з гірських порід. Таке переведення фосфору з депо в активну частину біогеохімічного циклу так само, як у випадку з азотом, має негативні наслідки. Не використаний культурними рослинами фосфор у результаті вітрової ерозії потрапляє до водойм, що призводить до евтрофікації.

Чудовою особливістю природних екосистем є повторне використання біогенних речовин. Хоча в біогеохімічних циклах деякі з таких елементів і втрачаються, надходячи в депо, і стають недоступними для рослин, у природних екосистемах масштаб цих процесів незначний.

Біосфера має потужну буферну дію щодо багатьох зовнішніх впливів. Це забезпечує загальну стійкість та створює сприятливі стабільні умови існування організмів. У межах біосфери пом'якшується дія вітру, посушливість повітря та ґрунту, підтримується певне співвідношення між концентрацією кисню та вуглекислого газу в атмосфері, звужується амплітуда коливань температури. Але всі ці якості біосфери не можуть протистояти нерозумним діям людини і різко падають при антропогенних впливах. Так, посухи порівняно безпечні для природних екосистем, але вони завдають відчутних збитків агроекосистемам. Зберегти ґрунтово-кліматичні умови великих регіонів планети та забезпечити їх стійкість можна тільки за наявності в цих регіонах досить великих за площами природних біомів.

Для стійкості біогеохімічних циклів велике значення мають депо біогенних хімічних речовин в ґрунті. Ґрунт – це особливе за своїми властивостями природне тіло. У біосфері ґрунт виконує безліч специфічних функцій. Він забезпечує рослини всіма необхідними поживними речовинами, утримує в собі велику кількість вологи, перешкоджає їй швидкому стоку до рік. У сільському господарстві ґрунт є компонентом виробництва.

Ґрунти в різних біомах та різних природних зонах досить сильно різняться між собою. У помірних широтах властивості ґрунтів такі, що сприяють утриманню гумусом катіонів та аніонів біогенних елементів, їх вивільнення відбувається поступово, і це забезпечує збереження родючості ґрунту на довгий час, а також створення біологічної продукції. У протизагу цьому в тропіках, завдяки високій температурі та вологості, мінералізація

йде досить швидко. Вилужування ґрунтів та вимивання з них іонів мінеральних речовин проходять досить активно. Тому агроєкосистеми тропічних широт порівняно з екосистемами помірних зон більш вразливі та швидше деградують. Цей процес тут часто завершується запустелюванням та виключенням територій із сільськогосподарського використання.

Важливими учасниками біогеохімічних циклів є ґрунтові мікроорганізми. Ґрунт одночасно служить депо для багатьох речовин, за рахунок якого гасяться флуктуації, що виникають при переході речовин з однієї ланки біогеохімічного циклу до іншої. Особливо важливий з цього погляду гумус ґрунту. У ньому продукти розкладу органічних речовин утримуються тривалий час. Наприклад, у дерново-підзолистому ґрунті обсяг можливих нових включень органічної речовини складає 300 кг/га, у чорноземах – 160 кг/га.

Чимало речовин, що надходять до ґрунту, можуть утримуватися в ньому за рахунок адсорбції та інших фізико-хімічних процесів. Ємність ґрунтів за рахунок такого типу поглинання сягає 225 кг/га на рік.

Антропогенне природокористування вносить у біогеохімічні цикли чимало перешкод. Так, поширеність процесів спалювання палива, у т.ч. і для потреб сільськогосподарського виробництва призводить до надходження в атмосферу близько 20 млрд. тонн вуглекислого газу та 700 млн. тонн інших газів і твердих часток. Саме вирубування лісів призводило тільки на території СРСР до винесення з екосистем лісу до 1,2–5 тисяч тонн фосфору, 6–20 тисяч тонн азоту та 1,2–6 тисяч тонн кремнію (Глазовський, 1976). Перенесені в урбанізовані райони або в агроєкосистеми, ці речовини виявляються або повністю, або тимчасово виключеними з природного кругообігу. Ці процеси, по суті, ведуть до появи нового техногенного типу кругообігу хімічних елементів.

Узагальнюючи закономірності структури і функціонування біосфери, Б. Коммонер (1974) сформулював чотири афоризми: «Усе пов'язане з усім», «Ніщо не дається даром», «Усе треба кудись подіти» і «Природа знає краще». Б.М. Миркин і Л.Г. Наумова (1999), популяризуючи принципи, що лежать в основі цих афоризмів, запропонували називати їх *законами Коммонера*. Справді, афоризми Б. Коммонера мають глибокий екологічний зміст.

Перший закон «Усе пов'язане з усім» відбиває наявність у біосфері складної мережі взаємних прямих і зворотних зв'язків, багато з яких поки залишаються невивченими. Він наче застерігає від необдуманих втручання в біосферу, коли вплив на той чи інший її компонент може викликати цілу серію непередбачуваних і незапланованих наслідків.

Другий закон «Усе має кудись подітися» підкреслює непопушність і для біосферних процесів закону збереження матерії. Споживаючи природні ресурси, людина завжди повинна усвідомлювати, що одержувані при цьому відходи, як і сам ресурс після його «споживання», залишаються в біосфері й обов'язково будуть впливати на біогеохімічні цикли.

Третій закон «Природа знає краще» стверджує, що структура біосфери, яка спостерігається нами, і біогеохімічні цикли, що реалізуються в ній, є продуктом еволюційного розвитку впродовж багатьох мільйонів років, у результаті якого відповідно до принципу оптимальності були відібрані найкращі рішення і варіанти. Цей закон орієнтує екологів на всебічне вивчення біосферних структур і процесів, на дбайливе ставлення до них у процесі будь-якого виду діяльності.

Четвертий закон «Ніщо не дається даром» орієнтує екологів на розуміння «бюджету» біосфери, в якому енергетичні потоки відіграють роль універсальної валюти. Стверджується, що будь-яка біосферна структура розвивається тільки за рахунок енергетичних і інформаційних ресурсів, і тому споживання невідновних джерел енергії обмежене їх фактичним запасом і не може бути нескінченним.

3.5. МІСЦЕ ЛЮДИНИ В БІОСФЕРІ

Як біологічний вид людина розумна (*Homo sapiens*) виникла на Землі приблизно 2–3 млн. років тому.

Дані антропології дозволяють виділити в еволюції людини чотири основні етапи.

Найдавніші знахідки предків сучасної людини мають вік 14 млн. років. Це рамопитеки, залишки яких знайдено в Індії, Кенії, Греції та інших районах світу. За своєю будовою рамопитеки були ближче до тварин. Вони мали тіло довжиною до 110 см, але пересувалися переважно на задніх кінцівках.

У період 1–5 млн. років тому на Землі з'явилися австралопітеки, які за розвитком мозку займали вже проміжне положення між тваринами і сучасною людиною. Об'єм мозку в них становив 428–530 см³. Будова шиї австралопітеків показує, що вони були прямоходячі істоти і, можливо, користувалися примітивним кам'яним знаряддям.

Третім етапом в еволюції людини була поява близько 3 млн. років тому представників роду *Homo*. Один з видів цього роду «людина прямоходяча» уже вмів виготовляти кам'яні знаряддя і користуватися вогнем.

Четвертий етап еволюції цієї біологічної гілки завершився виникненням *Homo sapiens*. Обсяг мозку до цього часу вже досяг 1450 см³.

Віддалені предки людини порівняно з іншими тваринами явно не вирізнялися ні фізичною силою, ні швидкістю бігу. Проживання у відкритій степовій і лісостеповій місцевості при порівняно вбогому забезпеченні рослинною їжею спонукало їх до необхідності поповнювати свій раціон шляхом полювання. Полювання вимагало використання знарядь і певної хитрості та витонченості як компенсації недостатньої фізичної сили.

Таким чином, загальна біологічна еволюція людини тривала приблизно 14 млн. років, але культурний розвиток її почався всього 2–3 млн. років тому. Біологічні корені людства спільні. Гуманоїдні форми сформувались і розвинулись одночасно в широкому географічному ареалі, що спочатку охоплював регіон північно-східної Африки. Із цього центра відбувалося розселення людини по всіх континентах планети. Зокрема, на Україні в села Молодова на ріці Дністер виявлені залишки поселень людини палеолітичного віку, тобто людина жила там вже приблизно 40 тисяч років тому. Аналогічного типу поселення цього періоду виявлені і в інших регіонах Європи та на інших континентах.

Єдність людства як генетичної системи можна довести простим розрахунком. Кожна сучасна людина має 2-х батьків, 4-х прабатьків (2-х бабусь і 2-х дідусів) і т.д. Досить простежити тільки 32 генерації, щоб переконатися, що при сучасній чисельності населення на Землі його корені сягають в популяції невеликої чисельності. А це означає, що всі люди – родичі між собою. Людство – це цілісна панміксна популяція. Генетичну єдність людства підтвердило й дослідження генома різних рас, проведене в 1990-2000 роках великою групою фахівців-генетиків із США і Китаю.

Окремі групи людей відрізняють тільки вторинні національні й расові ознаки (колір шкіри, форма очей тощо) чи просто культурно-соціальні звичаї і традиції. Так, відповідно до аналізу, проведеного *Ю.І. Новоженовим* (1983), усі люди мають 3 пари генів, що визначають пігментацію шкіри. В Африці склалися умови, сприятливі для прояву цих генів, до того ж здійснюється їх посилення генами-модифікаторами, що й завершилося формуванням темної пігментації шкіри. Сам же по собі генофонд усього людства спільний і містить у собі до 40 тисяч генів. Раси людини – це групи тільки генетично відособлених популяцій, і будь-які побудови, що стверджують неповноцінність тих чи інших рас, не мають ніякого наукового обґрунтування.

Біологічні відмінності людини полягають не тільки в посиленому розвитку головного мозку, що в першу чергу виділило

Таблиця 3.2. Динаміка чисельності населення протягом останніх століть

Роки	Чисельність населення, млн. чол.	Середньо-річний приріст, %
2000	6100	1,2
1988	5000	1,6
1980	4437	1,9
1950	2501	0,8
1900	1650	0,5
1850	1262	0,5
1800	978	0,4
1600	486	0,4
1500	446	0,1
1400	373	0,3
1300	384	0,0
1200	348	0,1
1000	275	0,1

Homo sapiens серед інших видів тварин. Відмінності виявилися в необмеженій здатності до розмноження, оскільки протягом всього існування людини як біологічного виду чисельність народонаселення невинно зростала.

Динаміка густоти народонаселення наведена в *табл. 3.2*. За період існування людства густота його популяції зросла більш ніж у 4 тисячі разів. Це зростання чисельності не мало плавного характеру. З *табл. 3.3* видно, що протягом тривалого часу чисельність народонаселення зростала поступово. Злам відбувся у ХХ столітті, коли темпи приросту стрімко зросли. Якщо раніше для подвоєння кількості жителів планети потрібно було десь 600 років, то для останнього подвоєн-

ня вистачило всього 38 років! Це зростання було настільки стрімким, що отримало назву демографічного вибуху.

Висока чисельність населення Землі, таким чином, виявилася новим явищем. Раніше такий фактор в еволюції біосфери був відсутній. Поряд з науково-технічною революцією він став головною причиною антропогенної зміни біосфери.

Таблиця 3.3. Динаміка густоти народонаселення Землі

Період часу	Епоха	Густота населення, чол./100 км ²
Сучасність	Індустріальна	1700
80 років тому	Індустріальна	1100
180 років тому	Аграрно-індустріальна	620
130 років тому	Аграрно-індустріальна	490
330 років тому	Індустріально-аграрна	370
2000 років тому	Аграрна	100
6000 років тому	Перші міста	75
10 тис. років тому	Мезоліт	4
25 тис. років тому	Верхній палеоліт	4
30 тис. років тому	Середній палеоліт	1,2
100 тис. років тому	Нижній палеоліт	0,4

Спеціалісти по-різному оцінюють наслідки демографічного вибуху. Багато хто з них припускає, що взаємовідносини в системі «людина – природне середовище» залежатимуть від подальшої тенденції чисельності народонаселення. Однак оптимісти вважають, що помітний спад приросту населення, який зараз дав про себе знати в розвинених країнах Західної Європи, у найближчому майбутньому пошириться на всю земну кулю, і на рівні 10,2 млрд. чоловік відбудеться стабілізація процесів росту внаслідок дії природних механізмів.

Діаметрально протилежна точка зору була висловлена ще в 1798 році Т. Мальтусом, який стверджував, що чисельність народонаселення росте і буде зростати в геометричній прогресії, а ресурси, що необхідні для задоволення потреб людства, збільшуватимуться тільки в арифметичній прогресії. Цим наперед визначається конфліктність у системі «людина – природне середовище».

Т. Мальтус цілком справедливо підкреслював, що людство як компонент біосфери, очевидно, не може мати безмежно велику чисельність.

Негативне ставлення до мальтузіанства було викликане відкрито негуманними висловленнями автора цієї взагалі правильної концепції. Так, у роботі «Досвід про закон народонаселення» Т. Мальтус писав: «Усі немовлята, за винятком тих, що необхідні для збереження даного рівня населення, неминуче повинні загинути, якщо тільки для них не звільниться місце через смерть дорослих. Тому замість того, щоб нерозумно й марно перешкоджати цьому, ми повинні бути послідовними і сприяти діям природи, яка викликає смертність». І далі автор закликав: «Замість того щоб проповідувати серед бідняків необхідність чистоти, ми повинні заохочувати саме протилежні звички. Треба робити в містах вузькі вулиці, перенаселяти будинки і сприяти повторенню епідемій, необхідно будувати села біля непротічних водойм і особливо сприяти заселенню болотистих і шкідливих для здоров'я місць. Та насамперед нам треба засудити застосування особливих ліків для лікування смертельних хвороб, а також засудити тих добрих людей, що помилково вважають, що роблять послугу людству, винаходячи способи викорінення певних хвороб».

Але Т. Мальтус був цілком правий, підкреслюючи, що людство як компонент біосфери, напевно, не може мати нескінченно великої чисельності. Хоча очевидно, що стабілізувати народонаселення на оптимальному рівні потрібно цивілізованими способами.

Екологічні методи дозволяють на науковій основі оцінити можливу ємність біосфери для людства. Якщо прийняти сонячну постійну за 5–10 ккал на рік, потребу однієї людини в калоріях у середньому – 2 385 ккал на день або 870,5 ккал на рік і коефіцієнт корисної дії фотосинтезу – 0,1%, то легко підрахувати, що

ємність земної кулі для людства може скласти $5,5 \cdot 10^{11}$ чоловік. Це в 100 разів більше, ніж сучасне народонаселення. Звичайно, така ємність нереальна, тому що площа ріллі обмежена. З урахуванням цього обмеження агросфера планети може прогодувати навіть за сучасними технологіями 10–11 млрд. чоловік. Тому можна зробити висновок, що явища екологічної кризи на Землі пов'язані не з чисельністю народонаселення як такою, а з тим технократичним шляхом, яким поки що йде цивілізація.

3.6. ПОНЯТТЯ СЕРЕДОВИЩА

При аналізі умов, за яких відбувається реальна життєдіяльність рослин і тварин та існує людина, широко застосовуються поняття середовища, навколишнього середовища, природного середовища і т.п. *Середовище* – це найбільш загальне поняття, цим терміном позначається все, що оточує даний об'єкт. Під середовищем (життям) живих організмів мається на увазі вся сукупність конкретних абіотичних та біотичних факторів, в яких живе дана особина, популяція або вид. Іншими словами, *термін «середовище життя» означає все оточення, в якому відбувається діяльність людини та розвиток живої та неживої матерії.* Вислів «навколишнє середовище» має той же зміст, але він менш вдалий, оскільки саме слово «середовище» уже означає на увазі оточення об'єкту.

Слід відрізнити середовище життя рослин та тварин від середовища життя людини. Середовище життя людини включає в себе всі території та акваторії, що є місцем перебування і виробничої діяльності людини. По суті, до середовища життя людини входять усі компоненти біосфери, уся сукупність створених людиною технологічних об'єктів, а також усі соціальні феномени людського суспільства. Таким чином, середовище життя людини – це система більш високого рангу, ніж системи біосфери зокрема або соціальні системи. У середовищі людини можна виділити:

- а) природні компоненти – повітря, воду, ґрунт, гірські породи і т.п.;
- б) антропогенні компоненти, створені людиною будівлі та споруди, транспортні магістралі та ін.;
- в) соціальні компоненти, що включають у себе соціальні, економічні, юридичні та морально-етичні феномени.

У зв'язку з цим середовище життя слід поділяти на природне та соціальне. Природне середовище включає в себе об'єктивно існуюче природне середовище будь-якого живого організму, включаючи людину. Соціальне середовище – це сукупність

оточуючих людину суспільних, матеріальних та духовних умов її існування та діяльності. Це середовище, по суті, включає в себе всю суспільно-економічну систему, у межах якої знаходиться людина.

Природні компоненти середовища життя людини досить різноманітні. Оскільки людина є біосоціальною істотою, то вони відіграють важливу роль у її добробуті. Фізичні компоненти середовища, такі, як географічне положення місцевості, наявність та якість таких природних ресурсів, як вода, повітря, – усе це є умовою нормальної життєдіяльності. До природного середовища входять і всі живі організми, що оточують людину.

Важливим параметром оцінки якості природного середовища є його стійкість, стабільність усіх режимів та станів природних факторів. Життя в нестабільному середовищі вимагає від людини додаткових матеріально-енергетичних витрат і перешкоджає адаптаційному процесові. Різкі відхилення природного середовища від звичайного його стану, як правило, розглядаються як стихійне лихо й катастрофа. Це виверження вулканів, повіні, урагани, пожежі тощо.

Частота таких стихійних лих за історичний період, очевидно, досить постійна, але збитки від них від століття до століття збільшуються. Це пов'язано головним чином з підвищенням густоти населення і заселенням таких місць, в яких наші предки поселялися унікальні.

Складною структурою характеризуються і соціальні компоненти середовища життя людини. Вони представлені різними групами населення, класами, національними спільнотами, релігійними течіями.

Суперечливість положення людини в матеріальному світі визначається її біосоціальною природою. Як біологічна істота людина потребує певної якості природного середовища і нерозривно з нею пов'язана. Але як соціальна істота людина намагається відокремити себе від несприятливих факторів природного середовища та створити власне антропогенне середовище.

Середовище життя – динамічний комплекс. Воно розвивається само по собі, а також під впливом усіх живих організмів та людини зокрема. Тому одноразово отримана інформація про особливості середовища не створює повної картини щодо умов існування живих істот. Моніторинг середовища обов'язково повинен включати інформацію про динаміку зміни цього середовища.

У практиці природоохоронної діяльності поняття середовища життя звичайно сильно звужується. Комплексний характер середовища підмінюється більш чи менш жалюгідним набором абіогенних факторів життя. Звичайно якість середовища життя зводять до таких фізико-хімічних параметрів, як:

- а) кількість важких металів;
- б) наявність та кількість деяких ксенобіотиків;
- в) температура;
- г) кількість кисню та вуглекислого газу в атмосфері тощо.

Зрозуміло, що ці фактори – лише невелика частина того, що складає природне середовище рослин і тварин, а також самої людини.

Викривлення значення поняття «середовище життя», виходячи з нього екологічного змісту є досить небезпечним. Воно створює ілюзію, що природне середовище змінюється під впливом наслідків господарської діяльності людини менше, ніж це є насправді.

3.7. ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНИ ЕКОЛОГІЇ

Накопичення наукових даних про структуру і функціонування біосфери дозволило виявити певні загальні закономірності, які стали називати законами чи принципами. Вони впливають з тих особливостей біосфери Землі, що відомі людині за період існування цивілізації. Формулювання основних законів загальної екології належить М.Ф. Реймерсу (1994). Найдоцільніше виділяти сім таких законів.

1. *Закон обмеженості природних ресурсів* стверджує, що всі основні природні ресурси планети, якими користуються живі організми для підтримки життєдіяльності, мають цілком визначений обмежений розмір. Дійсно, запаси води, вуглекислого газу, мінеральних речовин тощо цілком скінченні і їх не більше, ніж є на земній кулі. Навіть потік сонячної енергії не є вічним і невичерпним. Він визначається часом існування Сонця і запасами в ньому ядерного пального – гелію.

2. *Закон рівнозначності умов і ресурсів*, необхідних для живих організмів, підкреслює, що один ресурс не можна замінити іншим. Наприклад, дефіцит води не можна замінити великою кількістю вуглекислого газу і будь-яким іншим фактором чи умовою. Хоча обсяг потреби в одному якомусь ресурсі обумовлений наявністю інших ресурсів і може залежно від цього змінюватися.

3. *Закон мінімуму Ю. Лібиха* встановлює, що розмір біологічної продукції будь-якого живого організму залежить від того ресурсу чи умови, який знаходиться в мінімумі.

4. *Правило енергетичної піраміди* підкреслює, що при переході енергії від одного трофічного рівня до іншого на формування біомаси організмів більш високого трофічного рівня витрача-

ється не більше 10% енергії, що є на попередньому трофічному рівні. Звичайно, це дуже узагальнена середня оцінка, тому що при реальних переходах вона може бути трохи більша чи менша.

5. *Закон неможливості* абсолютно безвідходних виробництв свідчить, що як у сільському господарстві, так і в промисловості за будь-яких технологій виробництва обов'язково утворюються відходи.

6. *Закон екологічної індивідуальності живих організмів* Л.Г. Раменського показує, що екологічні амплітуди, у межах яких може існувати той чи інший вид живого організму, строго індивідуальні. У природі немає видів рослин чи тварин з абсолютно однаковими вимогами до умов існування.

7. *Закон екологічних кореляцій* свідчить, що в будь-якій екосистемі, як і в біосфері в цілому, усі структурні частини погоджені одна з одною і функціонують в єдності. Випадання того чи іншого компонента з екосистеми неминуче переводить екосистему в новий стан, а часто загрожує її повним руйнуванням.

Звичайно, цими законами не обмежується поведінка біосфери й екосистем. Інші універсальні закономірності, за якими функціонує біосфера та використовується в інтересах людської цивілізації, будуть розглянуті далі.

3.8. ЛЮДСЬКА ЦИВІЛІЗАЦІЯ ЯК НОВИЙ ФАКТОР ІСНУВАННЯ БІОСФЕРИ

У ході розвитку людства, росту чисельності населення на Землі, появи технічних споруд, розвитку культурних та соціальних феноменів у межах біосфери з'явилася нова підсистема «людство – природне середовище». Людство зі своїм виробництвом та культурою стало складовою частиною біосфери. Зростає вплив на біосферні компоненти виробничих та соціальних факторів, спричинений існуванням людини. Взаємодія в підсистемі «людство – природне середовище» має двобічний характер, але з ростом технічної озброєності людини в ній почав переважати односторонній вплив людини на природні компоненти. Такий вплив отримав назву антропогенного, а зміни природних комплексів під впливом людини – антропогенезу.

Так на Землі з'явилася нова структура – *антропосфера*, або, як її ще називають, соціосфера. *Соціосфера* – це зона життя людського суспільства. Сучасна соціосфера охоплює всі геосфери Землі і навіть поширюється на найближчий космос. За визначенням М.А. Голубця (1982), соціосфера – це сфера наукової та виробничої діяльності людини, що здійснюється безпосеред-

ньо людиною або за допомогою знарядь, які вона виготовляє. Життя біосфери в доантропогенний період становило собою лише взаємодію живої та неживої матерії. Людство привнесло в життя біосфери принципово нові економічні, соціальні, загальнокультурні та технічні феномени і тим якісно змінило біосферні процеси.

Зростання технічної озброєності людини призвело до виникнення в зоні біосфери численних технічних об'єктів: будівель, доріг, шахт тощо. По суті, з'явилася ще одна структурна складова земної кулі – техносфера. Прямий чи опосередкований вплив технічних засобів у наш час охоплює всю біосферу і спричинює великий вплив на потік енергії та біогеохімічні цикли Землі.

Вищою фазою розвитку біосфери, що проходить під впливом людського суспільства, є утворення на планеті сфери розуму, сфери цивілізації. Вона отримала назву ноосфери. На цьому етапі провідним фактором розвитку Землі стає розумова діяльність людства. Сам термін «ноосфера» був запропонований у 1927 році французьким філософом *Е. Леруа*. Значний внесок у вчення про ноосферу зробили *П. Тейяр де Шарден* та *В.І. Вернадський*. *Вернадський* (1967) писав: «Ноосфера – останній із багатьох станів еволюції біосфери, в геологічній історії стан наших днів». Таким чином, ноосфера – це біосфера на сучасному етапі розвитку.

В.І. Вернадський настільки високо ставив ноосферні можливості цивілізації, що сформулював гіпотезу переходу людства до автотрофності. Зрозуміло, що це тільки образне висловлювання. Сама людина як біологічна істота була та залишається *гетеротрофним організмом*. Під автотрофністю *В.І. Вернадський* розумів посилення відносної незалежності людства від продуктів, що створює біосфера, їм на зміну повинні прийти високомолекулярні продукти, що мають бути синтезовані з низькомолекулярних хімічних речовин за рахунок використання атомної чи сонячної енергії. У наш час таких технологій немає, і в найближчому майбутньому без принципово нових відкриттів говорити про автотрофні технології не доводиться. Гетеротрофне людство повинно вчитися жити в гармонії з біосферою.

Ноосферний рівень передбачає високий рівень розвитку продуктивних сил суспільства, високу інтернаціоналізацію виробництва та об'єднання людства. Річ у тому, що в ході роботи біогеохімічних циклів поступово сформувалося депо речовин різного роду, що виключені з матеріального кругообігу та несуть значний запас зв'язаної енергії. Людина може сприяти залученню цієї інертної маси в біохімічні цикли. Це справді всепланетарне завдання, яке може бути вирішене тільки інтегрованим людським суспільством.

Сучасне людство займає непросту позицію в біосфері. З одного боку, людина завжди є частиною якоїсь конкретної екосистеми і зв'язана багатьма біологічними каналами з природним середовищем, а з іншого – людство широко реалізує небіологічні функції: формується соціальне середовище зі своїми законами розвитку, виникає культура та етичні критерії діяльності людей, у результаті праці та використання знарядь праці виникає велика кількість технічних об'єктів, які, безумовно, чужі природній біосфері.

Для розв'язання протиріччя в системі «людина – біосфера» або, точніше, «техносфера – біосфера», по суті, потрібна нова ноосферна ідеологія, можливо, навіть ноосферна «революція». В основу взаємовідносин людини з природним середовищем повинні бути покладені нові принципи зберігаючого гуманізму, послідовна боротьба з ідеологічним догматизмом, перехід до ноосферної економіки, екологізація виробничої діяльності та людської свідомості.

У наш час уже очевидна цілісність соціально-природного розвитку як об'єктивна реальність буття. Визнання пріоритету біосфери потрібне не біосфері, це потрібно самому людству для збереження та розвитку цивілізації. Відповідно до аналізу, що був проведений *М.А. Голубцем* (1978), ноосферний етап розвитку біосфери є реальністю нашого часу. Він характеризується новим видом соціально-економічних відносин, які включають у себе боротьбу стихійно господарюючих на планеті споживчих сил із силами, що відстоюють екологічно розумне ведення людиною господарства. *М.А. Голубець* (1982) запропонував назвати новий етап розвитку біосфери, що характеризується розумним управлінням структурно-функціональною організацією біосфери з метою збереження та процвітання людства, інтелектосферою.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення понять «біосфера», «соціосфера», «інтелектосфера».
2. Назвіть структурні частини біосфери.
3. Які речовини входять до складу біосфери?
4. З'ясуйте, у чому полягає безумовна важливість для живих організмів наявності атмосфери.
5. Поясніть, у чому полягає головна особливість ґрунту як природного тіла.
6. Простежте потік енергії в біосфері.
7. Поясніть, у чому полягає концентраційна функція живих організмів.
8. Розгляньте потік енергії в окремій водоймі, складіть схему.
9. Проілюструйте здатність екосистем до самоочищення та визначте, чи є така здатність безмежною.

Питання для обговорення

1. Наведіть докази цілісності біосфери.
2. Розгляньте проблему збереження цілісності озонового екрану. Які заходи, на вашу думку, слід здійснити?
3. Проаналізуйте рівень замкненості біогеохімічних циклів. Чи всі вони замкнені? Яке значення мають відходи біогеохімічних циклів для живих організмів?
4. Розгляньте суть поняття «демографічний вибух» та дайте оцінку подальшій перспективі росту чисельності населення Землі.
5. Як ви ставитеся до тези: турбота про природу – це турбота про людину?
6. Розгляньте проблему шкідливих і корисних видів живих організмів у біосфері.
7. Проаналізуйте екологічне значення законів Коммонера. Чи можна зменшити чи збільшити їх кількість?

4.1. ЕКОСИСТЕМИ – ОСНОВНІ СТРУКТУРНІ ОДИНИЦІ БІОСФЕРИ

Екосистеми є основними структурними одиницями, які складають біосферу.

Тому поняття про екосистеми надзвичайно важливе для аналізу усього різноманіття екологічних явищ. Основоположником учення про екосистеми є англійський еколог А. Тенслі (1946). Вагомий внесок до розробки цього поняття зробили Р. Маргалеф (1974) та Ю. Одум (1971).

Екосистемою називають сукупність організмів, які спільно проживають, та умови їх існування, що знаходяться в закономірному зв'язку одне з одним. Р. Дажо (1975) писав, що «*екосистема – біотоп плюс біоценоз*», тобто екосистема – це об'єднання абіотичного середовища та живих організмів, які живуть у ньому.

Екосистема – це поняття безрозмірне; вона не має фіксованих меж на території. І стовбур дерева, що впало та гниє, і лісопосадку в цілому можна розглядати як екосистему. Екосистемами є і невеличкий ставок, і Світовий океан. У сучасній екології поняття екосистеми часто є розмитим, оскільки як екосистема можуть розглядатися мурашник або птах, що летить, разом з паразитами на його тілі.

З урахуванням загальної невизначеності поняття «екосистема» В.І. Василевич (1983) вважав доцільним виділяти елементарні екосистеми. Елементарна екосистема повинна включати в себе організми всіх трофічних рівнів та мати достатньо замкнений цикл основних елементів. При такому підході елементарні екосистеми виявляються досить великими та складними утвореннями. У природі переважають екосистеми значно менші та простіше побудовані. Виходячи з цих положень, варто погодитися, що біосфера складається з цілої ієрархії екосистем. Аналіз

різних екосистем завжди виявляє їхню взаємозв'язаність унаслідок охоплення суміжних екосистем глобальними біогеохімічними циклами.

Найбільш важливою ознакою екосистем є їх формування з живих організмів із різними типами живлення. У природі до екосистем обов'язково входять продуценти, що забезпечують акумулювання сонячної енергії та створення органічної речовини, консументи, що здійснюють її переробку, та редуценти, що утилізують відходи діяльності продуцентів та редуцентів (рис. 4.1). З цих позицій вирощені в теплиці на полицях рослини одного виду не є екосистемою.

Екосистема як основна функціональна одиниця в екології має вирізнитися на основі екологічних критеріїв: наявності в ній живих організмів з різним типом живлення – продуцентів, консументів і редуцентів, а також існування в ній якщо й не замкненого, то принаймні вираженого біогеохімічного кругообігу речовин.

Для природних екосистем характерний певний та звичайно специфічний для екосистем даного виду потік енергії та кругообіг речовин. Поряд із своєрідними типами взаємовідносин між організмами вони надають окремим екосистемам самобутності та цілісного характеру. Але на відміну від біосфери в цілому в окремій екосистемі рівень автономності та замкненості біогеохімічних циклів нижчий. Часто сусідні екосистеми так пов'язані між собою потоком енергії та кругообігом речовин, що не здатні до самостійного існування. Важливою властивістю екосис-

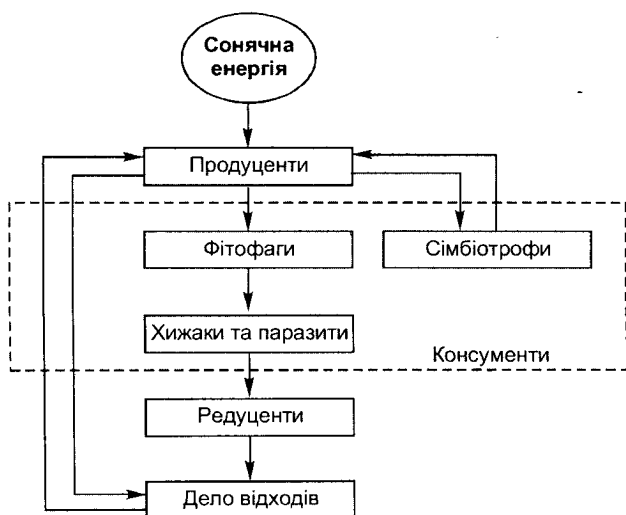


Рис. 4.1. Структурно-функціональна схема екосистеми

тем є їх відкритий характер – вони обмінюються з навколишнім середовищем і енергією, і речовинами. При цьому екосистеми характеризуються саморегуляцією і здатні певною мірою протистояти зовнішнім впливам та відновлюватися, якщо порушення не зачепило суттєво важливих зв'язків або повністю не знищило їх компоненти.

Поняття екосистем поширюється і на штучно створювані людиною об'єкти. *Екосистемами є сільськогосподарські угіддя, садки, очисні споруди тощо.*

Для характеристики екосистем звичайно використовують досить великий набір ознак:

а) видовий склад живих організмів, типовий для даної екосистеми;

б) співвідношення в екосистемі організмів із різними типами живлення;

в) розмір створюваної в екосистемі первинної та вторинної біопродукції;

г) інтенсивність потоку енергії через екосистему та швидкість кругообігу речовин;

д) режим абіотичних умов та ресурсів.

Відповідно до початкового визначення, екосистеми не мають просторової вираженості та пристосованості до конкретної ділянки чи акваторії. У той же час досвід вивчення природних явищ показує, що більшість із них досить чітко окреслені територіально. Це привело до необхідності введення в екологію ще одного важливого поняття – *біогеоценозу*. За визначенням *В.М. Сукачова* (1964), «біогеоценоз – це сукупність на певному просторі земної поверхні однорідних природних явищ (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу, мікроорганізмів, ґрунту, гідрологічних умов), що мають свою особливу специфіку взаємодії цих її складових та певний тип обміну речовиною і енергією між ними та іншими явищами природи, і така, що являє собою і внутрішньо суперечливу діалектичну єдність, яка знаходиться в постійному русі, розвитку».

По суті, у визначенні *В.М. Сукачова* є два важливі елементи: перший полягає в тому, що кожен біогеоценоз – це ділянка земної поверхні, другий вказує, що біогеоценоз – це система компонентів, що взаємодіють. *М.В. Тимофєєв-Ресовський* (1971) підкреслював, що «біогеоценози – це ті блоки, з яких складається вся біосфера та в яких відбуваються матеріально-енергетичні кругообіги, що спричинені життєдіяльністю організмів та в цілому складають великий біосферний кругообіг».

Таким чином, екосистема територіально не визначена, а біогеоценоз завжди є конкретною ділянкою біосфери. Тому деякі спеціалісти вважають, що біосфера складається не з екосистем, а з біогеоценозів. Насправді обидва ці поняття доцільні та

доповнюють одне одного. Біогеоценоз – це окремий випадок, один із видів екосистеми, який має чітку територіальну прив'язаність.

Вивченням біогеоценозів займається спеціальна наукова галузь – *біогеоценологія*. Одним з її завдань є виділення конкретних біогеоценозів у природі. За В.М. Сукачовим, кордони біогеоценозу визначаються межами фітоценозу, який складає його ядро. У цьому випадку біогеоценоз стає рівним екосистемі, окресленій за контурами фітоценозу. Але такий підхід ефективний в основному тільки для лісових угруповань. У водоймах, на луках та в деяких інших середовищах важко провести межі фітоценозу. У цьому разі доводиться спиратися на концепцію екосистем, у якій головним критерієм цілісності природного об'єкту виступає наявність взаємодій між компонентами.

Одним із плідних результатів розвитку біогеоценології стало уявлення про *біогеоценотичний покрив*, або про *біогеосферу*. Це специфічне планетарне утворення в межах біосфери, в якому зосереджене життя людини, тварин, рослин та мікроорганізмів. Межі біогеоценотичного покриву визначаються на суходолі за верхівками рослин та за максимальною глибиною проникнення коріння в ґрунт, а в місцях без рослинного покриву – за розмірами шару, насиченого живими організмами, на схилах – за товщою шару, зайнятого лишайниками, водоростями та бактеріями, у водоймах – за межами шару води, що утримує атрофічні рослини.

В екологічній географії в межах біогеоценотичного покриву Землі виділяють ландшафти. Ландшафт – це гетерогенна ділянка земної поверхні, складена із сукупності взаємодіючих екосистем. В один ландшафт їх об'єднує спільність геоморфологічних структур та клімату. Гомогенні елементи ландшафту називаються тесарами (*Р.Т. Форман, М. Годрон, 1986*).

До складу біогеоценотичного покриву Землі входять усі населені пункти та агломерації. Саме біогеоценотичний покрив став місцем виникнення та розвитку людства, саме він сприймає сучасні антропогенні впливи.

Таким чином, в екології, залежно від підходу, допускається виділення в межах біосфери двох головних типів елементарних природних одиниць – *екосистем та біогеоценозів*.

4.2. АБІОТИЧНІ КОМПОНЕНТИ ЕКОСИСТЕМ. РЕСУРСИ ТА УМОВИ ІСНУВАННЯ

Абіотичні фактори визначають можливість існування всіх груп організмів у тому чи іншому середовищі, впливаючи на географічне поширення рослин, тварин та мікроорганізмів. Вони

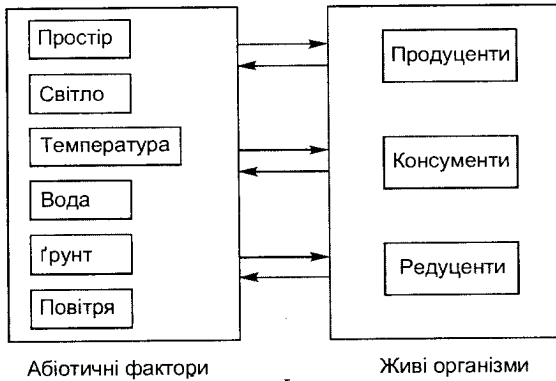


Рис. 4.2. Основні компоненти біогеоценозу та шляхи взаємодії між ними

важливі для розмноження живих істот та мають велике значення для загального рівня життєдіяльності організмів. В екосистемах абіотичні фактори виступають як ланка, що зв'язує різні групи організмів і тим забезпечує структурно-функціональну цілісність екосистем (рис. 4.2).

За своїм значенням абіотичні фактори поділяються в екосистемах на дві групи.

1. Ресурси, тобто такі фактори, що використовуються живими організмами та розподіляються між ними. Це, наприклад, вода, поживні речовини тощо.

2. Умови існування, тобто неподільні абіотичні фактори, які не витрачаються в процесі життєдіяльності та однаковою мірою впливають на всі живі організми в даній екосистемі. Але, дійсно, такі фактори під впливом процесів життєдіяльності змінюються та можуть служити каналом взаємовпливу організмів. Типовим прикладом умов існування є температура та рН ґрунту.

Щодо дії абіотичних факторів на живу матерію існує чимало загальних закономірностей. Жива речовина реалізує свої функції тільки в єдності з факторами середовища існування. Це загальне правило, що було сформульоване в 1927 році К. Фрідріхом, отримало назву *принципу голоцену*. Усі види живих організмів пристосовані до життя лише в межах певної амплітуди ресурсів та умов існування і тому підкоряються дії закону толерантності. Відомо, що всі прояви життєдіяльності регулюються законом мінімуму Лібіха. У цьому зв'язку фактор, що лімітував життєдіяльність, діє як пусковий механізм для спалаху життя.

Так, для весняного проростання насіння рослин пусковим фактором є температура в шарі ґрунту, де знаходиться насіння. Кожний із факторів життя та кожна умова мають свою

специфічну значущість для живих організмів. Вони не можуть взаємозамінюватися. Хоча існує правило відносної замінюваності факторів. Наприклад, на південних схилах пагорбів ґрунт більш сухий, що обмежує ріст рослин, але він раніше та краще прогрівається і цим компенсує нестачу води, дозволяючи рослинам пройти основні фази росту та розвитку в більш ранні терміни, коли забезпечення вологою в усіх місцях краще.

Аналізуючи абіотичні фактори, їх підрозділяють на три групи:

1) кліматичні фактори – температура, режим освітленості, повітря та деякі інші;

2) едафічні фактори, що включають ресурси та умови, пов'язані з ґрунтом: це тип ґрунту, його фізико-хімічні особливості, склад ґрунтового розчину тощо;

3) фактори, що діють у товщі води та мають значення для водних екосистем.

За *В.Р. Вільямсом* (1939), для живих організмів однаково важливі чотири фактори: світло, тепло, вода та їжа. *К.А. Куркін* (1972) підкреслює, що з погляду функціонування екосистем доречно класифікувати не стільки самі фактори, скільки тип їхньої дії на живі організми екосистеми. Стосовно цього можна виділити такі групи факторів:

а) такі, що стабільно діють у даній екосистемі та протягом тривалого часу не змінюють свого значення;

б) осциляторно-імпульсні з багаторазовими коливаннями значення даного фактору протягом одного вегетаційного сезону;

в) флуктуаційні, які коливаються протягом років;

г) багаторічно-циклічні з періодичністю дії, що складає цикли тривалістю в десятки та сотні років.

Доцільний підхід щодо класифікації середовища був запропонований *М. Бігоном* (1985), який зауважив, що для живих організмів важливі параметри, що сприяють накопиченню біомаси, та такі, що сприяють розмноженню. Виходячи з цих міркувань, усі середовища життя можна поділити на чотири головні категорії:

1) сприятливі для накопичення біомаси та розмноження;

2) сприятливі для накопичення біомаси та несприятливі для розмноження;

3) сприятливі для розмноження та несприятливі для накопичення біомаси;

4) однаково несприятливі для накопичення біомаси та розмноження.

З погляду життєдіяльності організмів найбільш важливим є доступність території, температурний режим, сонячна радіація, забезпеченість вологою та газовий склад атмосфери.

Територія

Для живих організмів, певно, на першому місці стоїть фактор, що часто випускається з поля зору, – доступний життєвий простір. «Реальне життя починається з відмірювання власного простору» (К.М. Хайлов, 1992). Наявність необхідного простору є досить важливим фактором для мешканців тієї чи іншої екосистеми. Зайняти стійку позицію в просторі – це означає не тільки вільно користуватися всіма ресурсами та умовами екотопу, що проявляються на даній ділянці простору, але ще й контролювати доступність цієї ділянки для конкурентів. У рослин боротьба за життєвий простір здається не чітко вираженою, хоча вона може бути досить напруженою. Зате всім відомо, як ревно охороняють «свою» територію більшість видів тварин.

Сонячна радіація

Сонячна енергія – це не забруднюючий природне середовище і практично вічний потік фотосинтетичної активної радіації. Він є основним джерелом існування всіх екосистем, в основі яких лежать автотрофні рослини.

Роль світла в житті живих організмів надзвичайно важлива. Для рослин воно є джерелом енергії для фотосинтезу, викликає зміну форм росту та водночас є сигналом для переходу з однієї фази розвитку до іншої. Для більшості видів тварин світло, хоча б мінімальне, забезпечує при розвинутих органах зору орієнтацію в просторі. Цю ж роль виконує світло і для людини. У людини та ряду тварин тільки під дією світла відбувається синтез вітаміну D. Однак існує немало тварин, що пристосувалися жити без світла. Це кроти, ґрунтові комахи, кажани, нічні метелики.

В умовах освітленості досить важлива якість світла, тобто переважні довжини хвиль, сила світла та ритміка освітлення (фотоперіодизм), що полягає в тривалості світлого та темного періодів доби. У тропічному та субтропічному поясах тривалість світлого періоду доби становить 12–14 годин. Такий фотоперіод називають коротким. У помірних широтах та в холодному поясі влітку тривалість світлої частини дня сягає 18–24 годин. Це довгий фотоперіод.

Прикладів різноманітного впливу світла на життя тварин та рослин дуже багато. Відомо, що насіння ряду рослин може проростати тільки в темряві (декоративна рослина чорнушка), тоді як в інших проростання можливе лише при світлі (плакун). Ряд видів картоплі утворюють бульби тільки під час довгого дня. За рахунок фототаксису певні місця в екосистемах посідає велика кількість нижчих тварин та мікроорганізми.

У водоймах обмеженість проникнення світла в товщу води визначає глибину розташування автотрофних водоростей та вищих рослин.

До фотоперіоду чутливі всі живі організми. У птахів скорочення довжини дня є сигналом для відльоту, а в осілих тварин – підготовки до сплячки. Змінюючи довжину дня, тваринники можуть штучно викликати в ряду тварин линяння чи репродуктивну активність. У бобових рослин фотоперіод регулює їх взаємовідносини з бульбашковими бактеріями.

Температура

Головним джерелом тепла для екосистем є сонячна радіація. Живі організми можуть існувати тільки в певних температурних межах. Життя неможливе за такої низької температури, коли замерзає вода в клітинах і там утворюються кришталіки льоду, що пошкоджують цитоплазму. Занадто висока температура веде до денатурації білків. У зв'язку із зональністю теплового режиму на Землі є провідним фактором щодо географічного поширення рослин та тварин. Наприклад, ізотерма липня $+10^{\circ}\text{C}$ збігається з північною межею поширення лісів, а в Україні максимальна денна температура $+6,5^{\circ}\text{C}$ протягом 230–232 днів визначає східну межу поширення буку.

За переважним температурним режимом земної кулі виділяють чотири кліматичні пояси:

– *тропічний пояс* – визначається середньою температурою найхолоднішого місяця, не нижчою ніж $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$. Температура тут взагалі не опускається нижче 0° . Вегетація рослин продовжується весь рік;

– *субтропічний пояс* – лежить на північ та південь від тропічного поясу. Температура найхолоднішого місяця тут вища за температуру $+4^{\circ}\text{C}$. Зниження температури нижче 0° спостерігається рідко;

– *помірний пояс* – лежить відповідно північніше та південніше субтропічного. У його межах добре виражена сезонна зміна пір року. Тривалість вегетаційного періоду рослин не менша 2–3 місяців. Зимом випадає сніг, для осені та весни характерні приморозки;

– *холодний пояс* – прилягає до Північного та Південного полюсів. Вегетаційний період тут триває всього 1,5–2 місяці.

Для повної характеристики теплового режиму екосистеми використовують такі показники:

- а) річний хід температури;
- б) сума температур за той чи інший проміжок часу;
- в) максимальні й мінімальні температури, що були відзначені.

Досить важливим для живих організмів є сезонний характер розподілу тепла. Він визначає пори року. Хоча у фенології звичайно періодизують сезони за станом рослин, до них пристосовані також і всі етапи життєдіяльності тварин: поява потомства, зимівля тощо.

Для живих організмів важливі як середні значення температури, так і граничні значення, що можуть призвести до загибелі. Мадрепорові корали живуть тільки в тих морях, де температура не нижче $+21^{\circ}\text{C}$, а муха цеце, небезпечний переносник сонної хвороби, живе в Африці тільки в районах із середньорічною температурою більше ніж $+20^{\circ}\text{C}$. Є види рослин та тварин, які можуть існувати при широких амплітудах температурного режиму, їх називають евритермними. Є види, що полюбують місця з вузькою амплітудою коливання температури. Це стенотерми. Цікаво, що для більшості рослин та тварин режим змінних температур більш сприятливий, ніж постійна температура.

Знайомство з аутоекологією організмів показує, що в багатьох видів рослин та тварин виробляються різноманітні пристосування до переживання граничних значень температур, до спеки та холоду. Наприклад, підшкірний жировий прошарок тюленів служить хорошою ізоляцією в холодній воді. Довгі ноги багатьох ящірок дозволяють піднімати тіло над поверхнею, яка сильно нагрівається в літні місяці. Жаби на зиму ховаються в мул на дні водойм і цим рятуються від впливу низьких температур.

Вода

У всіх організмів клітини мають високу водонасиченість – до 80–98%. Це є необхідною умовою життєдіяльності. Джерелом води для суходільних живих організмів служать опади та ґрунтові води. Додатковий приток вологи – роса, у тому числі й підземні тумани та роси (поява вночі крапельок води у верхніх горизонтах ґрунту).

Особливо важливою є кількість опадів. Вона визначає навіть тип екосистем. При опадах менше ніж 250 мм на рік (у спекотному кліматі) розвиваються пустельні екосистеми, при опадах 25–750 мм – степи, лісостеп, савана, при 750–1250 мм формуються сухі субтропічні ліси, а при опадах більше ніж 1250 мм на рік – вологі тропічні ліси.

Волога настільки важлива, що в типових екосистемах України влітку після кожного дощу вся природа «оживає». Дощ є механізмом, що забезпечує початок весняного проростання насіння ряду рослин. Таке насіння вміщує інгібітори, що гальмують їх проростання в несприятливий час. Весняні дощі вимивають ці інгібітори з насіння, і воно починає проростати. Але не

всі опади корелюють з біомасою і, зокрема, з урожаєм культурних рослин. Опади у вигляді злив погано утримуються ґрунтом та мало використовуються рослинами. Незначним буває ефект від опадів на легких піщаних ґрунтах.

Водний режим екосистем визначається не тільки кількістю опадів як таких, але й співвідношенням його з режимом випаровування води. Оцінюючи цей параметр, треба враховувати температуру, оскільки вона в першу чергу впливає на інтенсивність випаровування. Сумарним показником режиму зволоженості в екосистемі може бути гігрометричний індекс:

$$H = \frac{PT}{(t_h - t_c)}$$

де P – кількість опадів на рік, T – середньорічна температура, t_h – середня температура найтеплішого місяця та t_c – середня температура найхолоднішого місяця.

Повітря має сильну висушуючу дію, і тому в рослин та тварин спостерігається велика кількість цікавих пристосувань щодо зниження випаровування. Одночасно живим організмам доводиться підтримувати певний оптимальний режим втрати пароподібної вологи, оскільки випаровування – це найефективніший спосіб самоохолодження організму в умовах високої температури повітря. У тварин для такого охолодження за допомогою випаровування служать потові залози (у собаки їх на тілі немає, тому в спекотливий час доводиться висовувати язика), а в рослин вода випаровується через численні продири на листках.

Залежно від пристосованості до життя в тих чи інших умовах зволоженості рослини поділяються на три основні групи: гідрофіти – ростуть у водоймах та місцях з підвищеною зволоженістю; мезофіти – жителі місць із середньою зволоженістю; ксерофіти – пристосовані до екосистем степів та пустель, де режим вологості досить бідний.

Газовий склад повітря

Для живих організмів основне значення має кількість вуглекислого газу та кисню в повітрі. Для рослин вуглекислий газ є джерелом вуглецю при фотосинтезі. За здатністю поглинання вуглекислого газу з повітря рослини поділяються на два типи – з C_3 - та з C_4 -фотосинтезом. У рослин першого типу є тільки один поглинач вуглекислого газу – рибульозобіофосфат. У C_4 -рослин таких поглиначів два: до рибульозобіофосфату додається ще фосфофенолпіровиноградна кислота. Тому C_4 -рослини більш ефективно використовують ресурси CO_2 повітря.

Важливим є й загальнокліматичне значення вуглекислого газу в атмосфері. Річ у тому, що він прозорий для основного потоку сонячної радіації, але погано пропускає відбите від ґрунту теплове випромінювання. Тому вуглекислий газ є своєрідним термостатом нашої планети. При зростанні його вмісту в атмосфері відбувається потепління клімату, а при зниженні – похолодання. Із динамікою вуглекислого газу в атмосфері пов'язують обледеніння, які мали місце на планеті в минулому.

Кисень є незамінним окислювачем для всіх аеробних організмів – від мікроорганізмів до людини.

У цілому комплекс абіотичних факторів складає важливу інтегральну характеристику природного середовища. З погляду короткоплинності людського життя загальний режим абіотичних факторів інколи оцінюється як оптимальний, тому що він сприймається як статичний, незмінний. Але це помилкова точка зору. Природний режим був і залишається динамічним. Тільки змінність значень факторів життя в них завжди повільна і плавна. Наприклад, у часи обледеніння в Євразії, яке мало лише 10–70 тисяч років тому, та в часи потепління клімату, яке спостерігалось 6–9 тисяч років тому, температура в кінцевому підсумку в тому чи іншому регіоні значно змінювалася, але тільки на 0,5–1°C за століття. Тому не можна підганяти збереження природи, що нас оточує, до критерію статичного режиму абіотичних факторів. Стурбованість має викликати не сама по собі динаміка режиму факторів навколишнього середовища, а надзвичайно швидка їх зміна, оскільки організми не адаптовані до них.

4.3. ҐРУНТ ЯК БІОКОСНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЕКОСИСТЕМ

Засновником учення про ґрунт як біокосне тіло вважається *В.В. Докучаєв*. Ще у 80-х роках XIX століття він визначив ґрунт як природно-історичне тіло, що утворюється під впливом клімату та живих організмів із геологічних порід. Найголовніше в його визначенні ґрунту – це наголос на тому, що без живих організмів ґрунту бути не може.

В екології ґрунтовий покрив розглядається як особлива підсистема біосфери – педосфера. Для утворення ґрунту необхідні п'ять головних факторів:

- 1) наявність материнської гірської породи, яка виступає як матеріальне джерело формування ґрунту;
- 2) наявність живих організмів;
- 3) рельєф місцевості, який впливає на характер трансформації гірської породи живими організмами і тип ґрунту, що формується;
- 4) клімат;

5) час, оскільки ґрунтоутворення є досить повільним процесом.

Але центральним фактором ґрунтоутворення все ж таки є живі організми. Саме вони в сукупній дії з іншими чотирма факторами утворюють зовсім нове біокосне природне тіло – ґрунт.

Екосистемні функції ґрунту різноманітні. Перш за все ґрунт забезпечує рослини поживними речовинами та водою. Тільки на ґрунті автотрофні зелені рослини повністю розкривають свій потенціал синтезу органічних речовин. Тому *Л.О. Карпачевський* (1989) правильно визначає родючість ґрунтів як властивість, що полягає в здатності забезпечувати рослини живленням та водою. Хоча, однак, екосистемні функції ґрунтів набагато ширші.

Ґрунти впливають на рослини та тварин тим, що трансформують усі інші кліматичні фактори. Ґрунт може підсилювати дію окремих абіотичних факторів, видозмінювати цю дію, а то й узагалі гасити її. Так, наприклад, чорноземи України здатні знижувати вплив атмосферної посухи за рахунок великої здатності гумусу до водоутримання. Для функціонування екосистем велике значення має нейтралізуюча роль ґрунту. Вона полягає в здатності ґрунтів руйнувати біологічно шкідливі, токсичні речовини. Як було показано *А.М. Гродзинським* (1965, 1973), у ґрунтах має місце нейтралізація аделопатично активних інгібіторів, що полегшує сумісне існування рослин в екосистемах.

Можна говорити й про консервуючу роль ґрунтів. У ґрунті протягом багатьох десятиків, а то й сотень років добре зберігає свою життєздатність насіння. Ґрунт є оптимальним середовищем життя багатьох груп комах.

Структура ґрунту досить складна. Але в більшості типів виділяється невелика кількість основних горизонтів (*рис. 4.3*):

A – гумусний горизонт, у якому зосереджена основна маса органічної речовини ґрунту. У його межах часто виділяють підстилку (A_0) та власне перегнійні горизонти (A_{1-3});

B – горизонт, який утримує переважно вже мінералізовані речовини, перемішані з перетвореною гірською породою;

C – слабо змінена підстилаюча гірська порода.

Спеціалісти-ґрунтознавці користуються більш деталізованим поділом ґрунту на горизонти, але й наведена схема демонструє, що головним у ґрунті є гумусний горизонт. Степові ґрунти вміщують до 12 тисяч тонн гумусу на 1 га, а лісові – до 100 тонн. Гумусний горизонт ґрунту першим сприймає опад, що надходить на поверхню ґрунту. Саме в ньому починається переробка опадів рослин та залишків тіл тварин. Цю переробку називають гуміфікацією, бо вона завершується утворенням гумусу.

У процесі гуміфікації мертва органічна речовина використовується в їжу детритофагами та редуцентами, тобто комахами,

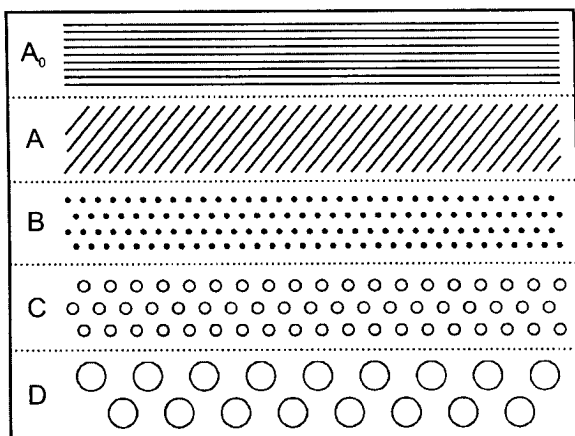


Рис. 4.3. Схема ґрунтового профілю з позначенням горизонтів ґрунту:

A₀ – підстилка; A – елювіальний або гумусний горизонт, в якому відбувається гуміфікація органічних речовини; B – елювіальний горизонт, в якому здійснюється накопичення поживних речовини; C – материнська порода, що вивітрилася; D – незмінена материнська порода.

бактеріями та грибами. Після переробки органічна речовина перетворюється на гумус – темну аморфну речовину досить складного хімічного складу. Гумус завдяки своїй структурі здатний запобігати вимиванню поживних речовин у більш глибокі горизонти ґрунту. Він поліпшує структуру ґрунту, надає їй грудкуватості, зв'язаності та забезпечує здатність утримувати у своїй товщі багато вологи.

Паралельно з гуміфікацією під впливом редуцентів у ґрунті відбувається процес мінералізації. Він полягає у вивільненні з органічних речовин іонів мінеральних елементів: фосфору, азоту, калію та інших іонів мінеральних елементів, що утворюються в процесі мінералізації та складають головне джерело поживних речовин для автотрофних зелених рослин. Мінеральні речовини, що є поживою для рослин, пропонується називати біогенними елементами. Ряд біогенних елементів використовується автотрофними рослинами у великих кількостях. Це макроелементи – азот, фосфор, калій та деякі інші. Але частина біогенних елементів потрібна рослинам тільки в дуже малих кількостях, їх називають мікроелементами. До них належать потрібні під час фотосинтезу марганець та залізо, для азотного обміну – молібден, бор, кобальт і залізо, для загального ефективного метаболізму – марганець, кобальт та мідь.

Важливим фактором життя ґрунту є підстилка – опад сухих рослин, листя тощо. Відношення маси підстилки до розміру річного опаду сухих частин рослин служить показником швидкості розкладання детриту, його виражають спеціальним індексом. Чим вищий цей індекс, тим інтенсивніше відбувається розкладання опаду. Запаси опаду (в т/га) становлять у середньому: в тундрі – 44, у тайзі та широколистяних лісах – 14, у степу – 3, у вологих тропічних лісах – усього 0,1. Це вказує на кліматичну обумовленість швидкості розкладання детриту і особливу роль температури для життя в ґрунті.

Про те, що гумус потрібен для родючості ґрунту, знали ще здавна. За вмістом гумусу ґрунти можна розділити на два основні типи:

- а) чорноземи – з вмістом гумусу 7–10%;
- б) підзолисті ґрунти – з вмістом гумусу до 2–3%.

Чорноземи складають головне природне багатство країн та народів, які володіють ними.

На властивості ґрунту накладає великий відбиток ще й материнська гірська порода. Особливо важливе для визначення властивостей ґрунту співвідношення в ньому піщаних та глинистих часток. За співвідношенням у ґрунті дрібних та великих часток ґрунти поділяють на піщані, супіщані, суглинкові, глинисті та щебнисті.

Механічний склад та структура ґрунту досить суттєві для здійснення його екосистемної функції. Піщані ґрунти (їх називають легкими) швидко висихають та нагріваються, але вони погано утримують у своїй товщі вологу та мінеральні речовини. Глинисті (важкі) ґрунти, навпаки, добре утримують воду, але погано прогріваються весною та мають підвищену щільність. Найбільш родючі ґрунти проміжного типу – суглинкові.

Оптимальною для живих організмів вважається густина ґрунту, що дорівнює 1 г/см^3 . Уже при густині $1,4 \text{ г/см}^3$ коріння росте погано та погіршуються умови для риючих тварин. Звичайно в суглиннистому ґрунті пори займають приблизно 50% об'єму, у піщаних – менше 50%, а в глинистих – 40–60%. Ґрунтові пори заповнені водою та повітрям. І той, і інший компоненти важливі: вода необхідна для кореневих систем та ґрунтовим тваринам, повітря є джерелом кисню для дихання.

Склад ґрунтового повітря інший, ніж склад атмосферного. У ньому до 26% збільшений вміст вуглекислого газу. Це результат саме дихання ґрунту, або, точніше, дихання всіх живих організмів, які знаходяться в товщі ґрунту. Вуглекислий газ ґрунту поступово переходить в атмосферу. У середньому з ґрунтів виділяється до 25 кг/га вуглекислого газу на годину. Активність ґрунтового дихання залежить від температури. Чим вона вища, тим більше

ґрунт виділяє вуглекислого газу. Цей виділений ґрунтом газ є додатковим живленням для листків, що фотосинтезують, особливо тих, які розташовані в приземному ярусі, та для низькорослих рослин. Це підживлення вуглекислим газом компенсує недостатню освітленість таких листків та рослин.

Вода в ґрунті є не тільки ресурсом для тварин та рослин, вона виступає як розчинник мінеральних речовин. Крім цього, постійні вертикальні та горизонтальні переміщення води у ґрунтовому профілі забезпечують транспортування мінеральних речовин у різні ділянки ґрунту та сприяють його функціонуванню як одного цілого.

ґрунти є динамічним утворенням. Швидкість процесу ґрунтоутворення залежить від типу материнської породи, клімату та активності живих організмів, що населяють його. На крихких вулканічних породах в умовах вологого клімату ґрунт формується за кілька десятків років. На гірських породах для утворення ґрунту необхідні століття і навіть тисячоліття.

Крім загального прогресивного односпрямованого розвитку, ґрунтам характерні періодичні коливання їх властивостей. Так, на півдні України добре виражені добові коливання властивостей ґрунту: удень унаслідок дії високої температури ґрунт підсихає, а вночі у результаті капілярного підняття води вологість ґрунту знову збільшується. Має добову динаміку і дихання ґрунту. Максимум виділення вуглекислого газу з ґрунту спостерігається вдень між 13 і 15-ю годинами.

Ще більшими контрастами відрізняються сезонні зміни властивостей ґрунту. У цьому разі спостерігаються закономірні зміни рН ґрунтового розчину, вмісту в ґрунті мобільних форм азоту і калію та ін. У період активного росту рослин у ґрунтовому розчині відбувається зниження концентрації усіх макро- та мікроелементів. Суттєво змінюється за сезонами вологість ґрунту. Як було показано *Г.В. Добровольським (1982)*, на луках у різні сезони може змінюватися навіть тип ґрунту: дернисто-луговий ґрунт, який так реєструється у весняний період, до середини літа трансформується в дернистий ґрунт, а болотно-луговий – у луговий ґрунт.

Відомі циклічні багаторічні коливання властивостей ґрунту, однак через відсутність тривалих стаціонарних спостережень ці зміни є малодослідженими.

Але, незважаючи на динамічність ґрунту, порівняно з іншими компонентами екосистем він найбільш стабільно зберігає свої основні властивості й структуру. Певною мірою ґрунт може розглядатися як своєрідна «пам'ять» екосистеми, яка протягом довгого часу зберігає у своїй структурі сліди зміни живого населення екосистеми.

4.4. ЖИВІ ОРГАНІЗМИ В ЕКОСИСТЕМАХ. БІОЦЕНОЗИ

Кожна екосистема відрізняється своєрідним потоком енергії та кругообігом речовин. Обидва ці процеси опосередковані наявністю в екосистемах живих організмів.

Сукупність усіх живих організмів екосистеми звичайно називають біоценозом. Термін «*біоценоз*» був запропонований у 1877 році німецьким ученим *К. Мьобіусом* на підставі вивчення устричних мілин. *К. Мьобіус* включав до біоценозу всі рослини і тварини, які мешкають на мілинах. Він вважав, що організми, які входять до складу біоценозу, повинні розмножуватися в його межах. У сучасній екології це не вважається за необхідне. Рослини справді розмножуються завжди у своєму біоценозі, але тварини для розмноження можуть перекочувувати в інші місця.

В англійській літературі як синонім терміну «біоценоз» часто використовують термін «*угруповання*». У сучасній екології біоценозом (угрупованням) називають групу організмів різних видів, що співіснують на одній і тій же ділянці території та взаємодіють між собою за допомогою трофічних або просторових зв'язків.

Серед структур біоценозу звичайно виділяють такі види:

- а) *видову*, що розкриває видове різноманіття живих організмів;
- б) *трофічну*, що демонструє характер харчових взаємин між організмами біоценозу;
- в) *просторову*, що показує територіальне розміщення рослин, тварин та мікроорганізмів.

Видовий склад біоценозу може бути досить різноманітним. Але його формування відповідає одному загальному правилу: у природному біоценозі обов'язково мають бути продуценти, консументи та редуценти. Без такого поєднання організмів із різним типом живлення будь-який біоценоз виявився б нестійким ефемерним утворенням. Біоценози є закономірними формуваннями та характеризуються цілком визначеним видовим складом організмів. Залежно від систематичної належності організмів біоценози поділяються на:

- а) *фітоценози*, утворені рослинами;
- б) *зооценози*, які є сукупністю всіх тварин екосистеми;
- в) *мікробіоценози*, що сформовані мікроорганізмами, які населяють підземну частину екосистеми.

Цілісність біоценозів зумовлюється дією ряду механізмів, але головними серед них вважаються два.

Перший із них полягає в тому, що добір видів у біоценозі будь-якої екосистеми здійснюється на основі спільності їхніх екологічних вимог щодо середовища. Природно, що на перезволожених ґрунтах будуть оселятися вологолюбні рослини та

тварини, а на південних відкритих схилах основу біоценозів будуть складати ксерофітні рослини та теплолюбні тварини. Ресурси та умови існування в цьому випадку виступають як механізм добору видів до біоценозу.

Другий механізм біоценозу зовсім інший за своєю природою. Він полягає в наявності коадаптацій рослин та тварин до спільного життя. Співіснування видів в одному ценозі є результатом того, що один вид потрібний іншому настільки, що без нього не може існувати.

Приклади такої взаємної прив'язаності організмів один до одного численні. Фітофаги не можуть існувати без відповідних кормових рослин, рослини, запилювані комахами, не можуть розмножуватися в екосистемі, де немає потрібних для їх запилення комах.

Обидва механізми біоценогенезу працюють одночасно та паралельно, це й призводить до того, що в кінцевому підсумку в кожному біоценозі набір видів рослин та тварин не випадковий, а закономірний. Ще К. Мьобіус підкреслював, що будь-який біоценоз є стійким угрупованням, яке повторюється в часі та просторі. Стосовно цього для кожного біоценозу характерний свій тип біопродукційного процесу та певний запас біомаси.

Форми зв'язків між організмами в біоценозах досить різноманітні. *В.М. Беклемішев (1951)* вважав основними ценозоутворюючими зв'язками такі:

1. Топічні зв'язки – виникають за рахунок того, що один організм змінює середовище в бік, сприятливий для інших організмів. Наприклад, сфагнові мохи підкислюють ґрунтовий розчин і створюють сприятливі умови для заселення цих боліт росичкою, журавлиною та іншими рослинами, які характерні для боліт Українського Полісся.

2. Трофічні зв'язки – полягають у тому, що особини одного виду використовують інший вид, продукти його життєдіяльності або мертві залишки як джерело їжі. Наприклад, тільки на основі трофічних зв'язків лелеки належать до складу водно-болотних ценозів, а лосі населяють в основному осикові ліси.

3. Фабричні зв'язки – зв'язки, при яких особини одного виду використовують особин іншого виду чи їхні частини тіла для побудови необхідних їм гнізд або схованок. Таким є, наприклад, характер зв'язку лісових птахів з лісовими ценозами, що надають їм дупла або гілки для спорудження гнізд.

4. Форичні зв'язки – зв'язки, що забезпечують перенесення особин одного виду особинами іншого виду. Розселення та проростання багатьох рослин із соковитими плодами залежить від присутності тварин, які забезпечують перенесення їхнього насіння.

Тривалість існування біоценозу відповідає тривалості життя екосистеми, частиною якої він є. У природі спостерігаються як

тривалі біоценози, так і короткочасні. Біоценоз, наприклад, дубового лісу може існувати протягом багатьох століть, а біоценоз пшеничного поля – лише один вегетаційний період від висіву пшениці до її збирання та переорювання поля. На тварині, що загинула, біоценози різних груп труподів та детритофагів будуть змінювати одне одного протягом кількох діб.

У біоценозах виділяється досить багато різних внутрішньоценотичних угруповань. Елементарні угруповання виникають на основі окремих вищих рослин. *О.О. Уранов, А.А. Ніценко та В.С. Іпатов (1960–1970)* дійшли думки, що окрема особина рослини або 2–3 особини, що зростають поруч, створюють навколо себе специфічне середовище. *О.О. Уранов (1965)* називав зону впливу особини на прилеглий простір фітогенним полем. *В.С. Іпатов (1967)* показав, що особини разом з їхніми фітогенними полями утворюють в біоценозах серію ценокомірок. Кожна ценокомірка має свій центр та свої підпорядковані рослини. Безумовно, з кожною ценокоміркою пов'язаний свій набір консументів та редуцентів. Але межі між ценокомірками нечіткі, і це, скоріше, функціональні одиниці, наявність яких підкреслює континуальність, безперервність структури кожного угруповання.

Як більш чітко виражені структурні підрозділи у фітоценозах виділяють яруси. Ярус – це елемент системи вертикального розчленування рослин залежно від їх висоти. Майже в кожному лісі можна виділити, наприклад, яруси дерев, кущів, трав та надґрунтових мохів. Спостерігається й підземна ярусність, що проявляється в розташуванні коренів рослин у різних ґрунтових горизонтах. У біоценозах із кожним ярусом пов'язане своє тваринне та мікробне населення. Яруси можуть бути стійкими у часі, як, наприклад, ярус дуба в дубовому лісі, або тимчасовими й існувати лише в певний сезон року або проявлятися лише в окремі роки.

Виділяють також так звані синузії як структурні частини фітоценозу. *Синузія* – це структурна частина фітоценозу, що охоплює ту чи іншу частину рослин угруповання й відрізняється за морфологічною організацією та функціонуванням. *Т. Гамс (1918, 1939)*, автор поняття «синузія», визначав їх як сукупність видів або особин, що висувають однакові вимоги щодо умов існування. Сучасні спеціалісти (*П. Річардс, 1961*) розглядають синузії як групу рослин близьких життєвих форм, екологічно однорідних, які відіграють однакову роль в угрупованні. Кожний чітко окреслений ярус виступає як окрема синузія.

Існують структурні одиниці біоценозів, які виділяються з урахуванням усього живого населення. Однією з таких структурних одиниць є консорція. Кожна консорція включає в себе продуценти, консументи та редуценти й виділяється за спіль-

ністю просторового розміщення та трофічних зв'язків. Наприклад, окреме старе дерево в лісі може розглядатися як консорція, оскільки з ним пов'язані певні види трав, що ростуть під деревом, специфічне населення тварин, паразити та мікроорганізми. Для кожної консорції характерна наявність центрального ядра – це звичайно одна чи кілька особин автотрофної рослини – та консортів, що концентрично розташовуються навколо цього ядра.

При біоценотичному підході як структурні одиниці біоценозу виділяють парцели, що відрізняються між собою рослинним та тваринним населенням. У межах кожної парцели утворюється своєрідний матеріально-енергетичний обмін.

У зооценозах спеціалісти нерідко виділяють деми як невеликі групи тварин одного виду, які відносно ізольовані від інших організмів даного виду і мають велику генетичну схожість.

Розглянуті вище внутрішньоценозні та внутрішньоекосистемні угруповання живих організмів показують, що все живе населення екосистеми пов'язане між собою тонким мереживом взаємовпливів. Ці взаємовпливи забезпечують цілісність усєї живої матерії екосистеми, цілісність кожного біоценозу. Як у біосфері в цілому, так і в кожній екосистемі можна побачити реалізацію загального принципу їх існування – єдність у різноманітті. У філософському розумінні аналіз організації біоценозів дозволяє зробити висновок, що в живій матерії екосистем одночасно реалізується єдність дискретності (наявність внутрішньоценотичних утворень) і континуальність (функціональна цілісність біоценозу). Цілісність біосфери забезпечується взаємодією великих регіональних екосистем, а цілісність біоценозів екосистем – взаємодією організмів різних ценокомірок, ярусів, синузій, консорцій та інших структурних окремоностей.

4.5. ЖИТТЯ В ҐРУНТІ

Ґрунти є досить специфічною частиною екосистеми. Вони мають своєрідне тваринне населення. Перш за все ґрунт – це основне середовище, де розташовані корені рослин, середовище, куди надходить весь рослинний опад та трупні померлих тварин екосистем, середовище, де зосереджена основна маса редуцентів будь-якої наземної екосистеми.

Залежно від видів автотрофних рослин та їх життєвих форм корені рослин розміщуються в ґрунті на різних глибинах. У середньому в помірних широтах вони проникають на глибину 1–2 м. Залежно від умов вологості корені можуть розміщуватися

**Таблиця 4.1. Розподіл коренів у горизонтах ґрунту
(за М.С. Шалитом)**

Пустельна асоціація з полином у Херсонській області			Вологі луки в Житомирській області		
глибина, см	вага коренів, г	%	глибина, см	вага коренів, г	%
0–17	1079,1	63,9	0–14	2115,7	75,8
17–29	188,1	11,1	14–25	316,5	11,3
29–46	163,2	9,7	25–36	141,1	5,1
46–57	73,8	4,4	36–46	55,9	2,0
57–77	108,8	6,4	47–58	47,9	1,7
77–100	77,0	4,5	58–69	46,8	1,7
			69–100	59,5	2,4
Всього:	1690,0	100,0	Всього:	2783,4	100,0

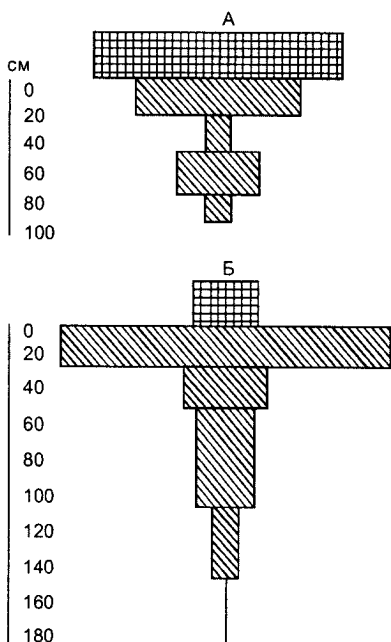


Рис. 4.4. Надземна фітомаса (верхній блок) та розподіл фітомаси коренів у ґрунтових горизонтах. А – вологі луки в Чернігівській обл.; Б – степи в Асканії-Новій (за Шалитом, 1950)

в різних горизонтах ґрунту, але в цілому основна маса їх знаходиться в гумусному шарі ґрунту (табл. 4.1, рис. 4.4).

Корені не просто розміщуються в ґрунті. Вони в ньому живуть, їхня діяльність полягає в постійному поглинанні з ґрунту води за рахунок різниці осмотичного потенціалу в клітинах кореня й у ґрунтовому розчині та постійному поглинанні мінеральних речовин. У процесі поглинання води корені швидко утворюють навколо себе зони висушеного ґрунту. Природне надходження води до таких зон відбувається поступово, і тому в коренів у процесі еволюції виробилася здатність до швидкого росту та розгалуження з метою переміщення в нові, більш зволожені, ділянки ґрунту. Стає зрозумілим, чому для успішної життєдіяльності рослин необхідна оптимальна щільність ґрунту.

Добування рослинами поживних речовин з твердої фази ґрунту також є активним процесом. Оскільки далеко не всі ґрунтові біогенні елементи знаходяться в ґрунтовому розчині у вигляді іонів, кореням рослин доводиться самим «готувати» собі їжу. Це здійснюється в результаті роботи двох механізмів.

1. Корені реалізують видільну функцію, яка полягає в тому, що з живих коренів у ґрунт безперервно надходять органічні кислоти і, головним чином, вугільна кислота. Об'єм таких кореневих виділень за весь період життя рослини сягає 5% загальної її ваги. Кислоти, що виділяються, забезпечують розчинення ґрунтових солей та роз'їдання кристалічних ґрат мінералів, вивільняючи необхідні рослинам біогенні елементи.

2. Корені живуть у сполученні з ґрунтовими мікроорганізмами, які, оселяючись навколо коренів, утворюють особливу зону ґрунтового життя – ризосферу. Мікробне населення ризосфер досить різноманітне. За даними *Є.Н. Мішустіна* (1970), сюди входять бактерії, актиноміцети та гриби. Загальна їх кількість у зоні ризосфери досягає 150–300 млн. на 1 г ґрунту, тоді як поза ризосферою – тільки 0,5–1,8 млн. Усі сапрофітні мікроорганізми ризосфери активно руйнують органічну речовину ґрунту та готують мінеральну поживу для рослин. Відіграють вони й захисну роль, виступаючи як бар'єр між коренем та паразитичною мікрофлорою ґрунту.

Не менш важливо, що так звані силікатні бактерії ризосфер здійснюють розкладання таких, що містять калій та магній, силікатів та алюмосилікатів мінеральної частини ґрунту. *В.І. Вернадський* (1927) писав, що «ця реакція за своїм значенням та за своїм характером нагадує іншу, ще більш важливу, – руйнування таких стійких молекул, як CO_2 та H_2O , зеленою живою речовиною».

У ряді бобових та небобових рослин корені вступають у пряме співжиття з бактеріями роду *Rhizobium*, які формують на їх коренях бульбашки. Ще в 1888 році *М. Бейеринк* показав, що ці бактерії зв'язують газоподібний азот повітря та переводять його у форму, доступну для вищих рослин.

Велика кількість рослин має й інший тип співжиття коренів – співжиття з ґрунтовими грибами, які називаються мікоризою. Мікориза буває ектотрофною, що розміщується в зоні ризосфери та оплітає корені зовні, та ендотрофною, що проникає прямо в тканини кореня. Ектотрофні мікоризи однорічні, вони утворюються щороку заново. Усі гриби, що утворюють мікоризу, збільшують зовнішню поверхню коренів і тим самим збільшують ефективність їх роботи при поглинанні води та мінеральних солей. Руйнуючи перегній, мікоризні гриби синтезують ряд біологічно активних речовин, які поліпшують ріст рослин.

Тваринне та мікробне населення ґрунту представлене консументами різних рівнів та мікроорганізмами-редуцентами. Їхня діяльність являє собою сумісну роботу в процесах гуміфікації та мінералізації органічної речовини, що надходить до ґрунту. Основні групи ґрунтових організмів, які руйнують та перетворюють органічні речовини, що надходять у ґрунт, такі:

1. Дощові черви. Вони мають чисельність до 100–600 особин на 1 м², і на їх долю припадає 50–90% усієї живої біомаси ґрунту. Унаслідок їхньої діяльності протягом року перероблюється до 225 кг/га ґрунтової маси. Одна особина дощового черва за рік пропускає через себе 400–500 г суміші органічних речовин та мінеральних часток ґрунту.

2. Енхітреїди. Дрібні черви, довжиною до 5–30 мм. На 1 м² ґрунту їх припадає кілька тисяч особин, а за сумарною біомасою вони лише трохи поступаються перед дощовими червами.

3. Двопарноногі багатоніжки, які теж досить активно переробляють ґрунтову речовину.

4. Ногохвістку (*Collembola*). Подрібнюють опад у підстилці. Мають біомасу 1–14 г на 1 м² ґрунту.

Як вихідний органічний матеріал, який зазнає в ґрунті біологічної переробки організмами, що населяють ґрунт, можна розглянути деревину. Деревина, що потрапляє на поверхню ґрунту, перш за все перероблюється личинками комах (скрипунів, златок, сверлил), які використовують її в їжу. Їм на зміну приходять гриби, міцелій яких, у першу чергу, оселяється в ходах, пророблених у деревині комахами. Гриби ще сильніше розрихлюють та руйнують деревину. Така крихка деревина та сам міцелій служать їжею для личинок вогнецвіток. На наступному етапі в такій сильно зруйнованій деревині оселяються мурашки, які знищують майже всіх личинок та створюють умови для поселення в деревині нової генерації грибів. Грибами починають живитися слимаки. Завершують гуміфікацію та руйнування деревини мікроорганізми-редуценти.

Аналогічно відбувається гуміфікація та мінералізація диких та свійських тварин, що надходять до ґрунту.

У комах – постійних жителів ґрунту – є значна кількість спеціальних пристосувань для існування в цьому середовищі. Як було показано *М.С. Гіляровим* (1970), ґрунтові комахи відризняються сплющеною формою тіла, багато з них здатні згортатися в клубок, захищаючи себе від хижаків та висихання, а інші, як наприклад вовчок, отримали в процесі еволюції потужні передні кінцівки риучого типу.

У цілому всі живі істоти ґрунту виступають як дуже важлива частка біоценозу. Слід підкреслити, що діяльність ґрунто-

вих організмів здійснюється на основі кооперації різних груп, які послідовно переробляють органічну речовину ґрунту. Ґрунтове населення являє собою таку ж закономірну цілісність, як і наземне.

4.6. ТРОФІЧНІ ЛАНЦЮГИ ТА ТРОФІЧНІ ПІРАМІДИ

Наведені вище матеріали показують, що між живими організмами екосистем існують різноманітні зв'язки. Одними з центральних зв'язків, які немов цементують досить різні організми в єдину екосистему, є харчові або трофічні. Харчові зв'язки об'єднують між собою організми за принципом «їжа – споживач». В екосистемах зв'язком «їжа – споживач» охоплюються всі живі організми. Це призводить до виникнення ланцюгів живлення, або трофічних. На початку кожного трофічного ланцюга знаходиться автотрофна жива рослина, що здійснює фотосинтез (меншою мірою первинний синтез органічних речовин ведуть хемосинтезуючі мікроорганізми). Ця група організмів називається продуцентами. За ними йдуть консументи, а замикають трофічні ланцюги редуценти, які мінералізують органічну речовину. До кожного конкретного трофічного ланцюга звичайно входить 4–5 видів організмів або груп організмів із різним або однаковим типом живлення, але в окремих біомах трофічні ланцюги можуть бути вкорочені. Так, на *рис. 4.5* представлений елементарний трофічний ланцюг, що складається з чотирьох ланок: зелені рослини – рослиноїдні комахи – комахоїдні птахи – хижі птахи.

У водних системах ланцюги живлення, як правило, довші, ніж на суші. Те, що біосфера й екосистеми складаються з живих

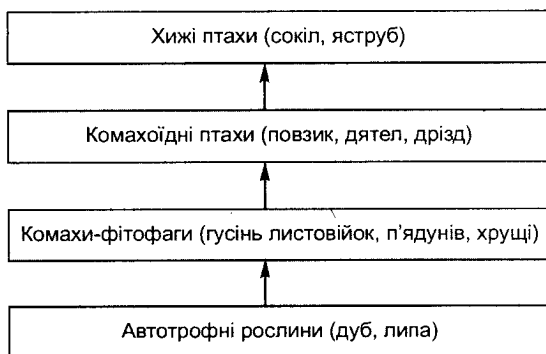


Рис. 4.5. Один із варіантів трофічного ланцюга

організмів, які утворюють числені ланцюги живлення, робить абсурдним уявлення про так звані «корисні» і «шкідливі» організми. У природі немає таких живих істот. Кожен організм виконує свою специфічну роль у біосфері, і всі вони в цьому розумінні корисні. Відомо багато випадків, коли масове знищення людиною «шкідників» завдавало економічної та екологічної шкоди більше, ніж самі ці «шкідники».

Як правило, їжа кожної живої істоти більш-менш різноманітна. Тільки всі зелені рослини однаково «живляться» вуглекислим газом та іонами мінеральних солей. У тварин випадки вузької спеціалізації харчування не такі вже й численні. У результаті можливості зміни харчування тварин трофічні ланцюги перехрещуються між собою, що веде до виникнення в екосистемі єдиної трофічної мережі. Трофічна мережа екосистеми є основним способом інтеграції в неї всіх живих організмів. Наявність складних трофічних мереж із можливістю переключення живлення окремих груп організмів на паралельні ланцюги робить екосистему більш стійкою. Знищення того чи іншого компонента трофічної мережі не веде до знищення всієї екосистеми, як це може трапитися у разі, коли трофічна мережа відсутня й організми зв'язані між собою одним трофічним зв'язком.

У межах загальної трофічної мережі екосистеми доцільно виділяти конкретні найбільш завантажені та відносно самостійні трофічні ланцюги. Такі ланцюги за їх типом підрозділяють на пасовищні трофічні ланцюги та детритні трофічні ланцюги.

Пасовищні трофічні ланцюги мають таку послідовність живих організмів: автотрофічні зелені рослини – консументи-фітофаги – консументи-хижаки. У кожному конкретному випадку ланка консументів може бути багатоскладовою. Так, в океанах та морях пасовищні трофічні ланцюги можуть починатися з фітопланктону. Ним харчується зоопланктон. Фіто- та зоопланктоном живляться деякі види риб. Ці риби, у свою чергу, є їжею для хижих риб. Закривати таку послідовність можуть птахи, що харчуються хижими рибами.

У детритних трофічних ланцюгах продукція автотрофних рослин або консументів прямо в їжу не використовується. У цьому випадку жива речовина спочатку відмирає та надходить до поверхні ґрунту чи на дно водойм. Такий мертвий органічний матеріал називається детритом. Він включає в себе рослинний опад, фекалії, труп тварин або продукти життєдіяльності, що виділяються в навколишнє середовище. Детрит стає їжею для різних груп рослиноїдних тварин, грибів, мікроорганізмів, поетапно зазнаючи гуміфікації та мінералізації. Описані в розділі 3.6

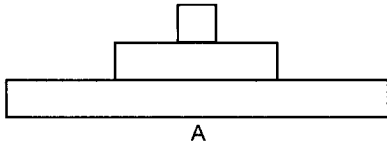
послідовності організмів, що змінюють одне одного на деревині, є прикладом детритного трофічного ланцюгу. Детритні трофічні ланцюги реалізуються не лише в ґрунті, вони досить характерні й для придонних частин водойм.

Живі організми в детритних ланцюгах, на відміну від пасовищних ланцюгів, повністю залежать від кількості та якості детриту. Як правило, першими організмами, що використовують детрит, бувають в одних випадках гриби та бактерії, а в інших – дощові черв'яки, слимаки та рослиноїдні ґрунтові чи водяні комахи. Наступну ланку детритного трофічного ланцюгу складають хижакі. Часто це амеби та нематоди. Більшість з них мікроскопічного розміру і харчується грибами та бактеріями. Але є й більші форми – жуки, мурахи, терміти. Хижацтво таких організмів умовне. Вони звичайно поїдають гриби разом з детритом. Так ведуть себе багатоніжки, мокриці, ногохвістки. Деякі їх види всеїдні, інші – вузько спеціалізовані щодо живлення трупами, екскрементами або іншим видом детриту. На трофічну діяльність усіх організмів детритотрофічного ланцюгу найбільше впливають температура, вологість, наявність кисню та азоту. Завершується детритний ланцюг повною мінералізацією органічної речовини з її розкладом на вуглекислий газ, воду та мінеральні речовини.

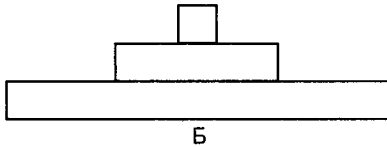
При описанні трофічних ланцюгів зручніше об'єднувати організми даного типу харчування в один трофічний рівень. У цьому разі всі автотрофні рослини складають перший трофічний рівень – рівень продуцентів. На другому трофічному рівні будуть розташовані консументи 1-го рівня – фітофаги, на третьому трофічному рівні – консументи 2-го порядку – хижакі і т. д.

У трофічних ланцюгах органічна речовина, що використовується, завжди несе в собі ту чи іншу кількість зв'язаної енергії. При переході від однієї ланки трофічного ланцюга до іншої передача зв'язаної енергії не відбувається: до 80–90% її розсіюється у вигляді тепла. Ця обставина є головним лімітом довжини трофічних ланцюгів. Останнім ланкам ланцюга вже не дістається зв'язаної енергії. Найменш ефективна передача енергії в ланці – продуценти-фітофаги. Найбільш повно передається енергія від одного консумента до іншого, і тому ця частина трофічних ланцюгів виявляється найдовшою. За підрахунками екологів, перехід від одного трофічного рівня до іншого за неповнотою передачі зв'язаної енергії веде до зменшення біопродукції приблизно в 10 разів. Очевидно, що, чим менші втрати, тим краще «підібрані» живі організми один до одного, і трофічний ланцюг працює більш ефективно.

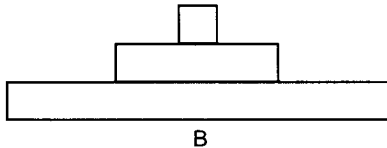
В екології співвідношення чисельності організмів, їх біомас або зв'язаної в біомасі енергії звичайно зображують у формі



Хлопчик – 1
Телята – 4,5
Люцерна – 20 млн. рослин



Хлопчик – 48 кг
Телята – 1035 кг
Люцерна – 8211 кг



Хлопчик – $8,3 \cdot 10^3$ кал
Телята – $1,19 \cdot 10^6$ кал
Люцерна – $1,49 \cdot 10^7$ кал

*Рис. 4.6. Екологічні піраміди:
А – чисельність організмів, Б – біомаси організмів,
В – зв'язаної енергії (за Одумом, 1986)*

екологічних пірамід (рис. 4.6). Відповідно розрізняють екологічні піраміди чисельності, біомаси та енергії. В основі екологічної піраміди розміщуються організми першого трофічного рівня, а на її вершині – організми кінцевого для даної екосистеми трофічного рівня. Природно, що екологічні піраміди, як правило, звужуються від основи до вершини. Для енергетичних екологічних пірамід таке звуження – це взагалі універсальний закон. В екологічних пірамідах чисельності та біомас, навпаки, іноді верхні рівні можуть бути ширші за нижні.

З точки зору оцінки загальної ефективності біоценозів найбільшу інформацію дають екологічні піраміди енергії. Вони відображають швидкість утворення біомас та показують, скільки енергії утримується на кожному з трофічних рівнів за певний період часу (звичайно за рік). Біомаса різних організмів вміщує різну кількість зв'язаної енергії, що при порівнянні біомас може привести до хибних висновків щодо важливості тієї чи іншої групи організмів для екосистеми. Екологічні піраміди енергії характеризують не тільки якість біомаси, але й активність її переробки. Так, при біомасі 1 г/м^2 ґрунтові бактерії пропускають через себе потік енергії в 4200 кДж/м^2 за добу, прямокрилі комахи – $1,7 \text{ кДж}$, олені – $1,9 \text{ кДж}$, а м'якуни – $0,42 \text{ кДж}$. Зрозуміло, що енергія є зручною універсальною екологічною одиницею.

Загальний енергетичний аналіз пірамід енергії показує, що екосистеми мають низькі коефіцієнти корисної дії при прохо-

дженні енергії ланцюгами живлення. Так, коли в екосистемі продуценти зв'язують 1000 ккал/добу/м² сонячної енергії, то в організми трав'ядних тварин її переходить тільки 10 ккал/добу/м², а в організм хижака – усього 1 ккал.

4.7. КОНЦЕНТРАЦІЯ РЕЧОВИН У ТРОФІЧНИХ ЛАНЦЮГАХ

У трофічних ланцюгах усі види речовин послідовно переходять від одного організму до іншого. Органічні речовини в цьому процесі перетворюються в специфічну для кожного виду рослин та тварин форму. Так, білки рослин у процесі живлення фітофагів, які їх споживають, розщеплюються до амінокислот, і вже з них в організмі тварини синтезуються специфічні білки.

Інший шлях проходять окремі хімічні речовини, зокрема так звані ксенобіотики – речовини, що в природі спочатку не існували, а потім були синтезовані людиною. Такі речовини проходять через трофічні ланцюги в незмінному вигляді. Через те що розмір біомаси в екологічних пірамідах закономірно знижується при переході на кожний новий трофічний рівень, концентрація ксенобіотиків у розрахунку на одиницю біомаси більшає. Цей ефект називається законом концентрування речовин у трофічних ланцюгах.

Закономірності концентрування речовини в трофічних ланцюгах були детально вивчені на прикладі ДДТ – пестицида, який застосовується для знищення ряду комах та відрізняється високою стійкістю. За даними *Н. Гріна* та інших (1990), у США в трофічному ланцюгу з чотирьох ланок концентрація ДДТ зростала таким чином: у тілі водяних рослин (ДДТ вносили для знищення комарів) його концентрація становила 0,04 г на один кілограм біомаси, у риб, що харчуються водяними рослинами, вона підвищилася до 10 г на один кілограм біомаси, у хижих великих риб досягала 50 г на один кілограм ваги тіла, а в птахів, що харчуються рибою, – 75 г на один кілограм біомаси. Очевидно, що всього за 4 ланки трофічного ланцюга концентрація ДДТ в тканинах зросла в 1875 разів.

Аналогічно відбувається концентрація в трофічних ланцюгах радіоактивних речовин (зокрема, цезію), важких металів (свинцю, кадмію та ін.), а також будь-яких ксенобіотиків. *Д.А. Криволуцький* та ін. (1989) показали, що при переході радіоактивного цезію (137-Cs) від однієї ланки трофічного ланцюга до іншої, його концентрація зростає в 1,5–8 разів. *М. Краус* (1989) вивчив проходження важких металів у трофічному ланцюгу «рослини – комарі – хірономіди – ластівки». Виявилося, що в

цьому трофічному ланцюгу спостерігалось виражене накопичення важких металів у тілі ластівок. У мозковій тканині і печінці накопичувався свинець, у м'язах, шкаралупі яець та в тканинах ембріонів – хром та нікель, а в пір'ї – мідь і свинець.

Концентрування речовин у трофічних ланцюгах має важливі наслідки для всієї практики господарювання людини в природних екосистемах. Забруднення, яке вважається незначним при оцінці кількості забруднювача в навколишньому середовищі, стає катастрофічно небезпечним при дії закону концентрації, і небезпечним перш за все для самої людини, яка знаходиться на вершині всіх трофічних ланцюгів пасовищного типу.

Трофічні ланцюги виконують ще й бар'єрну функцію. Із концентруючими та бар'єрними функціями живої речовини пов'язана здатність екосистем до самоочищення. Вона проявляється стосовно великого класу речовин. Ряд з них, потрапляючи до трофічного ланцюга, поступово руйнується. Але така здатність біомів до самоочищення не безмежна. Є верхній граничний рівень концентрації, перевищення якого вже не дає можливості біому очиститися від даної речовини. Тут багато що залежить від типу забруднюючої речовини та швидкості її надходження в екосистему. При поступовому надходженні забруднюючих речовин самоочищення відбувається ефективніше, ніж при разових викидах в екосистему великої кількості ксенобіотика.

Деякі забруднюючі речовини в біогеохімічних циклах не руйнуються, а переходять у депо даного циклу (гірські породи, атмосфера і т.ін.), і їхня шкідлива дія на організм знижується. Це відбувається з багатьма мінеральними речовинами.

Кількісну оцінку здатності екосистем до самоочищення здійснюють на основі порівняння швидкості надходження тієї чи іншої речовини до екосистеми зі швидкістю асиміляції цієї речовини екосистемою. У прикладі, що наводять *Д. Бейч* та *І. Макскіл* (*D.H. Bache, I.A. McAskill, 1984*), для однієї з природних екосистем США цей показник становив: для води – 3,3 кг/га на рік, для фосфору – 4,0, азоту – 11,8, міді – 0,9, кадмію – 4,7. У цьому прикладі при комплексному забрудненні критичним виявилось б забруднення азотом, яке повинне контролюватися в першу чергу.

4.8. РОЗВИТОК ТА ЕВОЛЮЦІЯ ЕКОСИСТЕМ

Екосистемам, як і всім природним об'єктам, властиві закономірні зміни в часі. Ці зміни відповідають принципу самостійного розвитку та руху матерії. Для позначення явища розвитку екосистем звичайно використовують термін «еволюція». Він не

зовсім вдалих. Зі словом «еволюція» найчастіше асоціюється історичний розвиток живих організмів, боротьба за існування та природний добір. На рівні екосистем цих явищ немає, але термін «еволюція» тут застосовується більшістю авторів і замінювати його немає підстав. Хоча, за *М.А. Голубцем* (1969), доводиться говорити про екосистемну еволюцію. Екосистемна еволюція включає в себе «зміну в часі просторової та функціональної організації екосистем» (*М. Голубець*, 1982).

В екосистемній еволюції існує дві узгоджені форми розвитку:

- а) еволюція живих організмів;
- б) самоорганізація неживої матерії.

Закономірності біологічної еволюції, відкриті *Ч. Дарвіном*, уже добре вивчені. Порівняно новою сторінкою в екології є встановлення фактів та механізмів самоорганізації в неорганічному світі.

Самоорганізацію неживої матерії вивчає самостійна наука – синергетика. Назва (від грецького слова, що означає «сумісний, узгоджено діючий») та саме становлення цієї науки в 1970-х роках пов'язані з працями *Г. Хакена*. Відкриття самоорганізації в неорганічному світі як протипаги зростанню ентропії має епохальне значення, і його філософські наслідки ще до кінця не усвідомлені.

У неживій матерії до саморозвитку здатні відкриті системи, що складаються з підсистем із колективною поведінкою. На протипагу другому закону термодинаміки (був сформульований у 1857 році *Р. Клаузіусом*), за яким ентропія здатна тільки до зростання, синергетика стверджує, що в неорганічній матерії, однак, відомі випадки, коли порядок виникає з хаосу.

В екології розвиток у формі самоорганізації матерії є важливою властивістю екосистем. Кооперативна поведінка живої матерії, що еволюціонує, та абіотичних компонентів екосистем, що самоорганізуються, веде до виникнення все нових і нових форм організації. Вони й складають зміст екосистемної еволюції. Відкритий характер екосистем зумовлює те, що їх еволюція визначається внутрішніми особливостями екосистем, які саморозвиваються. Але вона здійснюється також і за рахунок зовнішніх стосовно екосистем збурень.

Внутрішнім джерелом самоорганізації екосистем є протипаги форм та темпів розвитку живого та неживого компонентів їхньої структури. Детальний аналіз, проведений *М.А. Голубцем* (1982), показав, що внаслідок еволюції екосистем у біосферний кругообіг речовин включаються все нові потенційні середовища життя і підвищується продуктивність та стабільність біогеоценотичного покриву Землі в цілому. Ще до нього *А.І. Лотка* (1925) сформулював правило максимуму потоку енергії в біологічних системах, відповідно до якого екосистемна еволюція

зорієнтована так, що все більша й більша частка енергії спрямовується на збільшення незалежності та автономності екосистем щодо зовнішніх збурень.

Важливим рушієм поступових змін екосистем є процес життєдіяльності організмів. За неповної замкненості біогеохімічних циклів в екосистемах накопичуються органічні та неорганічні залишки специфічного характеру. Так, очевидно, що на самих ранніх етапах еволюції в екосистемах не було організмів, які використовували для дихання вільний кисень, через відсутність його в атмосфері. У міру накопичення кисню в результаті фотосинтезу зелених рослин на Землі почали формуватися екосистеми, що вмщували живі організми, які дихали киснем.

Інший рушій екосистемної еволюції – це сама біологічна еволюція, тобто зміна організмів різного рівня організації. Як показано М.А. Голубцем, уся сукупність генотипів тієї чи іншої екосистеми, що складає генопласт, також є об'єктом еволюції. Ю. Одум (1986) підкреслював важливість для еволюції екосистем двох ефектів – коеволуції та групового добору. Поява тісної кооперації типу «рослина – її фітофаги», «жертва – хижак», «спеціалізовані квітки – їх запилювачі» – усе це результат коеволуції.

Дані геології свідчать, що еволюція екосистем зумовлена ходом вікових змін самої геоморфологічної структури земної кулі та пов'язаними з ними змінами клімату.

Аналізуючи фактори еволюції екосистем, М.А. Голубець (1983) підкреслював, що екосистеми як природні структури утримують значну кількість акумульованої в них вільної енергії. Це спричинює їхній нестійкий стан та веде до періодичних самозбурень. Таким чином, можна стверджувати, що процес екосистемної еволюції базується на трьох основних факторах:

- 1) зміні середовища;
- 2) спадковій мінливості живих організмів та природному добору;
- 3) наявності в екосистемах вільної енергії.

Загальний аналіз закономірностей зміни екосистем показує, що в умовах більш-менш стабільного екологічного середовища екосистеми, які мають велике внутрішнє різноманіття, витісняють прості екосистеми. Екосистемна еволюція йде від простого до складного. За В.С. Голубевим (1992), критерієм прогресивності еволюції екосистем та біосфери є темп нарощування в них вільної енергії, що сприяє збільшенню стійкості функціонування екосистем та здатності до саморегуляції.

Якщо теоретичні основи екосистемної еволюції розроблені досить повно, то конкретного матеріалу з еволюції тих чи інших екосистем дуже мало. Однак загальна схема еволюції екосистем Землі протягом трьох мільярдів років їх існування в загальних рисах відома.

Відтворенням еволюції екосистем займається окрема наука – *палеоекологія*. Вона спирається на вивчення комплексів викопних залишків організмів та на дані палеокліматології. Велику допомогу у відтворенні шляхів еволюції екосистем кайнозоя надає вивчення залишків пилку, які добре збереглися в торфових та мулистих покладах. Метод побудови пилкових діаграм дозволив отримати багато важливих даних про екосистеми минулого.

Приблизно 3,5 млрд. років тому, коли на планеті відбувалося зародження життя і формувалися перші екосистеми, Земля не мала вільного кисню та озонового екрану, який захищає поверхню планети від жорсткого космічного опромінення. Тому первинні організми могли існувати лише у товщі води, яка давала їм захист від жорсткої радіації, або в товщі рихлих порід на суші. Згідно з сучасною гіпотезою *Опаріна – Дайсона* (Злобін, 2001) дві важливі риси будь-якого живого організму – метаболізм і відтворення на основі ДНК – мали самостійне і незалежне походження. Тому найперші живі організми являли собою найпростіші метаболічні комірочки з анаеробним диханням. Подальшим важливим етапом виявилось об'єднання метаболічних комірочок і нуклеїнових кислот, що забезпечують достатньо точне копіювання властивостей материнських клітин при їх розмноженні. Пізніше такі організми набули здатності до фотосинтезу, в атмосфері почав накопичуватися вільний кисень, що й дало можливість формуватися первинним екосистемам, які складаються з гетеротрофних і автотрофних організмів.

Дуже важливо усвідомлювати, що з цього моменту еволюція живих організмів відбувалася лише в межах еволюціонуючих екосистем. Цим пояснюється висока пристосованість живих організмів до умов їх життя. Екосистеми впродовж усієї подальшої історії біосфери визначали ті вектори, напрямки, за якими діяв природний добір.

У процесі еволюції екосистеми все більше ускладнювались, а організми, з яких вони склалися, набували все більшої спеціалізації. Зростала біологічна різноманітність в екосистемах, що робило їх більш стійкими до окремих стресових чи катастрофічних впливів.

4.9. СУКЦЕСІЇ

Будь-які структурні особливості екосистем є результатом їхнього розвитку. Окремим випадком еволюції екосистем є сукцесії. Сукцесія – це послідовна зміна біогеоценозів (екосистем) на одній і тій же території під впливом природних факторів або діяльності людини.

Початковою точкою такого розвитку при розгляді сукцесій зручно вважати такі ділянки, які повністю не зайняті будь-якими живими організмами. Це, наприклад, поля лави, оголення ґрунту після зсуву, свіжі річкові наноси. Угрупування живих організмів, що першими опиняються в таких місцях, називаються піонерними. У міру розвитку будь-якого піонерного угруповання, воно рано чи пізно досягає стійкої рівноваги, коли угруповання не може замінюватися іншим угрупованням. Такі угруповання називаються клімаксними.

Повний набір угруповань живих організмів у часовій послідовності їхніх замін від – піонерного до клімаксного складає сукцесійний ряд.

Аналізуючи екосистеми, розрізняють сукцесію екосистеми в цілому та окремо сукцесії рослинності, тваринного та мікробного населення. У типовому випадку узагальнена схема сукцесії полягає в послідовній зміні нижчих рослин і тварин більш організованими, а в рослин – ще й багаторічними формами (рис. 4.7). Розрізняють первинні сукцесії, коли заселяється початково позбавлений життя субстрат, та вторинні сукцесії, коли формування екосистеми відбувається на базі такого угруповання, що раніше існувало, але згодом було зруйновано. Вторинні сукцесії утворюються на місцях згарищ, вирубок, занепалого сільськогосподарського землекористування і т.п.

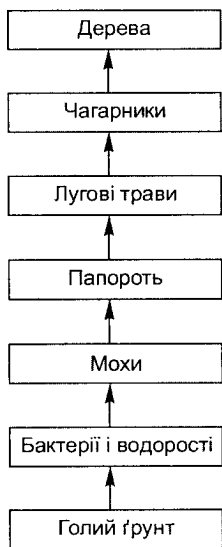


Рис. 4.7.
Принципова
схема сукцесії в
лісовій зоні

Концепція сукцесій була сформульована в 1916 році *Ф.Е. Клементсом*. На його думку, усі основні сукцесії обов'язково завершуються одним клімаксним угрупованням, яке відповідає даному клімату. Такий підхід отримав назву моноклімаксу. Пізніше було показано, що й в умовах одного типу клімату, залежно від характеру ґрунту, гідрологічного режиму і т.ін., формується цілий набір різних, але стійких угруповань. Це явище отримало назву поліклімаксу.

У 1942 році *Р.І. Ліндемман* висловив припущення, що максимальна біопродукція екосистем проявляється у фазі їхнього клімаксу. Але наступні дослідження показали, що це зовсім не так. Максимальна швидкість біопродукції частіше відповідає угрупованням, яким властива сукцесія. Інша справа, що, наближаючись до фази клімаксу, біомаса все більше накопичу-

ється. Це відбувається тому, що клімаксні біоценози формуються з великих рослин, а життя серед них більш різноманітне.

Екологічні сукцесії, за яких біологічна продукція і видове різноманіття зростають, прийнято називати *прогресивними*. Якщо ці параметри знижуються – *регресивними*, чи *дигресивними*. Дигресії екосистем найчастіше виникають при надмірних антропогенних впливах на екосистеми (перевипас худоби на луках тощо).

Клімакс як екологічне явище характеризується особливим типом розподілу біогенних хімічних елементів. Вони концентруються в біомасі, тоді як абіогенне середовище збіднюється на них. Клімаксні угруповання відрізняються й тим, що в них більше детриту, а фітофаги відступають на нижчу позицію порівняно з детритофагами.

Встановлення сукцесійного віку екосистем та біоценозів є непростю справою. Вона успішно вирішується спеціалістами. У будь-якій місцевості екосистеми сукцесійно різновікові. Залежно від історії їх формування та тривалості існування окремі біоценози є *піонерними*, інші – *сукцесійними*, треті – *клімаксними*.

Аналіз біоценозів показує, що це в повній мірі стосується й України. Найбільш прості сукцесійні ряди властиві прісноводним болотним екосистемам. Яскравою ілюстрацією таких сукцесійних рядів є ділянки Причорноморських плавнів, детально вивчені Д.В. Дубиною і Ю.Р. Шеляг-Сосонком (1989). За їхніми даними сукцесійний ряд заростаючої прісноводної водойми виглядає таким чином.

I сукцесійна ланка – переважно водні плаваючі гідрофіти: рдесник гребінчастий, рдесник пронизанolistий, кушир занурений.

II сукцесійна ланка – водні геофіти, як прикріплені, так і плавучі: плавун щитolistий, рдесник плаваючий, валіснерія спіральна.

III сукцесійна ланка – більш потужні і великі водні геофіти і вільноплаваючі гідрофіти: латаття біле, глечики жовті, водяний різак звичайний.

IV сукцесійна ланка – водні геофіти і водні гемікриптофіти: різні види комишів, їжача голівка пряма, стрілолист стрілолистий.

V сукцесійна ланка – водні гемікриптофіти: рогоз вузьколистий, лепешняк великий, очерет звичайний.

VI сукцесійна ланка – болотяна рослинність.

Сукцесії такого типу в різних варіантах складають велику сукцесію або, по суті, еволюцію екосистем Причорноморських плавнів.

На початку ХХ століття в пониззях рік Дунаю та Дністра переважали угруповання рдесника пронизанolistого та

канадської елодеї. З кінця 1950-х перевагу отримали прикріплені форми: спіральна валіснерія та різуха морська, – які віддають перевагу засоленим водам. У сучасний період тут переважають форми, типові для евтрофованих водойм, які засолоняються і стік яких зменшується.

В.С. Ткаченко та А.П. Генев (1992) у заповіднику «Кам'яні могили» Донецької області описали цікавий сукцесійний ряд степової екосистеми. Тут послідовно змінюють одна одну піонерна, типчакова, ковилова, корневищно-злакова, злаково-різнотравна, чагарникова та лісова фази. Примітно, що початкові фази цього ряду проявляють щорічні флуктуації, які значною мірою залежать від проникнення напівпаразитичної рослини дзвінець весняний. У поєднанні з риючою діяльністю сліпака це повертає степову екосистему до початкової фази. Розвиток відбувається мовби за своєрідними напівпетлями. Досить важливо, що в цьому разі сукцесія є не тільки зміною характеру рослинного покриву, це динамічний процес усєї екосистеми.

За цими прикладами можна побачити, що аналіз сукцесій є вдалим методом з'ясування динаміки розвитку великих екосистем та біосфери в цілому.

У проходженні фаз сукцесій існують загальні закономірності. Перш за все, послідовність фаз досить жорстко закріплена і є характерною для певного класу екосистем. Встановлено також, що в сукцесії діє закон сукцесійного уповільнення швидкості зміни фаз. Він виявляється в тому, що, чим ближче екосистема до клімаксового стану, тим повільніше відбувається перехід від однієї фази до іншої. У ході сукцесії екосистем виявляється і ще одна закономірність: замкненість біогеохімічних циклів посилюється, а кількість «відходів», що не залучаються до повторного використання, стає мінімальною.

4.10. ШТУЧНІ ЕКОСИСТЕМИ – ЕКОСФЕРИ

Розуміння основних закономірностей функціонування створило передумову для реального конструювання хоч і значно спрощених, але досить стійких екосистем. Такі екосистеми в наш час споруджуються як герметично закриті і, таким чином, матеріально замкнені об'єми. Живі організми, що знаходяться в них, отримують із зовнішнього середовища тільки променисту енергію.

Розробку принципів та технологій конструювання штучних екосистем розпочав у 1967 році *К. Фолсом* з Гавайського університету, США. Пізніше такими екосистемами зацікавився

Центр космічних досліджень США – НАСА. Ведуться такі роботи і в ряді інших країн. Створювані за технологією К. Фолсома штучні екосистеми отримали назву екосфер.

Звичайно екосфера – це округлий замкнений скляний посуд об'ємом у 25–1000 см³ і більше. Кожна екосфера вміщує морську воду, пісок та повний набір організмів з автотрофним та гетеротрофним живленням. Ці організми підбираються так, щоб вони повністю здійснювали по можливості маловідходний біоелементарний цикл. Як правило, у такі екосфери вміщують водорості (продуценти, що ведуть синтез органічних речовин), коловертки (консументи – споживачі органічних речовин) та бактерії (редуценти). Головною технічною проблемою при створенні екосфер є попереднє повне звільнення всіх живих організмів від патогенних інфекцій. Якщо інфекція потрапляє в екосферу, вона дуже швидко знищує її, оскільки низьке видове різноманіття живих організмів в екосфері та відсутність складної трофічної мережі не дає змоги переробляти речовини в паралельних трофічних ланцюгах.

Необхідну променисту енергію екосфери отримують від природного сонячного освітлення. Деякі моделі екосфер випускають із штучною системою освітлення. Добре збалансована екосфера може існувати 10 і більше років. *Дж. Аллен та Е. Босс (1991–1993)* сконструювали в штаті Арізона, США, великогабаритну екосферу, яка отримала назву «Біосфера-1» і мала площу основи приблизно 1 га. У «Біосферу-1» штучно подавався вуглекислий газ та кисень. Більш досконалий варіант «Біосфера-2» є повністю автономним.

У наш час досить інтенсивно ведуться роботи з удосконалення та ускладнення екосфер, які розглядаються як прообраз життєзабезпечення космонавтів у тривалих космічних польотах.

Питання для самоперевірки

1. Дайте наукове визначення термінам «екосистема», «біогеоценоз», «біоценоз».
2. Розрізняти ресурси та умови існування живих організмів і знати основні їх види.
3. Доведіть, що ґрунт справді є біокосним природним тілом.
4. Назвіть основні форми кооперації коренів автотрофних рослин з ґрунтовими мікроорганізмами та грибами.
5. Наведіть приклади трофічних ланцюгів, що є у відомих вам екосистемах та визначіть, до якого типу вони належать.
6. Розкрийте зміст закону концентрування речовин у трофічних ланцюгах.
7. Назвіть ознаки, за якими розрізняються різні екосистеми.

8. Назвіть основні сезони року та ознаки, за якими їх можна розмежувати.
9. Що таке штучна екосфера?

Питання для самоперевірки та обговорення:

1. Проаналізуйте значення абіотичних факторів в існуванні екосистем, які ви знаєте з власних спостережень у природі.
2. Розгляньте ґрунтовий біоценоз та проаналізуйте функції окремих груп організмів в його існуванні.
3. Проведіть обговорення можливих випадків концентрування радіоактивних речовин у трофічних ланцюгах після аварії на Чорнобильській АЕС.
4. Розгляньте основні шляхи екосистемної еволюції. Якими основними факторами вона характеризується?

5.1. РІЗНОМАНІТТЯ ЕКОСИСТЕМ

Екосистеми, що є в сучасній біосфері, належать до двох основних категорій. По-перше, це природні екосистеми, що виникають та існують незалежно від людини, по-друге, штучні антропогенні екосистеми, які створюються людиною (наприклад, посіви). Усі природні екосистеми тією чи іншою мірою змінені внаслідок господарської діяльності людини.

Природні екосистеми досить різноманітні. Але за спільністю основних структурних ознак, особливостями функціонування, характером потоку енергії та кругообігу речовин їх можна об'єднати в декілька основних типів. Практично при виділенні типів екосистем перш за все беруть за основу ознаки біоценозів. У цьому разі все різноманіття екосистем світу можна звести до 15 основних типів (*табл. 5.1, рис. 5.1*). Ці типи часто називають біомами. Біоми – це великі регіональні одиниці поділу біосфери, які мають специфічну фауну та флору, пристосувалися до певних ґрунтово-кліматичних умов та сумісного життя. Найбільш важливими для біосфери є біоми лісів та різних типів злакової рослинності. На лісові біоми припадає 27% території суходолу (40,5 млн. км²).

На території України представлені зони змішаних лісів, лісостеги, степи, а також гірські біоми Карпат і Криму (*рис. 5.2*).

Р. Уїмтекер (1975) залежно від обсягу біопродукції, що створюється в екосистемах, поділяв їх на чотири основні класи:

1. Екосистеми найвищої продуктивності, в межах 2000–3000 г/м² на рік. До них належать екосистеми тропічних вологих лісів.

2. Екосистеми високої продуктивності – у межах 1000–2000 г/м² на рік. До них належать листяні ліси помірної зони та луки.



Рис. 5.1. Схема фізико-географічного районування України.

Межі: 1 – країни, 2 – зони, 3 – підзони, 4 – провінції, 5 – підпровінції, 6 – області; МЛ – зона мішаних лісів; ЛС – лісостепова зона; С – степова зона; УК – Українські Карпати; КГ – Кримські гори (на схемі цифрами позначені області).

Південний захід Східно-Європейської рівнини. Зона мішаних лісів. Поліська провінція: 1 – Волинське Полісся; 2 – Мале Полісся; 3 – Житомирське Полісся; 4 – Київське Полісся; 5 – Чернігівське Полісся; 6 – Новгород-Сіверське Полісся. **Лісостепова зона.** Західно-Українська лісостепова провінція: 7 – Волинське лісостепове Опілля; 8 – Розточчя і Опілля; 9 – Західно-Подільський лісостеп; 10 – Північно-Подільський лісостеп; 11 – Прут-Дністровський лісостеп. Дністровсько-Дніпровська лісостепова провінція: 12 – Північно-Придніпровський лісостеп; 13 – Київський підвищений лісостеп; 14 – Придністровсько-Подільський лісостеп; 15 – Подільсько-Побузький лісостеп; 16 – Центральнопридніпровський підвищений лісостеп; 17 – Південно-Подільський підвищений лісостеп; 18 – Південно-Придніпровський підвищений лісостеп. Лівобережно-Дніпровська лісостепова провінція: 19 – Північно-Дніпровський терасно-рівнинний лісостеп; 20 – Південно-Дніпровський терасно-рівнинний лісостеп; 21 – Північний Полтавський лісостеп; 22 – Південний Полтавський лісостеп. Середньоруська підвищена лісостепова провінція: 23 – Сумський підвищений лісостеп; 24 – Харківський підвищений лісостеп. **Степова зона.** Північностепова підзона. Дністровсько-Дніпровська північностепова провінція: 25 – степові відроги Центрально-молдавської височини; 26 – степові відроги Подільської височини; 27 –

Таблиця 5.1. Класифікація основних природних екосистем світу

А	Екосистеми суходолу
	1. Тундра
	2. Шпилькові ліси помірної зони
	3. Листяні ліси помірної зони
	4. Степи
	5. Тропічна та субтропічна злакова рослинність
	6. Савана
	7. Пустеля
	8. Вічнозелений тропічний дощовий ліс
	9. Болота
	10. Луки
Б	Екосистеми водойм
	11. Стоячі водойми: озера та ставки
	12. Екосистеми текучої води: ріки та ручаї
	13. Екосистеми відкритого океану
	14. Екосистеми континентального шельфу
	15. Естуарії

3. Екосистеми помірної продуктивності – у межах 250–1000 г/м² на рік. До них належать стеги та чагарники.

4. Екосистеми низької продуктивності – менше 250 г/м² на рік. До них належать пустелі та напівпустелі.

Різноманіття екосистем на нашій планеті є важливим фактором загальної стійкості біосфери.

степові відроги Придніпровської височини. Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська північностепова провінція: 28 – Орельсько-Конкський низовинний степ; 29 – Приазовський підвищений степ; 30 – Приазовський низовинний степ. Донецька північностепова провінція: 31 – степові західні відроги Донецької височини; 32 – Донецький підвищений степ. Задонецько-Донська північностепова провінція: 33 – Старобільський степ. Середньостепова підзона. Причорноморська середньостепова провінція: 34 – Задністровський низовинний степ; 35 – Дністровсько-Бузький низовинний степ; 36 – Бузько-Дніпровський низовинний степ; 37 – Дніпровсько-Молочанський низовинний степ; 38 – степові південно-західні схили Приазовської височини. *Сухостепова підзона*. Причорноморсько-Приазовська сухостепова провінція: 39 – Приморський низовинний степ; 40 – Нижньодніпровський терасно-дельтовий степ; 41 – Присивасько-Приазовський низовинний степ. Кримська степова провінція: 42 – Кримсько-Присиваський низовинний степ; 43 – Тарханкутський підвищений степ; 44 – Центральнокримський рівнинний степ; 45 – Керченський горбкуватий степ. **Українські Карпати**: 46 – Передкарпаття; 47 – Зовнішні Карпати; 48 – Вододільно-Верховинські Карпати; 49 – Полонинсько-Чорногірські Карпати; 50 – Рахівсько-Чивчинські Карпати; 51 – Вулканічні Карпати; 52 – Закарпатська низовина. **Кримські гори**: 53 – Передгірний лісостеп; 54 – Головна гірсько-лугово-лісова грядя; 55 – Кримське південнобережне субсередземномор'я.

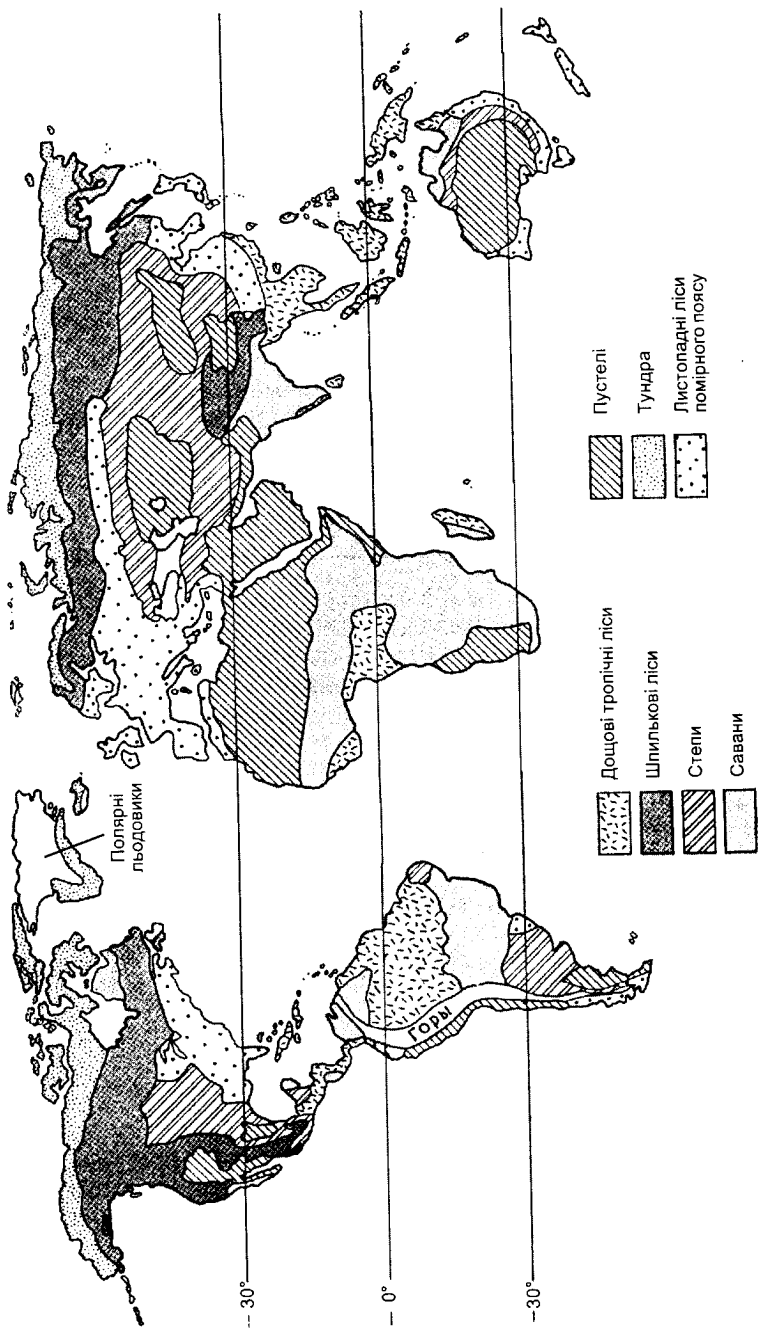


Рис. 5.2. Поширення основних типів біомів по земній кулі

5.2. ТУНДРИ

Екосистеми тундр розміщуються переважно у Північній півкулі, на Євро-Азіатському та Північно-Американському континентах у районах, що межують із Північним Льодовитим океаном. Загальна площа, яку займають екосистеми тундр та лісотундри у світі, дорівнює 7 млн. км² (4,7% площі суходолу).

Клімат тундр дуже суворий. Середня добова температура вище 0°C спостерігається протягом 55–118 діб на рік. Вегетаційний період починається в червні та закінчується у вересні. Кількість опадів незначна – 200–400 мм на рік, але вологість ґрунту влітку досить висока внаслідок низького випаровування (на нього витрачається тільки 30% загальної кількості опадів) та наявності вічної мерзлоти. Суворість клімату тундри посилюють постійні сильні вітри, у зимовий період під їх впливом відмирають усі частини рослин, що розташовуються над поверхнею снігу. Тундри Євразії та Північної Америки мають багато спільного. Ареали багатьох видів рослин та тварин тундр охоплюють обидва континенти. Аналогічні кліматичні умови складаються у високогір'ї, де формуються гірські тундрові екосистеми, схожі на зональні.

Рельєф поверхні тундри в основному рівний. Ґрунти слабо розвинуті, торфові та болотисті. Вони погано прогріваються, і тому процеси гуміфікації та мінералізації відбуваються в них повільно. Ґрунти тундри завжди кислі, і вміст гумусу в них не перевищує 1–2%.

Тундра безліса. У рослинному покриві переважають низькорослі чагарники – карликова берізка, приземисті види верби, чорниця, лохина та водяниця. Місцями ростуть осоки та пухівка. Основний фон рослинного покриву складають куцисті лишайники та мохи. Значно поширені види лишайників з родів *Cladonia* та *Cetraria*. До них належить відомий оленячий мох – ягель. Вищі рослини тундр звичайно представлені багаторічними видами, що мають потовщені підземні частини з запасами поживних речовин, завдяки яким забезпечується раннє весняне відростання та швидке цвітіння. Ця особливість тундрових рослин дуже важлива в умовах короткого літа.

Тваринний світ екосистем тундр бідний. Його формування обмежує злидений запас рослинної їжі та суворість клімату. На зиму більшість мешканців тундри мігрує в лісову зону, птахи відлітають на південь. Постійно зимує невелика кількість видів: лемінги, деякі ховрахи, пєсці, полярна сова. У багатьох місцях ходи-нори лемінгів займають до 20% площі. *Б.А. Тихомиров (1959)* показав, що вони сприяють накопиченню на поверхні ґрунту рослинних залишків та надають поверхні ґрунту дрібнобугристого

вигляду. Улітку життя тундр оживляє маса водоплавних птахів (гуси, казарки, качки, кулики), але вони включаються в тундрові трофічні ланцюги тільки частково, оскільки харчуються в основному на прибережних водоймах. Однак гуси та качки використовують в їжу до 50–80% рослинності тундри в місцях свого гніздування. Найбільше вони пошкоджують квіткові бруньки.

Постійними мешканцями тундри є північні олені. Але це кочові тварини. Вони залишають тундру на зимові місяці, коли з-під твердого снігового покриву вони не можуть здобувати ягель та мох – основну свою їжу. Середина літа північні олені проводять на узбережжі, де достатньо кормів та вітер відганяє кровососних комах. Такий характер має кочівля й свійських північних оленів. У результаті перевипасу оленями мохо-лишайникові тундри перетворюються в лугові з переважанням на них щучника та тонконога.

Хижаків тундри представлені совами, псцями, частково білим ведмедем. У цілому вони нечисленні. Чисельність хижаків

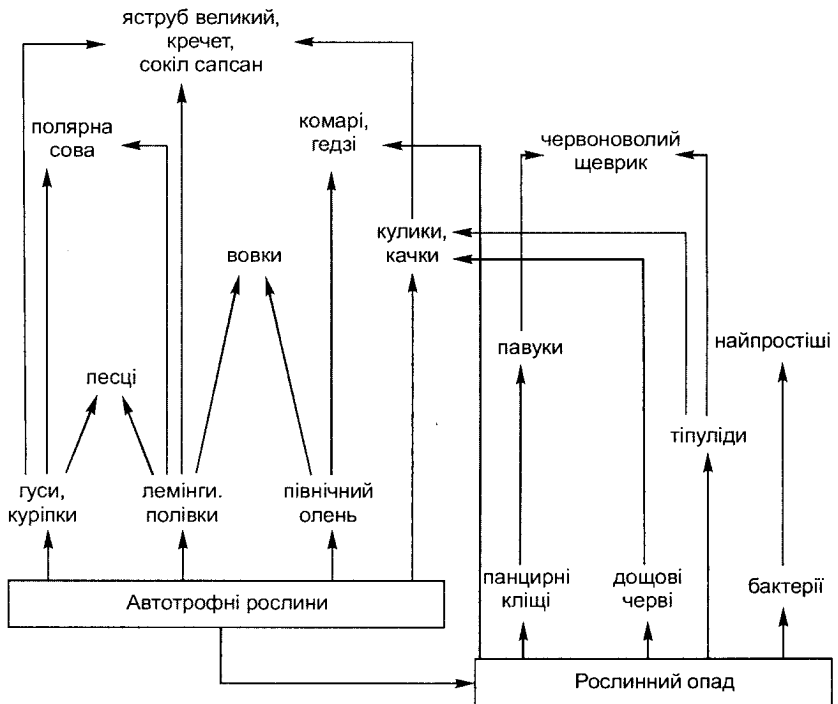


Рис. 5.3. Спрощена трофічна мережа екосистеми тундри

у різні роки помітно змінюється, повторюючи відповідні зміни чисельності трав'янистих тварин, особливо лемінгів.

В ентомофауні тундр переважають справжні комарі та мошки, їхні личинки живляться відмерлими рослинними залишками, а дорослі форми – кровососи.

Ґрунтові тварини заселяють тільки поверхневі частини ґрунту. У деструкції органічної речовини в екосистемах тундри перше місце посідають не бактерії, а гриби.

У цілому вплив тварин на рослинний покрив тундр досить великий. На прикладі тундр добре помітна взаємозумовленість існування цих двох груп живих організмів. Трофічна мережа тундрових екосистем наведена на *рис. 5.2*.

Вона досить сильно спрощена та включає тільки основні форми, на прикладі яких можна простежити основні трофічні ланцюги, властиві цій екосистемі.

Первинна продуктивність екосистем тундр невелика і становить у середньому 140 г сухої органічної речовини на 1 м² за рік. Валова біологічна продуктивність у тундрах не перевищує 340 г/м² за рік. Запаси фітомаси коливаються від 0,1 до 100 тонн на гектар.

Тундрові екосистеми характеризуються нестійкістю та вразливістю. Порушення цих екосистем зберігаються досить довго, відновні процеси йдуть поволі.

5.3. ЛІСОВІ ЕКОСИСТЕМИ ПОМІРНОГО ПОЯСУ

За визначенням *Ю.Р. Шеляг-Сосонка (2001)*, ліс – це сукупність більш чи менш зімкнутих деревних угруповань на певній території або тип рослинності, в якому провідну роль відіграють більш чи менш зімкнуті деревостої. Загальна площа лісів у світі приблизно 4,2 млрд. га, що становить 37% поверхні суші. У них зосереджено $1,7 \cdot 10^{12}$ сухої органічної речовини. Це майже 90% усієї біомаси, яка є на континентах. Ліс – це свого роду каркас біосфери, її екологічний остов. Екологічний вплив лісів має багатобічну дію. Так, наприклад, соснові ліси поглинають 9–15 т/рік вуглецю у формі вуглекислого газу, відповідно збагачуючи повітря киснем. Одночасно вони утримують на своєму листі до 38 т пилу, знижуючи запиленість повітря.

Лісові екосистеми займають на земній кулі великі площі. В їхньому рослинному покриві переважають дерева. Залежно від ґрунтово-кліматичних умов та географічного положення лісові екосистеми поділяються на *тайгу, змішані та листяні ліси*.

Тайга. Тайгою називають шпилькові ліси, які широкою смугою простягаються на Євро-Азіатському та Північно-Американ-

ському континентах південніше лісотундри. Екосистеми тайги займають 13,4 млн. км², що становить 10% поверхні суходолу або 1/3 всієї лісовкритої території Землі.

Для екосистем тайги характерна холодна зима, хоча літо досить тепле і тривале. Сума активних температур у тайзі становить 1200–2200°C. Зимові морози сягають 30° – 40°C нижче нуля. Кількість опадів коливається від 300 до 1600 мм на рік. Грунтові процеси внаслідок тривалої зими йдуть малоактивно, гуміфікація сповільнена. Ґрунти переважно підзолисті.

Деревостій у тайзі представлений ялиною сибірською або європейською, ялицею, соснами та модриною. У Північній Америці їх замінюють тсуга та псевдотсуга. Усі ці види в цілому маловибагливі щодо родючості ґрунту. Модрина переважає на сході Євразії, сосна тяжіє до сухих або заболочених ґрунтів. Для нашої планети екологічно важливими є соснові ліси, вони займають друге місце після вологих тропічних лісів за обсягом продукування газоподібного кисню в розрахунку на одиницю поверхні ґрунту.

Кореневі системи дерев, як правило, поверхневі (окрім сосни). Це робить тайгу нестійкою до посух та схильною до буреломів. Зімкнутість крон дерев висока, і на землю проникає мало світла. Тому в тайзі слабо розвинуті підлісок та трав'яний покрив. Ґрунт вкритий зеленими мохами, а в більш вологих місцях – сфагнумом. На моховому покриві часто ростуть дрібні чагарнички – брусниця, чорниця, лохина та мучниця.

Після вирубок чи пожеж на місці шпилькового деревостою спочатку оселяються дрібнолисті деревні породи – береза чи осика. Пізніше під їхнім покривом з'являються відновлені шпилькові породи, які з часом переростають та витісняють менш довговічні дрібнолисті види дерев. Такий тип відновлення шпилькового деревостою називають відновленням через заміну порід.

Фауна екосистем тайги багатша, ніж тундри. Тут трапляється багато видів трав'яних ссавців та рослиноїдних птахів. Типовими для тайги є бобри, лосі, білки, заєць-біляк, бурундуки, глухарі, тетеруки, рябчики. Важливим видом кормів є насіння шпилькових порід дерев, яким харчується велика кількість видів гризунів та птахів. Врожаї насіння шпилькових порід досить сильно змінюються в різні роки, тому спостерігаються кочівлі тварин, коли в пошуках корму білки, шишкарі, горіхівки та інші тварини, що харчуються насінням, переміщуються на великі віддалі. Важливим джерелом корму в тайзі є бруньки дерев та чагарників, їх широко використовують в їжу снігурі, смеречники, омелюхи, вівсянки, тетеруки, глухарі та рябчики. Значну чисельність мають тут і комахи-фітофаги, зокрема ті, що живляться деревиною. На деревах селиться велика кількість видів пара-

зитичних та сапрофітних грибів. Є тут також тварини-ризофаги, які живляться корінням. Найбільш характерні в цій групі дротяники – личинки жуків-коваликів.

У підстилці та поверхневому шарі ґрунту немало фітофагів, з яких починається детритний ланцюг живлення. Це кліщі орибатіди, ногохвістки, нематоди, дощові черви.

Фауна хижаків представлена колонком, риссю, соболем, росомахою, вовком, бурим ведмедем, лисицею. Чимало тут комахоїдних птахів – дятли, повзики, дрозди, синиці та ін. Є тут також земноводні та плазуни.

У тайзі зустрічається багато кровососних комах (кліщі, комарі, мошки). У цілому трофічна мережа тайги багатша та складніша, ніж у тундрі. Трофічні ланцюги довші й мають паралельні ділянки (рис. 5.3). Тому екосистеми тайги порівняно з тундровими більш стійкі до різних порушень.

Біомаса екосистем тайги складає 350–400 тонн/га, а річна продукція – 8–10 тонн/га. В умовах більш континентального клімату, де переважає модрина, а деревостої розріджені, біомаса знижується до 50–200 тонн/га, а річна продукція – до 4–6 тонн/га.

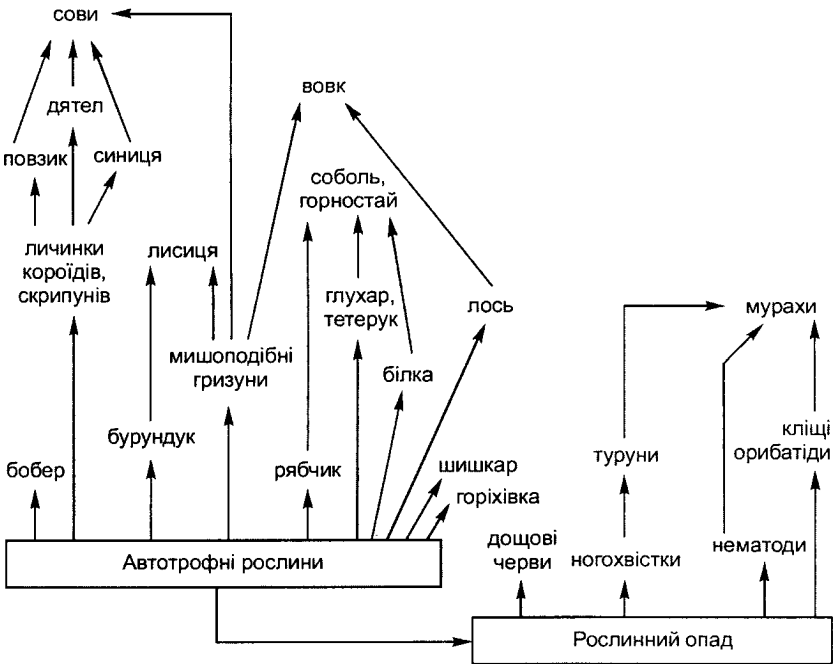


Рис. 5.4. Спрощена схема трофічної мережі екосистеми тайги

Екосистеми тайги можуть також формуватися в гірських масивах і є там одним із гірських поясів. Такі типи екосистем можна спостерігати в Карпатах. Тут вони утворені ялиною європейською, білою ялицею та сосною. Деревостої частіше одноярусні, підлісок відсутній. Як зауважував *М.А. Голубець* (1971), ялиця в Українських Карпатах не утворює однодомінантних угруповань. Для фауни характерна присутність ізольованих популяцій таких видів, як глухар та довгохвоста сова. *В.В. Сочава* (1956) оцінював карпатські шпилькові ліси не як тайгові, а як неморально-темношпилькову зональну формацію. На користь цієї точки зору свідчить помітний генетичний зв'язок цих формацій з буковими лісами.

Середньоевропейські соснові ліси в Україні поширені на крайньому заході, у Розточчі.

Серед загальних характеристик усіх формацій тайги можна назвати:

а) монодомінантність (деревостій формується лише з однієї породи дерев);

б) однорідність та одноманітність на великому просторі умов, що створюються під покривом лісу;

в) проста вертикальна та горизонтальна будова рослинного покриву;

г) переважання мезофітів;

д) некомпенсованість кругообігу мінеральних речовин.

За А.І. Толмачовим (1954), екосистеми тайги історично молоді, вони сформувалися в другій половині третичного періоду на місці субтропічних лісів. Таке походження проявляється у великій кількості вічнозелених видів рослин.

Мішані та листяні ліси помірної зони. Екосистеми цього виду поширені на південь від зони тайги. Вони охоплюють майже всю Європу, простягаються більш чи менш широкою смугою в Євразії, добре виражені в Китаї. Є ліси такого типу й в Америці.

Кліматичні умови в зоні листяних лісів м'якші, ніж у зоні тайги. Зимовий період триває не більше 4–6 місяців, літо тепле. На рік випадає 700–1500 мм опадів. Ґрунти підзолисті.

Листовий опад сягає 2–10 тонн/га на рік. Він активно залучається до гуміфікації та мінералізації. Тому ґрунти листяних лісів більш багаті на гумус та мінеральні речовини, ніж ґрунти в тайзі. Запас гумусу досягає 10–20 тонн/га. У фауні ґрунтових фітофагів переважають дощові черв'яки, але є чимало нематод, ківських, багатоніжок, кліщів-орібатід.

Для екосистем, утворених листопадними породами, характерний різко контрастний режим освітленості. Узимку та напровесні, коли дерева та чагарники стоять без листя, освітленість на рівні ґрунту висока; улітку, навпаки, досить високе затінення.

Це призводить до появи в листяних лісах особливої синузії весняних ефемероїдів. Період їх активної життєдіяльності припадає на ранню весну, коли температура вже підвищилася, але дерева ще не встигли одягнутися в листя.

Різноманіття видів дерев та чагарників в зоні листяних лісів дуже велике. В Європі можна виділити три основні зони за переважаючими лісоутворюючими породами. У Західній Європі переважають ліси дуба звичайного з домішками сосни, берези, вільхи, осики та клену. У Центральній Європі ліси утворені букком європейським, грабом та липою. На західному узбережжі Європи, у Франції та Великій Британії більш поширені дуб звичайний та дуб скелястий, граб.

Ярусна структура листяних та мішаних лісів більш складна, ніж тайги. Верхній ярус утворюють великі високорослі дерева, часто є й другий ярус деревостою, добре розвинутий також ярус чагарників. У ньому найчастіше зустрічається ліщина, вовче лико, жимолость, калина та горобина. При утворенні розрідженого верхнього ярусу сильно розростається травостій із конвалії, яглиці, зеленчуку, коштиняку та осоки. Моховий покрив звичайно розвинутий досить слабо внаслідок пригнічення його росту великим листовим опадом. Найбільш складну будову мають ліси Білорусії та Правобережної України.

Тваринне населення екосистем листяних лісів досить різноманітне. Характерна наявність великих рослиноїдних видів ссавців – благородного оленя, лося, бізона. Типовим для листяних лісів є кабан. У мішаних та листяних лісах живе велика кількість видів птахів. Це сойки, дубоніс, дятли та сови. Частина їх належить до фітофагів, інші – до хижаків. Велика кількість видів харчується насінням, плодами та бруньками. Група комахоїдних птахів представлена дроздами, мухоловками, кропив'янками, вівчариками та синицями. З хижаків тут є бурий ведмідь, рись, вовк, росомаха, лисиця. Деякі птахи та ссавці мігрують на зиму в більш теплі місця, де менше снігу та легше добути їжу.

У групі лісових комах багато ксилофагів, що харчуються живою та мертвою деревиною. Є комахи, що пристосувалися поїдати листки (наприклад, дубова листовійка). Часто зустрічаються богомоли та цикади. У ґрунті є багато видів ризофагів: дротяники – личинки жуків-коваликів та личинки пластинчастовусих жуків і особливо хрущів. Серед комах чимало хижих форм: туруни, хижі кліщі та багатоніжки, оси-наїзники та ін. У цілому для екосистем змішаних та листяних лісів характерні складні трофічні мережі (рис. 5.4).

Запаси біомаси в листяних лісах становлять 400–500 тонн/га при річній продуктивності 10–50 тонн/га. На зоомасу припадає до 1 тонни/га, що перевищує цей показник в усіх інших біомасах сучодолу.

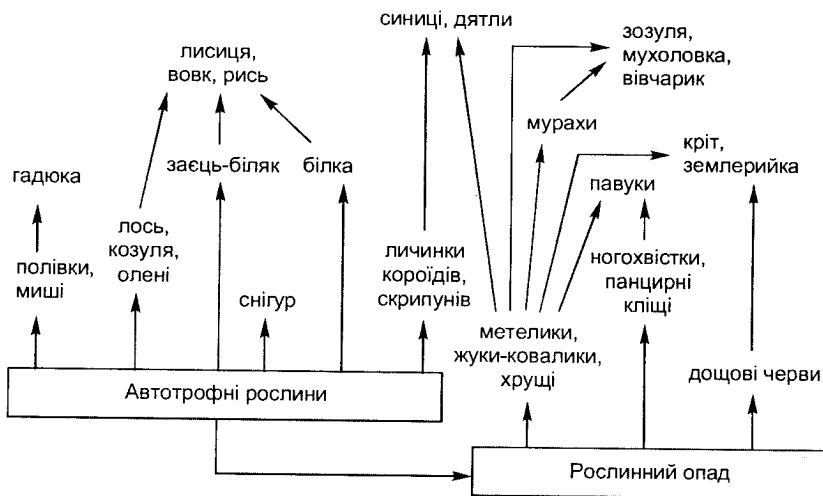


Рис. 5.5. Спрощена трофічна мережа екосистеми змішаного лісу

Південний кордон поширення листяних лісів визначає дефіцит вологи та засолення ґрунту. Тут ліси поступово переходять у лісостеп, а далі – у степи.

Екосистеми листяних та мішаних лісів розташовані в найбільш сприятливому кліматі, де здавна селилися люди. Це привело до того, що величезні масиви таких лісів були вирублені. У середньому вже втрачено більше 3/4 площі мішаних та листяних лісів помірної зони. У США 3/4 таких лісів вирубані, у Китаї – 90%. У лісах, що збереглися, спостерігається збідніння флори та фауни. У Північній Америці повністю знищений мандрівний голуб, майже зник бізон. У той же час збільшення площ галявин та зріджування деревостою стало причиною проникнення до лісів степових видів тварин: зайців, хом'яків, куріпок, польового жайворонка, ховраха та куниці.

В Україні ліси займають 15,0% усієї території. Тут розпізнають 28 лісових формацій. Відповідно до лісових деревних порід вони розподілені таким чином: соснові ліси складають 33,6% загальної території, ялинові – 9,8%, ялицеві – 1,4%, дубові бори – 26,1%, букові ліси – 9,8%, вільхові – 4,3%, березові – 5,6%. В Україні налічується більше 200 видів дерев та чагарників. Сучасна Україна бідна на ліси. Але в V ст. до н.е. давньогрецький історик Геродот після своїх подорожей у регіонах, що лежать зараз на півдні України, дав їм назву «Галлія», що означає «лісова країна».

У наш час ліси зосереджені переважно у північній та північно-західній частинах країни, включаючи гірські райони Карпат та Криму. Лісам Карпат та Криму характерна вертикальна поясність.

У рівнинних лісах України за характером рослинного покриву та представниками тваринного світу можна виділити шість великих регіонів.

Західне Полісся займає північну частину Волинської та Рівненської областей. Це найбільш лісисті регіони, де на дерново-підзолистих ґрунтах ростуть соснові, березові та вільхові (чорна вільха) ліси. Центральне Полісся займає північну та середню частину Житомирської області. Лісоутворюючими породами тут є сосна, береза, чорна вільха та дуб. Східне Полісся охоплює північну частину Київської, Чернігівської та Сумської областей. Ліси тут в основному складаються з сосни та дуба. Мале Полісся розташоване на території Львівської, Рівненської, Тернопільської та Хмельницької областей із прилеглими передгір'ями Карпат. У лісах цього регіону ростуть сосна, дуб, береза, бук, чорна вільха.

Гірський лісовий регіон Карпат відрізняється досить різноманітними лісовими екосистемами. Тут ліси займають до 1 млн. га площі. Головними лісовими породами цього району є ялина європейська та біла ялиця. У передгір'ях Карпат значні площі зайняті дубовими лісами.

Гірському лісовому регіону Криму також властиве велике різноманіття лісів, які займають до 223,6 тис. га площі. Ліси розташовані здебільшого на північних схилах. В їх формуванні бере участь понад 100 видів дерев та чагарників. Є тут і ендеміки, як, наприклад, кримський бук. На південних схилах ліси утворені фісташкою. За даними *Я.П. Дідуха* (1992), у Криму є 14 формацій лісів та 2 формації рідколісся.

У цілому серед інших регіонів України найбільш багате лісовими екосистемами Полісся.

5.4. ВІЧНОЗЕЛЕНИЙ ТРОПІЧНИЙ ДОЩОВИЙ ЛІС

Тропічні дощові ліси, що інколи називають гілеєю або джунглями, формуються в умовах досить вологого та жаркого клімату. Сезонність тут не виражена, і пори року розпізнаються за дощовим та відносно сухим періодами. Середня місячна температура цілорічно утримується на рівні $+24^{\circ}$ – 26° С та не опускається нижче $+18^{\circ}$ С. Опадів випадає в межах 1800–2000 мм на рік. Відносна вологість повітря звичайно перевищує 90%.

Тропічні дощові ліси займають площу, рівну 10 млн. км². У фітомасі тропічного лісу утримується 40% усього зв'язаного вуглецю планети. Основні масиви таких лісів розміщені в басейні ріки Амазонки (Південна Америка), у басейні ріки Конго (Африка) та на південному сході Азії.

Ґрунти слабorozвинуті, бідні на поживні речовини внаслідок швидких процесів гуміфікації та мінералізації. Усі поживні речовини швидко перехоплюються коренями або вимиваються з ґрунту зливами. Корені рослин проникають у ґрунти не глибше 50 см. Такі ґрунти після вирубки лісу та сільськогосподарського використання швидко піддаються ерозії та втрачають родючість.

Загальною особливістю тропічного дощового лісу є надзвичайно велике розмаїття видів рослин та тварин. Тут представлено майже 50% світового генофонду рослин і 2/3 видів тварин планети. Так, у південноамериканських гілеях нараховується тільки дерев понад 3 тисячі видів. У середньому, за Ф. Фіткау (1988), на 1 га тропічного дощового лісу припадає 90 тисяч видів живих організмів. Майже всі рослини тут вічнозелені. Тривалість життя окремого листка складає 12–14 років, опадають вони поступово, і рослини завжди стоять вкриті листям. Частина листків має пристосування до всмоктування дощової води, інші, навпаки, пристосовані до швидкого стікання води з їхньої поверхні вздовж спеціальних жолобків та виростів.

Набір різних життєвих форм рослин дуже різноманітний. Тут представлені як карликові (2–3 м заввишки), так і гігантські (30–45 м і навіть до 70 м) форми. Трапляється багато різновидів ліан, стебла яких завдовжки іноді сягають 240 м. Широко представлені епіфіти, що оселяються на стовбурах та гілках дерев. На епіфіти особливо багата Америка. Цвітіння рослин тропічного дощового лісу спостерігається протягом усього року.

Тропічні дощові ліси мають складну багатоярусну структуру рослинного компонента, яка впливає на ярусне розміщення тварин. На поверхню ґрунту потрапляє мало світла, воно перехоплюється верхніми ярусами, і тому трав'яний покрив зріджений або зовсім відсутній. Усе життя такого лісу зосереджене на верхніх ярусах.

Фауна тропічного дощового лісу також різноманітна. Тут багато видів комах, плазунів та птахів. Ссавці представлені значно менше, великих видів мало. Серед них трапляються дрібні олені, антилопи, тапіри. Переважають гризуни, що живляться рослинною їжею. У тропічному дощовому лісі є багато видів мавп. Особливого колориту екосистемам тропічного дощового лісу надають великі види мегаліків, терміти, мурахи. Тут є багато видів кліщів, тарганів, п'явок, ногохвісток, скорпіонів, павуків.

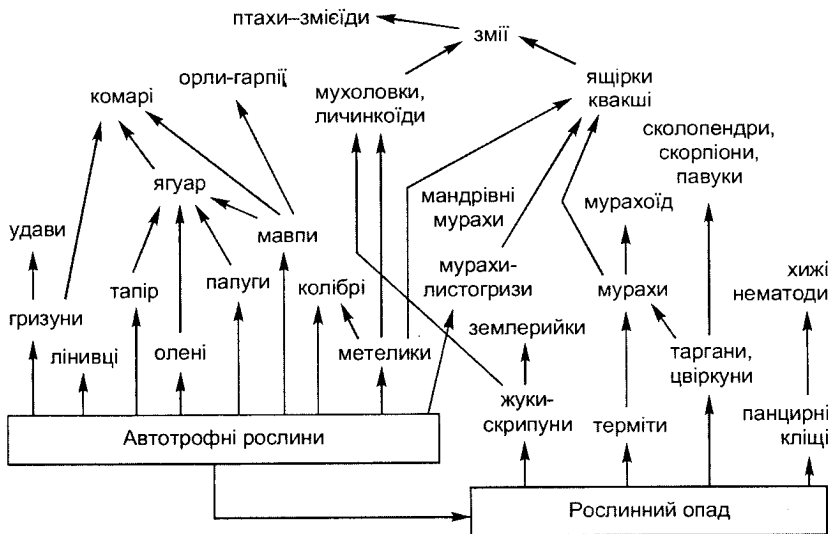


Рис. 5.6. Спрощена трофічна мережа тропічного дощового лісу

Трофічна мережа дощового лісу відрізняється великою складністю (рис. 5.5). Жива біомаса тропічного лісу складає 350–700 і навіть 1000 тонн/га, опад – до 100 тонн. Тваринна біомаса сягає 200–300 кг/га, або 0,02% усієї біомаси. На частку хребетних припадає 13–20 кг/га. У цілому тут найвища щільність біомаси на планеті. Екосистеми тропічного дощового лісу є важливими постачальниками газоподібного кисню: вони продукують його в кількості 30 тонн/га на рік. Поглинання вуглецю та виділення кисню в тропічних лісах зрівноважені.

Екосистеми тропічного дощового лісу за всієї їх складності досить нестійкі і легко можуть бути зруйновані під впливом господарської діяльності людини. Найбільших збитків завдають вирубки цінних порід деревини, наприклад, червоного дерева, махогонії, білого кедра, бальси, ебенового дерева. Для лісозаготівлі та потреб перелогової системи землекористування щороку вирубається майже 7,1 млн. га лісу. Зокрема, в Африці початкова площа тропічного дощового лісу скоротилася більш як на 60%. Відновлення ж екосистем тропічного лісу відбувається поволі та вимагає десятків, якщо не сотень років.

5.5. СТЕПИ

Степові екосистеми формуються в помірному поясі в умовах посушливого клімату і тому мають внутрішньоконтинентальне розташування. Середньорічна температура дорівнює $+3-7,5^{\circ}\text{C}$. Опадів випадає за рік від 250 до 750 мм. Зволоження є головним фактором, що визначає розвиток рослинного покриву.

У Північній півкулі степова зона розташовується на південь від лісової та широкою смугою тягнеться в центрі Євразії. У місцях з океанічним типом клімату степи виклинюються та заміщуються іншими екосистемами. Аналогічне розташування мають степи і на Північно-Американському континенті (тут їх називають преріями). У Південній півкулі аналогом степів є пампа та злакові рослинні угруповання.

Ґрунти степів – це потужні чорноземи (тільки в південній частині їх замінюють бідні чорноземи та каштанові ґрунти). Підстилка завжди незначна, вона швидко муміфікується. Але швидкість мінералізації тут низька. Це є причиною накопичення потужних шарів гумусу. Його тут у 5–10 разів більше, ніж у лісовій зоні. Корені рослин проникають у ґрунт на глибину до 2 м.

Рослинний покрив степів формується з багаторічних трав. Головним чином це злакові. Рослинному покриву степів характерна полідомінантність та багатоярусність травостою. Є в степах і чагарники та чагарнички (степовий мигдаль, таволга, терен, степова вишня), але суцільного ярусу вони не утворюють. Усі рослини степів несуть на собі ознаки пристосованості до недостатності вологозабезпечення. У них є опушення, восковий покрив на листках, глибокі кореневі системи. Своєрідною є життєва форма перекотиполе. Такі рослини (їх більше 10 видів) з настанням осені відламуються на рівні ґрунту та завдяки кулеподібній формі переганяються вітром на значні відстані, постійно розсіюючи насіння. Степам характерне почергове цвітіння різних видів рослин, що проявляється в послідовній зміні аспектів. Протягом вегетаційного періоду їх буває 8–10. Видове різноманіття в степах досить значне, на 1 м^2 реєструється до 80 видів квіткових рослин.

У північних частинах степів переважають мезофітні крихкодернові та кореневищні злаки, у південних їх замінюють дерновинні. Північні степи іноді називають луговими, або ковилково-різнотравними. Тут звичайні ковила та типчаки, до складу різнотрав'я входять жовтецеві, свербіжниця, підмаренник, перстач та шавлія. Південний степ завжди має переважну більшість злаків, які представлені різнотравно-типчаково-ковилковими, типчаково-ковилковими та полинно-злаковими формаціями. Південним степам характерна синюзія ефемероїдів, що проходять основний

життєвий цикл навесні, тобто в період найбільшої зволоженості. *П. Халтенорт* (1988) поділяє степові екосистеми на дві головні категорії: а) високотравні степи (розташовуються в місцях із річною кількістю опадів понад 300 мм та мають товстий горизонт гумусу); б) низькотравні степи (формуються в основному на каштанових ґрунтах та мають вміст гумусу 2–3%).

Тваринний світ сучасних степів сильно збіднений та фрагментований.

У нижніх ярусах степів травоядні тварини представлені гризунами, що живляться насінням, це ховрахи та байбаки. Тут також поширені гризуни-ризофаги, що поїдають корені, – кротисліпаки. Вони переміщують величезні об'єми ґрунту в пошуках корму і створюють у степах особливий мікрорельєф. Існує в степах кілька видів рослиноїдних птахів з роду куроподібних (луговий тетерук, сіра куріпка, перепілка), а також жайворонки. Є тут і всеїдні птахи, наприклад, дрофа та хохітва. Хижі птахи представлені степовим орлом. Звичайними для степу є гадюки, ящірки, степова черепаха. Степові птахи ряду видів віддають перевагу не польоту, а бігу. Так вони менш помітні для хижаків. У травостої проходить активне життя комах-фітофагів та хижаків: сарани, цикад, пінявок, клопів, трипсів, метеликів. Степи України зберігали багату фауну до 30-х років ХХ століття, але після колективізації та ліквідації меж суцільна оранка знищила місця існування багатьох видів тварин. Початкова цілина мала високе видове різноманіття тварин. Тут мешкали численні стада великих ссавців: дикі коні, антилопи, зубри, тури.

О.М. Формозов (1950) підкреслював особливу корисність для степових екосистем комахоїдних птахів. Вони запобігають нищівним спалахам чисельності саранових та інших видів комах. Хижаки контролюють чисельність гризунів. Сучасне скорочення кількості хижих птахів у степах привело до перетворення такого звичайного степового фітофага, як малий ховрах, на небезпечного шкідника сільського господарства.

Через чітко виражену зміну літнього та зимового сезонів у ряду тварин спостерігається зимова сплячка. Спрощена трофічна мережа степової екосистеми наведена на *рис. 5.6*.

Для північної частини степів, де вони переходять у лісостеп, характерне своєрідне спільне мешкання степових та типово лісових тварин. Тут поруч можна побачити білу куріпку та тушканчика, рись та дрофу, білку та ховраха. У лісостепу тварини звичайно полюбляють селитися та жити в лісі, а здобич шукати в степу. Така взаємопроникність степових та лісових екосистем є додатковою ілюстрацією континуальності біосфери. На Україні *Ю.Р. Шеляг-Сосонко* та ін. (1991) виділили 39 основних степових формацій рослинності. Основними є лугові, різнотравно-

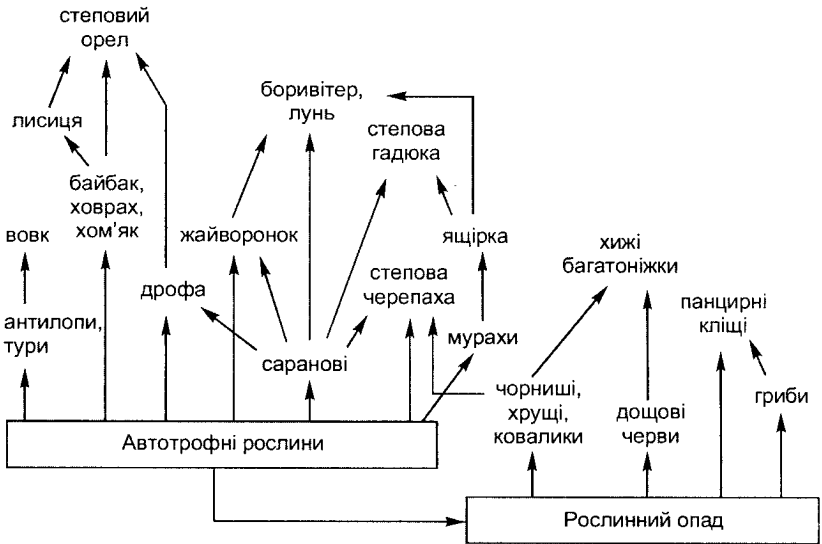


Рис. 5.7. Спрощена схема трофічної мережі степової екосистеми

типчаково-ковильні та пустельні полинно-злакові степи. У степах України багато видів ковилів, вони переважають на цілих ділянках степу. Справжніх степових ділянок збереглося небагато. Це Михайлівська цілина, яка є луговим степом, Хомутовський степ з типовими приазовськими формаціями, Кам'яні Могили, залишок кам'янистого різнотравно-типчаково-ковилового степу, Асканія-Нова, де збереглося 11 тисяч га типчаково-ковилового степу та деякі інші.

Біомаса степових екосистем помірної зони вимірюється в межах 10–150 тонн/га, у середньому – 50 тонн/га. Річна біопродукція дорівнює 5–30 тонн/га. На долю зоомаси припадає 10–50 кг/га. У різні роки рівень біопродукції змінюється від 36 до 72 ц/га.

Висока родючість ґрунту степів та сприятливий клімат створюють оптимальні умови для землеробства. Основна маса степових систем унаслідок цього нині є повністю розораною.

5.6. ПУСТЕЛІ

Пустелі формуються в умовах континентального клімату з різкою перевагою випаровування над опадами. Розташовані вони в основному в тропічному та субтропічному поясах. Типова пустеля – це спекотна, суха територія. Так, у пустелі Сахара зарес-

трована температура повітря в затінку +58°C, у каліфорнійській пустелі Долина Смерті – +56,5°C. У зв'язку з континентальним положенням для пустель характерні значні добові коливання температур, наприклад, уночі в Сахарі прохолодно і температура може знижуватися до +10–12°C. Кількість опадів не перевищує 250 мм на рік, а перевищення випаровування над опадами у 5–6 разів робить клімат украй посушливим.

У світі пустельні екосистеми займають 48,8 млн. км², що становить 32% суходолу. Якщо до них ще приєднати близькі екосистеми напівпустель, то в сумі це складатиме 43% суходолу. Найбільші пустелі світу – це Сахара (7 млн. км²) та Лівійська пустеля в Африці (2 млн. км²), Гобі в Азії (1 млн. км²), Великий Басейн в Америці (1 млн. км²).

За характером ґрунту пустелі поділяються на піщані, глинисті, кам'янисті, солончакові та ін. Ґрунтовий покрив малопогужний. Гуміфікація йде дуже повільно через нестачу рослинного матеріалу та низьку вологість.

Рослинний покрив пустель сильно зріджений. Біопродукція низька; запаси біомаси вимірюються до 2,5 тонн/га сухої органічної речовини. Життєві форми рослинних організмів відрізняються своєрідністю, яка виробилася в результаті тривалої еволюції до найефективнішого отримання вологи та її економічної витрати. Більшість рослин пустель дрібнолистякові, часто замість листя вони мають луски або колючки. На поверхні самих рослин розвивається потужний прошарок кутикули або кори. Листки в багатьох випадках сильно опушені. Кореневі системи типових для пустель рослин проникають у ґрунт на глибину 3–10 м. В окремих бобових чагарників корені сягають на глибину до 30 м.

Багатьом пустелям характерна весняна синюзія ефемерів та ефемероїдів, весь цикл активного росту та розмноження яких пов'язаний з весняним – коротким, але найбільш вологим – періодом року.

Особливим елементом екосистем пустель є оази, що знаходяться в дельтах рік та біля інших джерел води. В оазах рослинність утворена головним чином культурними формами, оскільки вони здавна були основним місцем поселення людини в пустелях. Уздовж річок у долинах ростуть переважно тополі, тамариск, лох, обліпіха.

Домінуючі види рослин пустель залежать від типу ґрунту та географічного положення самих пустель. В азійських пустелях деревно-чагарникові форми представлені саксаулами, джужганом та дроком. Трави порівняно нечисленні. Це різні види аристиди та полину. Пустелям американського континенту притаманні різновиди кактусів та агав, які запасують воду в стеблах та листках. Злаки представлені бізоною травою.

У місцях з трохи сприятливішим водним режимом пустелі переходять у напівпустелі. Зовні це проявляється в більш щільному злаковому рослинному покриві. Річна біопродукція тут вища.

Тваринний світ екосистем пустель бідний. Він так само, як і рослинність, сформувався унаслідок дефіциту вологи. Тільки під час весняних та осінніх перельотів тут вирує життя: з'являються зграї качок, гусей, журавлів та інших птахів.

Корінні види тварин пустель тісно пов'язані з ґрунтом, де вони знаходять вологу та захист від спеки. Це плазуни, гризуни, терміти та земляні комахи. Багато видів тварин виробили здатність зберігати вологу у вигляді жирових депо (горб у верблюда, підшкірний жировий прошарок у гризунів, жирове тіло в основі хвоста в тушканчиків тощо). Цей жир при біохімічному окисленні виділяє вільну воду, яка необхідна для організму. Деякі види тварин залишають пустелю на період найспекотливіших місяців, перебираючись на більш вологі та прохолодні території.

Активність тварин пустель проявляється в нічні прохолодні години. Удень тварини ховаються або в ґрунті, або, навпаки, піднімаються на верхівки гілок чагарників і дерев, де повітря більш прохолодне порівняно з піском, розпеченим сонцем. У норах гризунів велика кількість птахів влаштовує свої гнізда.

Основні фітофаги пустель – верблюди, гризуни та черепахи. Листя активно поїдається різними видами саранових. Невелика кількість видів пристосувалася до поїдання коренів (ризофаги). Хижаки представлені шакалами, гієнами, у пустелі Африки заходять леви.

Детритний трофічний ланцюг екосистем пустель представлений термітами, чорнишами та скарабеями. Схема трофічної мережі пустель наведена на *рис. 5.7*.

Тварини пустель завжди тяжіють до водойм. Внаслідок їх незначної кількості тварини змушені багато пити про запас. Вода, що отримується з великими труднощами, використовується бережливо: з метою запобігання втрат води тіла тварин мають товстий хітиновий (комахи) або роговий (плазуни) покрив. Але в будь-якому випадку випаровування необхідне для охолодження тіла. Тому в багатьох видів спостерігається швидке дихання, роти та дзьоби утримуються відкритими. Саме з цієї причини вуха в тушканчиків та зайців великі. Деякі види взагалі не п'ють воду, задовольняючись тією, яку отримують з їжею (рослинною чи тваринною). Існують дуже цікаві способи забезпечення молодняка водою. Так, деякі види птахів, зокрема рябки, які гніздяться далеко від водойм, прилітають на водопій та рясно змочують своє пір'я. Після цього швидко повертаються до гнізда, де їхні пташенята смокчуть вологе пір'я і таким чином отримують необхідну воду.

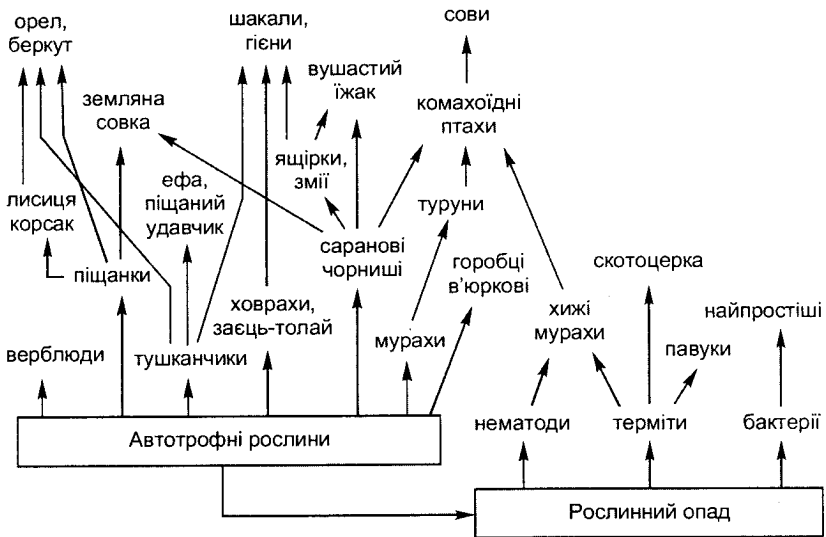


Рис. 5.8. Спрощена трофічна мережа екосистеми пустелі

Чиста біопродуктивність у пустелях не перевищує $0,2 \text{ кг/см}^2$ на рік, при цьому 75% біомаси зосереджено в ґрунті.

Сучасні екосистеми пустель несуть значний відбиток діяльності людини. Інтенсивний випас худоби та інші види господарської діяльності сильно порушили рослинний покрив та збіднили тваринний світ. Великих збитків завдає ерозія ґрунтів.

5.7. ЕКОСИСТЕМИ ЛУКІВ

За думкою В.В. Альохіна (1925), луки належать до азональних природних екосистем. Це означає, що в їх формуванні провідну роль відіграє не клімат, а рельєф та ґрунт. Типові луки розвиваються в заплавах річок, і їх називають заплавними. Вигляд заплавних лук у багатьох випадках визначається характером річкових відкладів.

Заплавні луки розміщуються в різних кліматичних зонах. Уздовж течії північних річок вони сягають зон тайги та тундри, уздовж течії південних річок – степів та пустель. Залежно від положення в самій заплаві екосистеми луків можуть розміщуватися на дуже родючому або дуже бідному ґрунті. Відповідно такі біотопи можуть бути або сухими, або перезволоженими. Стосовно цього в заплавах розрізняють три основні частини:

1) прируслова частина з крупнопіщаних відкладів з низькою родючістю та швидким висиханням субстрату; 2) центральна частина заплави з родючими мулистими відкладами; 3) притерасна заплава з дрібномулистими відкладами, перезволожена або навіть заболочена.

Ґрунти луків дернові, лугові. У заплавах степових річок вони засолені. У таких випадках виникають солончакові луки з ячменем короткоостим, подорожником та ситником Жерара.

Неабияке значення для лугових екосистем має режим розливу рік. У річок, що мають витоки на рівнинах, повінь відбувається весною, а в ріках, що стікають з гір, – у середині літа, коли починається сходження снігу. На ріках України через масове вирубування лісів повені стали малими, а в деякі роки взагалі не спостерігаються.

Рослинний покрив луків формується з багаторічних дводольних трав та злаків. У прирусловій заплаві ростуть довгокореневищні види (стоколос безостий, пирій, куничник наземний). У центральній частині заплави звичайно розвивається багатий травостій з дернових злаків, бобових та різнотрав'я. У притерасній заплаві переважають осоки, очерет та комиш. Згідно з *Д.Я. Афанасьєвим* (1965), на луках Дніпра травостій має такий склад: багаторічні трави – 69%, дворічні та багаторічні трави – 1,3%, типові дворічні – 6,7%, однорічні та дворічні види – 3,6%, однорічні трави – 19%. Залежно від кліматичної зони, в якій розташовані луки, до їх складу можуть входити тундрові, лісові або степові види.

Фауна луків не відрізняється специфічністю, їх у багатьох випадках складають окремі зональні фауністичні комплекси. На луках часто оселяються кроли, полівки.

Значна частина екосистем луків є результатом діяльності людини, яка вирубує ліс, сприяє формуванню луків. В Україні суходільні луки не займають великих площ. Усього в Україні налічується 6,8 млн. га природних луків. Лугові екосистеми відрізняються одна від одної залежно від зонального положення. На території України чітко виділяються луки заплав у лісовій зоні, луки заплав середньої течії Дніпра та Сіверського Дінця, луки заплав лісостепових річок, луки заплав плавнів Дніпра, Дунаю та Дністра.

За даними *Ю.Р. Шеляг-Сосонка*, в Україні налічується 54 формації природних луків. Існує 6 основних класів формацій луків:

1. Справжні мезофітні луки.
2. Остепнені ксеромезофітні луки.
3. Пустошні луки.
4. Болотяні луки з гідромезофітним рослинним покривом.

5. Торф'янисті луки.

6. Галофітні луки.

Разом з тим лукові екосистеми диференційовані від одної залежно від зонального положення.

Луки скрізь використовуються у сільському господарстві й дають у середньому 12–14 ц/га сіна або 6–8 ц/га пасовищного корму на рік. До складу флори лук України входить більш ніж 500 видів судинних рослин.

Заплавні луки здавна використовують як сіножаті і для випасу худоби, їх природний характер із цієї причини значною мірою втрачений.

5.8. БОЛОТА

Болотні екосистеми, як і лугові, є азональними. Вони виникають у місцях сильного перезволоження ґрунту. У таких випадках детритний трофічний ланцюг вкорочується та не завершується утворенням гумусу. Рослинний опад накопичується з року в рік у напіврозкладеному стані та утворює торф.

Загальна площа боліт Землі становить 350 млн. га. Торфова маса погано прогрівається, є бідною на мінеральні речовини, і тому рослинний покрив боліт у цілому досить убогий. Болотному ґрунтови характерна так звана фізіологічна сухість. При загальній високій вологості корені рослин ледь отримують з нього воду. Перешкодою є низька температура торфової маси та насиченість води гуміновими кислотами. Відповідно до основних характеристик боліт вони поділяються на три види: а) низинні; б) перехідні; в) верхові.

Низинні болота виникають у місцях виходу ґрунтових вод або на місці озер. Рослинний покрив таких боліт формується з осоки, очерету, рогозу та комишу. Вони і є основними торфоутворювачами. Часто такі болота мають розріджений деревостій з вільхи та верб. У низинних болотах мінералізація досить виражена, а болота такого типу визначаються як ефтотрофні.

Верхові болота утворюються головним чином на водотривких гірських породах з атмосферних опадів, але можуть також виникати й на місці низинних боліт. Основу рослинного покриву верхових боліт складають сфагнові мохи. Після відмирання формується торф, потужність залягання якого може сягати 5 м. Сфагновий торф погано піддається гуміфікації та мінералізації, тому ґрунти таких боліт дуже бідні, а болота називаються оліготрофними.

На сфагнових болотах може розміщатися розріджений сосновий деревостій. Ростуть тут також чагарники та чагарнички –

андромеда, касандра, баглиця та чорниця. Часто зустрічається журавлина. Видове розмаїття вкрай низьке. На 1 м² тут налічується лише 2–5 видів рослин.

Перехідні болота є стадією переходу від низинних до верхових боліт. Часто вони розміщуються навколо верхових боліт. За вмістом поживних речовин вони також займають проміжне положення та називаються мезотрофними. У рослинному покриві переважає осока.

Болотні екосистеми небагаті на тварин. Найбільш поширені птахи.

У розміщенні боліт простежується загальна закономірність. У зоні лісотундри представлені головним чином бугристі болота. У тайговій зоні переважають аапа-болота, що являють собою грядово-мочарні комплекси з увігнутою поверхнею. У таких комплексах чергуються евтрофні, мезотрофні та оліготрофні гряди. Деревя тут не ростуть. На крайньому півдні тайгової зони з'являються опуклі грядово-мочарні болота. У лісостепу та степу болота евтрофні, осокові та очеретяні. На півдні степової зони та в пустелях розвиваються зволожені трав'яні болота.

В Україні болота можна спостерігати в усіх трьох природно-кліматичних зонах. В Українському Поліссі найбільш поширені оліготрофні сосново-сфагнові та евтрофні трав'яністі болота. У лісостепу України частіше зустрічаються евтрофні осокові та очеретяні болота. У степу їм на зміну приходять прісноводні чи засолені трав'яністі болота. У цілому в Україні можна виділити три основні райони поширення боліт:

- а) поліські сфагнові болота;
- б) поліські та лісостепові трав'янисто-гіпнові болота;
- в) поліські лісові болота.

Усього болотних формацій в Україні налічується 53.

Запаси біомаси в болотних екосистемах вимірюються в межах 90–1770 ц/га. Болотні екосистеми відіграють у біосфері виняткову роль. Вони є накопичувачами прісної води та, займаючи всього 2% площі суходолу, утримують у зв'язаному вигляді (у формі торфу) 14% вуглецю. З боліт починається більшість річок. Особливо важлива роль боліт як своєрідних фільтрів або ж очисних систем, що затримують у шарі торфу різноманітні ксенобіотики та нітрати, які потрапляють туди разом зі стічними водами та атмосферними опадами.

На болотах збирають ягоди. Врожаї журавлини досягають 100–1000 кг/га. Після осушення боліт на них заготовляють сіно або випасають худобу.

5.9. ПРІСНОВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ

Прісноводні екосистеми широко представлені на всіх континентах. Ріки та озера Землі вміщують 116 м^3 води. Основна частина цієї води прісна, хоча деякі внутрішні водойми мають солону воду (це характерно для жаркого та сухого клімату).

У прісноводних озерах завжди виділяють три частини, які можна розглядати як окремі екосистеми. Це прибережна частина – *літораль*, глибоководна частина – *профундаль* та основна товща води – *пелагіаль*. Найбільш заселена живими організмами – літораль. Прибережні зони будь-яких водойм є їхніми головними трофічними областями. Окрім напівзанурених рослин, у водоймах живуть придонні організми, які складають бентос, та планктон, що плаває у товщі води. Продукція більшості водойм часто лімітується нестачею біогенних мінеральних речовин. Річ у тому, що життя зосереджене у верхніх шарах води, де є достатньо сонячного світла, а мінеральні речовини надходять з придонних шарів. Верхні та нижні прошарки води розділені між собою так званим термоклин, що особливо чітко проявляється у водоймах субтропічного та тропічного поясів. Термоклин перешкоджає вертикальному водообміну та призводить до дефіциту мінеральних речовин у поверхневих шарах води.

Літораль характеризується наявністю великої кількості прикріплених рослин – макофітів. Фауна представлена комахами та їх личинками. З молюсків часто зустрічаються ставковики та плоскі котушки. На дні живуть жабурниці. Багата й фауна хижаків. Тут зустрічаються п'явки, водяні клопи, плавунці. Численні личинки бабок, одноденок, комарів.

У прибережній частині озер звичайними є такі види риб, як плітка, краснопірка, лин, дикий короп, колюшка. Хижі риби представлені щукою, окунем та судаком. Прибережна частина озер є місцем проживання жаб, тритонів, вужів та гадюк.

Придонна частина озер майже не має рослин, вода мало рухома і зберігає протягом майже всього року температуру $+4^\circ\text{C}$. Фауна таких місць збіднена. Вона представлена в основному личинками комарів-дзвонців та молюсками.

У *пелагіалі* рослини представлені планктоном із синьозелених, діатомових та зелених водоростей, макрофітами, що плавають (елodeя, рдести). Усі живі організми мають різноманітні пристосування, що допомагають їм утримуватися в товщі води. У рослин це парашутоподібні вирости, крапельки жиру в тілі, тварини утримуються за допомогою активних рухів. У пелагіалі водяться озерна форель, сигові риби. Тут багато хижих коловерток, веслоногих рачків та циклопів.

Рослинний та тваринний світ озер у багатьох випадках визначається наявністю у воді поживних речовин. За цією ознакою озера поділяються на евтрофні – багаті на азот, фосфор, оліготрофні – бідні на азот і фосфор (нітратів менше 1 мг/л) та проміжні – мезотрофні. Фауна риб у цих трьох типах озер суттєво відрізняється. Для оліготрофних озер характерні сиви, гольці, окуні, щука та плітка. В евтрофних озерах живуть види, які стійкі до частого тут дефіциту кисню – короп, лин, карась, плітка та лящ.

У розвитку річкових екосистем основну роль відіграють характер дна та берегів, температура води та швидкість течії. У прибережній частині струмків та річок ростуть звичайні для цих місць очерети, комиші, лепешняки та стрілолист. У товщі води плавають елодея, латаття. При підвищенні швидкості течії до 0,3–0,6 м/сек та більше товща води вже не зростає. Для річок планктон не характерний, оскільки зноситься течією.

Річкова ентомофауна досить різноманітна. Тут чимало водних комах та їхніх личинок. Часто зустрічаються рачки-бокоплавці. Уздовж течії рік спостерігається своя закономірність у розподілі іхтіофауни. У витоках чистих рік із прозорою водою живе форель, у середній течії основними видами є харіус та вусач, тут звичайні лини та головань. У нижній частині рік, де течія сповільнюється, до складу іхтіофауни входять лящ, короп, щука та верховодка.

Трофічні ланцюги прісноводних екосистем та особливо річок є короткими через відсутність багатой кормової бази. Вони починаються з автотрофних рослин і закінчуються в пасовищних трофічних ланцюгах хижими рибами, а в детритних трофічних ланцюгах – мікроорганізмами.

Прісна вода річкових екосистем дуже важлива для забезпечення потреб людей. На планеті вона в дефіциті. У наш час 1 млрд. населення страждає від гострої нестачі прісної питної води, а 1,7 млрд. користується водою низької якості.

На території України зареєстровано 71 тис. річок, що мають загальну довжину 243 тис. км. Більшість рік належить до басейнів Чорного та Азовського морів. В Україні три тисячі озер із загальною площею водного дзеркала 2 тис. км². Крім цього, країна має 23 тис. ставків та водосховищ, особливо їх багато в районі середнього та нижнього Дніпра.

Ріки та озера України вміщують у собі 195 видів водних макрофітів (*Дубина та ін., 1993*), а також багато тисяч видів водоростей. В Україні є 57 водних рослинних формацій. Водні екосистеми є важливим національним багатством. Це й сховища прісної води, і джерела різноманітної продукції, і місця відпочинку населення.

Для збереження запасів прісної води України Національний екологічний центр України провів громадську акцію з охорони малих рік «Жива вода – 1996». Ці ріки складають 60% водяного ресурсу держави. В акції «Жива вода – 1996» взяли участь велика кількість школярів, студентів коледжів і вузів, представники преси й інші верстви населення.

5.10 ОКЕАНІЧНІ Й МОРСЬКІ ЕКОСИСТЕМИ

Океанічні й морські екосистеми світу найбільш протяжні, їхня сукупна площа становить більше 70% поверхні земної кулі. Загальний обсяг води у Світовому океані досягає 138 000 тис. км³. Це приблизно 96% загальної кількості води на планеті. Важливою особливістю цих екосистем є цілісність – усі океани й моря з'єднуються між собою, за винятком кількох ізольованих засолених водойм (Каспійське й Аральське моря), які явно є реліктовими залишками й колись були з'єднані зі Світовим океаном.

Глибина океанів і морів сильно варіює, складаючи в середньому близько 3 700 м. На окремих ділянках можуть спостерігатися більші чи менші глибини. Так, глибина Маріанської западини в Тихому океані досягає більше 7 000 м, а в найглибшій її частині – 11 022 м, Азовське море має глибину всього 14 м.

Залежно від топографічного положення й глибини в будь-якому океані чи морі розрізняють кілька частин:

а) *літораль* – прибережна частина, яка осушується під час відливів і заливається під час припливів;

б) *континентальний шельф* – зона, що йде вздовж берегів із глибинами в 200-400 м;

в) *пелагіаль* – основна товща води в океані чи в морі;

г) *абісаль* – придонна частина води.

Для Світового океану характерна солоня вода, обумовлена наявністю катіонів натрію, магнію, кальцію й калію та аніонів – хлоридів, сульфатів і бікарбонатів. Середня солоність води – близько 35 г/л.

Поширення фотосинтезуючих рослин в океанах і морях обумовлене глибиною проникнення сонячної радіації та охоплює приблизно 50 м, а там, де вода особливо прозора, – верхні 150–200 м.

При збагаченні цього шару води мінеральними речовинами, що спостерігається на мілководдях у дельтах рік, естуаріях, лиманах і на коралових рифах, біологічна продукція буває дуже високою. Досить висока вона й у зоні континентального шельфу, до якого звичайно прив'язані промисли риби та інших

морських тварин (оселедець, тріска, хек, краби, лангусти й ін.). В інших частинах пелагіалю біопродукція автотрофних рослин і відповідно чисельність тварин багато нижча.

Розмаїтість видів і біологічна продукція у Світовому океані має чітку зональність, обумовлену температурою. У тропічних і субтропічних широтах вони найбільші. Але фітопланктон найбідніший у тропічних широтах, і його кількість збільшується в напрямку до півдня й півночі від екватора. Це пов'язано з характером циркуляції води: теплі води (у приекваторіальних широтах їхня температура складає 26° – 27°C) знаходяться біля поверхні, а більш важкі холодні (їхня температура не вище 0° – 4°C) – на глибині, тому вертикальне підняття мінеральних речовин із дна морських екосистем до поверхні, де тільки й можуть жити автотрофні зелені організми, сильно ослаблене.

Винятком є так звані зони апвелінгу, де під впливом океанічних течій глибинні холодні води, багаті мінеральними речовинами, піднімаються на поверхню. У зонах апвелінгу біологічна продукція дуже велика. Тут рясно розростаються різні водорості (у першу чергу діатомові), що створює чудові умови для харчування багатьох видів тварин. Основні місця промислу оселедця, анчоусів та інших знаходяться саме в зонах апвелінгу.

У Світовому океані живуть найдревніші види тварин і рослин, що підтверджує думку про нього як про «колицку життя» нашої планети. Але кількість видів живих організмів тут менша, ніж на суші, тому що в більш однорідному водному середовищі еволюція відбувалася значно повільніше.

Мережі живлення в океанах і морях досить складні. Їх основу складають автотрофні рослини. Вони представлені у Світовому океані різними групами водоростей (зелені, діатомові, бурі, червоні). У товщі води живуть плаваючі водорості, що складають фітопланктон, а біля дна – прикріплені (фітобентос). Консументи першого порядку у Світовому океані представлені головним чином зоопланктоном. Це найпростіші, дрібні ракоподібні, медузи, сальпи. Великі морські тварини мають або змішаний тип харчування, споживаючи фіто- і зоопланктон, як, наприклад, кити, або є консументами другого порядку – хижачками, як акули. До 90% біомаси тваринних океанів складають безхребетні тварини – молюски, омари, креветки, медузи й ін.

Редуценти представлені в океанічних екосистемах бактеріями, що живуть на всіх глибинах. У прибережних частинах їх чисельність досягає 0,5–3 млн. бактерій на 1 л води, у пелагіалі їх від 5 до 20 тис. на 1 л. Тому в пелагіалі частина фітомаси продуцентів і консументів не мінералізується, опускається на дно океанів і таким чином вилучається з подальшого кругообігу речовин.

Орієнтовні підрахунки, виконані П. Дювиньо і М. Тангом (1968), такі:

– на частку фітопланктону в океанах припадає 27 млрд. т органічної речовини;

– безхребетні тварини, у тому числі молюски, формують 3 млн. т біомаси;

– риби мають біомасу в 30 млн. т, з яких оселедця – 3,3 млн. т, тріски – 2,5 млн. т;

– кити складають в океанах близько 1 млн. т біомаси, цих великих тварин (вага одного синього кита дорівнює вазі 25 слонів) через хижацький промисел залишилося приблизно 40 тис. особин.

Для біологічної продуктивності морів важлива чистота морської води. В останні десятиліття моря й океани зазнають усе більшого забруднення різними токсикантами, що пов'язано з діяльністю людини. Особливо великі забруднення створює промисел і транспортування нафтопродуктів і газу, а також континентальні забруднені стоки. Для підвищення уваги до проблем екології Світового океану ООН оголосила 1998 рік роком океану.

Незважаючи на величезну продуктивність океанів і морів планети, їх ресурси використовуються людиною поки на рівні 1–5%.

Україна є співвласником Чорного й Азовського морів. Це замкнені водяні системи, істотно віддалені від Світового океану, зі специфічним екологічним режимом. Солоність води в Чорному морі – близько 19 г/л. Унаслідок погіршеного водообміну в Чорному морі з глибини 150–300 м товща води сильно збагачена сірководнем і будь-яке життя тут відсутнє. Серйозною проблемою Азово-Чорноморського басейну є зниження річного стоку і скидання в нього великої кількості промислових, сільськогосподарських та побутових відходів.

5.11. ПРИНЦИПИ ЕКОЛОГІЧНОГО РАЙОНУВАННЯ

Усі природні екосистеми так чи інакше використовуються людиною. Раціональність використання залежить від правильного визначення типів екосистем та зв'язаних з ними регіональних виробничих об'єктів.

Поділ земної поверхні на неповторні за комплексом екосистем території називають районуванням. Існує ряд типів районування, що відрізняються принципами, покладеними в основу оцінок подібності та відмінності екосистем. Найпопулярніші такі типи районування:

а) галузеве, що ведеться за переважним видом використання екосистем;

б) комплексне, що враховує природні особливості та вид господарського використання;

в) екологічне, що базується на фундаментальних особливостях екосистем.

При використанні природних багатств екосистем нерідко здійснюють ресурсне районування, яке виділяє ті чи інші просторові одиниці, що мають подібні види ресурсів та приблизно однакову їх кількість. Так, наприклад, при заготівлі лікарських рослин використовують ресурсне районування, яке відображає запаси конвалії, валеріани та інших видів лікарських рослин.

Результати районування представляють у вигляді карт або схем. В останні роки з метою об'єктивізації районування використовують математичні моделі та комп'ютерну техніку. Правильно зроблене екологічне районування та подальше розумне використання природних ресурсів забезпечує тривале і стійке збереження природних екосистем.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення, що таке біом.
2. Назвіть основні біоми та екосистеми Землі.
3. Які основні фактори обмежують розмір біопродуктивності тундрових екосистем?
4. Назвіть основні лісові райони України та опишіть їхні особливості.
5. Поясніть причини високої видової різноманітності екосистем тропічних дощових лісів.
6. Які основні фактори лімітують розміри біопродуктивності пустель?
7. Покажіть, у чому проявляється азонанальність лугових екосистем.
8. Назвіть, чим корисні болота для людини.
9. Назвіть відмінності між низинними та верховими болотами.

Питання для обговорення

1. Чи однакова біопродукція різних екосистем, в чому причини відмінності в рівні біопродукції?
2. Зважте значення видової різноманітності щодо функціонування екосистем з погляду трофічних ланцюгів.
3. Проаналізуйте трофічний ланцюг мішаного та листяного лісу. Спробуйте його доповнити.
4. Проаналізуйте трофічний ланцюг степової екосистеми. Спробуйте його доповнити.
5. Розгляньте позитивні та негативні сторони осушення боліт.

6 | Популяції

6.1. ПОНЯТТЯ ПОПУЛЯЦІЇ

У загальних рисах під популяцією розуміють реально існуючу в природі групу організмів одного біологічного виду, яка займає певну територію та відрізняється наявністю серед цих організмів функціональних зв'язків та спільності структур. Як і більшість понять екології, термін «популяція» неоднозначний. Спеціалісти різного профілю, виділяючи популяції в природі, користуються різними критеріями.

У генетиці популяції розглядають як структурні одиниці, що утворюють таксономічний вид. Обов'язковою умовою виділення окремої популяції в цьому випадку є наявність вільного обміну генами між усіма особинами даної популяції, що забезпечує спільність генофонду. Такі популяції називають *менделівськими*. Вони невеликі за розмірами. Річ у тому, що в рослин при вітрозапиленні та при запиленні комахами пилок розноситься, як правило, на невеликі відстані. У вітрозапильних чагарників та дерев вона не перевищує 100–150 м. Пилок ентомофільних рослин комахи можуть розносити на відстань не більшу за 1–3 км, але звичайно взяток береться в радіусі всього кількох сотень метрів. Невеликими є й шлюбні території тварин.

У менделівських популяціях особини теоретично мають бути повністю ідентичними. Але звичайно цього не відбувається. Така ідентичність має місце лише тоді, коли живі організми розмножуються нестатевим шляхом або автогамно. Так формуються популяції кореневищної рослини пирію, гермафродитних тварин типу паразитичного ціп'яка або партеногенетичних скельних ящірок.

У ботаніці критерієм виділення популяції служить її розміщення в межах певного біоценозу. Такі популяції називають *ценотичними*. Розміри ценопопуляцій можуть бути різними. У невеликих ценозах вони незначні, а в монотонно-однорідних типу

тайгового лісу можуть охоплювати території в сотні та тисячі гектарів і складатися з багатьох мільйонів особин.

В екології та зоології популяції частіше виділяють за ознаками їх розподілу на певній території та достатній відмежованості від популяцій того ж виду. У цьому разі популяцію називають *локальною*.

Механізми ізоляції окремих популяцій бувають двох типів: а) територіальні та б) репродуктивні. У першому випадку межами між популяціями виступають певні географічні бар'єри: гірський хребет, річка і т.ін. У другому випадку ізоляція відбувається внаслідок неможливості схрещування між особинами різних популяцій. Наприклад, особини конюшини гірської на південному та на північному схилах одного й того ж пагорба можуть належати до різних популяцій, оскільки на північному схилі цвітіння починається тоді, коли воно на південному схилі вже закінчилося.

Популяція – це реальна біологічна одиниця, у цій формі існують види рослин, мікроорганізмів та тварин. Кожна популяція може бути охарактеризована певними ознаками – популяційними параметрами. Основні з них: а) *чисельність* – загальна кількість особин, що входять до складу даної популяції, б) *густота* – кількість особин, що припадає на одиницю території або одиницю об'єму простору, який займає популяція, в) *запас біомаси популяції* в цілому та в розрахунку на одиницю площі чи об'єму, г) *народжуваність* – кількість нових особин, що з'являються в популяції при народженні, д) *смертність* – кількість особин, що відмирають у певний проміжок часу, е) *ріст популяції* – співвідношення народжуваності та смертності, що призводить до збільшення або зменшення чисельності особин у популяції. Важливим атрибутом будь-якої популяції є також її просторова структура, яка проявляється в особливостях розміщення особин на площі популяційного поля.

Розуміння законів життя популяцій досить важливе для екології. Популяції – це саморегульовані біосистеми з певними межами саморегуляції та стійкості. Усі живі організми в природі існують лише у формі популяцій. Популяційна екологія має широке прикладне значення.

6.2. ОСОБЛИВОСТІ ПОПУЛЯЦІЙ РОСЛИН ТА ТВАРИН

Популяційна екологія рослин та тварин розвивалася практично паралельно, що в цілому сприяло прогресу в цій галузі знання, але затінило більшість важливих особливостей цих двох царств живих організмів.

Між рослинами та тваринами існує чимало глибоких відмінностей (табл. 6.1). Проявляються вони на рівні окремих особин і на популяційному рівні. Найбільш важливі в галузі екології особливості рослин, що виходять з їх нерухомого способу життя та відсутності в багатьох видів рослин чітких меж між окремими особинами. У тварин, завдяки рухомості, існує можливість вибору місця проживання та розмноження. Це може знімати стреси, викликані несприятливим впливом екологічних факторів, дефіцитом ресурсів чи локальним переселенням, шляхом міграції. Рослини таких можливостей не мають. Вони реагують на стресові фактори іншим чином – пластичністю розмірів та форм. Це забезпечує сам принцип організації їх тіла з модулів, тобто пагонів.

Таблиця 6.1. Характеристика особливостей рослин та тварин, зумовлених їхніми відмінностями на популяційному рівні

Рослини	Тварини
Межі особин не завжди чітко визначені, як структурні елементи популяції виступають і генети, і рамети.	Межі особин чітко визначені.
Мають, як правило, необмежений ріст за рахунок меристем, що зберігаються протягом усього життя і призводять до наростання фітомаси даної популяції протягом усього періоду життя особин.	У більшості випадків (ссавці, комахи) завершують ріст у фазі репродуктивної зрілості або раніше, що забезпечує стабільність біомаси в популяціях статевозрілих особин.
Мають модульну структуру, при якій елементами тіла виступають пагони.	Модульна структура відсутня.
У певному віці особини можуть відрізнятись одна від одної за розмірами.	Одновікові особини мають практично однакові розміри.
Щільність популяції зберігається протягом періоду існування особин, що входять до її складу, змінюючись лише внаслідок народжуваності та смертності.	Щільність популяції сильно змінюється в часі внаслідок міграції особин.
Зовнішні фактори неоднаково впливають на різні особини популяції через відмінність у розмірах та екологічні ніші.	Зовнішні фактори по-різному впливають на особини однієї вікової групи лише за умов їхньої фенотипічної або генетичної відмінності.
У зв'язку з прикріпленим способом життя рослин для них важливими є онтогенетичні адаптації до екологічних та центотичних факторів.	Здатність до міграцій дозволяє тваринам уникати небажаних (несприятливих біотипів, не вдаючись до морфогенетичних адаптивних механізмів.
Заселення популяційного поля в ряді випадків здійснюється за рахунок «насіньових банків», що зберігаються в ґрунті.	Резервні групи такого типу відсутні.
Відсутня активна турбота про потомство.	Є численні форми турботи про потомство.

Для забезпечення генеративного розмноження рослин потрібні посередники, які забезпечують транспорт як гамет до місць запилення, так і насіння до місць їхнього майбутнього проростання. У тварин розмноження є процесом індивідуальним, і на цей період материнські особини, максимально ізолюються, ско рочують свою екологічну нішу. Тут, особливо на найвищих ланках еволюції, діє широкий набір форм турботи про потомство.

Зовсім по-іншому складається у тварин та рослин внутрішньо-популяційна ієрархія. Асиметрія стосунків (коли дві сусідні особини впливають одна на одну по-різному), зумовлена різною різноманітністю особин рослинного царства. Навіть саме поняття особин у рослин і тварин не збігається. Особина в царстві тварин (за винятком лише небагатьох форм, наприклад, коралів) – це завжди генет, тобто безпосередній продукт злиття гамет. У рослин це не завжди так. У тварин генет завдяки дезінтеграції та автономізації дає самостійні організми – рамети.

6.3. ЕКОЛОГІЧНІ НІШІ

Кожна популяція існує в певному місці, де поєднуються ті чи інші абіотичні та біотичні фактори. Таке місце проживання виступає як своєрідна адреса популяції. Якщо вона відома, то є ймовірність знайти в даному біотипі саме таку популяцію.

Але кожна популяція може бути охарактеризована ще й екологічною нішею. «Екологічна ніша» є функціональним поняттям. За уявленнями спеціалістів, які розробили концепцію екологічної ніші, вона є тим діапазоном умов, за яких живе та відтворює себе популяція. При цьому екологічна ніша сприймається не як обсяг фізичного простору, а як характеристика популяції стосовно всієї системи абіотичних та біотичних факторів, за яких вона може існувати.

Щодо кожного конкретного фактору чи умов життя кожен вид має свою амплітуду, в якій він може існувати. Але оскільки факторів існування у тварин та рослин багато, то екологічну нішу можна уявити як область в багатомірному просторі факторів, у межах якої може існувати дана популяція.

Для кожної популяції характерна фундаментальна екологічна ніша, яка є комплексом екологічних факторів, необхідних для даного виду за відсутності конкурентів. Цей тип ніші відповідає потенційним можливостям виду. На відміну від цього реалізована екологічна ніша охоплює ту амплітуду умов, яка доступна виду за присутності його конкурентів. Реалізована ніша, як правило, тією чи іншою мірою менша за фундаментальну.

Співвідношення між екологічними нішами різних популяцій можуть бути дуже різноманітними – від майже повного збігу екологічних ніш до повного розмежування (рис. 6.1). У межах власної екологічної ніші кожна популяція є найбільш сильним конкурентом. Тому двом різним популяціям з однією й тією ж нішею разом уживатися важко. У біоценозах постійно відбувається процес диференціювання видів за екологічними нішами.

Диференціювання за екологічними нішами є дуже важливим механізмом утворення угруповань рослин і тварин. Воно забезпечує співіснування видів в одному і тому ж біоценозі. Видове різноманіття завжди вище тоді, коли процес диференціації ефективний, що спостерігається в мозаїчних багатих біоценозах. У тварин механізм диференціації за екологічними нішами часто буває досить сильним. Рослини, навпаки, часто мають подібні екологічні ніші, оскільки, в принципі, в них однакові джерела живлення – сонячна радіація, вода, поживні речовини ґрунту. Але й тут завжди є диференціація: з метою пом'якшення конкурентної боротьби за обпилювачів види можуть займати різні яруси або квітнути у різний час тощо. При конструюванні штучних біоценозів урахування процесу диференціювання за екологічними нішами забезпечує створення стійких угруповань та отримання більшої кількості біопродукції. Так, для забезпечення високих та стабільних з року в рік урожаїв зеленої маси здавна практикувалися посіви суміші трав та бобових (наприклад, конюшина та тимофіївка). У таких сумішах рослини суттєво диференційовані за різними екологічними нішами: бобові споживають в основному фосфор, злаки – азот, немає конкуренції за обпилювачів.

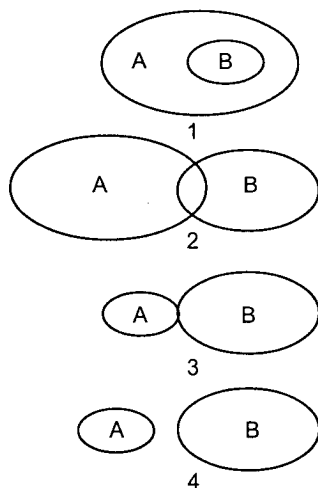


Рис. 6.1. Можливі співвідношення між екологічними нішами видів А та В: екологічні ніші можуть повністю накладатися одна на одну (1), частково збігатися (2), стикатися (3) або бути повністю розділеними (4).

6.4. СПІВІСНУВАННЯ ПОПУЛЯЦІЙ – НОРМА ЇХ ІСНУВАННЯ

Взаємовідносини між видами рослин і тварин складають широкий спектр взаємодій – від несприятливих до взаємодопомоги. З часів Ч. Дарвіна в співіснуванні популяцій перш за все вбачали боротьбу – *конкуренцію*. Дійсно, обмеженість ресурсів та високі потенціали розмноження неухильно ведуть до змагання між організмами. Біоценози практично завжди є багатовидовими біологічними системами. Тому кожна окрема популяція зазнає з боку всіх інших популяцій біоценозу сумарний конкурентний тиск. Цей ефект називають *дифузною конкуренцією*.

Дифузній та попарній конкуренціям надається велика роль в організації біоценозів. На формування такого погляду великий вплив мали класичні досліді Г.Ф. Гаузе (1934). Він провів серію дослідів із двома видами інфузорій, які відрізнялися одна від одної здатністю захоплювати їжу. Виявилось, що під впливом конкуренції один вид, конкурентно слабший, повністю випадав із популяційної суміші двох видів. Важливий екологічний механізм, що діє в такому випадку, отримав назву *принципу конкурентного виключення*. Цей принцип діє серед популяцій різних видів тварин та рослин. Так, у прісних водоймах один вид ряски *Lemna gibba* витісняє інший вид ряски *L. polyrrhiza*. Однак численні спостереження в природі показали, що конкурентні види існують в одних і тих же угрупованнях. Очевидно, що конкуренція, хоч і пригнічує партнерів та звужує їхні реалізовані екологічні ніші, однак не веде до повного випадання їх із біоценозів. Співіснування біологічних видів рослин та тварин із досить однаковими вимогами щодо довкілля є екологічною нормою.

Існує чимало механізмів забезпечення співіснування популяцій різних видів. Види використовують різні ресурси, та якщо характер необхідних їм ресурсів однаковий, то вони використовують їх у різний час. Найбільш відомий приклад – розподіл хижих тварин на нічних та денних. Це, зокрема, такі пари зі спорідненим положенням у трофічних ланцюгах: сови – соколи, коники – цвіркуни та ін.

Оскільки найбільша потреба в ресурсах у всіх рослин припадає на період цвітіння, у популяцій різних видів рослин, що ростуть разом, саме цвітіння розмежовується в часі. Такий же механізм робить менш гострою конкуренцію за обпилювачів. Пом'якшує конкурентні взаємовідносини територіальність у тварин та ярусність у рослин: простір поділяється так, що співіснуючі конкуренти використовують різні його ділянки.

Важливим елементом в співіснуванні популяцій є принцип *послуга за винагороду*. Відповідно до цього принципу між

багатьма популяціями складається екологічний баланс, вони виявляються потрібними одне одному. Загальновідомі стосунки квіткових рослин і комах-запилювачів. Запилювачі надають «послугу» квітковим рослинам, переносючи пилок з квітки на квітку, а «винагородою» для них служить нектар. Мають місце і більш складні випадки. Так, у тропічних лісах ряд видів мурах розводять на рослинах тлю, солодкі виділення якої вони вживають в їжу. Тля – фітофаг і є консументом першого порядку, завдаючи певної шкоди рослинам, зате мурахи активно знищують і проганяють з рослин, на яких вони створюють свої ясла тлі, інших фітофагів – гусінь, листогризухих молюсків тощо. Створюється ціла система послуг і винагород.

6.5. СТРАТЕГІЇ ЖИТТЯ РОСЛИН ТА ТВАРИН

Світ живих організмів надзвичайно різноманітний. Різноманітні не лише форми або розміри істот, різноманітні пристосування, завдяки яким рослини та тварини вирішують свої головні проблеми – виживання та розмноження. Перш за все в різних видів живих організмів дійсно різні розміри тіла. Це має не останнє екологічне значення. Великі рослини та тварини більш стійкі і мають більше можливостей зберегти свої функції при зміні умов існування. Великим тваринам легше впоратися зі здобиччю або протистояти хижакам. Зате дрібні за розмірами організми потребують менше речовин та енергії на реалізацію своїх життєвих функцій, їм легше знайти укриття або сховатися від хижака.

Неоднаково вирішують різні види живих істот і проблему розмноження. Велика кількість видів бамбуку цвіте й плодоносить тільки раз у житті, в очерету та яблуні це повторюється щорічно. Деякі види тварин народжують лише одного-двох потомків, а інші – десятки і навіть сотні. Досить широко змінюється й сама турбота про потомство.

У багатьох випадках уся різноманітність форм життя визначається доцільністю витрат речовин та енергії на ті чи інші структури або процедури. Завжди є альтернатива: спрямувати наявні в організмі ресурси на збільшення власного тіла або витратити їх на потомство. Що краще: мати нечисленних, але великих та стійких потомків, або дрібних, але у великій кількості. Спробу знайти закономірність у вирішенні в процесі еволюції живих організмів робить концепція *r*- та *K*-*добору*. Ця концепція була сформульована Р. МакАртуром та Е. Уїлсоном (1967), але найбільш повною мірою розвинута Е. Піанкою (1981).

Таблиця 6.2. Порівняльна характеристика *r*- та *K*-видів

<i>r</i> -види	<i>K</i> -види
Значення показника <i>r</i> (природжена швидкість росту популяції) високе	Значення показника <i>r</i> низьке
Швидкість розмноження однакова в популяціях різної щільності	Швидкість розмноження падає із зростанням щільності
Вид займає дану територію тимчасово. Процес розселення швидкий	Вид займає дану територію на тривалий час. Процес розселення повільний
На продукцію зачатків розмноження витрачається більша частина біомаси організму	На продукцію зачатків розмноження витрачається невелика частина загальної біомаси організму
Особини дрібні	Особини великі
Переважно недовговічні організми. Мало спеціалізовані форми	Тривалість життя організмів велика. Часто спостерігається вузька спеціалізація
<i>Приклади:</i> блакитна синиця, бактерії, хвилястий папуга, однорічні трави	<i>Приклади:</i> кондор, альбатрос, дерева, чагарники

У позначеннях, прийнятих цими авторами, *r* – справжня (миттєва) швидкість росту популяції, *K* – означає максимальну густину популяції, тобто кількість особин у розрахунку на одиницю площі, за якої чиста швидкість розмноження дорівнює 1, а $r = 0$.

Було показано, що еволюція в нестабільному середовищі сприяє збільшенню *r*, а знаходження популяції в умовах її рівноваги з середовищем – до збільшення *K*. У крайніх варіантах *r*-види – це невеликі організми з коротким періодом індивідуального життя, що спрямовують більшу частину речовин та енергії на формування органів розмноження. Головна риса стратегії їхнього життя –

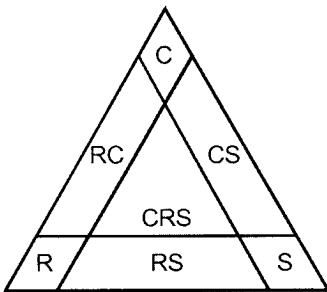


Рис. 6.2. Трикутник стратегій Дж. Грайма: *C* – конкуренти, *R* – рудерали, *S* – стрес-стійкі організми. Поєднання букв *CRS* означає різні варіанти проміжних стратегій.

розмноження. Навпаки, *K*-види є великими організмами з тривалим життям. Вони пізно починають розмноження та витрачають на нього лише малу частку наявних ресурсів. Головна риса їхньої життєвої стратегії – виживання особин та контроль території, якою вони володіють. Більш повна порівняльна характеристика *r*- та *K*-стратегій наведена в табл. 6.2. Е. Піанка підкреслював, що визначити тип стратегії якого-небудь організму можна тільки в порівнянні з іншими.

У сучасній екології набула поширення ще й інша, суто емпірична система оцінки стратегії життя. Вона

була запропонована англійським ученим *Д. Граймом* (1974) та пізніше розвинена *Б.М. Міркіним* (1985). Суть цієї системи добре ілюструє *рис. 6.2*. Для позначення типів стратегій використовуються латинські літери. За системою *Д. Грайма* виділяють три основні стратегії та чотири проміжні. Основні стратегії відповідають кутам *трикутника стратегій*.

С-стратегія реалізується видами-конкурентами. Це тварини та рослини з високою конкурентною спроможністю. Вони живуть у стабільних умовах і погано переносять порушення середовища. Фундаментальна та реалізована екологічні ніші у С-стратегів близькі між собою, типовими видами-конкурентами є, наприклад, бук карпатських лісів, слон та лев африканських саван.

С-стратегія відповідає стрес-стійким організмам, які пристосовані до життя в умовах частих порушень біотопів. У цих рослин та тварин фундаментальна та реалізована екологічна ніші також близькі між собою. Кожен зі стрес-стійких видів пристосований до стресу певного виду. Універсальної стрес-стійкості немає. Прикладом стрес-видів можуть служити ящірки, саксаул.

R-стратегія характерна рудеральним організмам, які мешкають у відкритих біотопах. Вони мають високі репродуктивні можливості та швидко заселяють такі біотики. Конкурентна спроможність у них низька. Та рослини з рудеральною стратегією мають великі «ґрунтові банки» насіння. Типовими R-стратегіями є ворона, щиріця та інші бур'яни.

Стратегія життя характерна не стільки видам, скільки популяціям. Існує чимало випадків, коли популяції одного й того ж виду реалізують різні стратегії. Очерет у плавнях веде себе як типовий *С-стратег*, але його популяції на засолених ґрунтах реалізують уже *S-стратегію*. С-стратегом у лісовій зоні є дуб, але в південних насадженнях його популяції виявляються *S-стратегіями*.

У тварин стратегії життя пов'язані з життєвою формою. Життєві форми тварин відбивають умови їх життя і способи живлення. За *Д.М. Кашкаровим* (1945) основні групи життєвих форм у тварин такі:

І. Плаваючі

1. Водні:

- а) нектон;
- б) планктон;
- в) бентос.

2. Напівводні:

- а) такі, що пірнають;
- б) такі, що не пірнають;
- в) такі, що добувають їжу у воді.

II. Рилючі

1. Все життя проводять під землею.
2. Виходять на поверхню для харчування.

III. Наземні

1. Такі, що не роблять нір:
 - а) ті, що бігають;
 - б) ті, що стрибають;
 - в) ті, що повзають.
2. Такі, що роблять нори:
 - а) ті, що бігають;
 - б) ті, що стрибають;
 - в) ті, що повзають.
3. Тварини скель.

IV. Такі, що лазять по деревах

1. Ті, що не сходять з дерев.
2. Ті, що залазять на дерева подеколи.

V. Повітряні форми

1. Такі, що добувають їжу в повітрі.
2. Такі, що видивляються їжу з повітря.

Тварини різних систематичних груп часто мають подібну життєву форму тоді, коли спосіб їх життя і живлення виявляється подібним. Так, подібну будову тіла мають азіатський тушканчик і австралійський кенгуру, азіатський сліпець і африканський златокріт(?). Великий вплив на життєву форму має спосіб пересування. Органи руху бігаючих і стрибаючих тварин зовсім різні, в останніх сильно розвинені задні кінцівки при сильній редукції передніх. Подібною формою тіла відрізняються тварини, що живуть у воді. У комах спостерігається різка зміна життєвих форм залежно від фази індивідуального розвитку. У комах з повним перетворенням личинки та імаго ведуть різний спосіб життя і переважно по-різному живляться.

Розмір популяційного поля тісно пов'язаний із так званім радіусом індивідуальної активності особин виду. Чим більший цей радіус, тим більший і розмір популяційного поля. У тварин радіус індивідуальної активності особин залежить від їхньої рухливості в процесі видобування їжі і при розмноженні. Трофічний радіус індивідуальної активності не збігається з репродуктивним радіусом індивідуальної активності. Останній звичайно ширший. За підрахунками *О.В. Яблокова* й *А.Г. Юсуфова* (1976) радіуси індивідуальної активності у виноградного равлика складають кілька десятків метрів, в ондатри – кілька сотень метрів, а в пса – кілька сотень кілометрів. Надзвичайно великим є трофічний радіус індивідуальної активності перелітних птахів. Наприклад, білий лелека живе в Європі, зимує в Африці,

і, таким чином, трофічний радіус його активності охоплює тисячі кілометрів, тоді як під час розмноження ці птахи контролюють порівняно невелику територію. У рослин радіус індивідуальної активності визначається дистанціями розносу пилку і насіння.

6.6. РОЗМІР ПОПУЛЯЦІЇ

Розмір популяції характеризується загальною кількістю організмів у популяції та запасом видоспецифічної біомаси. За своїми розмірами популяції живих організмів надзвичайно різноманітні. До того ж розмір популяції не постійна величина. Він дуже змінюється за сезонами та роками. Особливо характерні такі зміни для сукцесійних угруповань. У клімаксових угрупованнях, навпаки, розмір популяції більш стабільний.

Розмір популяції залежить від ємності біотипу популяції даного виду та ряду внутрішньопопуляційних властивостей. Серед останніх особливо важлива тактика репродукції. Тут можливі два варіанти. Перший полягає в продукції більшої кількості потомків за кожним актом розмноження, а другий – у продукції малої кількості потомків, але більшої життєздатності. За обмеженості матеріальних ресурсів ці варіанти репродуктивної тактики альтернативні. У попелиці потомство від однієї самиці налічує сотні особин, а лосі приводять 1-2-х потомків на рік. При цьому вся популяція попелиці може розміщуватися на одній зараженій рослині (наприклад, сосні), а популяція лося займає територію в десятки квадратних кілометрів. В еволюції кожного виду виробляється свій специфічний варіант розмноження.

У цілому розмір кожної популяції є результатом динамічної рівноваги між її здатністю до розмноження і тим опором, який чинить даній популяції навколишнє середовище.

Чисельність особин у популяціях рослин та тварин у різні роки значно коливається. У рослин в окремі роки популяція може бути взагалі представлена лише насінням у ґрунті. Досить велика амплітуда коливань чисельності тварин у різні роки. Розмір популяції травневих хрущів може змінюватися в один млн. разів, у кролів – у сотні разів, у копитних – у десятки разів. Наявність хвиль чисельності популяцій є загальним біологічним законом існування популяції.

Але даних про розмір популяцій рослин та тварин ще дуже мало. Це суттєво гальмує вирішення питання про допустимі величини вилучення особин та біомаси популяцій при їх господарському використанні.

6.7. ПРОСТОРОВА СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦІЇ

Кожна популяція розміщується в тому чи іншому просторі. У рослин у зв'язку з прикріпленим способом життя простір легко й наочно визначається та називається *популяційним полем*. У тварин також завжди існує територія, що використовується особинами популяції, вони її контролюють, оберігають від вторгнення інших особин цього або навіть й інших видів тварин. Територіальність слабше виражена в травоїдних тварин, завдяки більшій доступності кормів, та більш сильно – у хижих видів зі спеціалізованим харчуванням. Характерно, що тварини ніколи не охороняють корм (за винятком хижаків у момент споживання жертви), охороняється територія, на якій може потенційно бути добутий потрібний тип корму.

Кожне популяційне поле рослин та кожна територія проживання тварин мають свою *екологічну ціну*. Вона визначається наявністю ресурсів та умов, необхідних для життя, і відсутністю факторів, несприятливих для живих організмів. Чим більший розмір контрольованої території, тим більша там потенційна кількість кормів. Але зі збільшенням розміру території зростають витрати часу та енергії на її обхід та захист. Тому у тварин розмір території, на якій вони живуть, визначається як компроміс між цими двома тенденціями. Очевидно, що з погляду економії енергії ідеальним варіантом є локальна територія, лише б вона забезпечувала організм усім необхідним. У такому разі немає ніяких витрат на її обхід та пошуки корму. Цього ідеалу певною мірою досягли автотрофні рослини, які контролюють лише той розмір простору, в якому вони розміщені. Реально у тварин розміри контрольованої території мають пряму залежність від розмірів їхнього тіла. Чим більші особини тварин, тим більші території вони контролюють. Це природно. Добова потреба в м'ясі у вовка становить у середньому 1 кг, а в комахоїдних синиць – лише кілька грамів.

Ємність середовища значною мірою визначає розмір популяції, і в багатьох випадках вона більш важлива, ніж розмір доступного для популяції фізичного простору.

Організація території проживання живих організмів завжди спрямована на пом'якшення внутрішньовидової конкуренції. Вона сильно виражена в рослин, які мають схожі джерела живлення – сонячну енергію, вуглекислий газ, воду, мінеральні солі. У тварин корми більш різноманітні, і в межах біологічного виду вироблені суто біологічні механізми пом'якшення внутрішньовидової конкуренції. Так, у ряду видів птахів дзьоб самців та самиць має різну довжину, це дозволяє їм використовувати різні джерела їжі. Молодь та дорослі досить часто харчуються різни-

ми кормами. Наприклад, зерноїдні птахи вигодовують своїх пташенят комахами. Однак внутрішньовидова конкуренція залишається реальною, і тому просторова структура популяції відіграє досить важливу роль.

Розміри території, що займає окрема популяція, можуть бути досить різними. Але тут простежуються й загальні екологічні закономірності. У рослиноїдних тварин корми більш доступні і кормова територія менша, хижакам для забезпечення себе їжею доводиться освоювати набагато більший простір. До речі, з цієї причини загроза антропогенного вимирання хижаків більша (специфічні корми та необхідність великих територій для полювання). Велика кількість заповідників та резерватів організовується без урахування цієї обставини і тому не досягає своєї мети в охороні всього комплексу тваринного населення.

Особини рослин створюють у межах популяційного поля той чи інший малюнок свого розміщення. Він визначається рядом факторів. На розміщення рослин впливає спосіб розмноження та розповсюдження зачатків. У випадку переважання вегетативного розмноження дочірні особини розміщуються купчасто навколо материнських. Існує й контроль розміщення з боку середовища, який полягає в тому, що проросток утворює дорослу особину там, де існують для цього сприятливі умови. Деякі рослини, безсумнівно, тяжіють до певних мікроділянок, на яких є сприятливі умови для проростання насіння. Контролює розподіл рослин і біоценотичне середовище – взаємовідносини популяцій різних видів рослин та тварин. Наприклад, купчасте проростання сибірського кедру пов'язане з тим, що горіхівка заготовляє насіння цієї рослини на зиму окремими купками, і про більшість із них птахи забувають.

Розподіл живих організмів у популяційному полі зводиться до трьох основних типів – *рівномірний, випадковий та контагіозний* (рис. 6.3). Рівномірний розподіл спостерігається порівняно рідко, але його можна побачити в штучних біоценозах типу

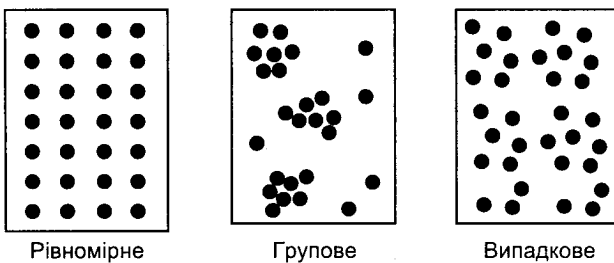


Рис. 6.3. Типи можливого просторового розташування особин популяції

посіву культурних рослин. Рівномірно розподіляються в біотопах більшість комахоїдних птахів, коли в період гніздування кожна пара охороняє приблизно однакові гніздові ділянки. Не так часто трапляється зовсім *випадкове* розміщення особин у популярційному полі. Воно виникає тоді, коли популяція розподіляється на території, яка забезпечує всі особини ресурсами. Такий тип заселення властивий, наприклад, личинкам волохокрильців на дні водойм або мучнистих хрущаків у борошні. Рослинам найбільш властиве контагіозне розміщення, що є результатом вегетативного розмноження та опадання важкого насіння в безпосередній близькості від материнського організму, а також групування особин у місцевостях, що найбільш сприятливі для проростання насіння та розвитку проростків. Виникненню контагіозного розміщення сприяє мозаїчність проживання, що призводить до концентрації тварин у місцях, найбільш сприятливих для них.

Територіальні взаємовідносини вищих тварин часто впорядковані внаслідок їхніх активних дій. Цьому сприяє система безумовних поведінкових рефлексів. Вони спрямовані на створення візерунку рівномірного розміщення особин на території, що пом'якшує конкуренцію, або, в інших випадках – на створення щільних поселень, де особини можуть надавати одна одній допомогу в добуванні їжі та захисті від ворогів.

Територія існування тварин підрозділяється на певні ранги. Є власне територія проживання, яка регулярно відвідується особинами. В її межах виділяються території, де добувається корм (кормова територія), та індивідуальна ділянка, на якій тварина влаштовує гніздо або схованку та проводить багато часу (гніздова територія). Ряд видів, наприклад тетереуки, мають ще й шлюбну територію, де влаштовуються шлюбні ігри та на короткий час утворюються батьківські пари.

Тип заселення території залежить від виду тварин. В одних випадках територія, зайнята популяцією, більш або менш рівномірно розподіляється серед сімейних пар. В інших – особини утворюють групи того чи іншого розміру: стадо, зграя, прайди і т.ін. Окремим біологічним видам тварин властивий осілий спосіб життя, іншим – кочовий. З урахуванням цього основними формами організації популяції тварин є такі:

1. *Поодинокий спосіб життя*, коли окремі особини існують практично незалежно одна від одної, лише на короткий період формуються репродуктивні пари.

2. *Сімейний спосіб життя* властивий тваринам, в яких партнери, що беруть участь у розмноженні, утворюють пари на тривалий період. Вони утворюються не лише на період спарювання, але й зберігаються під час виведення, вигодовування та виховування молоді. У птахів відомі види, схильні до збереження сімейних пар

на все життя. При сімейному способі життя тварини, як правило, намагаються контролювати територію свого проживання.

3. *Зграйний спосіб життя* полягає в об'єднанні тварин у групи чисельністю в кілька десятків або сотень особин. Зграї, як правило, існують цілорічно, лише на період розмноження можуть розбиватися на сімейні пари. У перелітних птахів зграї формуються на період міграцій. Зграї мають великі переваги в добуванні їжі (вовки) або захисті від ворогів (копитні). Структура зграй може бути різною: іноді в них всі тварини рівноправні (риби), але частіше в зграї є лідер і складна ієрархія підпорядкування особин. Ієрархічна організація дає великі переваги, оскільки забезпечує спокійне існування тварин без зайвих витрат енергії. Ранг у зграї визначається звичайно тільки один раз. Після його встановлення сутички між тваринами припиняються, інформація про ранг повідомляється партнерам у зграї особливими сигналами або особливим типом поведінки. Ієрархія забезпечує відповідальність поведінки тварин зграї та підвищує виживання всіх особин.

4. *Стадо*. Як найбільш стійку форму існування груп особин виділяють стадо. У стаді здійснюються всі функції популяції: пошук корму, розмноження, охорона та вирощування молоді. Розміри стада залежать від наявності корму. Для стада особливо характерна ієрархічна структура та наявність лідера. Лідер – це тварина, яка найбільш пристосована до даних умов існування, здатна до швидкого вироблення умовних рефлексів. У стаді зубрів лідером є найбільш сильний та досвідчений самець, а в стаді північних оленів лідирує група найдосвідченіших самок.

5. *Колонії* представляють собою групові поселення тварин різного віку та статі. Такі колонії можуть бути постійними або виникати на період розмноження. Колоніальний спосіб життя полегшує захист від ворогів. Особливо характерні поселення ряду видів птахів та гризунів. Складну організацію мають колонії таких комах, як мурахи, бджоли та терміти.

6. *Прайдами* живуть леви. Окремий прайд включає одного самця, двох-трьох самиць та кілька особин молодняку.

Організація популяції у вигляді колонії, прайда, зграї або стада дає певні переваги: полегшується пошук корму, забезпечується захист від ворогів, у риб та птахів менше енергії витрачається на переміщення в просторі, оскільки основну роботу здолання опору води чи повітря виконують більш сильні тварини, що рухаються попереду зграї.

В усіх випадках групового контролю території в стаді, зграї, колонії та інших об'єднаннях можливі три види структури:

а) група утворена з рівноцінних тварин, такими, наприклад, бувають зграї молодняку;

б) група з одним лідером, звичайно це самець із групою самиць та приплодом;

в) група зі складною лінійною ієрархією підпорядкування особин.

У багатьох видів тварин наявне намагання жити на одній, освоєній коліській території. Воно отримало спеціальну назву – хомінг (від англ. *home* – дім). Хомінг дуже корисний для тварин, він дозволяє притримуватися тієї території, яка їм добре відома і де вони легко знаходять їжу й укриття.

Власна територія пильно контролюється тваринами, чужі особини свого виду на неї не допускаються і активно виганяються. Тут спрацьовує ціла система міток або звукових сигналів. Як мітки найчастіше використовуються пахучі виділення. В антилоп такий пахучий секрет виділяється із залози біля краю ока, у сарн – біля основи рогів. Кішки та собаки мітять свою територію сечею. Ведмеді та інші тварини обдирають кору на деревах, що ростуть на межі їхньої території. У птахів контроль території здійснюється шляхом звукових сигналів. Деякі види за допомогою таких сигналів оберігають територію не тільки від особин свого виду, але й від птахів інших видів. Щодо цього особливо цікавою є поведінка птахів-пересмішників, які можуть удавати спів птахів інших видів. Жулан, наприклад, видає звуки, що копіюють спів приблизно 10 видів птахів. Це дозволяє йому створювати враження, що дана територія заселена й синицями, й дятлами й іншими видами птахів – забиратися на неї не варто.

Ряд видів тварин активно захищає свою територію. Але сутички, що мають місце, практично ніколи не мають тяжких і тим більше смертельних наслідків. У більшості випадків вони мають ритуальний характер. Звичайно територія залишається за тією особиною, яка освоїла її першою. На своїй території тварини тримаються більш упевнено й досить агресивно, а на іншій переважає орієнтувальний рефлекс. Частіше справа не доходить до сутичок, і все обмежується демонстрацією певних поз. Території, що контролюються тваринами, частково перекриваються, і члени однієї популяції завжди підтримують зв'язки між собою. Такі зв'язки особливо необхідні в період розмноження, під час пошуку партнера.

Ряду видів тварин властиві популяції кочового типу. При стадній організації популяція не прив'язана до невеличкої ділянки території, а добуває корм на великих територіях. Індивідуальні ділянки в окремих тварин відсутні.

Просторова структура популяцій тварин є високодинамічною. Вона змінюється за сезонами року, залежить від фази продуктивного циклу та достатку кормових ресурсів.

Вивчення територіальності та популяційних полів у тварин і рослин засвідчує, що будь-якій популяції властива специфічна і

складна просторова структура. Вона будується на екологічній та біологічній нерівнозначності особин у популяціях, на складній системі ієрархії особин, що включає домінуючі та підпорядковані організми. Біологічні види можуть існувати та реалізовувати свої екосистемні та біосферні функції лише за умови цілісності просторової структури популяції, її антропогенне руйнування навіть без прямого фізичного знищення живих організмів неминуче веде до їх випадання з екосистем та до загибелі. Охороняти той чи інший вид тварин – означає забезпечити збереження території, до якої прив'язаний даний вид тварин.

6.8. ВНУТРІШНЬОПОПУЛЯЦІЙНА СТРУКТУРА

Певна внутрішня структурність є фундаментальною властивістю будь-якої популяції. Така структурність є фактором підвищення виживання популяцій, і її порушення неминуче знижує їх життєздатність. Під внутрішньопопуляційною структурою розуміють поділ популяції на групи особин, що відрізняються тими чи іншими властивостями. Залежно від обраного критерію оцінки особин існує кілька видів внутрішньопопуляційної структури.

Генетична структура популяцій. Наявність у популяції двох або більше генетично різних форм називається генетичним поліморфізмом. Для виявлення нетотожності особин та їх належності до тих чи інших внутрішньопопуляційних генетичних груп найбільш надійними є такі методи:

а) вивчення ізоферментного складу методом гелі-електрофорезу;

б) виявлення успадкованих відмінностей у морфологічній структурі особин;

в) пересадження рослин у місця з різко зміненим середовищем.

За початковим визначенням *менделівські* популяції мають складатися з *генетично подібних* особин. Імовірно, що це одна з причин, через яку генетики уникають визначати розмір популяцій та виділяти популяції в природі. Якщо популяцію виділити як досить дрібну за розмірами одиницю, то в ній важливу роль буде відігравати *інбридинг*, тобто схрещування серед близьких родичів, що веде до інбридної депресії, зниження життєздатності потомства. Та якщо популяцію виділити як більш чисельну групу особин, то неминуче зростає шанс зустріти в такій популяції генетично подібні особини.

У популяціях, що виділяються екологами, рівень внутрішнього поліморфізму досить різний. В окремих рослин і тварин

популяція сформована з генетично однорідних організмів, і генетичний поліформізм відсутній. В інших випадках генетичний поліформізм досить високий. Дослідження методом гелелектрофорезу показує, що поліформізм рослин у середньому можна оцінювати на рівні 25,9%. У цілому генетична структура популяцій пристосована до того екологічного простору, в якому популяція живе. Генетичний поліформізм сприяє більш повному заповненню цього екологічного простору та підвищує стійкість популяції до коливань екологічного режиму.

Статевая структура популяцій. Розподіл особин на чоловічі та жіночі (у рослин – на тичинкові та маточкові) веде до формування особливої статевої структури популяцій. У цьому разі статеві структури мають на увазі співвідношення особин різної статі. Особливості статевої структури популяцій визначаються їх видовою належністю. На відміну від побутових уявлень у живих організмів спостерігається не тільки розподіл на самців та самиць, але й широкий спектр проміжних за статтю особин. Якщо особини двостатеві, як це спостерігається в багатьох квіткових рослин, то статевая структура популяції не виражена.

За наявності статевої диференціації особини можуть *відрізнятися за морфологічними та фізіологічними ознаками*. Нерідко особини різної статі мають неоднакові розміри. У тварин чоловічі та жіночі особини можуть відрізнятися типом харчування. У ряду видів комарів, як відомо, самиці є кровососними, а самці харчуються нектаром рослин.

Співвідношення особин різної статі в популяціях при генетичному контролі складає приблизно 50% на 50%. У людському суспільстві співвідношення статей також відповідає цій пропорції. Але стать контролюється ще й середовищем. За таких причин можуть спостерігатися відхилення від цього співвідношення. Часто це пов'язано з більш високою смертністю самців, і тоді їхня частка в популяції (особливо в певні періоди) помітно знижена. Таке явище спостерігається в синиць та ряду видів гризунів.

Вікова структура популяції. Якщо покоління нових особин з'являється в популяції одноразово та перехід з одного вікового стану в інший відбувається синхронно, то в такій популяції вікова структура не виражена. У будь-який час усі особини в ній мають однаковий вік та однаковий віковий стан. Це має місце в популяціях культурних рослин, де завдяки одночасності посіву та сортової ідентичності особин їх розвиток відбувається досить синхронно. Але в переважній більшості випадків популяції рослин та тварин складаються з особин різного віку та різного вікового стану.

У деревних рослин та тварин вікову структуру популяцій аналізують за абсолютним календарним віком особин. У цих

випадках він досить легко визначається: у дерев – за річними кільцями на деревині, у ссавців – за будовою зубів. Коли ж календарний вік визначити важко, вікову структуру популяції оцінюють за віковим станом особин. Віковий стан особин – це певний етап онтогенетичного розвитку, який характеризується наявністю в особин специфічних властивостей та якостей. Цей підхід широко застосовується при аналізі популяцій трав'янистих рослин. Виділяють чотири основні вікові періоди та в їх межах ще кілька вікових етапів (табл. 6.3).

Насіння знаходиться в стані спокою, обмін речовин в них зведений до мінімуму. *Проростки* мають зародкові корінці та перші листки, живляться вони змішано – за рахунок мобілізації запасних поживних речовин насіння та фотосинтезу. *Ювенільні рослини* повністю переходять до самостійного живлення, але їхні листки відрізняються особливою формою та розмірами. *Іматурні рослини* мають ознаки переходу від ювенільних до дорослих. *Дорослі вегетативні особини* мають усі риси будови, що притаманні даному виду, але не здатні до розмноження. Для *генеративних особин* характерна наявність органів розмноження. *Сенільні рослини* поступово припиняють формування генеративних структур, вегетативне відростання в них послаблене.

Частка в популяції особин різного вікового стану отримала назву *вікового спектру*. Якщо у віковому спектрі переважає насіння, ювенільні та вегетативні особини, то популяція називається *інвазійною*. За наявності в популяції представників усіх вікових станів її називають *нормальною*. Нормальні популяції можуть бути повночленними, якщо включають весь спектр вікових станів, і неповночленними, якщо особини тих чи інших вікових станів у популяції відсутні. *Регресивними* називають популяції, в яких переважають сенільні та старі генеративні рослини.

При вивченні популяцій тварин переважно використовують не віковий стан, а календарний вік особин. На його основі встановлюється співвідношення в популяціях тварин різного

Таблиця 6.3. Періодизація онтогенезу вищих рослин

Періоди та етапи онтогенезу	Умовні позначки
I. Латентний	
Насіння	sm
II. Віргінальний	
Проростки	p
Ювенільні рослини	j
Іматурні рослини	im
Віргінальні рослини	v
III. Генеративний	
Молоді генеративні	g ₁
Зрілі генеративні	g ₂
Старі генеративні	g ₃
IV. Сенільний	
Субсенільні рослини	ss
Сенільні рослини	s
Відмираючі рослини	sc

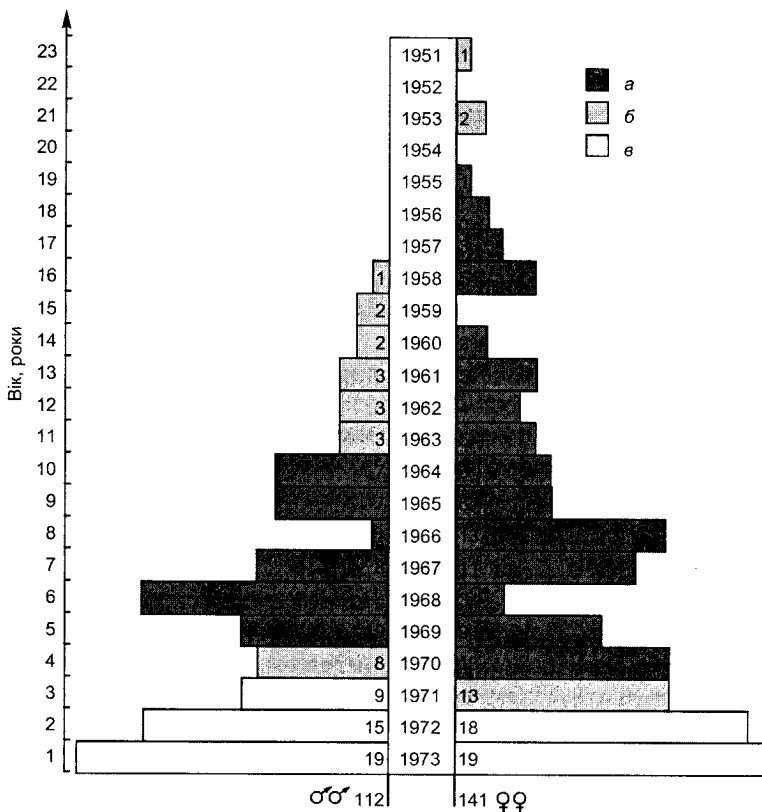


Рис. 6.4. Вікова структура популяції зубра в Біловезькій Пущі: а – розроджувальна активність; б – обмежена розроджуваність; в – особини, які не беруть участі в розроджуваності.

віку. На рис. 6.4 представлена вікова структура популяцій зубра, з якої видно, що вона не однакова в самців і самок і що виживаність старих самок набагато вища, ніж старих самців.

Аналіз вікового стану популяцій дозволяє оцінити їх поточний стан та прогнозувати перспективи розвитку на найближчі покоління. З метою прогнозу в цьому разі використовують математичні моделі. Досить добре виправдовує себе аналіз вікового стану популяцій з метою прогнозування чисельності промислового стада в рибному господарстві.

Розмірна структура популяцій. В одновікових популяціях особини рослин відрізняються за розмірами та за загальним розвитком. Це створює ще один тип гетерогенності внутрішньопопуляційної структури – *розмірну структуру*.

Розмірна ієрархія особин у популяціях – це дуже важливий показник, що має високу кореляцію з її стійкістю та статусом в угрупованні. У багатьох випадках розміри особин більш важливі для їхньої долі, ніж віковий стан. Причини відмінностей у розмірах особин можуть бути різними і визначаються, головним чином, на рівні мікромісць перебування. У рослин на розміри особин впливає багато факторів: об'єм ґрунту, що припадає на одну особину, відмінності початкового розміру насіння, час проростання насіння, абіотичні та біотичні фактори, що діють у безпосередньому сусідстві з рослиною, пошкодження фітофагами. Через те, що конкуренція за своєю природою асиметрична, вона також сприяє посиленню ієрархії розмірів особин.

За результатами обліку прийнятої розмірної ознаки особини ранжирують у висхідному порядку. Звичайно при аналізі розмірної структури популяції особини підрозділяють на три або чотири розмірних класи. Майже в кожній популяції складається континуум розмірності особин, які описуються або нормальним статистичним розподілом, або розподілом з вираженою правосторонньою чи лівосторонньою асиметрією, коли в популяції переважають дрібні або ж великі особини.

Віталітетна структура популяцій. Віталітетна структура популяцій розкриває співвідношення в популяціях особин різного віталітету. Віталітет розглядається як морфоструктурне вираження життєвого стану рослин (Ю.А. Злобін, 1980). Залежно від переваги в популяції особин різних категорій віталітету (вищого, проміжного і нижчого) визначається віталітетний тип популяції. Об'єктивні оцінки віталітету особин знаходяться, як правило, за трьома діагностичними ознаками, набір яких залежить від життєвої форми і вікового стану рослин.

За співвідношенням у популяції особин різних класів віталітету популяції поділяються на три основні категорії: процвітаючі, рівноважні і депресивні. На основі рівноважного статистичного розподілу розроблений узагальнений індекс якості (віталітету) популяції (Q) у вигляді: $Q = 1/2 (a + b)$, де a , b і c – відповідно частки особин вищого, проміжного і нижчого класів віталітету. Для процвітаючих популяцій характерне співвідношення $1/2 (a + b) > c$, для рівноважних – $1/2 (a + b) \approx c$, а для депресивних – $1/2 (a + b) < c$.

Порівняно з аналізом вікового складу популяцій аналіз їх віталітетної структури має свої особливості й переваги. По-перше, віталітетний аналіз виявляє первинні зміни в стані особин і популяцій, які передують змінам їхнього вікового стану і тим більше генотипу. По-друге, він найбільш чутливий при виявленні особливостей еколого-ценотичної обстановки, тому що життєвий стан при її змінах змінюється в першу чергу. По-третє, дає

оцінку особин і популяцій у момент дослідження, тоді як вікові спектри відбивають уже минулі впливи на популяцію. І по-четверте, придатний для аналізу як одновікових, так і різновікових популяцій. Провідні екологи сучасності *Б.М. Міркін* і *Л.Г. Наумова* (1998) так оцінили віталітетний аналіз, порівнюючи його з аналізом вікових спектрів: «віталітетний підхід... реалізується простіше і часто дає не менше інформації, ніж онтогенетичний підхід. При цьому він більш прагматичний, тому що дослідник позбавлений необхідності суб'єктивних домислів про вік рослин за їхнім зовнішнім виглядом».

6.9. ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ

Спеціалісти в галузі екології вкладають у поняття динаміки популяції різний зміст. Дійсно, це дуже емне поняття. Динамічний популяційний процес включає в себе кілька відносно самостійних явищ: зміна розмірів території, яку займає популяція, зміна густоти особин у межах популяційного поля, межі при цьому можуть залишатися попередніми, і, нарешті, зміна розмірів запасу фітомаси в розрахунку на одиницю площі внаслідок трансформації стану особин, що входять до популяції. Якщо все ж таки динаміку популяцій розуміти тільки як зміну чисельності особин, то трансформація властивостей особин, зміщення співвідношення між різними їхніми групами і особливо функціонування популяції будуть тоді виступати як механізми, що забезпечують динаміку чисельності. Коливання чисельності особин у популяціях, що є типовими для багатьох рослин та тварин, називаються флуктуаціями.

Загальний хід зміни чисельності особин у популяції визначається рівнянням:

$$N_{t+1} = N_t + B - D + I - E,$$

де N – чисельність особин у популяції, B – народжуваність, D – смертність, I – імміграція, E – еміграція, t – час.

Розміри популяції можуть зростати або за рахунок високої народжуваності, або за рахунок високої імміграції, або за рахунок поєднання обох цих факторів. Знижує розмір популяції смертність та еміграція особин за її межі.

Народжуваність – це кількість нових особин, які з'являються в популяції за певний період часу в розрахунку на одну особину. Для порівняльної характеристики народжуваності використовують особливий показник – питому народжуваність, яку обчислюють як кількість новонароджених особин, що віднесена

до початкового розміру популяції. Величина народжуваності суттєво змінюється в різних біологічних видах. Наприклад, в оселедця одна особина відкладає до 50 тис. ікринок, а в акул – тільки декілька штук. Звичайно народжуваність пов'язана з наявністю турботи про потомство. Якщо така турбота є, то народжуваність нижча. Широко варіює цей показник у рослин. Орхідні продукують до мільйона насінин, але вони пилоподібні й не мають добре диференційованого зародку. А в деяких видів пальм за рік утворюється всього кілька плодів, але кожний із них важить більше кілограма, вони мають великий зародок та значний запас поживних речовин. Природний добір спрямований не на звичайне збільшення плодовитості, а на таке співвідношення плодовитості з характером зачатків розмноження, яке забезпечує найбільшу життєздатність потомства.

Рівень народжуваності помітно змінюється протягом років. Добре відомі цикли плодоношення яблунь. У дрібних гризунів (лемінги, миші) спалахи високої народжуваності відбуваються один раз на 3–4 роки, їм відповідають і спалахи народжуваності в популяціях хижаків – лисиць, песців, сов. У сарни піки народжуваності спостерігаються в середньому один раз на 40 років.

Смертність особин у популяціях ще недостатньо вивчена. Одні фахівці гадають, що старіння і смерть особин генетично запрограмовані та мало залежать від умов існування організмів. Інші вчені вважають, що будь-який організм потенційно безсмертний. Старіння та смерть є наслідком накопичення метаболітів, псування мембран та інших процесів, які мають обов'язковий характер. Однак у кожного організму є свої межі біологічного життя. Вимирання особин у популяціях може спостерігатися на різних фазах розвитку особини. Закономірним є вимирання найбільш старих, але пік смертності припадає на молоді особини. Майже у всіх рослин найбільша кількість смертей припадає на фазу проростання насіння, у тварин – на фазу молодняку.

За величиною смертності особин у різні періоди їхнього життя будують так звані криві виживаності, що показують, на який період припадає найбільша смертність особин. Виділяють три основні типи кривих виживаності (рис. 6.5). Перший тип кривих виживаності спостерігається у разі однакового розміру смертності в будь-якому

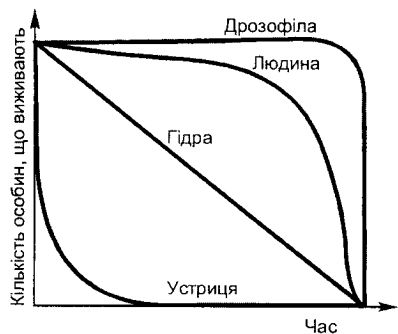


Рис. 6.5. Різні типи кривих виживаності

віці організму, він описується монотонно падаючою кривою і спостерігається в популяції, що живуть у сприятливих умовах (наприклад, гідра). Другий тип кривих виживаності відрізняється високою смертністю молодих особин на перших фазах їхнього життя. Але особи, що вижили, вже існують за природної смерті. Цей тип кривих виживаності характерний для більшості рослин і тварин (наприклад, устриця). Третій тип кривих виживаності властивий організмам, в яких пік смертності припадає на старі особини. Такі криві властиві деяким комахам (наприклад, дрозозфілам), спостерігається він і в популяціях людини.

Звичайно, реальний тип виживаності того чи іншого виду організмів не зводиться до одного з основних типів – виживаність для кожного організму є суворо індивідуальною, як це можна бачити з кривих виживаності, наведених на *рис. 6.6*.

Динаміка зміни чисельності особин в популяціях може мати різноманітний характер. Якийсь час ріст популяції може бути експоненціальним, але більш реалістичні моделі сигмоїдного росту або j-подібного. Ріст популяцій відповідно до сигмоїдних кривих найчастіше спостерігається в популяціях бактерій та дріжджів. Він може бути описаний рівнянням:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{rN(K - N)}{K},$$

де dN/dt – швидкість зміни чисельності особин у популяції в часі, r – природжена швидкість росту популяції, що визначається біологічними особливостями виду. Високі значення r вказують на високу швидкість розмноження. K – ємність середовища щодо даної популяції, вона чисельно може бути рівною максимально можливій у даних умовах кількості особин у популяції.

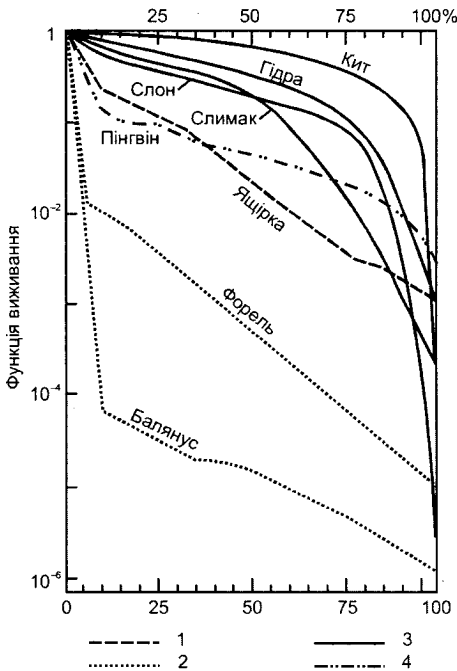


Рис. 6.6. Основні типи кривих виживання організмів різних видів: 1 – постійна смертність у будь-якому віці; 2 – найбільша смертність на початку життя; 3 – найбільша смертність у кінці життя; 4 – переважаюча смертність в перші і останні роки життя (за даними В.П. Кучерявого, 2000)

Стан популяції при її сигмоїдному рості залежить від співвідношення параметрів N та K . Якщо $N > K$, швидкість росту популяції стає від'ємною величиною і кількість особин у ній зменшується. При $N < K$ швидкість росту популяції додатна і кількість особин у ній прогресивно зростає. При $N = K$ розміри популяції стабільні.

Криві j -подібного росту популяції описуються рівнянням

$$\frac{dN}{dt} = rN .$$

У цьому випадку при додатних значеннях популяція зростає експоненційно, а при від'ємному значенні – кількість особин у ній зменшується. Ріст популяцій за j -подібною кривою іноді називають ростом типу «бум/крах». Дійсно, у цьому разі зростання кількості особин у популяції відбувається швидко, але потім у момент виснаження ресурсів починається різкий спад. У цього типу росту немає положення стабілізації чисельності особин у популяції.

Є два основні *варіанти росту* популяції: *незалежний та залежний від густоти*. У першому варіанті кількість особин у популяції зростає незалежно від густоти популяції, у другому – відтворення має зворотний зв'язок: чим більша густина популяції, тим нижча народжуваність. За певної порогової величини показника густоти народжуваність дорівнює смертності, і кількість особин у такій популяції стабілізується.

Задля *стійкого існування* популяції оптимальною є *певна специфічна* для даного біологічного виду і типу середовища *густина*. При розрідженому заселенні популяційного поля ускладнюються зустрічі партнерів по розмноженню, територію важко оберігати від вторгнення конкуруючих особин. Перенаселення, навпаки, створює дефіцит поживних речовин, а у тварин викликає стреси та досить часті сутички між особинами. Перенаселення настільки несприятливе, що в процесі еволюції виробилося багато різних механізмів його запобігання.

6.10. ПОПУЛЯЦІЯ ЯК ОБ'ЄКТ ВИКОРИСТАННЯ, МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ

При всіх видах використання природних ресурсів – лікарських, сировинних, рибних, мисливських і т.п. – об'єктом діяльності людини виявляються, у першу чергу, популяції рослин та тварин. В усіх таких випадках використання спирається на здатність природних популяцій до автономної регуляції чисельності.

Після вилучення з популяції тієї чи іншої частини особин, їхня чисельність у популяції поступово відновлюється. Більш того, помічено, що в багатьох випадках вилучення з популяції деякої кількості особин веде до збільшення потенціалу її відтворювання. А.В. Яблоков (1987) підкреслював, що визначення меж відведення особин та біомаси з популяції є центральним завданням природокористування.

Популяція як елементарна біосферна одиниця життя є першим акцептором, який сприймає всю різноманітність порушень, які вносить у навколишнє середовище діяльність людини. Якщо антропогенна діяльність навіть і не спрямована прямо на ту чи іншу популяцію, остання опосередковано сприймає такі дії. Оцінка порогу стійкості популяцій до таких опосередкованих впливів – це теж важливе прикладне завдання.

Перевищення порогів використання популяцій завжди загрожує серйозними наслідками. Найбільш яскравим прикладом є вісім популяцій атлантичного оселедця, що знаходиться в акваторії Північно-Західної Атлантики. У 1975 році спеціалісти виявили критичне зниження чисельності особин та потенціалу відтворення оселедців у цих популяціях. Проте масовий промисел не був припинений. У результаті до початку 1980-х років чисельність оселедців у цих популяціях знизилася настільки, що їх промисловий вилов став нерентабельним. Підірвані колись популяції атлантичного оселедця до цього часу не відновили свою базову чисельність, і людство втратило досить важливий ресурс харчів.

Популяція живих організмів практично завжди виступає як базова одиниця використання та управління. Крім чисельності особин, стійкість популяцій в умовах користування визначається і рядом інших параметрів – статеву, віковою та розмірною, просторовою структурою та ін. При постійному спостереженні (моніторингу) за популяційними параметрами та контролі за величиною вилучення з популяції особин популяції можуть існувати і зберігати свої корисні властивості необмежено довгий час.

Управління чисельністю особин у популяціях є актуальним і для видів рослин і тварин, які називаються шкідниками. Еколого-популяційний підхід повністю виключає таке поняття, як знищення популяції, або, ще більше, біологічного виду як шкідливого для людини. Замість цього зусилля мають бути спрямовані на знаходження таких порогів чисельності популяції, за яких вони б стійко існували в природних або штучних біоценозах, але не завдавали економічно помітних збитків людині.

У наш час десятки тисяч видів рослин та тварин потребують охорони. При біомоніторингу опора на популяційні параметри

стає найбільш надійним засобом отримання широкої інформації про стан видів рослин і тварин у різних екосистемах.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення популяції та назвіть критерії виділення популяцій.
2. Поясніть відмінність між біотопом популяції та екологічною нішею.
3. У чому полягає відмінність між фундаментальною та реалізованою екологічними нішами?
4. Які механізми забезпечують репродуктивний потенціал популяцій?
5. Як хижаки впливають на чисельність особин у популяції жертви?
6. Поясніть причини досить стабільної чисельності популяцій рослин і тварин у природних екосистемах.
7. Розкрийте відмінність понять «чисельність» та «густота».
8. Назвіть головні структури популяцій (статева, вікова та розмірна).
9. Розкрийте суть поняття генетичного поліморфізму.

Питання для обговорення

1. На чому побудований метод біологічної боротьби зі шкідниками сільського господарства? Наведіть приклади.
2. Розгляньте можливі причини спалахів чисельності в популяціях рослин та тварин. Зіставте їх з демографічним спалахом чисельності населення Землі в кінці ХХ століття.
3. Проаналізуйте проблему «надмірної чисельності» тих чи інших видів рослин та тварин. Сформулюйте своє ставлення до неї.

7.1. АВТОТРОФНЕ ТА ГЕТЕРОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ

Усе живе виникає в результаті біопродукційного процесу та є наслідком життєдіяльності організмів: живлення та розмноження рослин, тварин або мікроорганізмів. Завдяки біопродукційному процесу існують екосистеми та біосфера Землі. При багатьох рисах подібності живі організми несхожі за способами створення органічної речовини та джерел отримання сировини та енергії, що необхідні для цього процесу.

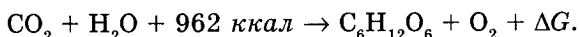
У світі живих істот (за всього їх різноманіття) реалізується два основні докорінно різні типи живлення – *автотрофне та гетеротрофне*. Організми з автотрофним типом живлення використовують для побудови свого тіла неорганічні речовини, перетворюючи їх в органічні сполуки за рахунок зовнішніх джерел енергії. Організми з гетеротрофним живленням не здатні до самостійного синтезу органічних речовин, вони отримують їх у готовому вигляді. Гетеротрофи тільки перетворюють їх у специфічні органічні речовини свого тіла.

У суто хімічному плані автотрофне живлення полягає в утворенні великих молекул органічних сполук з окремих атомів хімічних елементів або простих молекул неорганічних сполук. Так, наприклад, зелені рослини в ході процесу живлення з ізольованих атомів вуглекислого газу CO_2 та іонів мінеральних речовин (NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , PO_4^{3-} та ін.) утворюють макромолекули органічних речовин. Таким чином, автотрофне живлення – це немов процес агрегування атомів у макромолекули, з яких складається жива речовина. Він вимагає обов'язкового притоку енергії. Без нього автотрофне живлення неможливе.

У живих організмів з *автотрофним* живленням у процесі еволюції виробилися два біохімічні механізми, які здатні забезпечувати їх енергією, – *фотосинтез* та *хемосинтез*.

Фотосинтез – це процес утворення органічних речовин за рахунок використання енергії сонячної радіації. У фотосинтезуючих організмів для поглинання сонячної радіації сформувався комплекс пігментів, головним серед яких є хлорофіл. Хлорофіл має здатність поглинати кванти сонячної енергії та направляти їх на синтез органічної речовини. Хлорофіл має зелений колір, і тому вся група живих організмів, що мають хлорофіл, складають світ зелених рослин. Усі зелені рослини є автотрофами, і всі вони використовують енергію сонячного світла для забезпечення свого живлення.

Принципова схема фотосинтезу наведена на *рис. 7.1*. Цей процес може бути виражений сумарним хімічним рівнянням



Процес фотосинтезу веде до накопичення вільної енергії ΔG у кількості 470 кДж/моль.

При фотосинтезі не тільки утворюються органічні речовини, а й відбувається виділення кисню. Спеціалісти з геохімії встановили, що первинна атмосфера нашої планети мала відновлювальний характер. До її складу входили азот, окис вуглецю, водень та інші гази. Вільний кисень у ній був зовсім відсутній. Надходження кисню до атмосфери Землі почалося тільки з моменту виникнення (це відбулося приблизно 3 млрд. років тому) зелених автотрофних рослин, які проводили фотосинтез. За час існування зелених рослин в атмосфері накопичилося 20,95% кисню.

Хемосинтез – це також процес утворення органічних речовин, але в цьому випадку як джерело енергії використовуються деякі типи хімічних реакцій, при яких виділяється енергія. Хемосинтез здійснюють лише мікроорганізми. Він був відкритий в 1887–1890-х роках *С.М. Виноградським*. Як джерело енергії хемотрофи використовують прості неорганічні сполуки сірки, заліза

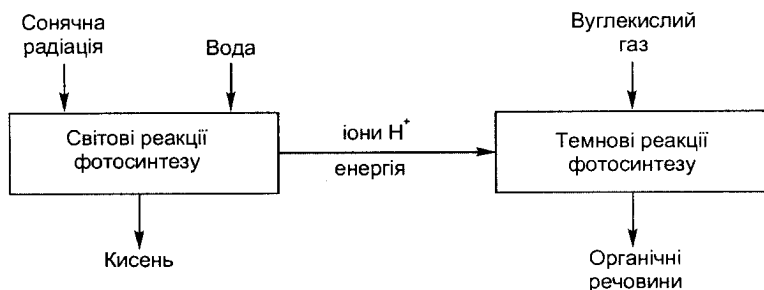
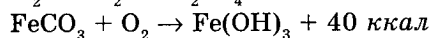
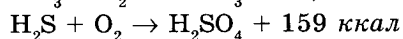


Рис. 7.1. Схема процесу фотосинтезу у зелених автотрофних рослин

або азоту, які при окисненні дають вільну енергію. Процес отримання енергії при хемосинтезі відбувається за такими схемами:



Відповідно мікроорганізми, які використовують ту чи іншу з цих трьох екзотермічних реакцій, називаються *азотобактеріями*, *сіркобактеріями* або *залізобактеріями*.

Гетеротрофне живлення принципово відрізняється від автотрофного тим, що організми, які реалізують його, будують своє тіло з готових органічних сполук. Енергію, необхідну для засвоєння та перетворення цих речовин, вони отримують за рахунок окиснення цих же органічних сполук. За таких обставин біопродукційний процес гетеротрофних організмів не веде до збільшення живої речовини на Землі. Він тільки збільшує різноманіття форм живої матерії.

7.2. ОСОБЛИВОСТІ ЖИВЛЕННЯ МІКРООРГАНІЗМІВ, РОСЛИН, ТВАРИН І ЛЮДИНИ

Основних типів живлення у світі живих організмів тільки два – автотрофне та гетеротрофне. Але форми їх здійснення в рослин, тварин та мікроорганізмів досить різноманітні. Сам по собі біопродукційний процес відбувається тільки на рівні особин. Але на нього суттєво впливає організація популяцій та екосистем, до складу яких входять ці організми.

Автотрофне живлення за формами його реалізації порівняно однорідне. Усі зелені рослини користуються одними й тими ж ресурсами при фотосинтезі. Зате форм та видів гетеротрофного живлення безліч.

Перш за все слід виділити гетеротрофні мікроорганізми, яким властиве поглинання органічних речовин шляхом їхнього всмоктування через усю поверхню свого тіла. Частина таких мікроорганізмів використовують органічні речовини вже відмерлих рослин та тварин. Це *сапрофіти*. Інші види вилучають потрібні їм органічні речовини прямо з тіл ще живих рослин та тварин, їх називають *паразитами*. Типові гетеротрофи – гриби. Вони можуть бути як сапрофітними (мукор та інші цвілеві гриби), так і паразитами (іржасті грибки, головня). Серед вищих рослин гетеротрофів не так уже й багато. Як усі гетеротрофні організми, такі вищі рослини виділяються своїм незеленим забарвленням. Деякі гетеротрофні вищі рослини живляться сапрофітно, інші

паразитично. Серед останніх як небезпечні засмічувачі посівів культурних рослин важливе значення мають багато видів бур'янів паразитів і напівпаразитів (вовчок, повитиця, дзвінець та ін.).

Усі тварини гетеротрофні. Як правило, на відміну від гетеротрофних мікроорганізмів та рослин, тварини поглинають готову органічну речовину не шляхом усмоктування, а у «твердому» стані. Як орган поглинання їжі тут сформувався ротовий отвір, який у різних видів може мати різну будову.

Усім тваринам характерна спеціалізація, спрямована на використання певного виду їжі. Ще *Ч. Дарвін* помітив, що дощові черв'яки використовують в їжу тільки листки рослин із певним хімічним складом. В Австралії коала – сумчастий ведмідь харчується листками евкаліптів тільки певних видів. Але більшість видів тварин мають більш широкий асортимент кормів, хоча при можливості вибору перевагу віддають якомусь одному виду корму. Тому *А.А. Шмальгаузен* (1952) поділяв їжу на основну, якій віддається перевага, заміну та випадкову. Невибіркове харчування властиве тільки нижчим гетеротрофам, які всмоктують їжу поверхнею тіла. Однак низька вибірковість трапляється й у вищих форм тварин. Так, наприклад, живляться кити, захоплюючи ротом усі організми, які входять до складу планктону.

Серед тварин-гетеротрофів чимало травоядних форм – *фітофагів*, які живляться лише рослинами для задоволення своїх потреб в органічних речовинах та енергії. Інші тварини є хижакми, їхня їжа – це інші живі тварини. Треті вживають тільки мертвих тварин. Певна частина тварин всеїдна: до складу їхньої їжі входять як рослини, так і тваринні компоненти.

За типами живлення всіх тварин поділяють на три групи. *Стенофагами* називають тварин, що живляться їжею тільки певного виду, *олігофаги* можуть використовувати 2–3 види їжі, а *еврифаги*, або *поліфаги*, – мають досить широкий неспеціалізований асортимент їжі. Наприклад, стенофагом є колорадський жук – він використовує в їжу рослини тільки з родини пасльонових. Граки та ворони в умовах міста є поліфагами, використовуючи в їжу майже все, що можна з'їсти. За великого видового різноманіття тварин та широкої амплітуди способів їх живлення всі вони мають спільну екологічну рису: їх живлення як гетеротрофів залежить від наявності готових органічних речовин.

У ході еволюції процесу живлення відбулися численні *адаптивні пристосування форм живлення* до конкретних умов існування даного виду рослини або тварини. Вони спрямовані на підвищення ефективності біопродукційного процесу. Так, у рослин виробилися численні пристосування до більш повного засвоєння енергії сонячного світла. Основним органом фотосинтезу став листок. За своїм зовнішнім виглядом він набув форми

високоспецифічного плоского екрану, коли за мінімальних витрат органічної речовини на побудову самого листка він має максимальну зовнішню поверхню, що забезпечує найбільш повне поглинання світла та засвоєння вуглекислого газу з повітря. Унаслідок приблизно однакової освітленості та концентрації вуглекислого газу в повітрі в різних місцях рослини залишилися нерухомими та у взаємній боротьбі за оптимізацію біопродукційного процесу змінюють тільки форму росту.

Гетеротрофне живлення тварин пов'язане зі швидким «виданням» їжі в безпосередній близькості від даної особини. Загроза загибелі від голоду в таких умовах сприяла виробленню активної рухомості, що дозволяє знаходити та наздоганяти свою здобич. У тварин сильно виражений так званий тиск добору, спрямований на збільшення ефективності здобування та споживання їжі. Адже, чим нижча ефективність цього процесу, тим менше часу та енергії у тварин залишається на розмноження та інші життєві функції. Тому для тварин важливим показником пристосованості до середовища є сумарний час, що витрачається на харчування. Якщо за деяких умов цей час стає досить тривалим, то вид просто випадає з даної екосистеми. Критерієм життєздатності тварин є, таким чином, не формальна наявність трофічних ресурсів, а їхня доступність.

Різні види тварин мають неоднакову ефективність перетравлювання їжі. У копитних, наприклад, засвоєння їжі відбувається приблизно тільки на 40–70%. Дрібні гризуни засвоюють їжу на 90–95%, а в нутрії цей показник, за оцінкою *В.Д. Абатурова* (1987), досягає 99%. Очевидно, що висока ефективність засвоєння їжі досить вигідна. Чим вона вища, тим менший загальний обсяг споживаної їжі та менші витрати часу на її здобування.

Ефективність використання їжі в деяких тварин підвищує повторне використання кормів. Це явище називають *копрофагією*. Проявляється копрофагія в поїданні тваринами своїх фекалій. На такому поїданні екскрементів спеціалізується досить велика група комах (деякі види мух, жуки-гнояки та ін.). Їхній біопродукційний процес прямо залежить від наявності в екосистемах достатньої кількості фекалій.

У процесі еволюції в ряду рослиноїдних ссавців (зайці та деякі інші гризуни) виробилася здатність поїдати свої власні фекалії. Така автокопрофагія забезпечує повторне пропускання їжі через травну систему і тим самим збільшує ефективність перетравлювання та засвоєння їжі. За даними *М.П. Наумова* (1965), у кролів, яким властива автокопрофагія, їхні первинні фекалії, що називаються м'якими екскрементами, вміщують 28,5% білків. А після повторного поїдання екскрементів вторинні фекалії (тверді екскременти) вміщують тільки 9,2% білків.

Варіації способів живлення в різних видів тварин досить різноманітні. Велике екологічне значення має здатність багатьох видів тварин змінювати свій тип харчування. Так, комахи, личинки яких є хижаками, у дорослому стані стають фітофагами. Шпаки весною поїдають комах та вигодовують ними своїх пташенят, але потім переходять в основному на рослинну їжу, поїдаючи, головним чином, різноманітне насіння та плоди. Комахами вигодовують своїх пташенят взагалі багато видів типових зерноїдних птахів: куріпки, зяблики та ін. Навіть представники різної статі можуть мати різний склад кормів. Відомо, що серед комарів паразитами-кровососами є тільки самки, а самці – фітофаги. У ляща самки та самці, живучи поряд, використовують в їжу різні види зоо- та фітопланктону.

Дуже важливу роль у формуванні екосистем відіграє партнерство в живленні. Випадки партнерства в живленні незлічені. Вищі зелені рослини дуже часто вступають при живленні в партнерство з ґрунтовими мікроорганізмами. Ґрунтові гриби, оплітаючи корені рослин або навіть проникаючи в їхні тканини, полегшують тим самим поглинання коренями мінеральних елементів та води. Гриби отримують від рослин необхідні їм органічні речовини. Загальновідоме співіснування бобових рослин з азотфіксуючими мікроорганізмами ґрунту, які утворюють бульбашки на їхніх коренях. Рослина-хазяїн у такому випадку підгодовує свого співмешканця органічними речовинами, а від нього отримує азотні сполуки, на які бульбашкові бактерії дуже багаті, завдяки своїй здатності зв'язувати вільний азот повітря, що недоступний вищим рослинам. Взаємними «інтересами» пов'язані багато видів квіткових рослин та їхніх запилювачів – комахи, деякі види птахів та іноді кажани. Запилювачі використовують в їжу пилок та нектар і одночасно здійснюють дуже важливий для рослин процес перенесення пилку з однієї квітки на іншу.

Однією з екологічно суттєвих форм партнерства живлення є підготовка їжі одним видом іншому. Це добре виражено у ґрунтових сапрофітних мікроорганізмів. Утилізація органічної речовини опаду рослин відбувається внаслідок послідовності роботи ряду мікроорганізмів, які здійснюють поетапну мінералізацію.

У рослиноїдних тварин важливою формою партнерства в живленні, що впливає на біопродукційний процес, є симбіоз із мікроорганізмами, які оселяються безпосередньо в їхній травній системі. Цією особливістю відрізняються ссавці та комахи-фітофаги. Симбіотична мікрофлора кишечника травоїдних ссавців не просто полегшує травлення, що само по собі є дуже важливим, а й додатково забезпечує організм тварини вітамінами, амінокислотами та іншими біологічно активними речовинами. Мікрофлора кишечника – це ще й надійний захист від патогенних

мікроорганізмів. За нормальних умов вона їх швидко пригнічує, не дає можливості для масового розмноження та появи захворювання. З цієї причини небезперечним виявилось розпочате в 1960-ті роки широке застосування антибіотиків як добавок до корму сільськогосподарських тварин. Вони дійсно сприяли збільшенню ваги, але водночас, знищуючи корисну мікрофлору кишечнику, робили тварин вразливими до різного роду інфекцій. Додавання антибіотиків до кормів сприяє появі нових штамів мікроорганізмів, стійких до них. Тому в ряді країн Західної Європи та в Китаї використання антибіотиків при вигодовуванні сільськогосподарських тварин заборонено.

Б.М. Міркін (1995) особливо підкреслював, що в природних екосистемах існує мовби система «договорів», завдяки яким трофічні ресурси, як правило, не видаються повністю. Кочове стадо диких оленів ніколи повністю не знищує травостій пасовища. Вовки та інші хижакі вилучають зі стада хворих та ослаблених тварин, але поголовно не знищують здобич. Це один із видів забезпечення стійкості взаємного існування організмів із різними типами живлення в одному й тому ж біотипі. Раніше вважали, що у тварин основним фактором величини біопродукції є доступність кормів. Останні дослідження екологів показали, що це не так і на перше місце за важливістю треба ставити якість їжі. У це поняття входить калорійність їжі, кількість та співвідношення в ній білків, жирів та вуглеводів, наявність незамінних амінокислот та вітамінів і т.п.

Розглянутий матеріал про особливості біопродукційного процесу, який лежить в основі життєдіяльності усіх живих організмів, показує, що збіднення живої природи на кінець нашого століття далеко не завжди є результатом прямого знищення людиною того чи іншого виду живого організму. Частіше вимирання або скорочення чисельності рослин або тварин є результатом порушення людиною тих тонких зв'язків у живленні, до яких вони пристосувалися. Так, в Україні вже давно заборонено відстрілювати хижих птахів (соколів, шулік та ін.), але вони все одно стають все більш рідкісними. Це є результатом знищення людиною їхньої природної кормової бази – зайців, куріпок, тетеруків. На острові Маврикій в Індійському океані нелітаючий голуб додо був єдиним розповсюджувачем насіння дерева кальварія. Повне знищення додо людиною призвело до різкого зниження чисельності рослин кальварії, і зараз її розводять тільки штучно. Насіння ряду лісових рослин України (фіалки, гусяча цибулька, ряс та ін.) розносяться мурахами, які збирають це насіння заради особливого приладку на них, багатого на поживні речовини. Знищення мурашників, як було показано, веде до скорочення чисельності цих рослин. Ляц в Азовському морі

живиться майже тільки рачком *Hypariola Kowalewskii*. Скорочення чисельності цього рачка, який дуже чутливий до забруднення води, призвело до зменшення вилову лящів.

Людина за типом харчування є гетеротрофною. За формами харчування вона займає проміжне положення між фітофагами та м'ясоїдними організмами. До їжі сучасної людини входять і рослинні, і тваринні продукти. Сам процес перетравлювання їжі має симбіотичний характер. У кишечнику людини живе 400–500 видів корисних мікроорганізмів, які забезпечують перетравлювання клітковини та інших продуктів харчування. Важливою особливістю харчування, що відрізняє людину від тварин, є попередня підготовка їжі до споживання різними видами кулінарної обробки.

Формально ефективність харчування в людини досить висока: на процес харчування витрачається всього 1 година на добу. Але тут час перестає бути критерієм ефективності харчування, адже людина витрачає на добу 6–8 годин на те, щоб заробити гроші, необхідні для купівлі продуктів харчування.

Людині важлива якість їжі не менше, ніж тваринам. Дефіцит в їжі будь-якого одного, але важливого компоненту не тільки погіршує здоров'я, але й веде до серйозних захворювань. Загальновідомо, що дефіцит йоду в їжі, що є характерним для деяких регіонів, сприяє розвитку так званого ендемічного вола – захворювання щитовидної залози.

Склад їжі людини певною мірою залежить від національних традицій та кліматичного регіону, де вона проживає. Для населення прибережних районів Північного Льодовитого океану, наприклад, характерне використання в їжу переважно м'яса та риби. У ряді тропічних країн і до цього часу основу раціону складають рослинні продукти – фрукти та овочі. Але сучасне населення більшості регіонів Землі все більше відходить від традиційних національних типів харчування і використовує змішану дієту з м'яса, риби, овочів та фруктів. Вуглеводистий компонент їжі представлений переважно хлібом або рисом. Національні особливості їжі зберігаються лише в способах її приготування та застосування різних приправ.

7.3. ПРОДУКЦІЙНИЙ ПРОЦЕС. ПРОДУЦЕНТИ, КОНСУМЕНТИ І РЕДУЦЕНТИ

Усі екологічні системи – від екосистем до біосфери – відрізняються наявністю живої речовини. Постійна присутність живої матерії в екосистемах забезпечується безперервним процесом оновлення живої речовини, її синтезом. Процес продукування

живої речовини, що здійснюється в ході живлення, є центральною екосистемною функцією життя, її прийнято називати *біологічною продуктивністю*. У біологічній продуктивності беруть участь усі живі організми, і цим вони здійснюють свій внесок у підтримку існування біосфери.

Мірою біологічної продуктивності служить величина продукції біомаси, яка створюється за одиницю часу, віднесеної до одиниці площі або об'єму простору (м^3 та м^2).

В екології розрізняють первинну та вторинну продукцію. Первинна продукція – це частина живої речовини, яка створюється завдяки діяльності організмів з автотрофним типом живлення. У межах первинної продукції розрізняють валову та чисту продукцію. Валовою продукцією називають масу органічної речовини, яка утворюється при фотосинтезі або хемосинтезі. Але, природно, якась частина первинної продукції витрачається на дихання. Залишок органічних речовин після цих витрат і становить чисту продукцію. Різниця між валовою та чистою продукцією досить велика, чиста продукція складає 40–80% валової продукції. Для екології основне значення має чиста продукція і тому, оцінюючи біопродукційний процес, звичайно мають на увазі саме чисту продукцію,

Вторинна продукція складається з органічних речовин, які утворюються при гетеротрофному типі харчування. Вторинна продукція завжди нижча, ніж первинна, оскільки, по-перше, не вся первинна продукція з'їдається гетеротрофними організмами, частина її накопичується у ґрунті у формі гумусу (до речі, кам'яне вугілля – це також залишок мінералізованої біомаси, яка створена автотрофними організмами), і, по-друге, гетеротрофи не можуть забезпечити 100% перетворення первинної продукції у вторинну.

Загальна біологічна продукція на планеті не перевищує 0,3–0,5 $\text{кг}/\text{м}^2$ за рік унаслідок того, що на Землі переважають території з низькою продуктивністю (пустелі, океани).

У сукупності жива речовина всіх автотрофних і гетеротрофних організмів складає біомасу. Загальна структура біомаси представлена в *табл. 7.1*.

Можна говорити про біомасу окремого організму або про біомасу того чи іншого виду рослини чи тварини. Біомасу вимірюють в одиницях маси (сухого залишку) на одиницю поверхні, тобто у вигляді $\text{кг}/\text{м}^2$, $\text{ц}/\text{га}$, $\text{т}/\text{км}^2$ і т.п. У зв'язку з тим, що біомаса формується в результаті процесу живлення, спорідненого зі зв'язуванням енергії, для оцінки розміру біомаси придатні й енергетичні одиниці (джоулі, калорії та ін.). Ця енергетична форма вираження має дві переваги. Вона показує, наскільки енергетично ефективними були процеси утворення біологічної маси

Таблиця 7.1. Загальна структура біомаси Землі

Середовище	Групи організмів	Маса, 10^{12} т	Частка, %
Континенти	Рослини	2,4	99,2
	Гетеротрофні організми	0,02	0,8
	Разом	2,42	100
Океани	Рослини	0,0002	6,3
	Гетеротрофні організми	0,003	93,7
	Разом	0,0032	100
Біосфера в цілому	Рослини	2,4002	99,0
	Гетеротрофні організми	0,0232	1,0
	Разом	2,4232	100

даного виду, а також дозволяють об'єктивно порівнювати організми або екосистеми, в яких біомаса має різний хімічний склад.

Оцінка розміру продукції та запасів біомаси в масштабах земної кулі в цілому – досить важка справа. Загальна її методика ще не розроблена, і дані різних авторів відрізняються. Сумарна біомаса всієї біосфери Землі в середньому оцінюється в $1,8 \times 10^{18}$ г або 30×10^{21} Дж. Первинна продукція земної кулі досягає 100 млрд. т/рік. За даними В.А. Ковди (1973), загальна біомаса суходолу дорівнює 3×10^{12} – 1×10^{13} тонн. На суходолі основний внесок роблять ліси. У тропічних лісах чиста первинна продукція досягає 2 016, а в лісах помірної зони – 1 242 г/м²/рік. Океани мають низьку первинну продукцію, що пов'язано, головним чином, із нестачею поживних речовин для рослин. На долю океанів та морських акваторій припадає 55×10^9 тонн сухої біомаси.

У природному середовищі всі живі організми мешкають поряд. Співіснуючі рослини та тварини звичайно мають різні типи та способи живлення. Але для певних груп, що проживають разом, базовий тип живлення є однаковим. У цьому випадку й роль цих організмів в екосистемі є також однаковою. Так, наприклад, у лісі ростуть і великі дуби, і ліани, і трави, і мохи. Конкретні механізми оптимізації фотосинтезу в них різні, але роль в екосистемі ідентична: усі вони мають автотрофне живлення та здійснюють первинний синтез органічних речовин. У цьому зв'язку з урахуванням основної екосистемної функції живі організми об'єднуються в три важливі групи: продуценти, консументи та редуценти. Групу консументів поділяють на кілька підгруп: первинні, вторинні і т.д.

Продуценти – це всі організми з автотрофним живленням. Як компоненти екосистеми вони синтезують органічну речовину та накопичують рослинну біомасу. Унаслідок цього при вирішенні суто екологічних проблем іноді неважливо, до якого

Таблиця 7.2. Типи та способи живлення організмів різних трофічних рівнів

Трофічний рівень	Типи та способи живлення
Продуценти	Автотрофне живлення: фотосинтез та хемосинтез
Первинні консументи	Фітофагія, сапрофітизм, паразитизм, копрофагія
Вторинні консументи	Хижацтво, паразитизм
Редуценти	Сапрофіти: усмокування їжі

конкретного виду належить даний організм – він оцінюється лише за кількістю та якістю біомаси, яку продукує.

Первинними консументами називаються всі рослиноїдні організми, тобто всі фітофаги, їхня їжа – це рослинна біомаса. У процесі живлення вони перетворюють її в нову форму – в органічні речовини свого тіла. Корова, кріль, колорадський жук у цьому розумінні займають однакову екологічну позицію. Вони – первинні консументи.

Групу *вторинних консументів* складають усі м'ясоїдні організми, їжею їм служать фітофаги, тобто рослиноїдні організми. Основними представниками цієї екологічної групи є хижаки та тварини, що живляться мертвими організмами.

І, нарешті, *редуцентами* називають групу мікроорганізмів (але не лише їх), у ході трофічної діяльності яких органічна речовина руйнується та мінералізується. Так, у ґрунті різні дрібні черв'яки та личинки комах живляться органічними речовинами відмерлих частин рослин (опад) та відмерлими тваринами. Органічні речовини, проходячи через їхній травний шлях, сильно спрощуються та, у свою чергу, стають їжею для ґрунтових мікроорганізмів і грибів, які завершують деструкцію органічних речовин.

Розглянуті групи організмів, кожна з яких виконує свою екосистемну функцію, відповідно складають так звані трофічні рівні (табл. 7.2). У спеціальній екології дуже важливо знати, до якого трофічного рівня належить той чи інший організм. Це відразу визначає його екосистемну позицію.

7.4. ГЕНЕТИЧНІ ФАКТОРИ ПРОДУКТИВНОСТІ

У всіх живих організмів рівень біопродуктивності чітко зумовлений їхньою видовою належністю і, відповідно, контролюється генотипом. Генотип визначає й іншу властивість живих організмів, що впливає на планетарне накопичення біомаси, –

темпи розмноження. У результаті продукція, що створюється тим чи іншим живим організмом, залежить від двох факторів:

- 1) інтенсивності біопродукційного процесу;
- 2) темпів розмноження.

Обидва ці фактори мають генетичну зумовленість.

У тих випадках, коли рівень біопродукційного процесу досить високий, він визначає запаси біомаси, які створюються даним організмом. У мікроскопічних організмів при їх мікроскопічних розмірах тіла накопичення біомаси цілком визначається темпами розмноження. Окремі акти розмноження бактерій та інших мікроорганізмів у сприятливих умовах можуть відбуватися кожні 30–60 хвилин. Теоретично це може призвести до того, що вже протягом кількох років мікроорганізми могли б сформувати біомасу розміром із земну кулю. Однак цього не спостерігається, оскільки швидкість розмноження мікроорганізмів обмежена великою кількістю зовнішніх факторів і, перш за все, нестачею органічної речовини для живлення. Тому в сучасній біосфері Землі сумарна біомаса мікроорганізмів невелика. Найбільша її частина зосереджена у ґрунті. За підрахунками спеціалістів ґрунт містить 0,3 кг/м² бактерій, 0,3 – грибків, 0,15 – актиноміцетів.

У вищих зелених рослин (табл. 7.3) продукування біомаси коливається в дуже широких межах. Це пов'язано з розмірами їхнього тіла. Особини ряски, наприклад, мають масу всього в кілька грамів, а маса найбільшого на нашій планеті дерева секвої гігантської, що росте в Каліфорнії (США), становить приблизно 2 тис. тонн. У табл. 7.3 наведені також дані щодо чистої надземної продукції одного з видів грибів – шампінйонів. Вони показують, що в сприятливих умовах цей представник організмів

Таблиця 7.3. Чиста біологічна наземна продукція деяких видів рослин

Види	Чиста наземна продукція в т/га/рік
Вирощувані шампінйони	1100
Пенісетум	85
Цукрова тростина	63–67
Папірус	40–60
Кукурудза	20–30
Тополя	8,7–22,4
Рис	8–18
Береза	7,4–13,1
Пшениця	9–13
Жито	6–13
Ялина	3,2–11
Картопля	3
Суниці	1

Таблиця 7.4. Показники продуктивності (за рік) деяких тварин

Види продукції	Вироблена світова продукція в млн. тонн (чи шт.)
М'ясо сільськогосподарських тварин	76,9
Риба	42,4
Ракоподібні та молюски	4,8
Яйця	14,0
Молоко	354,9
Мед	0,23

із гетеротрофним живленням має надзвичайно високий потенціал продуктивності. У середньому в розрахунках на 1 га поверхні чиста надземна продукція зелених рослин варіює від 3 до 60 тонн/рік. Така ж велика варіація біомаси тіла й у тварин. Вона коливається від часток граму в найпростіших до кількох тонн у китів, кашалотів та слонів.

Табл. 7.4 містить приблизні відомості про виробництво деяких основних продуктів, що дають тварини, які розводяться людиною. Видно, що рівень продуктивності перш за все визначають генетичні особливості організму, його видова належність.

Дослідження селекціонерів та тисячолітній досвід ведення сільського господарства показали, що як у рослин, так і у тварин продукція дійсно контролюється генетично, але спеціального «гену врожайності» немає. Здатність до формування біомаси визначається генотипом у цілому. Незалежні набори генів впливають на морфологічні, фізіологічні та біохімічні параметри, що контролюють процес накопичення біомаси.

Світу живих істот властива загальна закономірність: чим більший розмір біомаси особи певного виду рослини чи тварини,

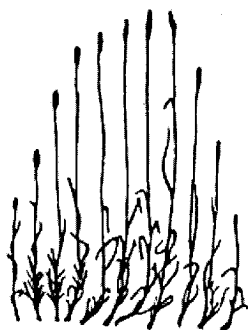


Рис. 7.2. Вплив рівня поліплоїдності на висоту рослин тимофіївки. Число наборів хромосом зростає зліва направо з 3 до 13. Найбільша висота рослин спостерігалася при кількості набору хромосом, що дорівнює 7.

тим нижчий темп розмноження та менша кількість потомства продукується за один акт репродукції. Природа немовби контролює продукційний процес, не допускаючи перевиробництва біомаси одного виду та сприяючи збільшенню біомаси різних видів.

Однак окремі рослини та тварини відрізняються високим рівнем біопродукції. Найчастіше це пов'язано з явищем поліплоїдії. *Поліплоїдія* – це природне чи штучне збільшення кількості хромосом в ядрах. Найбільш характерна вона для рослин, але спостерігається й у тварин, зокрема властива дощовим черв'якам. Особини поліплоїдів відрізняються великими розмірами і мають підвищену стійкість до несприятливих факторів (рис. 7.2). У сільському господарстві у зв'язку з цим ведеться цілеспрямована робота щодо створення поліплоїдів із максимальною продуктивністю. Підвищує біопродукцію і гібридизація.

Узагальнюючи викладений вище матеріал, варто підкреслити, що вимоги кожного з видів організмів до екологічних факторів високо специфічні. Ця твердо встановлена закономірність уперше була сформульована *Л.Г. Раменським* (1924) й отримала назву правила екологічної індивідуальності видів.

7.5. ЕКОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ПРОДУКТИВНОСТІ

Особливості навколишнього середовища і, в першу чергу, режим абіотичних факторів помітно впливають на процес синтезу органічної речовини автотрофними та гетеротрофними організмами.

Загальна зумовленість біопродукції екологічними факторами підпорядковується закону толерантності (рис. 7.3). Відповідно до цього закону в амплітуді дії того чи іншого фактору є зона

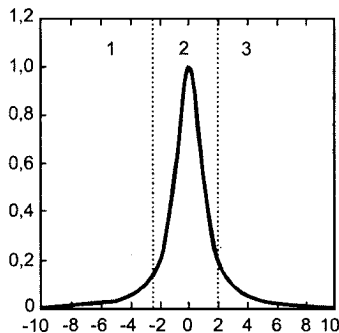


Рис. 7.3. Загальний вигляд кривої, що показує залежність розміру біопродукції живих організмів від екологічних факторів: 2 – зона оптимуму, 1 та 3 – зони песимуму.

оптимуму, у межах якої біопродукція максимальна, і дві зони песимуму, в області яких формування біопродуктивності гальмується або нестачею даного ресурсу, або його надлишком.

Сукупність ресурсів та умови, що сприяють можливості отримання біологічної продукції від живих організмів, розуміють як родючість природного угіддя. Розрізняють природну родючість як вихідну потенційну продуктивність угіддя, тобто ділянки суходолу або водойми, та економічну родючість як реальну кількість біологічної продукції, яку можна отримати від даного угіддя.

Природна родючість є базовою властивістю будь-якої природної екосистеми. Отримання продукції внаслідок природної родючості безвитратне. Витрати необхідні тільки для збору біомаси та її доставлення в потрібне місце. Економічна родючість – поняття більш складне. Воно визначається як співвідношення між одержаною біомасою та витратами матеріалів, енергії та праці на її отримання. Економічна родючість може бути від'ємною величиною, коли вартість сукупних витрат перевищує вартість біопродукції. При цьому «вартість» розуміється в грошовому вираженні, але можливе її вираження у формі енергетичних одиниць.

Ресурсами, необхідними для обміну речовин зелених рослин, є вуглекислий газ, вода, мінеральні речовини та сонячна енергія. У тварин головним є доступність та якість їжі, кисень та вода.

Температура. У зелених рослин температурний режим найчастіше виявляється критичним для продукційного процесу. Температура впливає майже на всі біологічні процеси рослин. Із підвищенням температури змінюється розчинність у клітинному соку різноманітних компонентів обміну речовин і, в тому числі, вуглекислого газу. У межах амплітуди температури від 0°C до 30°C підвищується активність майже всіх ферментів. У результаті при температурі 20–30°C фотосинтез має свій максимум. В усіх зелених рослинах підвищення температури від 0°C до 15°C веде до помітного зростання швидкості росту, з 15°C до 30°C вона майже постійна, а при температурі, більшій за 30°C, швидкість росту знижується. Метод «суми ефективних температур» в його різновидах широко застосовується в агрономії для оцінки умов росту та розвитку рослин.

Існує дві групи тварин – *теплокровні* та *холоднокровні*. У птахів та ссавців температура тіла постійна і підтримується обмінними процесами. Вони порівняно автономні щодо температурного режиму екотопу. У холоднокровних тварин такої автономності немає. Але навіть і теплокровні тварини реагують на температуру. Відомо, що як вівці (теплокровні), так і бджоли (холоднокровні організми) мають схильність збиватися в тісні групи при похолоданні. Інші види захищаються від похолодання шляхом міграцій в теплі регіони або впадають у зиму

сплячку. Завдяки теплокровності вищі тварини менше залежать від температури навколишнього середовища, і тому температурна зона поширення тварин ширша, ніж у рослин, їхня біопродукція не так тісно пов'язана з температурою, як у рослин.

Вода. Вода є важливим фактором біопродукційного процесу рослин та тварин. Рослинам потрібно дуже багато води для процесу фотосинтезу, вода в них не стільки ресурс живлення, скільки речовина, за допомогою якої регулюється температура тіла шляхом випаровування з поверхні листків досить великої кількості води.

Рослини використовують воду на випаровування дуже неекономно. Продуктивність транспірації, тобто співвідношення кількості утвореної за одиницю часу органічної речовини до кількості води, що витрачається на випаровування, складає у рослин величину порядку $1/200$ – $1/1000$. Іншими словами, на утворення 1 г органічної речовини витрачається в середньому 300–500 г води. Щодо цього суттєвим є контроль біопродукції вологістю ґрунту та відносною вологістю повітря.

На формування біопродукції рослин впливає не тільки режим опадів, але і їх форма. Для багаторічних рослин особливо важливе значення має сніг. Узимку в Північній півкулі випадає 13,5 млрд. тонн снігу. Але розподіляється він украй нерівномірно. Сніг – найкраща «ковдра» для озимих злаків та всіх багатолітніх рослин. Користь снігу полягає не лише в захисті рослин та їхніх кореневих систем від сильних морозів, сніг – це ще й своєрідне підживлення. *І.В. Вернадський* показав, що разом зі снігом до рослин надходить широкий набір мікроелементів. Та хоча їхня концентрація в сніжній масі всього 0,001–0,005%, тала вода є добрим стимулятором росту рослин.

Біопродукційний процес тварин також залежить від режиму вологості. У посушливих біотопах ряд видів через нестачу води впадає в літню сплячку (естивація).

Способи отримання води можуть бути досить цікавими. Більшість видів отримує воду з водойм, звідки вони її просто п'ють. Інші види всмоктують воду через зовнішні покриви тіла (більшість земноводних). Треті повністю задовольняють свої потреби у воді за рахунок їжі. Домашні коти майже не п'ють води при нормальному раціоні. Є види тварин (верблюди, одяжна міль), які отримують воду метаболічним шляхом, окислюючи жирові речовини свого тіла.

М.С. Гіляров (1970) з'ясував, що деякі види комах лісової зони живуть на поверхні ґрунту, а в лісостепу та степу вони ж мешкають у товщі ґрунту. Таким чином вони обирають оптимальний режим вологості, і, власне, у різних зонах комахи живуть фактично в одному й тому ж мікрокліматі. Відомо, що в

комаха кладка яєць відбувається лише при певній вологості повітря. Комахи не кусаються, якщо вологість повітря менша 40%.

Вуглекислий газ та кисень. У сучасній атмосфері загальні умови наявності ресурсів для автотрофних рослин не оптимальні і не можуть забезпечити генетично допустиму продуктивність. Концентрація вуглекислого газу в атмосфері, що дорівнює 0,03%, нижча тієї концентрації, при якій фотосинтез найбільш продуктивний. У більшості зелених рослин оптимум фотосинтезу спостерігається при концентрації CO_2 , рівній 0,1%. У рослинних угрупованнях у шарі розміщення зелених частин рослин вуглекислий газ взагалі дуже швидко «вичерпується» листям, і його концентрація в денні години тут знижується до 0,01%, що в 10 разів нижче оптимуму. Та й використовується вуглекислий газ, як показали дослідження *В.М. Любименка* (1925) та *М.І. Будика* (1977), з низькою ефективністю. Із загального дифузного потоку вуглекислого газу листки рослин поглинають його тільки на 10%.

Концентрація кисню в атмосфері також не оптимальна для зелених рослин. Вона вища тих значень, при яких фотосинтез максимальний. Очевидно, що сучасна біосфера розбалансована у співвідношенні CO_2/O_2 . Однією з причин такого розбалансування є неоптимальне співвідношення в біосфері автотрофних та гетеротрофних організмів. Інша причина розбалансування полягає в змінах газового складу атмосфери під впливом промислового та сільськогосподарського виробництва.

Усі тварини набагато більше, ніж рослини, чутливі до газового складу атмосфери. Аеробним тваринам кисень потрібен для дихання, а для анаеробів кисень, навпаки, отруйний.

Сонячна радіація. Біопродукція зелених рослин значною мірою залежить від надходження сонячної радіації. Для гетеротрофних організмів прямої необхідності у світлі немає. Гриби та бактерії часто добре ростуть у темряві. Але високоорганізовані тварини потребують світла, оскільки зір у них є важливим фактором при добуванні їжі. Щодо яскравості освітлення тварини чітко підрозділяються на денних (наприклад, горобинні птахи) та нічних (кажани). Добова періодичність освітлення в багатьох видів тварин служить сигналом початку розмноження. Довгий день у північних широтах (до 18–24 годин) забезпечує можливість більш тривалого періоду пошуку та добування їжі. Саме тому більшість видів птахів переміщуються на північ на період розмноження, оскільки їхні потреби в їжі різко зростають під час вигодовування пташенят.

Ґрунт. Для автотрофних рослин важливим фактором їхньої життєдіяльності є родючість ґрунту. Це досить містке поняття, але в більшості випадків родючість визначається наявністю в

ґрунті достатньої кількості макро- та мікроелементів мінерального живлення рослин. Виснаженню ґрунту сприяють деякі природні явища, наприклад, водна та вітрова ерозія, але найчастіше на площах, що використовуються людиною для отримання сільськогосподарської продукції, ґрунти виснажуються під впливом непомірної експлуатації.

Територія. Своєрідним екологічним фактором контролю продуктивності є простір. Він необхідний і для рослин, і для тварин. У тварин біомасу чітко визначає розмір кормової ділянки. Окремим видам тварин у період розмноження властива вузька територіальність, коли кожна сім'я або група сімей здобувають їжу на ділянках, що належать їм. Такі ділянки ретельно охороняються від вторгнення особин свого виду. Для цього застосовуються голосові засоби (птахи), пахучі мітки (савці) і т.п.

Розміри кормових ділянок звичайно пов'язані з величиною тіла тварин. Наприклад, полівка, яка має вагу тіла 27 г, потребує на добу всього 2,4 г сухого корму. Вона може зібрати його з ділянки лише в кілька квадратних метрів. Для лося з масою тіла 200 кг або слона з масою тіла 4 т їжі потрібно декілька десятків кілограмів і кормові ділянки будуть відповідно більшими. У Карпатах для життєзабезпечення однієї особини карпатської сарни потрібно 7–10 га, та стійкою буде тільки популяція з 800–1600 особин, якій, таким чином, потрібно 12–15 тисяч га території. Є територіальний контроль і в хижаків. Кормові ділянки левів складають 25–50 км². Але розміри таких ділянок завжди залежать і від кількості на них кормових ресурсів.

Не менш важлива і якість їжі. Так, якщо самки колорадського жука отримують в їжу старі листки картоплі, то через 11 діб у них повністю припиняється відкладання яєць. При годуванні самок молодими листками кладка триватиме більше місяця. Коли вівцям замість потрібного їм сіна пропонуються в їжу соковиті корми – кормова капуста, коренеплоди, зменшується не тільки приріст, стає неможливим також і розмноження. Відсутність їжі потрібної якості скорочує тривалість життя. З цієї причини дощові черв'яки не можуть жити в посадках з вільхи або акації. Для них несприятливий хімічний склад листків цих рослин.

Нормальний біопродукційний процес у тварин пов'язаний з певними ландшафтними особливостями території: наявністю лісу, водойм, галявин та ін. Так, граки – мешканці лісів, що перемижуються з перелісками, лелека може селитися лише в тих місцях, де поблизу водойм є великі дерева, які необхідні їм для гніздування. Хоча лелеки в умовах антропогенного ландшафту навчилися класти гнізда й на телеграфні стовпи, і на опори ліній електропередач.

Ландшафтне різноманіття є важливим фактором життя багатьох тварин. Ті ж граки можуть добувати їжу тільки в травостой

висотою не більше ніж 15 см. Тому весною вони живляться на ланах. Як тільки трава підростає і досягає критичної для них висоти, граки переміщуються на пасовища, до середини літа вони годуються на сіножатях, а наприкінці літа після збирання врожаю знову переміщуються на поля.

У цілому вплив абіотичних факторів на утворення біопродукції має комплексний характер. Визначає можливості біопродукції не один, хоча й важливий фактор, а їх сполучення. В екології цей факт відомий як закон А. Мітчелліха – Б. Бауле. Так, наприклад, коефіцієнти використання рослинами сонячної енергії, вуглекислого газу та води не є постійними. Вони змінюються і набувають більших значень у сприятливих для рослин природних комплексах, де значення інших абіотичних параметрів близькі до оптимуму, і нижчих значень – у несприятливих умовах. В Україні коефіцієнт використання сонячної радіації рослинами закономірно змінюється з півдня на північ від 0,6 до 1,0% паралельно зростанню кількості опадів та підвищенню гуміфікованості ґрунтів. Поєднання окремих абіотичних факторів і умов формує такі середовищні комплекси, як тривалість вегетативного періоду, клімат місцевості, конкретний режим погоди, тип ґрунтового покриву. Тому географічні карти первинної продукції рослинного покриву принципово збігаються з картами клімату та з ґрунтовими картами.

Якщо клімат для живих організмів є певною абстракцією, погодні умови виступають як повсякденний фон реалізації біопродукційного процесу. При вирощуванні культурних рослин навіть вживається поняття метеотропного ризику, що включає в себе всю сукупність відхилень погоди, які перешкоджають отриманню оптимального врожаю.

Екологічні зв'язки тварин зростають завдяки їхній рухомості. Звісно, є й нерухомі тварини (корали), а в багатьох видів осілих тварин спостерігається прив'язаність до певної, часто досить невеликої, ділянки території. Але багато видів тварин широко мігрують і на різних фазах розвитку можуть займати різноманітні біотопи. Деякі водяні та суходільні тварини можуть пересуватися на віддалі до 10 тис. км. Такі міграції пов'язані з динамікою використання їжі. Так, на великі віддалі в пошуках місць, багатих на зоо- та фітопланктон, переміщуються кити. У лососевих риб та вугрів молодь та дорослі особини мешкають в надзвичайно віддалених одна від одної ділянках водойм. На багато тисяч кілометрів перелітають птахи, залишаючи негостинні для них узимку помірні широти, але повертаються сюди знову навесні, коли спостерігається пік зростання біомаси рослин та тварин, які є їхньою їжею.

Поєднання екологічних факторів відрізняються в різних регіонах планети. Тому є чітка відмінність у біопродукції на кон-

Таблиця 7.5. Продукція природного рослинного покриття

Територія	Продуктивність в г/м на рік
Європа	850
Азія	980
Африка	1030
Північна Америка	820
Південна Америка	2090
Австралія та Океанія	860
Континенти в середньому	950
Океани в середньому	150
Земна куля в середньому	400

тинентах (табл. 7.5), яка зумовлена їхнім географічним положенням та пануючим кліматом. Оцінка такого роду даних дозволяє зробити висновок, що в глобальному масштабі біопродукцію контролюють тепло та вологість. Очевидні зниження біопродукції в тих регіонах, де великі території відрізняються низьким водозабезпеченням (пустелі) або мають холодний клімат. За даними Ю.М. Куражсковського (1969), біологічна продуктивність природних одиниць пов'язана з типом природної зони. Для природних зон України вона становить (ц/га на рік): у лісовій зоні – 75, у лісостеповій зоні – 125, у степу – 85, у сухих степах – 50.

Максимальна біопродукція властива лісостеповій зоні. Лісостепова зона України – це її головне природне багатство. Відповідно до наведених показників знаходиться і зональна зміна продукції сільськогосподарських тварин, що відображає кількість та якість кормів.

У серії робіт Є.О. Дорогонівської (1952–1960) та інших авторів показано, що екологічні умови у формі природно-кліматичних комплексів впливають не тільки на кількість біомаси, але й на хімічний склад. Так, ячмінь при вирощуванні в лісовій зоні вміщує тільки 10–13% білка в зерні, воно придатне в основному для пивоваріння, оскільки є малоцінним кормом. У степовій зоні вміст білка в зерні ячменю складає 15–25%. Таке зерно вже є повноцінним кормом.

Важлива сторона екологічного контролю продукційного процесу – це нестабільність абіотичних факторів. Рослини та тварини змушені витрачати енергію на пристосування до коливань екологічного режиму, і біопродукція падає.

Деякі коливання погоди мають суто стохастичний характер, інші – виражену циклічність. Спостереження, що виявили циклічність екологічного режиму, проводили ще С.П. Крашенінніков

(1745–1755) та М.В. Ломоносов (1750–1765). У наш час відоме існування циклів зміни клімату різної тривалості. Циклічним змінам екологічних режимів відповідають цикли розміру первинної біопродукції автотрофних рослин.

За А.С. Мончадським (1958), екологічні фактори поділяються на три основні групи за рівнем періодичності:

а) *первинні періодичні фактори* з добовою, сезонною та річною ритмікою – температура, освітленість; усі живі організми порівняно легко адаптуються до них;

б) *вторинні періодичні фактори* характеризуються періодичністю, що пов'язана з режимом первинних факторів; це вологість повітря, концентрація в повітрі вуглекислого газу; адаптація до них у живих організмів менша;

в) *неперіодичні фактори*, мінливість яких має стихійний характер, це штормові вітри, пожежі, виверження вулканів; адаптування живих істот до них найнижче.

7.6. ЦЕНОТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ПРОДУКТИВНОСТІ. БІОПРОДУКЦІЯ В РІЗНИХ БІОМАХ

Оточення будь-якого живого організму, який бере участь у біопродукційному процесі та розмноженні, включає в себе не лише абіотичні фактори навколишнього середовища, до нього також входять й інші живі організми цього ж або іншого виду. Жити та формувати біопродукцію кожній живій істоті доводиться в умовах того чи іншого біоценозу в тісній взаємодії з іншими організмами. Такі ценотичні зв'язки інколи настільки важливі, що як фактор контролю розміру та якості біопродукції вони перекривають за силою дію абіотичні фактори. Кожен живий організм не тільки відчуває певний вплив з боку своїх співмешканців у ценозі, але й сам впливає на них. Такі впливи можуть поділятися на три типи: позитивні, нейтральні та негативні. Це веде, як показано в *табл. 7.6*, до виникнення між організмами ряду специфічних форм взаємодії.

Основні з них такі:

нейтралізм – при сумісному проживанні організми не чинять один на одного ні позитивного, ні негативного впливу;

конкуренція – два види організмів або особини одного виду використовують один і той же подільний ресурс або намагаються витіснити один одного;

паразитизм та хижацтво – один із видів використовує організми іншого виду як трофічний ресурс;

мутуалізм або співробітництво – при сумісному проживанні організми сприяють один одному;

Таблиця 7.6. Класифікація форм взаємозв'язків між живими організмами

Вид А	Вид Б	Тип зв'язків
+	+	Мутуалізм
+	0	Коменсалізм
0	0	Нейтралізм
0	–	Антибіоз
+	–	Хижацтво та паразитизм
–	–	Конкуренція

аменсалізм – взаємозв'язок між організмами має односторонній характер: для одного партнера він сприятливий, а для іншого нейтральний.

Одним із дуже поширених механізмів ценотичного контролю продукційного процесу є конкуренція. Форми конкурентних взаємозв'язків надзвичайно різноманітні. Види рослин і тварин конкурують за їжу, за оптимальні умови існування, за простір.

Цілком очевидною є конкуренція рослин за світло, коли вони тягнуться вгору, намагаючись перерости сусідів та перехопити більшу частину сонячної радіації. У посівах культурних рослин відбувається активна конкуренція з бур'янами не лише за світло, але й за воду та мінеральні речовини ґрунту. У випадку сильного конкурентного впливу бур'янів урожай культурних рослин може сильно зменшуватися. Птахи активно конкурують за місця гніздувань. У хижих ссавців (соболь, куниця, ласка) чітко проявляється конкуренція за територію, де вони добувають собі їжу. В усіх цих випадках конкурентно пригноблений вид знижує свою біопродукцію, може навіть бути повністю витісненим з даного екоотопу.

Досить сильно впливають на рівень біопродукційного процесу паразитизм та хижацтво. Але в природних умовах, як правило, відносини даного типу не ведуть до повного зникнення особин хазяїна або жертви. Відбувається хвилеподібне коливання розміру сумарної біомаси та чисельності цих організмів (*рис. 7.4*). Під впливом хижацтва або паразитизму біомаса популяції жертви сильно знижується, що призводить до зниження чисельності та біомаси хижака або паразита. За цим починається нова хвиля збільшення чисельності хазяїна і т.д.

Описаний тип стосунків організмів принципово відрізняється від типу використання природних ресурсів людиною, коли ресурс знищується або повністю, або до такого рівня, що він уже не спроможний до самопоновлення. Саме таким чином був знищений бізон у преріях Північної Америки, морська корова Стеллера біля берегів Камчатки та ряд інших видів. Публіцисти

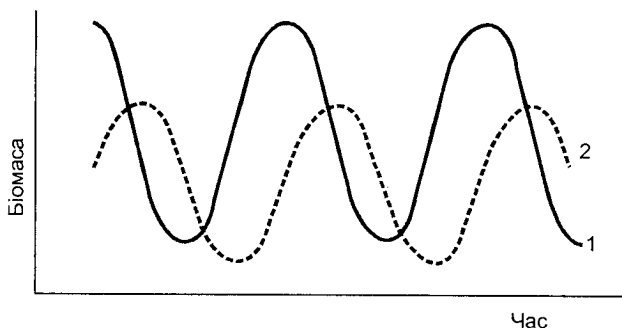


Рис. 7.4. Взаємозумовлений хвилеподібний тип динаміки біомаси жертви та хижака: 1 – жертва, 2 – хижак.
 Піки біомаси хижака завжди нижчі, ніж у жертви та запізнюються у часі відносно піків біомаси жертви.

називають такий тип використання біологічних ресурсів хижацьким, але як літературне порівняння це невірне. При справжньому хижацтві популяція жертви ніколи повністю не знищується. У Канаді, наприклад, при чисельності лосів менше ніж 0,2 особин/км² вовки взагалі не заселяють біотоп, що сприяє нормальному розмноженню та виживанню молодяку лосів.

У природі дуже поширені й мутуалістичні стосунки. Найкращим прикладом чіткого мутуалізму є лишайники, організм яких сформований із грибів та водоростей. Кожен із компонентів такого псевдоорганізму отримує з сумісного життя користь. Мутуалістичний характер мають симбіотичні взаємозв'язки бобових рослин та бульбочкових азотфіксуючих бактерій. Збільшення біопродуктивності під впливом такого симбіозу давно відоме на практиці в сільському господарстві. Жуйні тварини перетравлюють клітковину за допомогою бактерій, які розкладають целюлозу і живуть у кишечнику тварин. Раки-самітники полюбляють жити разом з актиніями, які використовують залишки їхньої їжі, а від самого рака-самітника відлякують багатьох хижаків.

Одним із найбільш яскравих випадків взаємодопомоги в рослин є сприяння дорослих особин одного виду приживлюваності й розвитку сходів іншого виду. Очевидно, одним із перших описав це явище, яке одержало назву рослин-няньок, Дж. Мак Оліфф. У пустелі Сонора в США він спостерігав, як навколо великих дорослих особин деревоподібного кактуса опунції найчастіше зустрічаються і добре ростуть сходи інших кактусів (*Mamillaria*, *Echinocereus*). Мак Оліфф знайшов, що роль рослин-няньок у цьому випадку полягає в тому, що колючі великі опунції не дають трав'янистим тваринам поїдати соковиті ніжні сходи інших видів кактусів.

У 1991 році були опубліковані роботи, які змушують визнати, що коло рослин-нянжок набагато ширше. Два шведські дослідники *Б. Карлссон* і *Т. Калліган* при вивченні біології невеликої осоки (*Carex bigelowii*) у субарктичній тундрі шведської Лапландії виявили, що її сходи з'являються і виживають, як правило, у безпосередній близькості до одного з двох звичайних тут чагарників – касіопеї або водянки. Якщо осока й могла вижити без цих рослин-нянжок, то її кущики були низькорослими, із короткими листами і явно ослаблені. Для з'ясування механізму сприятливої дії нянжок на своїх підопічних Карлссон і Калліган провели широку серію дослідів. Вони висівали насіння осоки на відкритих місцях, під пологом чагарників, під захист невеликих дерев'яних щитів, а також на удобрювані ділянки. Результати цих дослідів показали, що вічнозелені чагарники є гарними нянками для осоки в першу чергу тим, що захищають її сходи й проростки від дії холодних вітрів: під пологом чагарників помітно тепліше, ніж у навколишній тундрі, та й ґрунт родючіший.

Одночасно зі шведами їхні мексиканські колеги *А. Валієнте-Бенуа* і *Е. Езкурра* здійснили перевірку цілої групи гіпотез, які пояснюють, чому сходи кактусоподібного молочаю *Pedilanthus macrocarpus* з'являються майже винятково під пологом великих кактусів чи деяких місцевих чагарників. Передбачалося, що в цьому випадку «нянки» могли сприяти накопиченню їхнього насіння біля своїх стовбурів, вкривати від травоядних тварин, охороняти від приморозків, захищати від прямої сонячної радіації чи знижувати температуру ґрунту. Досліди в пустелях Мексики показали, що рослини-нянки поліпшують місцез перебування для своїх підопічних головним чином шляхом зниження прямої сонячної радіації і зменшення денної температури, забезпечуючи більш м'які умови для підтримки водяного балансу молодих рослин. Примітно, що поселялися підопічні рослини переважно в північному від своєї нянки секторі.

Усі приклади такого роду доводять, що мутуалізм у природі поширений не менше, ніж конкуренція. *Біосфера – це зона і боротьби, і співробітництва*. Було б помилкою висувати на перший план у формуванні біомаси рослин і тварин лише один з типів різноманітних відносин між живими організмами.

Власне механізми і позитивних, і негативних зв'язків між живими істотами можуть бути дуже тонкими і зовні непомітними. Історично порівняно недавно і за суттєвого внеску українських учених *С.І. Чорнобривенка* (1956), *М.Г. Холодного* (1949), *А.М. Гродзинського* (1965–1973) був детально вивчений спосіб впливу одних організмів на інші за допомогою прижиттєвого виділення в навколишнє середовище складних органічних сполук.

Взаємозв'язки між організмами, зумовлені такими виділеннями, отримали назву алелопатичних, а галузь науки, яка їх вивчає, алелопатії. Алелопатичні відносини помітно впливають на розмір біопродуктивності культурних та дикорослих рослин. Так, відомий український учений *П.А. Мороз (1990)* на основі поглибленого вивчення алелопатичних стосунків розробив оптимальні варіанти чергування культур плодоягідних насаджень України. Відповідно до наведених ним даних, яблуна має найбільш високі показники біопродукції при її розміщенні після смородини та малини, для сливи найкращі попередники – груша та персики. Як показали дослідження *А.М. Гродзинського (1973)*, алелопатія є одним із важливих механізмів і її подальше вивчення обіцяє розкрити багато нового серед механізмів природних регуляцій продуктивності рослин.

Роль ценогичних факторів у біопродуктивному процесі виявляється в тому, що різні сполучення живих організмів – біоми – відрізняються один від одного і розміром первинної продукції, і запасами біомаси (*табл. 7.7*). Так, у помірній зоні за принципово подібних режимів абіотичних факторів рівень біопродукції відрізняється залежно від того, в оточенні яких живих організмів, в яких комплексах здійснюється біопродукційний процес.

Система взаємодії живих організмів настільки значуща для природних систем, що дозволила *Д. Лавлоку та Л. Маргулісу* в 70-х роках ХХ століття запропонувати так звану гіпотезу Геї (Гея – давньогрецька богиня Землі). Відповідно до цієї гіпотези система взаємодії між живими організмами Землі настільки єдина та потужна, що перетворює біосферу в цілісну кібернетичну систему, наділену здатністю до саморегуляції. Метою цієї саморегуляції є підтримка на Землі умов, сприятливих для життя.

Таблиця 7.7. Показники продуктивності основних біомів Землі

Біоми	Біомаса в кг/м ²	Чиста первинна продукція в г сухої речовини на м ² на рік
Вологі тропічні ліси	45	2200
Шпилькові ліси помірної зони	35	–
Листяні ліси помірної зони	30	1300
Тайга	20	800
Савана	4	700
Степи	14	500
Тундра	0,6	140
Пустелі та напівпустелі	0,7	90
Сільськогосподарські землі	1,0	650
Болота	15	2000

Гіпотеза Геї ще мало розроблена, але сам факт її висунення означає визнання видатними спеціалістами наявності численних механізмів взаємодії між усіма живими організмами. Ці взаємодії надають біосфері цілісного характеру та забезпечують підтримку продукції різноманітних форм живої речовини на планеті. Біосфера або існує як єдине органічне ціле, або руйнується, якщо зруйновані механізми її самопідтримки.

7.7. ПРИНЦИПИ ЛІМІТУВАННЯ БІОПРОДУКЦІЇ. УПРАВЛІННЯ ПРОДУКЦІЙНИМ ПРОЦЕСОМ

Думка про те, що той чи інший екологічний фактор може стати критичним для життєдіяльності живих організмів, уперше була висловлена в 1840 році німецьким ученим *Ю. Лібіхом*. Спроможність деяких факторів навколишнього середовища обмежувати біопродукцію отримала назву закону Лібіха. Суть цього закону полягає в тому, що із загальної сукупності екологічних факторів, необхідних для життєдіяльності, в мінімумі може знаходитися якийсь один. Саме він і визначає верхню межу біопродукції, яка можлива в даних умовах. Лімітуючим може бути як абіотичний, так і біотичний (наприклад, чисельність шкідників) фактор.

Такий прямолінійний підхід до оцінки залежності продукційного процесу від екологічного середовища в реальному оточенні найчастіше не виправдовується. *Ю. Одум* застеріг, що в початковому формулюванні закон мінімуму немовби статичний. Насправді по мірі витрати ресурсів співвідношення між ними змінюється, і лімітуючий фактор уже перестає таким бути. Його може замінити будь-який інший. Сучасні екологи віддають перевагу розгляду комплексу лімітуючих біопродукційних факторів життя, який відповідає принципу сумісної дії на організм факторів життя, що був сформульований *А. Мітчерліхом* та *Б. Бауле*.

Назва «закон мінімуму» невдала і в тому розумінні, що лімітувати біопродукцію може не тільки нестача ресурсу, але й надлишок будь-якого фактора. Наприклад, надлишок вуглекислого газу в атмосфері в кількості більше ніж 1–10% за об'ємом гальмує фотосинтез та знижує врожай.

Залежно від стану організму та умов його існування дія лімітуючого фактору змінюється. Біомаса та чисельність колорадського жука в якомусь районі можуть чітко лімітуватися площами, що зайняті картоплею. Але якщо в цьому районі вирощують баклажани та інші пасльонові культури, то площа посадки картоплі вже не буде лімітуючим фактором для колорадського

жука. Замінюваність ресурсів узагалі досить важлива для підтримки рівня біопродукції. Відомо, що ряд моллюсків використовують для побудови своєї черепашки солі стронцію замість солей кальцію.

У цілому управління біопродукційним процесом можливе лише на основі чітких знань та використання законів, які лежать в основі цього явища. Біологічна продукція створюється тільки живими організмами, і оптимальними для її формування є такі умови, звичні для даного організму, до яких він добре адаптований. Цей комплекс умов має включати в себе в достатній, але не надлишковій кількості усі подільні ресурси та забезпечувати потреби організму в неподільних абіотичних та біотичних факторах. Управління біопродукцією не можна уявити без розуміння динамічного характеру зв'язку організмів зі своїм довкіллям. Той екологічний фон, що підтримує високий рівень біопродукційного процесу на даній фазі росту та розвитку живих істот, уже недостатній на наступних фазах. Фактори, необхідні для приросту маси тіла особин, не збігаються з факторами, що забезпечують розмноження та збільшення чисельності рослин або тварин.

Вибір принципів керування продукційним процесом особливо важливий для сільськогосподарського виробництва. В історії людської цивілізації тут послідовно змінювалося кілька підходів. На першому етапі первісні люди задовольнялися тією біопродукцією, необхідною для їхнього існування, що давали природні екосистеми в процесі збирання і полювання. Невеликі масштаби таких вилучень не завдавали збитків природі, але й про якість керування продукцією в природних екосистемах питання не стояло. На другому етапі, коли були окультурені основні рослини й одомашнений ряд видів тварин, склалися так звані сільські системи ведення господарства. У цих системах людина задовольнялася природним потенціалом культурних рослин і свійських тварин, а він був невеликий, і тому сільські системи годували й постачали сільськогосподарською сировиною тільки працюючих. Збереглися такі системи практично аж до епохи феодалізму. Зростання чисельності населення, розвиток промисловості й виникнення міст, жителі яких не займалися сільським господарством, призвело до того, що сільські системи виявилися недостатніми. На зміну їм на третьому етапі склався індустріально-технократичний тип розвитку сільського господарства з активним керуванням продукційним процесом. Перш за все методами селекції почали створюватися інтенсивні сорти рослин і породи тварин, продукційний потенціал яких різко зріс. Зросли й вимоги таких сортів і порід до умов вирощування і утримання. У сільське господарство прийшли мінеральні добрива, гормональні препарати, засоби хімізахисту, важка сільськогос-

сподарська техніка. Обсяги сільськогосподарського виробництва різко збільшилися. Але принцип максимізації віддачі від культурних рослин і домашніх тварин, покладений в основу індустріальних інтенсивних технологій, швидко себе вичерпав і призвів до розвитку багатьох негативних явищ у сільськогосподарській сфері й у природному середовищі. Тому з початку ХХІ століття сільське господарство постало перед необхідністю відмовитися від принципу максимізації продукційного процесу та його заміни принципом оптимізації, суть якого полягає в тому, щоб узяти від свійських тварин і культурних рослин такий обсяг продукції і таким способом, щоб не руйнувати природне середовище планети.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть суть автотрофного та гетеротрофного живлення живих організмів.
2. Яке походження має вільний кисень атмосфери Землі?
3. Які вам відомі живі організми за способом живлення?
4. Дайте чітке визначення, що таке первинна та вторинна продукція.
5. Наведіть кілька прикладів, коли біопродукція живих організмів визначається їхнім генотипом.
6. Що таке екологічний контроль розміру біопродукції?
7. Поясніть, як доступність території та вільного простору впливає на біопродуктивність рослин та тварин.
8. Назвіть основні форми взаємовідносин між організмами та наведіть 2-3 приклади кожної з форм.
9. Поясніть, що таке алелопатія.
10. У чому полягає суть гіпотези Геї?

Питання для обговорення

1. Чому людину слід вважати гетеротрофною істотою?
2. Які речовини служать їжею мікроорганізмам, рослинам та тваринам? Дайте порівняльну оцінку ефективності їхнього живлення.
3. Розгляньте проблему взаємної залежності живлення різних груп організмів та дайте оцінку масштабів цієї залежності.
4. Розгляньте корисність закону мінімуму щодо аналізу виробництва молока на молочній фермі.
5. Які причини, на вашу думку, лежать в основі того, що в природних умовах хижаки ніколи не знищують усі живі істоти, що є об'єктом їхнього харчування?

8.1. БІОЛОГІЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ – ОСНОВА СТІЙКОГО ІСНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ

Екологічною рівновагою називається такий стан екосистеми, при якому склад і біологічна продуктивність усіх її компонентів відповідають умовам середовища існування, зберігаються постійними протягом досить тривалого часу і повертаються до вихідного стану при випадкових відхиленнях від нього.

Однією з найважливіших умов екологічної рівноваги є наявність в екосистемі досить високого біологічного різноманіття. Усім екосистемам властиве біологічне різноманіття. За *Б.М. Міркіним* (1991), під біологічним різноманіттям розуміють «кількість видів в екосистемі (чи в співтоваристві) і кількісне співвідношення між цими видами». *Р. Уїттекер* (1980) розрізняв три категорії біологічного різноманіття:

α - *різноманіття* – видове різноманіття всередині окремої екосистеми. Воно обчислюється за кількістю видів живих організмів у ній.

β - *різноманіття* – різноманіття набору екосистем в якомусь певному районі. Воно залежить від гетерогенності та строкатості місцезнаходжень.

γ - *різноманіття* – різноманіття ландшафтів.

Сучасний підхід до біорізноманіття значно глибший. Основними категоріями біорізноманіття слід вважати: а) різноманіття видів живих організмів, чи, точніше, різноманіття генотипів, б) різноманіття популяцій, якими представлений кожен вид, в) різноманіття особин усередині кожного виду, г) різноманіття індивідуальних організмів за віком, життєвим станом, статтю тощо, д) різноманіття синтаксонів у межах екосистем того чи іншого типу. Загальна схема класифікації категорій біологічного різноманіття наведена на *рис. 8.1*.

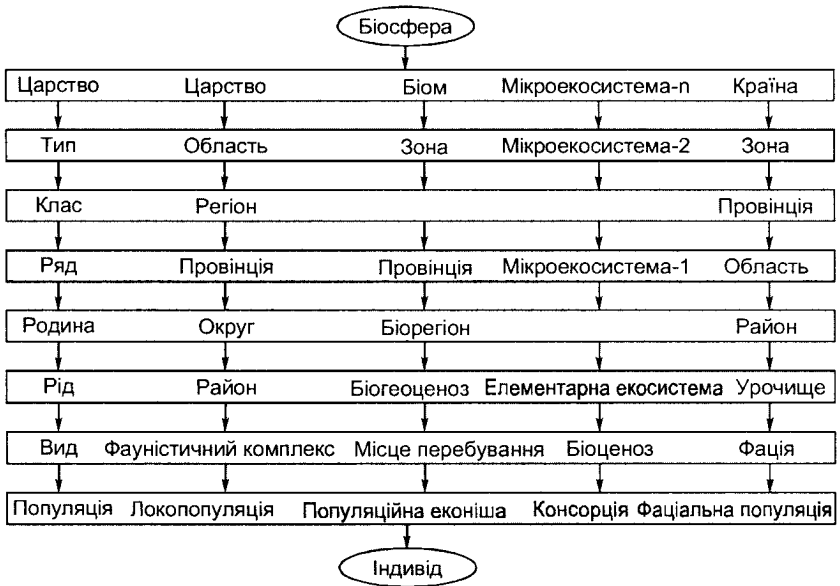


Рис. 8.1. Схема ієрархічних рівней біологічного та ландшафтного різноманіття (за Шеляг-Сосонко та Ємельяновим, 1997)

Особливу категорію різноманіття складають тимчасові ряди динаміки тієї чи іншої екосистеми. Так, процес поступового заростання ставка являє собою серію послідовних змін характеру цієї екосистеми, що теж є однією з форм біологічного різноманіття в природі.

Біорізноманіття залежить від неоднорідності території, на якій розміщена екосистема. На одноманітних рівнинах воно завжди невисоке, у гірських системах, завдяки поєднанню різних топографічних елементів, біорізноманіття найбагатше. Дуже високим є біорізноманіття також у тропічних лісах.

Установлено, що в трофічних ланцюгах спостерігається закономірність: чим більше автотрофних видів організмів, тим більше видів гетеротрофів, тобто біорізноманіття породжує біорізноманіття. З іншого боку, знищення одного автотрофного виду в співтоваристві веде до загибелі не менш 30 видів різних гетеротрофних тварин, що були поєднані з цим видом харчовими зв'язками.

Таким чином, величина біологічного різноманіття виявляється гарним індикатором загального стану екосистем.

Біологічне різноманіття є універсальною формою мінливості живої матерії, формою її існування. Біорізноманіття – одна з об'єктивних цінностей природного середовища, це невідновний

ресурс біосфери і тому потребує активних заходів для збереження і підтримання.

У 1992 році була прийнята Міжнародна конвенція про збереження біологічного різноманіття на нашій планеті.

Труднощі практичних дій по збереженню біорізноманіття значною мірою випливають з того, що воно начебто не має комерційної вартості. Цінність природи, однаковою мірою не можуть визначити ні централізовано планована, ні ринкова економіка. Тільки в останні роки (С.Н. Бобилев та ін., 1999) почато розробку концепції загальної комерційної цінності природи і в тому числі біорізноманіття. У цій концепції наголос робиться на врахування непрямих, регулюючих функцій біорізноманіття і його етичних і естетичних властивостей. Неокласична теорія економіки добробуту розглядає біорізноманіття в цьому випадку, по-перше, як об'єкт неспоживчої вартості, а по-друге, як відкладену альтернативу, яку розуміють як біологічний ресурс, що не має цінності в даний час, але набуде її в майбутньому. Можна оцінювати біорізноманіття і з погляду вартості існування, яке цілком можна оцінити експертним шляхом через готовність платити. Тоді загальна економічна вартість біорізноманіття (*TEV*) може розглядатися як сума прямої вартості використання (*DUV*), непрямой вартості використання (*IUV*) і вартості існування (*EV*), тобто

$$TEV = DUV + IUV + EV.$$

8.2. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТАБІЛЬНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ БІОСИСТЕМ ТА ЕКОСИСТЕМ

У 1884 році французький хімік А. Ле Шательє сформулював принцип (пізніше він отримав ім'я вченого), за яким будь-які зовнішні впливи, що виводять систему зі стану рівноваги, викликають у цій системі процеси, спрямовані на послаблення зовнішнього впливу та повернення системи в початковий рівноважний стан. Спершу вважалося, що принцип Ле Шательє можна застосовувати до простих фізичних та хімічних систем. Пізніші дослідження показали можливість застосування принципу Ле Шательє і до таких великих систем, як популяції, екосистеми і навіть до біосфери. Так, наприклад, принципу Ле Шательє підпорядковується екосистема Світового океану. Його біота поглинає до половини вуглекислого газу атмосфери і тим компенсує підвищене надходження антропогенного вуглекислого газу. Але біота суходолу вже виведена зі стану, коли вона підпорядковувалася цьому принципу, і в наш час наземні екосистеми в сумі виділяють більше вуглекислого газу, ніж у доантропогенну еру.

Стійкість організмів, популяцій або екосистем проявляється в самому факті їхнього існування протягом тривалого часу. Але біосистеми не існують вічно. Як смерть окремих особин, так і вимирання видів є природним процесом. У ході еволюції, коли певні види вимирають і їм на зміну приходять інші, більш пристосовані до умов існування, видове різноманіття біосфери зростає.

Інша справа, коли вимирання організмів та руйнування екосистем іноді є наслідком катастрофічних природних або антропогенних порушень (виверження вулканів, повені і т.ін.). Розвиток цивілізації супроводився найрізноманітнішими природними катастрофами. Основні їх види такі:

а) *повені*, від яких особливо потерпає населення Індії та Китаю;

б) *землетруси*, що найчастіше спостерігаються в сейсмічно нестійких регіонах. Це Японія, захід США, Індонезія. Великих людських жертв та економічних збитків завдали землетруси 1988 року у Вірменії та 1989 року в Каліфорнії (США);

в) *сильні урагани*, від яких потерпають південний схід США та Японія та яких на земній кулі за рік реєструється не менше 80;

г) *цунамі та затоплення морськими водами*, що є характерним для узбережжя Пакистану та Японії.

За розмірами збитків, завданих людині, стихійні лиха поділяються так: повені – 40%, тропічні циклони – 20%, землетруси – 15% та посухи – 15%. Лише за останні 20 років від стихійних лих загинуло близько 3 млн. людей і ще близько 1 млрд. людей отримали поранення. Прикладів спустошення, загибелі великої кількості людей, значних матеріальних збитків, на жаль, дуже багато. Так, у 1970 році в Бангладеш тропічний циклон, що пройшов зі швидкістю до 200 км/год., був причиною загибелі 200 тис. чоловік.

Особливо частими циклони і повені стали в останнє десятиріччя, завдаючи значних людських жертв і великих економічних збитків, як це мало місце в Західній Європі, в Південно-Східній Азії, на Кавказі та в інших регіонах.

Природні катастрофи настільки небезпечні за своїми наслідками, що ЮНЕСКО оголосило десятиліття з 1990 до 2000 року «Десятиліттям запобігання небезпечних наслідків природних катастроф».

На жаль, не менших збитків людині та природному середовищу, де вона існує, завдавали дії самої людини, скоєні або бездумно, або навмисне без урахування віддалених негативних наслідків.

Іноді популяції та види знищуються внаслідок прямих дій людей, а можуть знищуватися опосередковано, коли під впливом антропогенної діяльності середовище змінюється таким чином, що стає повністю непридатним для існування будь-якого організму. Таке опосередковане знищення біологічного різно-

маніття людиною в сучасну епоху переважає. Заборона мисливства, наприклад, не зберігає від вимирання сокола сапсана, якщо повністю зруйновані його місця проживання та знищена природна кормова база.

Для оцінки стійкості екосистем та біосфери щодо природних катастроф та антропогенних порушень корисним є поняття про *екологічний резерв екосистеми*, яке було введене Ю.А. Израелем (1989). Екологічний резерв екосистеми – це різниця між гранично допустимим відхиленням та фактичним станом екосистеми. Вона вказує на розміри тієї буферної зони, у межах якої можливі зміни, що не руйнують екосистему. На жаль, методів оцінки екологічного резерву екосистем різного типу поки що немає. У багатьох випадках екологічний резерв екосистем оцінюється інтуїтивно, «на око». Наукові розробки в цьому напрямку дуже актуальні.

Розвиток – загальна властивість матерії, що охоплює всі її форми: від неживих структур до людського суспільства – соціуму. При розгляді розвитку будь-яких біосферних структур – від організмів до самої біосфери – варто мати на увазі співвідношення стихійного та розумного начала.

Перші фази розвитку соціуму здійснювалися в умовах явного переважання стихійного розвитку. Саме так змінювали один одного такі важливі етапи, як одомашнення диких тварин, виникнення осілості та хліборобства, заміна примусової праці рабів та кріпаків на працю вільнонайманих робітників, науково-технічна революція. В усіх цих випадках домінував саморозвиток суспільства.

Новим етапом у розвитку соціуму, до якого наблизилася людство на рубежі ХХІ століття, є *формування екологічного суспільства*. Він вимагає відмови від загальноприйнятої орієнтації на зростання матеріального багатства як єдиної мети суспільства. Цей етап уже не може здійснитись як стихійний розвиток. Він може бути реалізований тільки системою свідомих дій та знаменує перехід від етапу стихійного до етапу свідомого розвитку соціуму, коли як кожна окрема людина, так і суспільні об'єднання різних рангів (аж до держави) усвідомлюють, що вони є частинами біосфери й беруть участь у її регулюванні.

8.3. АДАПТАЦІЯ

Стратегія виживання організмів має лише два альтернативні шляхи: 1) адаптація, тобто пристосування до середовища, або 2) уникнення, ухилення. Основною є перша стратегія. Здатність до адаптації є важливою основою стійкості живих організмів. Ада-

птація може бути визначена як відповідність між організмом та його середовищем. Вона охоплює весь комплекс морфологічних, фізіологічних, поведінкових та інших особливостей живих організмів, які забезпечують їхнє існування в певних умовах. Розрізняють загальну адаптацію як пристосування широкого характеру (наприклад, наявність плавців у всіх риб) та спеціальні адаптації, що забезпечують виживання організму у своєрідних умовах (наприклад, особливі солевидні продиhi(?) в деяких рослин солонцевих пустель).

Аналізуючи адаптації, *Т. Добжанський* (1970) розрізняв власне адаптації (уже існуючу пристосованість до певних умов життя) та пристосовуваність (здатність пристосовуватися до нових умов). Обидві ці якості важливі для живих істот, хоча вони не завжди збігаються. Більш того, спеціальні адаптації в багатьох випадках є серйозною перешкодою для досить швидкої пристосовуваності до змін умов життя.

Адаптація лежить в основі виживання організмів та підтримує на необхідному рівні їхню здатність до розмноження. Організми досить швидко та ефективно адаптуються до факторів, які зустрічаються досить часто в межах їхнього місця проживання. До незвичайних факторів та умов пристосовуватися важче. І, взагалі, будь-який процес адаптації вимагає додаткових витрат енергії та матеріальних ресурсів.

Жити – означає адаптуватися, тому конкретних прикладів адаптації в рослин та тварин можна навести велику кількість. Підвищена тіньовитривалість сходів дуба є адаптацією до відновлення під покривом деревостою. Загострена зернівка ковили, що має спірально зігнуту довгу ость, виступає як адаптивний механізм до заривання зернівки в ґрунт. Здатність котячих втягувати пазурі є пристосуванням, що запобігає затупленню кігтів та зберігає їхню гостроту, важливу в момент утримання здобичі.

Крім адаптивних ознак, існують ознаки та функції, що не мають такого характеру. *Преадаптація* – це опосередкований випадковий наслідок добору, який виявився корисним. Так, модрина має адаптацію скидати хвою на зиму на протигагу іншим шпильковим деревам. В антропогенний період ця властивість виступає як преадаптація до забруднення атмосфери: узимку модрина сприймає з навколишнього середовища набагато менше шкідливих речовин, ніж вічнозелені рослини.

Живі організми існують у складному біотичному та абіотичному оточенні, тому їхня загальна адаптованість є певною середньою лінією, компромісом між тими чи іншими можливостями пристосування. Так, у степових злаків, що ростуть в умовах дефіциту вологи, є тенденція до зменшення розмірів листової пластинки та зменшення кількості продиhiв, що забезпечує економ-

не використання вологи. Але листок – орган фотосинтезу, а породи – «ворота» для надходження вуглекислого газу з повітря до тканин листка. Тому адаптація, що полягає в зменшенні розмірів листків, веде до зниження фотосинтетичного потенціалу рослини та обмежує можливість синтезу органічних речовин. Реальні розміри листка є компромісом між цими двома потребами рослини.

Кожний конкретний живий організм має адаптований комплекс фізіологічних, морфологічних та екологічних особливостей, які доповнюють одна одну та сприяють більш успішному виживанню та розмноженню виду. Такі адаптивні комплекси *Е. Піанка* (1981) назвав *сузір'ям адаптації*. У сузір'ях адаптації реалізовані біохімічні, фізіологічні, анатомічні та морфологічні пристосування. У цілому вони забезпечують онтогенетичне адаптування організмів до середовища життя.

Адаптація – це не тільки властивість організмів, це й властивість популяцій. На популяційному рівні адаптації проявляються у формуванні гетерогенного складу популяції та появи в них екотипів – особливих форм, що відрізняються характером пристосувань до середовища та розширюють амплітуду умов, в яких може вижити даний вид. Диференціація популяцій на окремі екотипи дуже важлива і в еволюційному плані. *Р. Фішер* (1935) сформулював положення, згідно з яким швидкість зростання пристосованості тим вища, чим більшим є екологічне різноманіття в середині популяції. Важливим механізмом адаптації є й диференціація особин у популяціях за віковим складом та розмірами.

Існує пристосованість біоценозів та екосистем. Вона проявляється в їхній здатності змінювати видовий склад (навіть до зміни домінуючих видів), характер трофічних зв'язків, а отже, й потоку енергії та кругообігу речовин. *Е. Лекавічюс* (1986) висловив думку, що точність механізмів адаптації зростає до верхніх поверхів біологічної ієрархії. Але темпи такої адаптації тут нижчі, ніж в окремих організмів. Тому екосистеми та біосфера виявляються особливо вразливими до антропогенних змін навколишнього середовища, які виникають більш різко та здійснюються швидше, ніж природні зміни.

8.4. СТІЙКІСТЬ ОРГАНІЗМІВ, ПОПУЛЯЦІЙ ТА ЕКОСИСТЕМ

Біосистеми та екосистеми мають певний запас потужності, що дозволяє їм протистояти змінам у навколишньому середовищі. В особин живих істот, їхніх популяціях та екосистемах така стійкість ґрунтується на різних механізмах.

Стійкість організмів. На рівні окремих особин рослин та тварин існують численні механізми, що забезпечують стійкість до таких природних змін екологічного режиму, як коливання температури у вигляді приморозків або морозів, засухи, що супроводжується дефіцитом вологи та високою температурою, підтоплення та перезволоження ґрунту тощо.

В епоху глобального антропогенезу особливо важливого значення набула стійкість живих істот до різного роду хімічних речовин, які в природному середовищі відсутні. Звісно, отрути є і в природі. Але живі організми вже давно та поступово адаптувалися до них. Так, у тварин виробилася система розпізнавання та знешкодження отрут, що можуть бути в їхній їжі. Велика рогата худоба на пасовищах просто не поїдає отруйні рослини. Отруєння трапляється тільки навесні, коли після довгого зимового стійлого утримання тварини вперше випускаються на вільний випас.

У рослин та тварин є чимало випадків формування механізмів знешкодження отруйних речовин. Відомо, наприклад, що листки тютюну вміщують отруйний алкалоїд нікотин. Однак листками тютюну живиться гусінь тютюнового бражника. Більш того, гусінь знаходить потрібні їй листки саме завдяки нікотину: якщо гусінь покласти на лист фільтрувального паперу, на який нанесена краплина нікотину, то вона знайде це місце і гризтиме папір саме тут. Але в тютюнового бражника є система швидкого виведення нікотину з організму.

Листки беладони та деяких інших трав вміщують так звані серцеві глікозиди, які мають отруйні властивості. Але гусінь метеликів данаїд з'їдає їх, тому що в їхньому тілі глікозиди відразу ж виводяться з активного стану та накопичуються в особливій тканині – в депо. Ця тканина поступово переводиться в тіло лялечок, а далі – метеликів. Вони стають отруйними для тварин. Більшість птахів навчилися розпізнавати цих метеликів та не поїдають їх. Таким чином, отрута працює на користь того, хто зумів виробити механізми її знешкодження. Інша справа з ксенобіотиками. Так називають хімічні сполуки, які є прямим чи опосередкованим наслідком господарської діяльності людини та не можуть бути використані живими організмами для отримання енергії або побудови свого тіла. Кількість таких ксенобіотиків величезна. Проте внаслідок адаптації живі організми здатні протистояти їхньому шкідливому впливу. На рівні організму в усіх живих істот є кілька способів захисту від ксенобіотиків:

а) у людини є розумова діяльність, що дозволяє розпізнавати ксенобіотики та уникати їх;

б) у всіх тварин та людини є гормональна система, що розпізнає ксенобіотики, які вже потрапили до організму;

в) на рівні клітин у рослин та тварин є мембранні бар'єрні механізми, що запобігають проникненню ксенобіотиків усередину клітини;

г) усі живі організми мають ферменти, здатні руйнувати більшість ксенобіотиків;

д) у тілі живих організмів є депо, куди направляються шкідливі речовини для запобігання їхнього впливу на активний обмін речовин;

е) у ряді випадків рослини та тварини мають внутрішньоклітинні та тканинні транспортні системи виведення ксенобіотиків з організму.

Робота всіх цих механізмів забезпечує певний захист організму від шкідливих речовин та підтримує його стійкість у несприятливому середовищі. Особливо важливу роль відіграють мембрани клітин. Вони мають спеціальні білки-переносники, які забезпечують перенесення речовин до клітин з навколишнього середовища. Ці білки специфічні: для кожної речовини свій переносник. Тому в молекул ксенобіотиків часто немає відповідного переносника, і з цієї причини вони не потрапляють в середину клітини. Здійснюють білки-переносники і зворотний транспорт, виводячи за межі клітини речовини, що потрапили до неї. Зараз відкрито близько 200 білків, здатних виводити з клітин ксенобіотики. Однак справляються вони зі своєю роботою лише до того часу, поки концентрація шкідливих речовин не дуже висока. Та ряд речовин, зокрема важкі метали і серед них у першу чергу кадмій, пошкоджують мембрани, відкривають їх для будь-яких речовин і порушують нормальне виведення отрут із клітин.

До певної міри непогано справляється з рядом ксенобіотиків ферменти, які їх руйнують. У людини та тварин вони зосереджені головним чином у печінці. Таке руйнування здійснюється поетапно. Але відомо чимало випадків, коли проміжні продукти руйнування початкового ксенобіотика виявляються більш отруйними, ніж він сам.

У рослин та тварин існують депо для виведення в них отрути та ксенобіотиків. У тварин та людей це жирове та кісткове тканини, у рослин – деревина. Добре вивчений механізм переводу в жирове депо такого шкідливого пестициду, як ДДТ. Тетрациклін переводиться в кісткову тканину. Але й цей механізм працює до певної межі. За високих концентрацій починається отруєння самої тканини такого депо.

Стійкість популяцій. Стійкість популяцій проявляється в здатності до самопідтримки та збереження в умовах несприятливих зовнішніх впливів. Механізми стійкості популяцій дуже різноманітні. У рослин стійкість популяцій підтримує саморозрідження. Воно спостерігається при підвищенні густоти попу-

ляцій та полягає в диференціації особин за розмірами на дрібні та великі з наступним відмиранням найбільш слабких. В інших випадках стійкості популяцій рослин сприяє висока фенотипічна пластичність особин. При загущенні змінюється весь вигляд рослин. Вони стають витягнутими, мають менше листків та гілок. У таких популяціях при варіюванні кількості особин на одиницю площі листова поверхня залишається стабільною й популяційне поле повністю контролюється популяцією.

Ще більш різноманітні механізми стійкості популяцій тварин. Збереження оптимальних для популяції параметрів і особливо густоти здійснюється перш за все завдяки сильному рефлексу орієнтації в молодняку, який самостійно залишає територію, що зайнята батьками. При скупченому поселенні, коли таке відкочовування неможливе, в популяціях виникає канібалізм – дорослі особини з'їдають власний молодняк. Особливо характерне це явище в умовах обмеженості трофічних ресурсів.

Міграція як засіб зниження густоти популяції при нестачі кормів добре вивчена в перелітної сарани. При підвищенні густоти популяції сарани вище оптимуму личинки починають змінювати свій вигляд: у них виникає яскраво-жовте з чорними плямами забарвлення та подовжуються надкрилля. У результаті здійснюється гормональна перебудова, і сарана залишає рідні місця проживання, розлітаючись величезними зграями на сотні і тисячі кілометрів. Після перельоту в розрідженій популяції за 2-3 покоління відновлюється попередня форма сарани. Подібного роду масові міграції підвищують стійкість популяцій, що спостерігається після років надзвичайного масового розмноження не тільки в сарани, а й у лемінгів, попелиць.

При об'єднанні особин у групи стійкість популяцій підвищується. Ця закономірність відома під назвою *Олли*. Відомо, що риби, які знаходяться в групі, краще переносять дію отрути, даної до води. Більш того, якщо риба потрапить у воду, в якій раніше перебувала група риб, то вона матиме більшу стійкість до сторонніх хімічних речовин. Очевидно, продукти метаболізму, що знаходяться в такій воді, сприятливі для організму. Система хімічних взаємозв'язків особин виступає як стабілізатор та охоронник живих істот.

Але в екології не так уже й багато універсальних правил. Усе живе різноманітне. Відомо, що в акваріумах, де вирощувалася велика група дафній, навіть після їхнього вилучення нові дафнії ростуть погано. Має місце ефект аутоксикації, спрямований на регуляцію чисельності особин у популяції. Подібне явище спостерігається і в інших водних організмів.

Фахівці з екології при оцінці стійкості популяцій спираються на таке поняття, як *мінімальна життєздатність попу-*

ляції. Це складний параметр, що оцінюється з урахуванням багатьох властивостей та особливостей популяцій. Більш стійкими виявляються генетично мінливі, лабільні популяції, які швидше пристосовуються до зміни умов існування. Не менш важлива і суто фенотипічна пластичність, яка проявляється в можливості зворотної адаптації до умов, що виникають тимчасово. За наявності складної внутрішньопопуляційної структури рослини та тварини більш стійкі та життєздатні. У крайньому випадку популяція втрачає лише одну внутрішньопопуляційну групу особин.

Фактором стійкості є величина території, зайнятої популяцією, та розмір самої популяції. Малі популяції, розміщені на невеликих ділянках, деградують та вимирають швидше за інші. У малих популяціях проявляється інбридна депресія. При родинно-близькому схрещуванні, як було показано ще Ч. Дарвіним, життєздатність потомків різко падає. У першу чергу стають нестійкими молоді особини, їхня смертність різко зростає. У домашніх тварин, наприклад, інбридна депресія проявляється тоді, коли розмір поголів'я в популяції виявляється меншим ніж 50 осіб.

Стійкість екосистеми та біосфери. Стійкість екосистеми значною мірою пов'язана з рівнем її еволюційного розвитку. Існує думка, що еволюційно більш молоді та прогресивні екосистеми складної організації зі значними ресурсами питомої вільної енергії мають підвищену стійкість. Знижується стійкість екосистеми при спрощенні її структури та територіальному подрібненні екосистеми на окремі фрагменти. Такі острівці завжди менш стійкі, ніж великі компактні ділянки.

В основі стійкості біосфери лежить широкий комплекс механізмів та її структурних особливостей. Головний фактор стійкості біосфери – це наявність у ній живої матерії. Саме вона визначає переважання в біосфері процесів синтезу та структурування над процесами розпаду. Надає стійкості біосфері різноманітність форм життя. Організми з різними типами та формами живлення по-різному освоюють життєві ресурси. Це складає широкий асортимент дублюючих один одного каналів потоку енергії та кругообігу речовин.

Можливі чотири основні типи дій людини стосовно екологічної рівноваги:

1. Збереження екологічної рівноваги внаслідок мінімізації втручання в екосистеми, що реалізується створенням охоронних природних територій: заповідників чи заказників національних парків.

2. Підтримка екологічної рівноваги шляхом раціонального використання екосистем – лісів, боліт, луків, степів. Раціональність користування передбачає збереження механізмів самовід-

новлення екосистеми, вилучення з екосистеми тільки припустимого рівня біопродукції та недопущення забруднення екосистеми будь-якими видами екотоксикантів.

3. Конструювання екологічної рівноваги – створення штучних екосистем, що мають здатність до самопідтримання. Прикладом таких систем можуть бути сіяні луки.

4. Захист екологічної рівноваги штучних екосистем шляхом недопущення надходження в них відходів і виконання необхідних підтримуючих заходів (підсадження дерев, влаштування штучних гніздувань для птахів тощо). Вона реалізується головним чином стосовно міських і приміських лісопарків і парків.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть суть принципу Ле Шательє щодо застосування його до екосистем.
2. Поясніть принципову різницю впливу природних та антропогенних факторів на організми та екосистеми.
3. Що таке екологічний резерв екосистеми?
4. Визначіть відмінність у поняттях «адаптація» та «приспосовуваність».
5. Що таке преадаптація? Наведіть приклади.
6. Назвіть основні механізми, що лежать в основі стійкості живих організмів до ксенобіотиків.

Питання для обговорення

1. Розгляньте роль стихійних та свідомо керованих процесів у житті людського суспільства щодо збереження біосфери.
2. Яке значення має різноманіття для стійкості екосистем?
3. Яке значення мають внутрішньопопуляційні взаємовідносини для стійкості живих організмів.

9 | Антропогенна деградація біосфери

9.1. НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС І ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ

В історії виробничої діяльності людства звичайно виділяють чотири головні етапи:

1) *збирання та мисливства*, який продовжувався приблизно 4 тисячі років. Примітивні людські спільноти, що виникали на цьому етапі розвитку, існували в єдності з природними екосистемами;

2) *землеробства та скотарства*, коли розвиток цивілізації ґрунтувався переважно на використанні живої речовини, що вироблялася в штучних чи напівштучних екосистемах. Цей перехід до виробничих форм господарювання отримав назву неолітичної революції і вимагав вирішення таких великих проблем, як одомашнення тварин та введення в культуру рослин;

3) *промислового виробництва*, зорієнтованого на широке споживання невідновних ресурсів та енергії. Упродовж цього етапу тиск, що спричинювало суспільство на природне середовище, безперервно зростав. Лише з середини XX століття світовий національний продукт зріс у 5 разів, людство опанувало ядерною енергією та способами синтезу багатьох речовин. Стрибокподібно збільшилося використання нафти та виробництво ряду товарів (табл. 9.1). Паралельно цьому відбувалася деградація біосфери,

Таблиця 9.1. Обсяги товарів на світовому ринку, млн.т або млн. шт. (за М. Алленом, 1991)

Роки	Нафта	Автомобілі	Чавун	Пшениця	Добрива
1900	0,025	–	70,0	69,0	–
1920	5,6	–	80,0	105,0	–
1940	20,0	5,0	95,0	140,0	31,0
1960	125,0	16,4	336,0	250,0	62,0
1980	260,0	30,0	716,0	445,0	210,0

було втрачено близько 20% родючих ґрунтів, в атмосфері зріс вміст вуглекислого газу, з'явилися «діри» в озоновому екрані планети, всюди стали звичайними кислотні опади, скоротилася ресурсна база, катастрофічно забруднилися всі геосфери планети різного роду відходами та викидами;

4) *інформаційне суспільство*, об'єднане комп'ютерними технологіями, яке робить спроби перейти до ноосферної діяльності.

Практика засекречування випадків забруднення навколишнього середовища і завдання шкоди здоров'ю людей в ім'я національної безпеки глибоко антидемократична. Вона ґрунтується не на тому, що люди свідомо приносять жертви заради безпеки своєї країни, а на тому, що бюрократи вищих ешелонів атомної промисловості можуть приймати рішення про життя і смерть населення своєї країни, порушуючи встановлені закони, норми, інструкції, без одержання згоди поінформованих осіб. Збиток не обмежується межами підприємств, а поширюється далі – на сім'ї, на людей, що проживають поблизу підприємств, на широкі верстви населення.

Існує навіть особливий закон ланцюгових антропогенних зв'язків і процесів, за яким забруднюючі природне середовище речовини створюють сумарні кумулятивні ефекти, що збільшує негативний вплив виробничої діяльності на біосферу.

К. Ріхтер у 30-ті роки ХХ ст. одним із перших назвав Землю «загальнолюдським домом». Але благополуччя в цьому «домі» має досить довгу історію. Це історія попереджень, які не були почуті, історія науково-технічного прогресу за будь-яку ціну, історія самоосліплення людства уявною могутністю своїх можливостей щодо перетворення природи.

Розвиток деградаційних процесів на планеті передбачався давно. Великий мислитель *Ібн Сіна (Авіцена)* ще десять століть тому зрозумів, що хід суспільного розвитку та господарської діяльності згубний для природи і небезпечний для людства. Найбільш численними стали застереження щодо деградації природи планети в другій половині нашого століття. Приблизно чверть століття тому, у 1972 році, Римський клуб надрукував тривожний прогноз розвитку людської цивілізації «Межі росту», зроблений у Массачусетському технологічному інституті (США) групою фахівців під керівництвом *Д. Медоуза*, де передбачалася деградація природного середовища. Пізніше *Д. Медоуз* підготував та видав нову книгу «За межами росту», в якій дав аналіз системи «людство – природне середовище» на основі матеріалів 1970–1990 років, де також свідчилося про глобальну екологічну кризу. Але всі ці застереження майже не мали відповідних дій. Член Ірландської партії зелених *Пітер Емерсон* (1991) вважав, що всі соціально-економічні системи, випробувані людством за

весь час існування, базувалися на пріоритеті споживання і тому виявилися ворожими природі.

Фінський учений *Г.Х. фон Рант* (1989) сформулював концепцію кризи цінностей як ментальну основу морального виправдування людства перед нащадками за деструктивний шлях розвитку цивілізації. За даними *Дж. Уеста* (1991), західна цивілізація дала цілий комплекс догматичних уявлень, що забезпечували протиріччя в системі «людське суспільство – природа». Це антропоцентризм, споживацька парадигма, зневага до «примітивних народів», які живуть у гармонії з природою. Символами прогресу та добробуту в суспільстві став розвиток техніки та потужність промислового виробництва, а не якість життя та збалансованість взаємин людства з середовищем.

Провідниками технократичного варіанту цивілізації є перш за все, економічно розвинуті країни. Стосовно цього еталоном розвитку шляхом економічного добробуту за будь-яку ціну може служити ФРН. Для неї характерні:

а) майже повна урбанізація – у містах проживає 90% населення;

б) високий потенціал розвитку промисловості, яка домінує в економіці;

в) розвинута інфраструктура – у країні найбільша у світі щільність автошляхів та залізниць, а власний автомобільний транспорт налічує 100 одиниць на 1 кв. км території;

г) розвинена енергетика – у країні працює 19 АЕС. Але одночасно ФРН, як і інші економічно розвинуті країни, не виявилася еталоном екологічного добробуту, і проблеми стану довкілля тут не менш гострі, ніж в інших регіонах світу.

Каналів впливу людства на навколишнє середовище чимало (рис. 9.1). Це безпосередній вплив людини як біологічної істоти на середовище (використання кисню на дихання, використання біомаси рослин та тварин в їжу та ін.), а також численні прямі та опосередковані зміни, що виникають як віддалені і не завжди є явними наслідками виробничої діяльності людини.

Деградація природного середовища здійснюється під впливом негативних процесів двох типів:

а) порівняно незначних за силою, але тривалих;

б) разових катастрофічних, які мають місце при аваріях і небезпечні не тільки своєю потужністю, але й несподіваністю та різкістю дії.

Друга половина ХХ століття дає достатньо прикладів негативної дії на біосферу і тих, і інших антропогенних впливів. Але для широких верств населення вагомими сигналами неблагополуччя природного середовища та господарської діяльності є екологічні катастрофи, за яких стан довкілля стрибкоподібно змінюється вбік несприятливого.

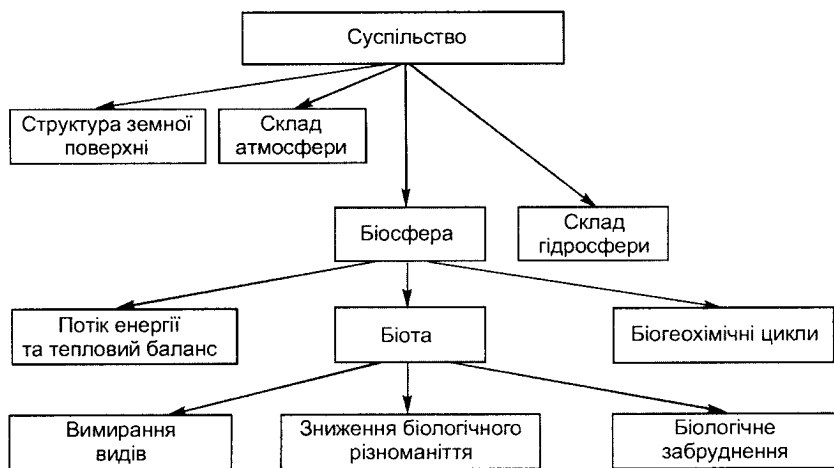


Рис. 9.1. Шляхи впливу суспільства на навколишнє природне середовище

Так, широкий резонанс у світі мала трагедія Севезо – невеличкого італійського містечка, що в 30 км від Мілану. Тут у липні 1976 року сталася аварія на хімічному заводі, у результаті якої в атмосферу було випущено всього 2 кг особливої речовини ТХДД – тетрахлордібензодіоксину. Але ТХДД – сильна отрута, її дія в 67 разів перевищує дію ціанистого калію. У результаті цієї аварії в окрузі Серезо велика кількість людей отримала тяжкі хронічні захворювання, загинуло 78 тисяч сільськогосподарських тварин. Протягом багатьох років у цьому районі народжувалися діти з уродженими вадами. У населення України велику тривогу свого часу викликала чернівецька ситуація. У м. Чернівці в 1988–1989 роках стало швидко розвиватися масове тяжке захворювання дітей, що супроводжувалося випаданням волосся, ураженням нервової системи та дихальних шляхів. Причина захворювання була віднесена на рахунок забруднення навколишнього середовища талієм та частково бором у результаті разового промислового викиду. Моральні та матеріальні збитки міста були незліченні.

Не менш сумну славу має «кіршінський синдром». У м. Кірші, що знаходиться на північному сході Росії, виникло масове захворювання жителів. Воно було викликане викидами збудованого тут біохімізаводу з виробництва мікробіологічного білка – папріну, або БВК (білково-вітамінний концентрат). Виробництво БВК має досить довгу історію. Уперше мікробний синтез білка з грибків роду *Candida* був здійснений у Німеччині ще в часи першої світової війни. Пізніше ця технологія набула певного

поширення в США та Великобританії. У колишньому СРСР виробництво БВК було розпочате у 80-х роках ХХ ст. на основі рідких парафінів нафти, метанолу та природного газу і сягало більше 1 млн. тонн БВК (папріну) за рік. Але це виробництво було екологічно таким брудним, технологія та техніка безпеки порушувалися настільки грубо, що викиди дрібнодисперсного папрінового пилу в атмосферу виявилися практично неминучими. Його вплив на органи дихання людини вкрай несприятливий і веде до розвитку тяжких алергічних астмоподібних захворювань, що нерідко призводить до смерті. Усі біотехнологічні виробництва мають підвищену небезпеку, оскільки для їх здійснення методами генної інженерії почали створювати особливі штами мікроорганізмів. Виринаючись «на волю», вони створюють набагато більшу загрозу, ніж хімічні або радіоактивні забруднювачі.

Прикладами найбільших екологічних катастроф є Чорнобильська аварія, Аральська екологічна криза, війна в Ірані. На жаль, кількість та частота великих екологічних катастроф у світі зростають: за десятиріччя з 1960 до 1970 р. їх сталося 14, а з 1980 по 1990 р. таких катастроф зареєстровано вже 70. Тільки протягом одного 1989 р. у світі трапилося 1773 великі аварії з викидами нафти та різних токсичних речовин у навколишнє середовище. Почали реєструватися техногенні землетруси (Німеччина, Білорусь та ін.), що виникли в результаті виробки гірських порід, нафти та газу, заповнення водосховищ, наповнення пластів гірських порід промисловими стічними водами або відкачування таких вод. Середовище, що нас оточує, стає все більш ненадійним.

Однак головна небезпека для людства полягає не в окремих екологічних катастрофах, якими б трагічними вони не були, а в поступовій деградації природного середовища під впливом немовби малопомітних результатів виробничої діяльності.

Докладною ілюстрацією перетворення природного середовища внаслідок потужного впливу людської діяльності є розрахунок зроблений *В.М. Міркіним* і *Л.Г. Наумовою* (1998). Якщо прийняти тривалість існування нашої планети в 5 млрд. років і прирівняти цю цифру до одного року, то виявиться, що людство з'явилося на земній кулі лише наприкінці цього року – 31 грудня о 16-й годині, тобто за 8 годин до сучасності. Займатися сільським господарством і примітивним промисловим виробництвом людина почала лише о 23 год. 58 хвилин, а на ХХ століття з його бурхливим технічним прогресом припадає тільки 2 секунди. Та цих двох секунд вистачило для того, щоб підвести людство до глобальної екологічної кризи й докорінним чином змінити екосистеми на більшій частині планети.

9.2. ДЖЕРЕЛА ЕКОЛОГІЧНОЇ КРИЗИ ХХ СТОЛІТТЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА БІОСФЕРУ

Глибоке порушення природної екологічної рівноваги та напружений стан взаємин між людиною та природою, які виникли внаслідок невідповідності рівня виробничих сил і виробничих відносин у людському суспільстві ресурсним можливостям біосфери, називають *екологічною кризою*. Кризи за своєю природою зворотні, тоді як перехід кризових явищ в екологічну катастрофу означає необоротний характер змін, що відбулися.

В Україні розрізняють дві категорії регіональних несприятливих екологічних ситуацій: *екологічна катастрофа*, у результаті якої гине велика кількість живих організмів, що спричиняє економічні збитки, та *екологічна небезпека*, при якій з'являються ознаки несприятливих змін, що ставлять під загрозу здоров'я людини, стан природних об'єктів та господарську діяльність.

Кризи, катаклізми та інші порушення, як можна бачити з палеографічних даних, не були рідкістю впродовж історії цивілізації. Одна з перших екологічних криз розігралася наприкінці плейстоцену, коли в результаті інтенсивного полювання були виснажені запаси основної дичини – мамонтів, шерстистого носорога, гігантського оленя, степового зубра. Ця криза спонукала людину перейти від полювання як основного способу добування їжі до землеробства та скотарства. Інша криза спостерігалася в деяких районах північно-західної Індії та Передньої Азії, де швидка деградація ґрунтів та запустелювання, що розвилися внаслідок інтенсивного ведення господарства та неправильної системи зрошування, зробили ці родючі райони мало придатними для життя людини. Але в минулі століття вихід із таких криз був порівняно простим: центр економічного розвитку зміщувався в інший район або людина змінювала спосіб господарювання.

Наприкінці ХХ століття людство відчуло наближення ще однієї екологічної кризи, яка має якісно іншу природу порівняно з усіма попередніми. Це перша криза, яка охопила всю планету й цілком зумовлена не природними процесами, а технологічно-виробничими причинами. Темпи зміни параметрів біосфери, спричинені нею, виявилися в сотні й тисячі разів більшими, ніж темпи природної еволюції. Почалася загальна глобальна деградація природного середовища.

Значну роль у розвитку екологічної кризи відіграє складний соціальний фон, створений розколом людського суспільства на конкуруючі блоки: соціалізм – капіталізм, Захід – Схід, країни, що розвиваються – економічно розвинуті країни, сільське населення – міське населення. Соціально-економічні умови в цих

блоках неоднакові. Так, за даними ООН у 1990 році в розвинених країнах світу середній прибуток однієї людини становив 11 тис. доларів США за рік, тоді як у країнах, що розвивалися, проживало 1 млрд. 125 млн. людей із середнім прибутком усього 370 дол. за рік. Економічна та соціальна нерівність породжує прагнення досягти більш високого рівня за будь-яку ціну. Національний сепаратизм веде до ігнорування глобальних екологічних проблем. Сільські жителі не можуть сприймати гостроту екологічних проблем великих міст.

Елементами тиску цивілізації на природне середовище виступають високовідходні та високовитратні технології, що застосовуються в промисловості та сільському господарстві, автомобільний транспорт та урбанізація. Значну роль у розвитку екологічної кризи відіграє гонка озброєнь. Майже неконтрольовані громадськістю військово-промислові комплекси розвинених країн світу є найбільшими споживачами ресурсів та енергії.

Відомий канадський соціолог *Мюррей Букчин* (1979) головною причиною екологічної кризи вважав тип організації людського суспільства.

На думку чеського вченого *Р. Колярського* (1989), екологічна криза – це криза філософії, криза духовності. Деградація природного середовища є результатом не просто техногенного тиску на нього, а наслідком зuboжіння моральності суспільства, сліпоти щодо майбутніх наслідків прийнятого стилю життя. Чималий внесок у розвиток кризових явищ додає існуюче протиріччя особистих та суспільних інтересів, переважання регіонального мислення над глобальним.

Техногенний тип розвитку цивілізації в умовах швидкого росту населення вимагає залучення до виробничих процесів усе більшої кількості природних ресурсів. Так, лише з 1958 р. по 1986 р. у світі було використано 117 млрд. тонн викопного палива, яке є невідновним ресурсом. Для видобування викопного палива та руд здійснюються великомасштабні втручання в геосферу планети. В одному тільки Радянському Союзі за рік видобувалося більше 1 млрд. тонн гірської породи, корисна частина якої складала менше 20%. Відбуваються ці процеси і в інших країнах світу. У результаті порушуються геологічні структури масивів гірських порід, виникають кар'єрно-відвальні комплекси, хвосто- та шламосховища, рови. Змінюється ландшафт величезних територій.

У світі зареєстровано більш ніж 9 млн. видів штучно отриманих хімічних речовин. Близько 300 тисяч видів їх надходить у продаж. Величезних обсягів набув штучний синтез органічних речовин: у 1950 році світова промисловість виробляла їх 7 млн. тонн, а в 1985 році – вже 250 млн. тонн. Асортимент штуч-

них органічних речовин перевищує 2 млн. назв. Багато з них є токсичними для живих організмів, але гранично допустимі концентрації (ГДК) розроблені тільки для 4,5 тис. з них. ГДК для речовин, токсичних для рослин та тварин, не розроблюються взагалі. Для більшості забруднюючих речовин відсутні методи реєстрації наявності їх у природному середовищі.

Широкомасштабне споживання ресурсів і матеріалів веде до зростання кількості відходів. У середньому в промисловості тільки 1–1,5% споживаних ресурсів включається в кінцевий корисний продукт. Решта – це відходи, що забруднюють природне середовище. Загальний їх обсяг у світі оцінюється в 600 млн. тонн на рік. Високовідходними є сільське господарство та промисловість.

Важливим джерелом глобальної екологічної кризи є темп зміни демографічних і виробничих показників у другу половину ХХ століття. Так, проведений ООН і громадськими організаціями в 1970 році День Землі та повторний аналіз цих же показників у 2000 році (табл. 9.2) показали, що за останні 30 років населення планети збільшилося в 1,6 рази, валовий світовий продукт – у 2,4 рази, добування нафти – у 1,7 рази, кількість автомобілів – майже в 3 рази і т.п. Такої високої динаміки розвитку людство ніколи раніше не знало.

У цілому, екологічна криза кінця ХХ століття виявилася наслідком спільної дії багатьох факторів. Тому простого шляху виходу

Таблиця 9.2. Зростання світових демографічних і виробничих показників за останні 30 років ХХ століття

	1970 рік	2000 рік (30-річчя від проголошення Дня Землі)
Населення Землі	3,7 млрд.	понад 6 млрд.
Середня тривалість життя	58 років	66 років
Валовий світовий продукт	\$16 трлн.	\$39 трлн.
Видобування нафти	46 млн. барелів	78 млн.
Видобування природного газу	34 трлн. куб. м	95 трлн. куб. м
Викиди вуглекислого газу	39 млн. куб. м	6,4 млн. куб. м
Кількість деревини, що використовується для виробництва паперу	100 млн. куб. м	200 млн. куб. м
Кількість автомобілів	246 млн.	730 млн.

Виробництво цукру зросло в 4 рази.

Обсяг збирання кукурудзи збільшився в 2,5 рази,

пшениці – у 2,24 рази,

рису – у 2,2 рази.

Національний борг країн третього світу зріс у 8 разів.

з неї немає, хоча варіантів розв'язання кризової ситуації розглядається чимало. Один із них зорієнтований головним чином на контроль демографічних процесів у формі обмеження народжуваності. Другий націлений на докорінне перетворення менталітету людини, формування біосферної етики, на екологічну конверсію всіх форм промисловості та сільськогосподарського виробництва.

Є й третій варіант: створення на заміну деградуючій біосфері нової оболонки життя – техносфери. Але цей шлях ілюзорний. За підрахунками *В. Горшкова* (1989), у техносфері на стабілізацію навколишнього середовища засобами техніки буде витрачатися 99% енергетичних та трудових ресурсів людства. На підтримку та розвиток самої цивілізації залишається всього 1%. За такого співвідношення витрат людство не зможе існувати.

Деякі вчені для вирішення екологічних проблем висувують четвертий, ще більш гіпотетичний варіант – освоєння космосу. Розглядається можливість створення штучних біосфер на Марсі та Венері. Також був висунутий проект розвитку промислових виробництв на стаціонарних супутниках Землі і на Місяці з перенесенням туди в першу чергу екологічно брудних виробництв. Але всі ці проекти, зорієнтовані на позаземні території як екологічний резерв земної цивілізації, не обґрунтовані фактичними розрахунками достатності ресурсів та енергетичних можливостей Землі.

Д. Тірпак (1991) вважав реальними тільки дві ймовірні моделі виходу з екологічної кризи. Одна передбачає поступові зміни в навколишньому світі, з наростанням деградації природного середовища та небезпечним загостренням на цьому ґрунті соціальних суперечностей. Друга – пропонує швидкі зміни, з форсованою конверсією всіх виробництв та регулюванням народжуваності. Ніякої відстрочки в прийнятті рішень природа не дає. Уже в наш час перед людством постали екологічні проблеми, що вимагають термінових заходів:

- 1) забруднення природного середовища відходами промислового та сільського виробництва;
- 2) потепління клімату та викликане цим підняття рівня Світового океану;
- 3) кислотні опади;
- 4) Запустелювання великих територій;
- 5) Швидкі темпи зниження біологічного різноманіття, вирубка лісів і втрата цілих екосистем.

Зрозуміти природу екологічної кризи в цілому і в окремих її проявах та зробити висновки з допущених прорахунків розвитку, скоригувати розвиток економіки, політики та культури – ось основні завдання, які мають вирішувати люди всієї планети. У протилежному випадку екологічна криза переросте в незворотну екологічну катастрофу з повним руйнуванням біосфери.

9.3. ФОРМИ ТА МЕХАНІЗМИ ДЕГРАДАЦІЇ БІОСФЕРИ. РОЛЬ ПРОМИСЛОВОГО ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Упродовж ХХ століття обсяги техногенних впливів на природне середовище різко зростали. Наприкінці століття світовий обсяг спалювання мінерального палива становив 6,5 млрд. т за рік, добування мінеральної сировини – 1,8 млрд. т, водозабір – 560 км³.

Паралельно зростає і обсяг відходів. Відвали золи склали 350 млн. т за рік, промислові і комунальні стоки – 500 км³. Переміщення гірської породи і ґрунту при добуванні корисних копалин досягло 4 тис. км³ за рік.

У наш час техногенні ґрунти вкривають уже близько 55% суші. У високо урбанізованих районах цей показник перевищує 90%.

На жаль, Україна є одним із тих регіонів планети, де рівень антропогенного забруднення середовища досить високий (табл. 9.3). У промислових районах країни (Придніпров'я, Донбас, частково Причорномор'я) природне середовище суттєво забруднюють викиди шкідливих речовин в атмосферу і водойми. У сільськогосподарських районах (Західне Полісся, Карпати, Крим) наявне забруднення ґрунтів залишками мінеральних добрив і пестицидів. Тут же, як правило, унаслідок високої розораності земель сильно розвинені ерозійні процеси.

Таблиця 9.3. Антропогенне забруднення природного середовища по районах України

Регіон	Викиди шкідливих речовин в атмосферу, т/га	Скидання шкідливих речовин у водойми, м ³ /га	Забруднення ґрунту залишками мінеральних добрив, кг/га	Забруднення ґрунту залишками пестицидів, кг/га	Ступінь розораності території, %
Західне Полісся	0,09	2,0	218	5,2	36,0
Українські Карпати	0,17	9,0	257	7,3	29,4
Поділля	0,07	2,9	168	5,3	69,0
Київське Придніпров'я	0,06	5,4	144	5,0	51,6
Лівобережне Придніпров'я	0,09	8,2	150	4,5	62,6
Промислове Придніпров'я	0,56	104,6	121	3,5	70,4
Донбас	0,07	24,4	155	3,7	59,3
Причорномор'я	0,05	17,6	124	4,6	67,8
Крим	0,19	8,8	123	16,9	45,1

Сучасне виробництво – це перш за все гігантський споживач. Та матеріальне виробництво неминуче супроводжується утворенням речовин, що є побічним результатом тієї чи іншої технології. Виникають відходи і в процесі споживання виробленої продукції.

Споживацька концепція виробництва привела до того, що відходи та побічні продукти, незалежно від їх шкідливості, протягом багатьох десятиліть просто викидалися в навколишнє середовище. Тільки починаючи з другої половини ХХ століття стали застосовувати різні засоби для зв'язування та знешкодження промислових, сільськогосподарських та побутових відходів. У країнах Європейського Союзу відходи поділяють на три категорії:

- 1) «зелені» – безпечні;
- 2) «жовті» – шкідливі, на їхнє складування потрібен спеціальний дозвіл;
- 3) «червоні» – дуже небезпечні, що знаходяться під суворим контролем.

Але далеко не всі сучасні промислові та сільськогосподарські технології передбачають знешкодження відходів, а якщо й передбачають, то найчастіше ефективність цього процесу низька.

Усі сторонні речовини, що надходять у навколишнє середовище внаслідок людської діяльності за пропозицією *Р. Парсона* називають антропогенним забрудненням, а в результаті природних процесів – природним забрудненням. Антропогенне забруднення може бути у вигляді газоподібних викидів, рідких стоків на твердих відходів. Але поняття антропогенного забруднення звичайно розглядається ширше. До нього належать усі види та форми порушень структури та функціонування природних об'єктів, що виникають у результаті діяльності людини. Розрізняють такі види антропогенного забруднення навколишнього середовища:

- 1) *хімічне*, яке зводиться до надходження в навколишнє середовище різноманітних ксенобіотиків;
- 2) *фізичне*, до якого відносять знищення територій, шумові перешкоди та електромагнітне випромінювання;
- 3) *термічне*, яке спостерігається при скидах у водойми нагрітої води з промислових підприємств і в першу чергу з ТЕЦ;
- 4) *радіоактивне*, яке пов'язане з надходженням в природне середовище штучних ізотопів;
- 5) *засмічення*, що проявляється в надходженні до навколишнього середовища різного роду твердих відходів;
- 6) *біологічне*, при якому в природних та антропогенних екосистемах з'являються невластиві їм організми. Особливим випадком такого виду забруднення є мікробіологічне, пов'язане з розвитком у навколишньому середовищі паразитичної мікрофлори;

У цілому, під забрудненням природного середовища розуміють будь-яке привнесення в нього не властивих йому живих чи неживих компонентів або структурних змін, які викликають порушення біогеохімічних циклів та потоку енергії в біосфері і в кінцевому результаті чинять несприятливу дію на живі організми та людину.

У загальному випадку джерела забруднення природного середовища можна класифікувати за *походженням* – штучні, антропогенні (питома вага – близько 90% загального обсягу) і природні; *місцем походження* – континентальні, морські й атмосферні; *часовою ознакою* – постійні, епізодичні, разові, випадкові; *просторово-часовою ознакою* – фіксовані і нефіксовані тощо.

У зв'язку з тим що забруднювачі не тільки завдають узагалі збитків природі, але й шкодять здоров'ю людини, для оцінки рівня забруднення середовища використовують особливу величину – *гранично допустиму концентрацію* (ГДК). ГДК – це максимальний рівень забруднення, яке людина витримує без загрози її здоров'ю. ГДК визначається для кожного забруднювача окремо. При використанні концепції ГДК варто мати на увазі, що шкодливість від забруднюючих речовин зростає завдяки ефекту синергізму, який полягає в тому, що шкода від комплексу забруднювачів перевищує просту суму ефектів від кожного з них окремо.

Антропогенне забруднення привело до залучення в планетарні біогеохімічні цикли великої кількості сторонніх для них речовин. Це головним чином метали. У біогеохімічні цикли щорічно надходить заліза 4×10^9 тонн, алюмінію – 10^8 тонн, свинцю – 3×10^5 тонн, кадмію – 2×10^3 тонн. До них додаються різноманітні органічні та неорганічні ксенобіотики.

Промислове та сільськогосподарське виробництво зумовили появу особливого, техногенного типу міграції речовини на планеті. Техногенна міграція полягає в переміщенні на великі віддалі сировини, продуктів виробництва та відходів. Техногенна міграція приводить до дуже різких порушень біогеохімічного циклу вуглецю, оскільки в кругообіг включається все більша його кількість, що раніше знаходилася в депо у вигляді вугілля, нафти та природного газу. Сильно порушуються біогеохімічні цикли азоту (унаслідок щорічного його надлишкового надходження до біосфери в кількості приблизно 9 млн. тонн) та фосфору (унаслідок підвищеного його стоку у водойми).

Різноманітностей порушень, що приносить людина в біосферу і що ведуть до її деградації, досить багато. До них відносять навіть туризм, який дехто схильний вважати «формою контакту людини з природою». Унаслідок демографічного вибуху та урбанізації туризм став масовим. Місць, недоступних для сучасного туризму, у світі залишилося дуже мало. Тварини, особливо в

період розмноження, ще витримують поодиноких людей, що з'являються рідко, але їм дуже заважають туристичні групи, які часто намагаються встановити тривалий контакт з тваринами, «спостерігаючи» за їхньою поведінкою. У таких умовах більшість видів тварин припиняють свій репродуктивний цикл, не залишаючи потомства.

Безперечно завдає збитків природним екосистемам і спорт. Так, наприклад, в останні десятиліття в Японії став популярним гольф. Вивляється, що територія, зайнята майданчиками для гольфу, до 1990 року досягала 37 483 км², що для цієї невеликої країни чимало. Але це не лише втрати території, майданчики для гольфу швидко зазнають ерозії, в них вноситься велика кількість добрив. Масовий любительський та професійний лижний спорт завдає великої шкоди екології Альп, Карпат, Кавказького хребта та інших гірських систем світу. В Альпах встановлено 13 тисяч підйомників для лижників, прокладено 45 тисяч лижних трас. Щороку цей гірський масив відвідує більш ніж 100 млн. туристів. Німеччина навіть була змушена розгорнути пропаганду за організацію «ніжного» туризму, тобто такого, що зберігає природу.

Повсюдним та небезпечним для біосфери стало любительське полювання. У Франції, яка посідає перше місце в Європі за цим показником, зареєстровано 1,8 млн. мисливців. Не випадково на її території при дослідженні різних видів птахів *Д. Гейн* та ін. (1992) знайшли у волах 19% птахів від 1 до 62 шротинок. Пир'я таких птахів вмщувало підвищену концентрацію свинцю. У Великобританії проведено облік кількості свинцевого шроту, що потрапляє до природного середовища під час спортивного полювання. Виявилось, що в донних відкладеннях озер накопичилося від 3,4 тисячі до 16 тисяч шротинок на 1 га. У ФРН за рік продається 9 тисяч тонн свинцевого шроту. У США в ряді регіонів зареєстровано більше 100 тисяч шротинок на 1 га мисливських угідь. Тут 10,9% траурних голубів мають шрїт у своїх волах. Вважається, що 20–50% лебедів гине від свинцевого отруєння, оскільки концентрація свинцю в організмах бентосу, яким вони живляться, різко підвищена. *Дж. Майю* (1990) у зв'язку з цим пропонує виготовляти шрїт зі сталі. Це вирішить проблему свинцевого отруєння, але знищення тварин не припинить.

Під впливом антропогенного пресу швидкими темпами почали змінюватися екосистеми. З них почали випадати цілі блоки організмів, спростилися структури, функціонування стало менш ефективним. Результатом прямого знищення живих організмів людиною в процесі полювання, рибальства та заготівлі лікарських рослин є збідніння живої речовини біосфери планети. Має місце і опосередковане знищення, коли рослини та тва-

рини вимирають унаслідок знищення їхніх місць проживання та розмноження. До цього додаються антропогенні катастрофи: пожежі, аварійні викиди великої кількості шкідливих речовин, аварії на транспорті та лініях електропередач та інші, від наслідків яких потерпає все живе.

Обсяги вилучення біопродукції з біосфери досягли 70%, а жива матерія функціонує на оптимальному рівні тоді, коли з продукції біосфери вилучається не більше 1%. Екосистеми і біосфера в цілому все більше втрачають здатність до саморегуляції та самопідтримки. У кінцевому підсумку це надає кругообігу речовин на земній кулі якісно нового та непередбачуваного характеру. Сама стабільність функціонування біосфери опинилася під загрозою. Забрудненням та деградацією охоплені всі геосфери Землі. Повітря, вода та ґрунт стали втрачати свої основні природні властивості.

9.3.1. Забруднення атмосфери

Атмосферне забруднення спричинюють тверді частинки (попіл та пил) та різноманітні газоподібні речовини. У забруднення атмосфери найбільший внесок робить промисловість. Забруднення метаном, аміаком, пилом здійснює сільськогосподарське виробництво. Загальні обсяги промислових викидів у повітряний простір колосальні. Найбільш небезпечними забруднювачами атмосфери є кислотоутворюючі оксиди – азоту, сірки, а також вуглекислий газ, чадний газ, аміак, фтор, хлор та промисловий пил. Їх надходження в повітря помітно змінило склад сучасної атмосфери порівняно з доіндустріальним періодом (табл. 9.4).

Сірчистий газ SO_2 утворюється як побічний продукт при металургійному виробництві та спалюванні кам'яного вугілля або нафти, що вміщують домішки сірки. Обсяги викидів сірчистого газу залишаються великими в промислово розвинених країнах (табл. 9.5), незважаючи на введення жорсткого державного

Таблиця 9.4. Концентрація деяких газоподібних речовин в атмосфері в доіндустріальну та сучасну епоху

Речовини	Концентрація в частках на мільйон	
	доіндустріальна епоха	сучасність
Вуглекислий газ	275	354
Метан	0,7	1,7
Оксиди азоту	0,228	0,310
Тропосферний озон	0,015	0,035
Хлорфторвуглеводні	0	0,00028

Таблиця 9.5. Викиди оксиду сірки в атмосферу в деяких країнах Європи у 1988 році з розрахунку на 1 км² території країни (за Беком, 1990)

Країна	Розміри викидів оксиду сірки, т/рік
Великобританія	14,8
Німеччина	10,6
Франція	3,1
Чехія, Словаччина	25,0
Австрія	1,6
Швеція	0,6

контролю та економічних санкцій на наднормативні викиди оксидів сірки.

У країнах, що розвиваються, промислові підприємства обладнані установками, що уловлюють такі оксиди значно меншою мірою.

В утворенні оксидів азоту велику роль відіграють теплові електростанції. На їхню долю припадає більше 50% викидів цих оксидів.

До сумарних викидів вуглекислого газу чималий внесок робить автотранспорт – 47%. Навіть така невелика країна, як Японія створює викиди вуглекислого газу завдяки автомобілям у розмірі $144\ 077 \times 10^3$ тонн/рік. На другому місці за розмірами викидів антропогенного вуглекислого газу знаходиться паливне енергоукомплектування. У цілому розвинені країни дають 54% антропогенного вуглекислого газу, а країни, що розвивалися, – 46%. У сукупності антропогенні викиди вуглекислого газу привели до того, що за останні 100 років його кількість в атмосфері зросла на 20%, а за іншими оцінками – навіть на 30%. Так чи інакше, на початку ХХ століття вміст вуглекислого газу в атмосфері складав 0,03% за об'ємом, а зараз він становить 0,035%.

Викидається в атмосферу й метан. За даними Дж. Голдена (J. Holden, 1992), за останні 100 років його кількість в атмосфері збільшилася в 100 разів.

Почала зростати кількість у повітрі тропосферного озону (O₃). Його утворення пов'язане з роботою транспортних засобів, а також зі спалюванням нафтопродуктів та природного газу. На відміну від стратосферного озону, з якого формується озоновий екран планети, тропосферний озон відіграє негативну роль. Це сильний фотоокислювач. Однак в Європі його концентрація в атмосфері щорічно збільшується на 1%. Максимум озону спостерігається в денні години. Уже при концентрації 360–400 мкг/м³ тропосферний озон сильно подразнює слизові оболонки, а на території ФРН в останні роки реєструвалася його концентрація до 600 та більше мкг/м³.

У цілому внаслідок промислових та сільськогосподарських викидів газовий склад атмосфери до кінця ХХ століття почав якісно змінюватися. У ній у все більшій кількості почали накопичуватися небажані речовини. Під загрозою опинився і кисень атмосфери – його кількість знижується. За підрахунками

В.І. Вульфсона (1969), до 2000 року тільки на спалювання палива буде витрачатися 57 млрд. тонн кисню, що складає 13% всього об'єму, що продукують зелені рослини.

Зміна хімічного складу повітря несприятливо впливає на більшість біосферних процесів. Забруднення повітря токсичними хімічними речовинами навіть при малій їхній концентрації веде до зниження неспецифічної стійкості організму та сприяє розвитку багатьох захворювань людини, несприятливо впливає на стан тварин та рослин.

9.3.2. Забруднення та деградація ґрунту

За час розвитку людської цивілізації площі ґрунтів, придатних для землеробства, безперервно скорочуються. Це відбувається в результаті відведення земель під міське та сільське будівництво, транспортні комунікації, ложа водосховищ та на інші потреби. Забруднення ґрунтів полягає в тому, що до них надходять нові, нехарактерні для них речовини, або поселяються та розмножуються в них нові мікроорганізми.

У другій половині ХХ століття внаслідок забруднення стала характерною масова деградація ґрунтів із втратою їх основної властивості – родючості. Факторів деградації ґрунтів дуже багато. Головні з них такі:

- а) *неправильне землекористування*, що призводить до втрати родючого шару ґрунту при ерозії;
- б) *знищення екосистем*, у межах яких формувалася даний тип ґрунту;
- в) *забруднення промисловими*, сільськогосподарськими та побутовими відходами;
- г) *зміни кліматичних факторів* і, в першу чергу, гідрологічних умов.

Залежно від регіону та умов господарювання на перший план у деградації ґрунтового покриву може висуватися будь-який із цих факторів.

Для ґрунтів є небезпечним накопичення в них металів. За своїм походженням важкі метали в ґрунті поділяються на три групи:

- а) *літогенні*, що є в складі гірських порід;
- б) *педогенні*, що пов'язані з ґрунтом;
- в) *антропогенні*, які вносяться в ґрунт у результаті діяльності людини.

Найбільшу небезпеку становить остання група.

Найбільш токсичними для ґрунту (1 клас небезпечності) є свинець, ртуть, уран, торій, кадмій, берилій, хром, нікель та кобальт. Токсичні також германій, олово, вольфрам, молібден, літій,

вісмут, марганець, мідь, миш'як, селен, алюміній. Більшість цих речовин концентрується в трофічних ланцюгах. Хоча самі по собі важкі метали не є ксенобіотиками, але в підвищених концентраціях вони завдають біологічної шкоди всім живим організмам. Наприклад, при концентраціях алюмінію (основними джерелами надходження якого є посуд, чай та аспірин) більше ніж 10 мкг/л розвивається хвороба Альцгеймера. Чотиривалентний хром, що утворюється як відходи гальванічних виробництв, дуже шкідливо впливає на нирки та легені. Кадмій вражає печінку, веде до розвитку гіпертонії, а в підвищеній концентрації має канцерогенну дію.

Антропогенна трансформація ґрунтів набула такого поширення, що *Л.В. Етеревська* (1989) вважала доцільним виділяти особливу категорію ґрунтів – техноземи. Сильно забруднюють ґрунти пестициди та залишкова кількість мінеральних добрив. Аварії на АЕС та випробування ядерної зброї супроводжуються забрудненням ґрунту радіонуклідами. Видобування, переробка та використання нафтопродуктів веде до забруднення ґрунту залишковою кількістю сирої нафти, бензинів, мастильних матеріалів.

В останні десятиліття серед різних видів хімічного забруднення на перше місце вийшло надходження до навколишнього середовища діоксинів. Під назвою «діоксин» виступає більше 75 поліхлорованих похідних дибензодіоксину та фуранів, що утворюються при відбілюванні целюлози та спалюванні побутових відходів і характеризуються високою токсичністю.

Діоксин і його похідні настільки отруйні, що гранично допустима концентрація (ГДК) для них дуже мала: вона становить усього 10^{-12} г (0,000000000001 г) на 1 кг.

Діоксин отруйний для всіх аеробних організмів. Він важко розкладається в природних умовах. Діоксин входив до складу так званого «оранжевого агенту», який США використовували як дефоліант у період війни у В'єтнамі. У результаті в місцевого населення та солдат США – ветеранів цієї війни – досі реєструється підвищена частота ракових захворювань.

Діоксини, потрапивши в організм людини, практично ніколи не виводяться з нього. Вони концентруються в живих тканинах і при накопиченні в кількості більше 1 мкг/кг маси тіла починають викликати порушення травлення, фіброз печінки і підшлункової залози, атеросклероз, порушення слуху і низку інших захворювань. Виводиться діоксин у людини з організму лише з молоком матерів-годувальниць, оскільки його жирність складає 3,5–3,8%. Таким чином, отруєння діоксином починається ще в наймолодшому віці. Тому тестом на діоксинову безпеку середовища нашого існування є вміст діоксинів у жіночому молоці. Як видно з *рис. 9.2*, той чи інший рівень загального от-

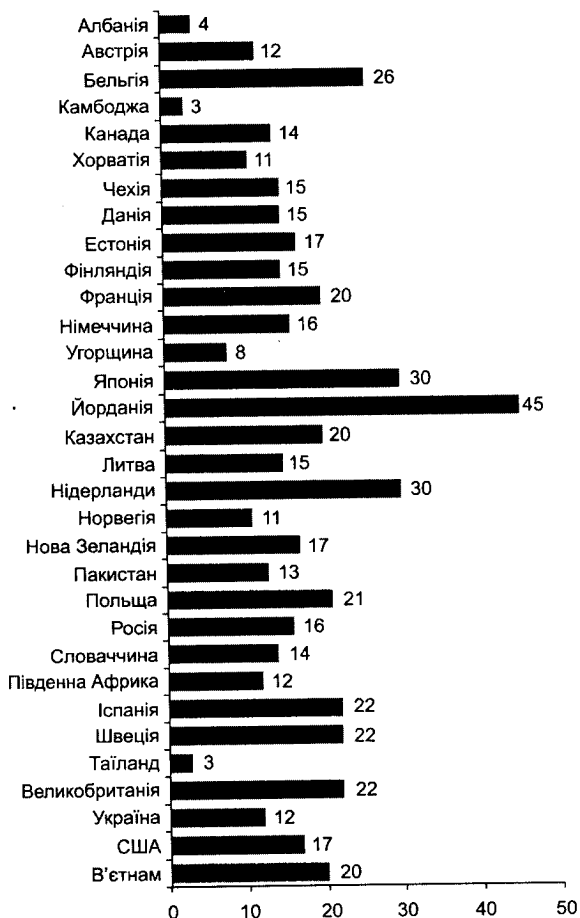


Рис. 9.2. Діоксиподібні сполуки у грудному молоці (нг ТО/кг жиру) матерів-годувальниць (за даними Міжнародного Агентства з вивчення Раку, 1997 р.)

руення діоксинами характерний практично для всіх країн, коливаючись залежно від санітарно-екологічного стану тієї чи іншої території від 3 до 45 токсичних одиниць (ТО). В Україні він становить близько 12 ТО.

У сільськогосподарських районах велика кількість ґрунтів втрачається внаслідок активних ерозійних процесів. Відомий канадський зерновий пояс до нашого часу втратив 50% органіки, яка початково містилася в його ґрунтах. У Великобританії середні втрати ґрунтів від ерозії оцінюються від 2,2 до 12,2 тонн/га за рік. У ряді регіонів деградація ґрунту пов'язана з

неправильно проведеною меліорацією: ґрунт або висушується (при осушенні боліт), або перезволожується (у районах дії зрошувальних систем). Нерідко зрошування веде до вторинного заселення ґрунтів.

Стан «здоров'я» ґрунтів контролюється в наш час погано. Серед величезної кількості ксенобіотиків, що надходять до ґрунту, реєструються тільки кілька десятків. Продукти їх перетворення, часто більш токсичні, ніж сама початкова речовина, взагалі ніяк не враховуються. Темпи втрат ґрунтової родючості та самих ґрунтів стали такими високими, що *Г.В. Добровольський, Л.О. Нарпачевський* та ін. відомі ґрунтознавці ставлять питання про підготовку Червоної книги ґрунтів, до якої мають бути занесені типи ґрунтів, яким загрожує повне знищення. Червона книга ґрунтів може бути основою для ведення моніторингу стану ґрунтів і збереження еталонів природних типів ґрунтів.]

9.3.3. Забруднення Світового океану та континентальних вод

Забруднення акваторії Світового океану та континентальних водойм здійснюється через три основних джерела:

- а) стічні води промисловості;
- б) стоки сільськогосподарських виробництв;
- в) стоки населених пунктів.

Розрізняють первинне та вторинне забруднення водойм. Первинне пов'язане з надходженням до акваторії відходів господарської діяльності людини. Вторинним називають забруднення, що розвивається внаслідок біохімічних порушень у життєдіяльності живих організмів морів та прісних вод і веде до втрати природних зв'язків між організмами з різними типами живлення.

Найбільш небезпечне хімічне забруднення водойм різноманітними токсичними речовинами. Воно настільки велике, що водойми все більшою мірою перетворюються в «стічну канаву цивілізації». Хімічні забруднювачі, концентруючись у ланцюгах живлення, не тільки безпосередньо нищать живі організми, вони вкрай несприятливо діють опосередковано: вода втрачає прозорість, у ній падає вміст кисню.

Загальний об'єм стічних вод у світі, з яких 95% не очищені або недостатньо очищені, складають 1 870 км³/рік. У Північній Америці він дорівнює 440 км³/рік, в Європі – 308 км³/рік, Китаї – 36,8 км³/рік.

Максимальну забрудненість мають ділянки узбережжя водойм до глибини 100 м. Особливо небезпечним є забруднення внутрішніх морів. До Азовського та Чорного морів зі стоками надходить велика кількість хлору, натрію, калію та інших речовин. Йде змив із ланів залишкової кількості пестицидів. Підраховано, що

в Каркінітській затоці України втрати рибних ресурсів, пов'язані з забрудненням води, у десятки разів перевищили економічний ефект від зрошення та хімічних препаратів захисту рослин.

Велика кількість забруднювачів утримується у воді дуже довго, ще довше триває їх циркуляція в ланцюгах живлення. Відомо, що виробництво та використання ДДТ припинено приблизно 25 років тому, але його й досі знаходять у Світовому океані навіть на глибині до 2 500 м. У ланцюгах живлення водних організмів циркулюють досить різноманітні токсичні речовини. За підрахунками *С. Драй-Жільмо* (1991), пестициди, що потрапляють до океанів із континентальними стоками, отруюють живі організми в результаті дії ефекту концентрації в ланцюгах живлення. Якщо прийняти вміст пестицидів у морській воді за одиницю на літр, то в планктоні вміст пестицидів складає вже 70 одиниць на літр, у тканинах риби – 25 тисяч одиниць на кілограм, а в тканинах та жири дельфінів і хижих морських риб – 800 тисяч одиниць на кілограм.

Негативною дією характеризуються і біологічно корисні речовини, якщо їх кількість у воді перевищує певний рівень. Зокрема, ріст концентрації біогенних елементів (особливо фосфору в концентрації більш ніж 0,07 мг/л) у водоймах веде до евтрофікації – посиленого розвитку рослинності водойм («цвітіння води») без паралельного збільшення чисельності гетеротрофів. Унаслідок дефіциту кисню евтрофікація завершується гнилісними процесами та втратою чистої води. Головною причиною «цвітіння води» є посилений стік до водойм залишкової кількості азотних та фосфорних добрив, а також залишкової кількості миючих засобів (детергентів), що застосовуються в побуті та містять фосфор.

Серйозну небезпеку для водойм усіх видів має зростаюче забруднення поверхнево-активними речовинами (ПАР), що використовуються як миючі засоби. Їх виробництво у світі досягло $2,8 \times 10^6$ тонн на рік. За хімічним складом ПАР поділяються на три види: катіонні, аніонні й такі, що не вміщують іонів. Найбільш поширені аніонні миючі засоби. Вони утворюють на поверхні води плівку, стійку до біоуринування. У воді, забрудненій ПАР, спостерігається пригнічення розвитку всіх живих організмів.

Серйозною проблемою, що призводить до виникнення епідемічних захворювань, є забруднення водойм хвороботворними мікроорганізмами. За даними ВООЗ, у світі через забруднення питної води щорічно вмирає більш ніж 6 млн. дітей. *В.І. Бондаренко* та *В.І. Задорожня* (1991) протягом останніх 25 років здійснювали облік забруднення води у водоймах України ентеровірусами. Виявилось, що стічні води м. Києва після очистки в 13–23% випадків містили в собі ентеровіруси. У водопровідній воді

їх знаходили в 16,9% випадків, у річковій воді в межах великих міст України – у 22,8% випадків, і навіть хлорована вода закритих дитячих басейнів у 8,9% випадків мала ентеровіруси. Вони були знайдені у 8,1% випадків на поверхні плодів та овочів, що надходять у продаж. Нерідко в питній воді виявляється кишкова паличка, велика кількість штамів якої стійкі до антибіотиків і є причиною спалахів кишкових інфекцій влітку. Це свідчить про низьку якість очистки питної води, неефективне хлорування та зростаюче забруднення природних водойм.

Особливим видом забруднення акваторії є засмічення твердими відходами, які звичайно називають уламками. Це різні предмети (або їх залишки) з пластику, скла, картону, дерева та інших матеріалів. Особливо небезпечні пластикові уламки, оскільки вони не розкладаються надто тривалий час. Обсяги засмічення Світового океану зростають катастрофічними темпами. Так, за даними *Ц. Бауєра та С. Індицелло (1990)*, у 1975 році тільки з рибальських суден було скинуто 340 тисяч тонн пластикових відходів. Засмічення завдає великих збитків водяній флорі та фауні.

Велика кількість плаваючого сміття врешті-решт потрапляє до берегів та пляжів. *П. Шевальє та Д. Джонсон (1994)*, провівши обстеження 20 пляжів на Атлантичному узбережжі США, установили, що на кожні 10 км² пляжу припадає від 0,5 до 1,5 кг уламків пластику.

Забруднюється Світовий океан також при розлитті нафти, що має місце при аваріях танкерів та стіканні нафти з прибережних територій у воду. В останні роки до Світового океану щорічно скидається від 2,4 до 6 млн. тонн сирової нафти. Приблизно 36% цієї кількості дають берегові стоки нафтодобувних та нафтопереробних підприємств, 33% – стік з морських нафтових свердловин та промивка танкерів і 5% – аварії танкерів.

За останні десятиліття зареєстровано вже кілька великих аварій танкерів, які привели до локальних екологічних катастроф. Так, 19 грудня 1989 року танкер «Харк-5» (Іран) отримав пробоїну біля Канарських островів. На узбережжя Марокко вилитося 70 тонн нафти з утворенням нафтової плями діаметром у 250 км. Для знешкодження цієї нафти довелося застосувати 500 тонн диспергентів, однак морській фауні та флорі було завдано великої шкоди, суттєво постраждали краби, сардини. Танкер «Ексон Валдіз» у 1989 році сів на мілину біля берегів Аляски, викинувши 41 тисячу кубічних метрів сирової нафти, від розливу якої загинуло приблизно 300 тисяч особин птахів та декілька тисяч морських ссавців. Для ліквідації цієї нафти було необхідно застосувати 60 тис. м³ ґрунту, було витрачено 2 млрд. дол. та застосована праця 11 тис. робітників. Усього, за даними *Регістру Ллойда*, за період із 1973 до 1990 року аварії сталися з

583 танкерами, і при кожній з них у воду скидалася та чи інша кількість нафти. «Шоколадні» припливи стали звичайним явищем на багатьох морських пляжах. Як свідчить супутникове фотографування, нафтовою плівкою вже вкрито близько 10–15% поверхні океанів та морів.

Для України особливо важливим є стан Чорного моря, яке є майже повністю «закритою» водоймою і тому особливо чутливе до забруднення. У 1990 році до Чорного моря надійшло 5 млрд. м³ стічних вод. Скиди на узбережжя дренажних вод із поливних площ Південно-Українського каналу в районі Скадовська привели до замулювання пляжів. За останні десятиліття надходження до Чорного моря з території України, Росії, Грузії та Туреччини солей важких металів, пестицидів, залишкової кількості добрив, миючих речовин настільки великі, що чітко реєструється збіднення іхтіофауни, зменшення вилову риби, а виловлена риба все частіше стає непридатною для вживання в їжу.

Особливістю Чорного моря є наявність глибоководної сірководневої зони, в якій можливе життя тільки анаеробних організмів. В останні роки виникла загроза «сірководневого вибуху» – підняття рівня сірководню до самого виходу його на поверхню. Уже в наш час верхня межа сірководневої зони в центрі моря піднялася до позначки 100 м, а біля берегів – до 300 м. Цей процес пов'язаний зі скидами в прибережні води великої кількості неокислених побутових відходів та нафти.

У цілому забруднення водойм усіх типів стало таким сильним, що в багатьох із них можливості до самоочищення вичерпалися, почався процес необоротної деградації. Конвенції про захист океанів, морів та прісних вод прийнято багато, але ефект від них поки що малий. Хоча в цілому Світовий океан ще здоровий, цього не можна сказати про внутрішні моря та прибережні зони.

9.3.4. Фізичні фактори забруднення середовища

Під фізичним забрудненням природного середовища маються на увазі різноманітні види шумів, антропогенно створювані електромагнітні випромінювання, порушення природного теплового балансу, та вібрація.

Шумове забруднення. Під шумом в екології розуміють будь-який звук, що сприймається живим організмом, порушує тишу й перешкоджає нормальній життєдіяльності цього живого організму. Відповідно до визначення Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) шум розглядається як фактор забруднення довкілля, свого роду «відходи» технічної цивілізації.

Антропогенних джерел шуму досить багато. Це різні транспортні засоби, промислове виробництво (металургія та текстильна промисловість у першу чергу), будівельне виробництво, робота

радіоелектронної апаратури і т. ін. У містах 80% шумів створює транспорт. Вивченням ролі шуму в природі займається акустична екологія.

На людину особливо погано діє шум з частотою 400–800 Гц. Під впливом шумів розвивається багато неспецифічних захворювань. Потужні шумові впливи можуть викликати загибель організму. У Давньому Китаї існувала навіть «музична страта» – засудженого на смерть карали тривалою дією сильного шуму, від якого він гинув. Для котів та собак смертельним є шумовий вплив у 165 дБ.

У промисловості в робочих приміщеннях вважається допустимим шум до 80–85 дБ, у жилих приміщеннях він не має перевищувати 50–60 дБ (у деяких країнах – 40 дБ), а вночі – 35–50 дБ. Ці норми всюди порушуються. У США ризикують втратити слух від промислового шуму силою більш ніж 100 дБ більше 9 млн. робітників на штамповці, піскоструминній обробці, свердлінні і т.п.

Низькочастотні вібрації з рівнем 10 дБ і вище викликають судинні захворювання. Відповідно до спостережень, що були проведені в Японії, діти в сім'ях, які проживають поблизу аеропортів, низькорослі. За директивами, розробленими для країн Європейського Союзу, при рівні шуму більше 90 дБ необхідно користуватися засобами індивідуального захисту.

Рівні міських шумів кожні 5–10 років зростають у середньому на 5–10 дБ. Більшу небезпеку створюють звук та інфразвук. Навіть при відносно низьких рівнях енергії інфразвук може привести до серйозних захворювань. Багато нервових хвороб міських жителів викликані саме інфразвуками, які проникають крізь найтовстіші стіни.

Електромагнітні поля виникають поблизу ліній електропередач, працюючих телевізорів, радарів, холодильників та в ряді інших випадків. Радарні та радіорелейні установки дають мікрохвильове випромінювання з частотою 1–15 ГГц. Вплив електромагнітних полів на живі організми залежить від частоти.

Спорудження в колишньому СРСР у 1960-ті роки надпотужних електростанцій та високовольтних ЛЕП уперше зробило актуальною проблему захисту населення від впливу електромагнітного поля. Його вплив на живі організми поки мало вивчено, але відомі факти негативного впливу електромагнітного випромінювання на здоров'я людей, які працюють у зоні дії такого випромінювання. Під впливом електромагнітного випромінювання (особливо коли лінія електропередач працює при частоті більш ніж 60 Гц) у людини виникає швидка втомлюваність, почуття апатії, нерідко трапляється збільшення ваги, може розвиватися лейкоз, реєструються вади розвитку.

Тому деякі спеціалісти наполягають на максимальному вкороченні будь-яких ліній електропередач та на встановленні екранів, що поглинають випромінювання. Вважається, що агресивність багатьох водіїв автомобілів провокується перенасиченістю салону електромагнітним випромінюванням. Але інші спеціалісти вважають, що шкідливість електромагнітного випромінювання перебільшено, а в дозах до 10 мТл воно взагалі безпечне.

9.3.5. Радіоактивне забруднення навколишнього середовища

Радіоактивні матеріали небезпечні своїм іонізуючим випромінюванням. Іонізуюче випромінювання буває кількох видів: альфа-випромінювання є потоком ядер гелію, бета-випромінювання – це потік швидких електронів, гамма-випромінювання – короткохвильове випромінювання, близьке до рентгенівських променів. Завдяки високій енергії радіоактивне випромінювання здатне відривати електрони з їх орбіталей та створювати позитивно та негативно заряджені іони.

Радіоактивне випромінювання виникає при спонтанному розпаді ядер деяких елементів (урану, радію, плутонію й ін.). Основний ефект такого випромінювання полягає в здатності викликати іонізацію атомів інших речовин, тобто відщеплювати від них один чи кілька електронів, розколюючи таким чином електрично нейтральну молекулу на заряджені частки.

Існує чотири форми іонізуючого радіоактивного випромінювання.

Альфа-частинки складаються з двох протонів і двох нейтронів і являють собою ядра гелію. У повітрі вони переміщуються на кілька міліметрів, у тілі людини не проникають далі шкіри, але вдихувані з повітрям можуть ушкоджувати тканини легень.

Бета-частинки – це електрони чи позитрони. У повітрі вони розповсюджуються на кілька метрів, у тканинах людини – на кілька міліметрів.

Гамма-промені являють собою електромагнітне випромінювання, яке має здатність до іонізації. Нижня частина енергетичного спектру цих променів називається рентгенівськими променями. Проникаюча здатність гамма-променів дуже велика.

Нейтрони – нейтральні частинки, здатні викликати іонізацію побічно.

Енергетичною одиницею виміру випромінювання є кулон (Кл), що відповідає випромінюванню, яке приводить до утворення в сухому атмосферному повітрі іонів із зарядом у 1 Кл. Для цієї ж мети іноді використовують рентген (Р). При цьому 1 Р дорівнює $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг. Одиницею для виміру власне поглиненої дози випромінювання служать греї (Гр) чи рад, який дорівнює 10^{-2} Гр.

В екології особливо зручний рад. *Один рад* – це доза випромінювання, при якій 1 м живої тканини поглинає 100 ергів енергії.

Як одиниця активності нуклідів виступає *бекерель (Бк)*, що відповідає такій активності радіонукліда, при якій за 1 секунду відбувається один розпад.

Біологічна дія випромінювання залежить не тільки від дози, але й від його біологічної ефективності, тому в екології стосовно живих організмів використовують біологічний еквівалент рентгена – *бер*. У системі СІ бер замінений *зівертом (Зв)* так, що 1 Зв дорівнює 1 Дж/кг чи 102 бер.

Порівняльна характеристика одиниць вимірювання радіоактивності наведена в *табл. 9.6*.

Таблиця 9.6. Деякі одиниці, що використовуються при вимірюванні іонізуючого випромінювання і дози опромінення

Одиниці	Опис	Еквівалент
Бер (біологічний еквівалент рентгена)	Одиниця вимірювання, що еквівалентна поглиненій дозі радіації, враховує відносну біологічну ефективність різних видів іонізуючого випромінювання або різні шляхи передачі цієї енергії тканинам людського організму. Доза в берах є еквівалентною дозі в радах, помноженій на коефіцієнт якості (Q). Для бета- і гамма-випромінювання коефіцієнт якості береться як рівний одиниці, тобто дорівнює раду. Для альфа-випромінювання коефіцієнт якості береться рівний 20, тобто бери у 20 разів більші радів. Бер – це, по суті, міра завданого біологічного ушкодження. Для нейтронів Q звичайно приймається рівним 10	Бер = рад × Q
Зіверт (Зв)	Одиниця вимірювання, еквівалентна поглиненій дозі, що дорівнює 100 бер	1 Зв = 100 бер Зв = Гр. × Q
Рад (поглинена доза радіації – від англ. <i>radiation absorbed dose</i>)	Одиниця вимірювання поглиненої дози радіації. Рад – це міра кількості енергії, поглиненої тканиною.	1 рад = 100 ерг/г
Грей (Гр)	Одиниця поглиненої дози радіації, рівної 100 рад. Грей – це міра енергії, поглиненої тканиною.	1 Гр = 100 рад
Кюрі (Ки)	Традиційна одиниця вимірювання радіоактивності, рівна радіоактивності одного грама чистого радію–226.	1 Кюрі = 37 млрд. розпадів за сек. = 37 млрд. Бк
Бекерель (Бк)	Стандартна міжнародна одиниця радіоактивності, рівна одному розпаду в секунду.	1 Бк = 27 пікокюрі
Розпади за секунду (dps)	Кількість субатомних часток (наприклад, альфа-частка) чи фотонів (гамма-промені), вивільнені з ядра даного атома за одну секунду. Одна одиниця dps = 60 dpm (розпадів за хвилину).	1 dps = 1 Бк

У природі є багато джерел природного іонізуючого випромінювання. Радіацію породжують радіоактивні ізотопи багатьох елементів, що знаходяться в складі гірських порід та мінералів. Головними з них є калій-40 та вуглець-14. Неприятливість біологічної дії радіоактивних речовин пов'язана не тільки з їхньою разовою дією. Велика кількість радіонуклідів можуть акумулюватися в організмах на тривалий час. Так, стронцій-90 накопичується в кістках, йод-131 – у щитовидній залозі, цезій-137 включається в активний метаболізм, витісняючи азот. Чутливість різних організмів до радіоактивного випромінювання не однакова. За правилом *Бергоньє* і *Трибондо*, відкритим ще в 1906 році, у межах одного організму найбільш чутливими є недиференційовані клітини та тканини, які характеризуються підвищеною ферментативною активністю. У тварин та людини це кровотворні тканини та залози внутрішньої секреції, у рослин – меристема.

Біологічна дія випромінювання залежить від розміру дози, що діє за одиницю часу. Помічено, що високі дози опромінення, що діють одноразово, менш шкідливі, ніж низькі дози, що діють тривалий час.

Середня доза іонізуючого випромінювання в сучасних індустриальних країнах у середньому дорівнює 2,4 мЗв/рік. Загальний фон радіоактивного випромінювання на території України складає 70–200 мбер/рік. На поверхні землі до 50% загального природного фону радіоактивного випромінювання дає радон-222, що утворюється при розпаді урану-238. Він є в ряді гірських порід, їхнє використання для отримання будівельних матеріалів привело до зростання концентрації радону в жилих приміщеннях (рис. 9.3). Звичайна концентрація радону в повітрі коливається від 1 до 20 Бк/м³, але в міських помешканнях при використанні будівельних матеріалів, що містять радон, вона підвищується до 20–69 Бк/м³. Припустимий рівень радонового опромінення складає 200 Бк/м³. Перебування в зоні цього випромінювання викликає руйнацію тканин легень і створює умови для розвитку ракових захворювань. Зниження дози випромінювання радоном досягається досить легко – частим та активним провітрюванням жилих та виробничих приміщень.

Проблема радіоактивного забруднення природного середовища загострилася після винаходу ядерної зброї та розвитку атомної енергетики. Антропогенне радіоактивне забруднення довкілля починається з урановидобувних та переробних підприємств, які спричиняють забруднення ураном-238 та торієм-232. При виробництві ядерної зброї та роботі АЕС накопичуються відходи. За підрахунками Г. Жорнетте та Г. Стікса (1990), до 1995 року обсяги низькорадіоактивних відходів АЕС світу складатимуть 370 тис. м³, а високорадіоактивних – 3,8 тис. м³.

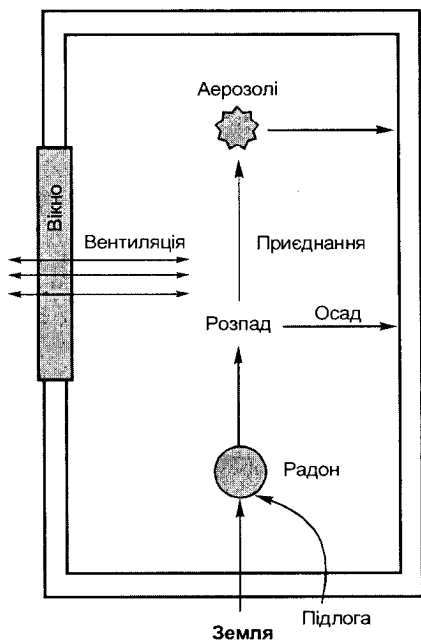


Рис. 9.3. Схема переміщення радону та продуктів його розпаду в приміщенні

99,9% радіоактивних відходів АЕС утримується у твелах реакторів. До захоронення їх зберігають 15–50 років у спеціальних сховищах. Полігони з відходами АЕС фактично втрачені для людства на термін у 100 тисяч років. Не вирішує проблему й захоронення радіоактивних речовин в океанах.

Яскравим прикладом небезпеки, створеної атомною енергетикою та атомним озброєнням, є аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році. В її результаті в навколишнє середовище були викинуті радіоактивні ізотопи свинцю-239, цезію-137, стронцію-90, плутонію-240. Усього в атмосферу надійшло 77 кг радіоактивних речовин, що відповідає випромінненню в 1019 Бк або 50 млн. Кі (Національна доповідь Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, Київ, 1992).

Причина аварії мала комплексний характер: грубі помилки персоналу в поєднанні з поганим державним наглядом за експлуатацією АЕС і недоліками конструкції. Аварія сталася внаслідок проведення на діючому реакторі експерименту, метою якого було визначити, чи вистачить накопиченої енергії турбогенератора, що продовжує обертатися після зупинки реактора, для того щоб за 1 хвилину запустити аварійний дизельний генератор, який

дає енергію для роботи насосів водного охолодження реактора. Але при проведенні експерименту реактор був переведений у важкокерований режим, відключені тривожна сигналізація й упушений момент зупинки реактора. Він вийшов з-під контролю і вибухнув.

Маса радіоактивних речовин була викинута на висоту близько 10 тисяч метрів і внаслідок переміщення повітряних мас охопила радіоактивним забрудненням площу, більшу за 10 тис. км². Радіоактивні речовини, що були викинуті під час аварії, потрапили у всі шари атмосфери і вітром були рознесені по всьому світу. У нижніх шарах атмосфери вітер розніс радіонукліди на захід від Чорнобиля, в середніх шарах атмосфери, де була основна маса радіонуклідів, – на Білорусію та Скандинавію, а у верхніх шарах – на Китай, Японію та США. Із загального радіоактивного викиду в Україну потрапило 25%, Білорусію – 70%, Росію та інші країни – 5%.

В Україні від наслідків аварії постраждало 2,5 млн. людей, які проживали в 11 областях. У Білорусії тією чи іншою мірою ураженою виявилася територія в 40 тис. км², на якій проживало 2,2 млн. людей. В Україні в зоні вираженого радіоактивного забруднення опинилося 169 населених пунктів і два міста – Чорнобиль і Прип'ять.

За підрахунками *Ж. Медведєва* (1992) ліквідація наслідків Чорнобильської аварії дорівнювала вартості 54 атомних реакторів такого типу, як аварійний. Таким чином, одна аварія АЕС за вартістю перекирила економічні переваги, які надає атомна енергетика.

Після ліквідації аварії навколо аварійного блоку Чорнобильської АЕС був споруджений об'єкт «Укриття», призначений для тривалої консервації блоку і запобігання викидів радіоактивних речовин. У даний час для безпеки населення Чорнобильська АЕС цілком виведена з експлуатації.

Однією з найбільш гострих і невирішених проблем атомної енергетики і виробництва атомної зброї є збереження відходів. Деякі радіоактивні відходи можуть залишатися активними впродовж мільйонів років. Ряд технічних прийомів їх збереження після іспитів і вивчення були відкинуті. Закачування рідких відходів у свердловини на глибину в кілька сот метрів показало, що вони швидко мігрують, досягають ґрунту і ґрунтових вод. Спостерігається подібна міграція і при накачуванні відходів у старі шахти. Запропоноване збереження відходів у льодовикових щитах у край небезпечно через міграцію льодів і утворення айсбергів з ядерними відходами. Дуже небезпечний і запуск їх у контейнерах у космос. Аварія при запуску ракети може призвести до забруднення величезної поверхні планети, та й економічно цей спосіб не вигідний, оскільки кількість відходів надто велика.

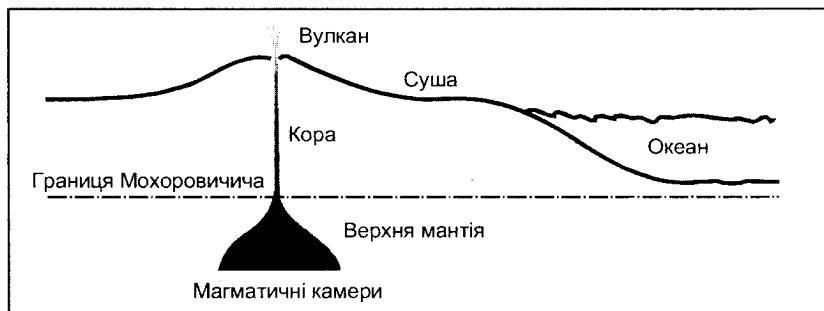


Рис. 9.4. Схема будови гірської товщі

Зовсім неприпустимим є скидання контейнерів з відходами в море, тому що після їхньої розгерметизації ядерні відходи течіями будуть розноситися на великі відстані.

У даний час заслуговують розгляду три способи.

1. Поховання в геологічних формаціях, при яких відходи в спеціальних контейнерах розміщуються на великій глибині в спеціальних інженерних спорудженнях.

2. Поховання в товщі морського дна у свердловинах, пробурених на кілька десятків чи сотень метрів. Таке поховання забезпечує їх надійну і тривалу ізоляцію. Практично неможливий і несанкціонований доступ до таких місць збереження.

3. Поховання під землею корою, яка має товщину в 20-70 км на суші і 5-10 км під океанами (рис. 9.4), може виявитися цілком надійним способом, але він є неприпустимим у районах вулканічної активності.

Поки що різні країни вирішують збереження ядерних відходів не однаково. Бельгія, Італія, Німеччина здійснюють репроцесинг відходів за кордоном, а збереження ведуть на своїй території в шарах глини чи кристалічних породах. США після репроцесингу зберігають відходи у вулканічному туфі. Росія самостійно проводить репроцесинг, зберігає ядерні відходи в шарах вічної мерзлоти чи граніту, а також надає свою територію для збереження відходів іншим країнам.

Репроцесинг – це радіохімічна переробка ядерного палива з виділенням із нього урану, плутонію і продуктів їхнього поділу.

Не дивно, що навколо атомної енергетики до сьогодні йдуть гострі дискусії. Але, незважаючи на побоювання з приводу небезпеки АЕС і труднощі з ліквідацією відходів, триває активне будівництво нових ядерних реакторів (табл. 9.7). На кінець 1996 року у світі їх уже було 441, вони дають близько 18% усієї виробленої енергії (табл. 9.8).

**Таблиця 9.7. Кількість ядерних реакторів за регіонами
(травень 1996 р.)**

	Діючі	У стадії будівництва	Будівництво заморожено
Африка	2	0	0
США	110	0	6
Решта Північної Америки	24	0	2
Південна Америка	3	2	0
Японія	52	2	0
Решта Азії	31	15	1
Франція	56	4	0
Решта Зах. Європи	94	0	0
Східна Європа	20	4	6
Росія	29	3	7
Україна	15	2	3
Решта колишнього СРСР	5	0	0
Разом	441	32	25

**Таблиця 9.8. Структура світового виробництва електроенергії
(в млн. кВт/год)**

	Викопне пальне	Гідроресурси	АЕС	Геотермальні та ін.	Разом
Світ	7669958	2376106	2167515	47131	12260710
Африка	281518	50531	7200	340	339589
Півн. Америка	2419646	641208	709994	30195	3873043
США	2236388	276463	610365	22676	3145892
Півд. Америка	97291	410479	8192		515962
Азія	2403166	526107	351498	9356	3290127
Китай	685153	151800	2500		839453
Індія	279000	70667	6800	52	356519
Японія	550181	105470	249256	1798	906705
Європа	2237226	708654	1090631	5640	4042151
Франція	35366	67894	368188		471448
Німеччина	350656	21465	153476	124	525721
Росія	662199	175174	119186	28	956587

9.4. ВІЙСЬКОВІ АСПЕКТИ ДЕГРАДАЦІЇ БІОСФЕРИ

Воєнні конфлікти, навіть у випадку їх локального характеру, завдають величезних збитків навколишньому середовищу. Глобальні воєнні дії з використанням ядерної та хімічної зброї без будь-якого сумніву означатимуть повне руйнування біосфери та загибель людської цивілізації.

Навіть саме існування збройних сил та військової промисловості є джерелом забруднення та деградації природного середовища. За даними *М. Реннера*, у 1981 році на військові потреби у світі використовувалося близько 1% території Землі, що складає площу в 1,5 млн. км². Тільки в колишньому СРСР військовими об'єктами було зайнято 42 млн. га земель, з них 30 млн. га – під полігонами.

Військові витрати важким тягарем лягають на економіку, відволікаючи кошти від екологічних та інших невідкладних проблем. Так, за даними *А. Макхиджани* (2000), лише в США з 1950 по 2000 рік тільки на програму протиракетної оборони (ПРО) було витрачено 60 млрд. доларів.

За період з 1940 по 1996 рік США витратили на національну оборону і розвиток ядерних озброєнь близько 19 трлн. доларів, а на охорону природного середовища і природних ресурсів за цей же період – тільки 0,8 трлн.

Військова промисловість є однією з найбільш екологічно шкідливих. Для її потреб ведуться видобувні розробки та виплавляються у величезній кількості такі метали, як алюміній, нікель, залізо, платина. Йде видобуток та переробка радіоактивних речовин. Військова промисловість дає багато відходів. Один тільки військово-промисловий комплекс США за рік утворює 400–500 тисяч тонн токсичних відходів. Майже безперервно йде знищення застарілого військового обладнання, що також викликає забруднення довкілля.

В арміях світу служать 29 млн. чоловік, а ще 16 млн. працюють у галузях промисловості, яка обслуговує армію. Пальоти військових літаків спричиняють значне забруднення атмосфери, запуски ракет ведуть до надходження до верхніх шарів великої кількості оксидів азоту, які руйнують стратосферний озон.

Цілком очевидні економічні, моральні та екологічні збитки людської цивілізації від будь-якої війни – великої чи малої. Друга світова війна велася на території в 22,6 млн. км² і забрала життя 55 млн. чоловік (у тому числі 27 млн. радянських громадян). Крім людських втрат, на рахунок цієї війни радіоактивне зараження міст Хіросима та Нагасаки, зруйновані заводи, шахти, житлові будинки, знищені посіви.

Як спадщина другої світової війни від фашистської Німеччини залишилося 250 тисяч тонн отруйних речовин – іприту, люїзиту й фосгену. Вони були частково захоронені в залишених шахтах і бурових свердловинах, а частково – у Балтійському морі. Крім цього, союзники в другій світовій війні СРСР, США та Великобританія затопили в Балтійському морі та Атлантиці 120 тис. бомб і снарядів з отруйними речовинами власного виробництва.

Збройні сили наклали свій відбиток на екологію всіх регіонів світу. У період холодної війни місцем протистояння наддер-

жав стали Арктика та Антарктика. У цих регіонах було проведено 508 випробувальних ядерних вибухів із викидом близько 26 млн. Кі цезію-137 та 20 млн. Кі стронцію-90. У колишньому СРСР функціонував ядерний полігон «Об'єкт-700» на Новій Землі та ракетодом «Плесецьк» в Архангельській області. У 1961–1990 рр. у Карському та Баренцовому морях було затоплено 11 тисяч контейнерів із радіоактивними відходами (головним чином ядерне паливо підводних човнів). На Новій Землі було проведено 132 випробування ядерної зброї, у тому числі 87 вибухів в атмосфері й 3 – у воді.

Яскравою ілюстрацією серйозних порушень природного середовища під впливом воєнних дій є локальні воєнні конфлікти середини та кінця ХХ століття. Це війна в В'єтнамі, воєнні дії в Афганістані, вторгнення Іраку в Кувейт, війна в Руанді та ряд інших малих війн. Кожна з них принесла не лише людські втрати, біль та страждання тисячам і тисячам сімей, але й супроводжувалася глибоким руйнуванням біосферних структур.

Так, наприклад, військове вторгнення Іраку в Кувейт у 1991 році й подальші воєнні дії США в цьому регіоні були порівняно короткостроковими. Проте їхні екологічні наслідки виявилися значними. Відбувся масовий розлив, а потім і загорання нафти. Горіло 550 свердловин, і за добу згорало близько 10 млн. барелей нафти при загальній площі горіння більше однієї тисячі квадратних кілометрів. Тільки за три місяці горіння нафти в атмосферу надійшло 3,5–104 т сажового аерозолу. У Кувейті 75% поверхні пустелі вкрилося плівкою попелу, що осідав після горіння нафти. Одночасно від горіння в атмосферу потрапило 50 тисяч тонн оксиду сірки, 3 тисячі тонн оксидів азоту і 500 тисяч тонн вуглекислого газу. Викликане цим зниження прозорості атмосфери в 1991–1993 роках викликало похолодання на 2,5–4° С у величезному регіоні на південному заході Азії. Більше 550 км узбережжя в цьому регіоні було залито нафтою. Ірак навмисно скинув у море 1,7 млн. т нафти, щоб запобігти висадженню американського десанту. Розлив нафти по акваторії привів не тільки до масової загибелі морських тварин і рослин, у мілководній Ормузькій затоці нафта досягла донних відкладень і відтепер здійснюватиме тривалий негативний вплив на всі форми океанічного життя.

У період воєнних дій НАТО в Югославії в 1999 році при бомбардуваннях нафтохімічних підприємств у природне середовище було викинуто 100 т ртуті, 800 т соляної кислоти, 3 тисячі тонн гідроксидного натрію і 250 т рідкого хлору. Багато з цих речовин в остаточному підсумку потрапили в ріку Дунай, яка служить джерелом питної води для багатьох мільйонів людей. При пожежах на промислових об'єктах у повітря надійшла велика кількість діоксину. Війська НАТО в Югославії застосували

бронебійні снаряди з так званим збідненим ураном. Це радіоактивний і токсичний метал, який при горінні утворює оксиди, що також є радіоактивними і потрапляючи в легені при диханні викликають променеві ураження.

Найбільшу потенційну небезпеку для людства та природного середовища становить ядерна зброя. На небезпеку її розробки та використання вперше в 1908 році вказував англійський учений Ф. Содді. Ідею заборони ядерної зброї в різні роки підтримували В.І. Вернадський, Н. Бор, П. Кюрі, Ф. Жоліо-Кюрі та багато інших видатних учених та громадських діячів. Однак гонка ядерних озброєнь йшла найвищими темпами. У наш час ядерною зброєю володіють або вже близькі до цього 30 держав світу. Великої шкоди завдали численні випробування ядерної зброї. За 40-річний період випробувань у повітря планети було викинуто приблизно 12,5 тонн радіоактивних речовин.

Загальна кількість ядерних боезарядів у світі на 2000 рік досягла 36 тис. одиниць, з них близько 34 тисяч належать Росії та США.

Застосування ядерної зброї у військових цілях означало б глобальну катастрофу. Ядерна зброя – це засіб до самогубства людства і руйнування біосфери планети. «Ядерна війна – це зовсім не війна, а самознищення. Болісне та страшне», – писав академік *М.М. Мойсеев* (1986).

На випадок термоядерної війни з вибухом 100–150 мегатонн ядерного матеріалу була розроблена в 1983–84 рр. математична модель «Гея» під керівництвом академіка М.М. Мойсеева. Вона показала, що ядерні вибухи призведуть до утворення такої кількості пилу та диму, що сонячне світло не досягатиме поверхні планети. На 1,5–2 місяці настане «ядерна ніч», яка пізніше перейде в «ядерну зиму». У цей час температура знизиться на 15–20°C, а в північних широтах – на 40–50°C проти звичайної середньої. Надзвичайно низькі температури на континентах при збереженні температури Світового океану приведуть до сильних штормів та бурь. Уже на початок «ядерної зими» загине весь урожай сільськогосподарських культур, будуть знищені тропічні ліси, почнеться масова загибель населення від голоду.

За оцінками експертів ООН, на випадок розв'язання ядерної війни загине більш ніж 4 млрд. людей, у тому числі 3 млрд. від захворювань, що виникнуть унаслідок опромінення. «Ядерна зима», що настане, додатково забере не менше 3 млрд. життів. Виділення оксидів, яке супроводжуватиме вибухи ядерних бомб, майже повністю зруйнує озоновий екран планети, що призведе до сильного опромінення живих організмів короткохвильовою радіацією. Природно, що ядерна війна завдасть непоправних збитків рослинному та тваринному світу, планеті в цілому. Якщо

збережеться біосфера, то це вже буде якісно інша біосфера, існування людини в якій буде досить сумнівним.

Нааявність на планеті великої кількості АЕС робить самогубною навіть війну, в якій ядерна зброя не буде використовуватися. Г. Іваницький (1987) писав: «Що показав Чорнобиль? Він вніс абсолютну ясність у питання про атомну війну: жодна держава, чи буде вона нападаючою стороною, чи жертвою агресії або нейтральною, не переживе масованого ядерного удару, нанесеного в будь-якій точці земної кулі».

Не менш небезпечна хімічна та біологічна зброя. Вона вироблялася та накопичувалася протягом усього ХХ століття. США тільки в 1986 році загальмували її виробництво, а в 1987 році знову почали. До 1990 року лише в США було 8 великих сховищ хімічної зброї, що вмщували 40 тисяч тонн нервовопаралітичного, гірчичного та бінарного газів у 500 тисячах контейнерів (А. *Chepesiuk*, 1989). Сила його дії величезна: одного грама ботулотоксину достатньо для смертельного ураження 8 млн. людей. Окремі віруси та бактерії (чума, сибірська виразка) ще більш небезпечні.

Сучасні війни через величезну потужність видів озброєння справедливо оцінюють як одну з форм екологічного тероризму, що не сумісне з поняттям цивілізації. Будь-яка війна неминуче призводить до вилучення земельних угідь з господарського використання на тривалій термін. Відбувається пряме знищення природних структур, а у функціонування екосистем вносяться не виправдані зміни. Війни призводять до залучення величезної кількості природних та людських ресурсів до воєнної промисловості та самих воєнних дій. Крім не виправданих людських жертв, що неминучі за будь-яких воєнних конфліктів, після війн на довгі роки залишаються бомби, що не розірвалися, контейнери з отрутохімікатами та інші військові об'єкти, які створюють загрозу життю і здоров'ю цивільного населення. Ще й сьогодні, через півстоліття після закінчення другої світової, преса України щорічно повідомляє про знахідки нерозірваних снарядів та бомб.

Усе більшу загрозу становить прагнення ряду розвинених країн світу використати у воєнних цілях космічний простір. Це не тільки підвищує загрозу війни і означає новий виток гонки озброєння, а й веде до забруднення поверхні планети. При старті ракети типу *Сатурн-5* в атмосферу потрапляє до 6–9 млн. тонн спрацьованого палива. На старті одна ракета типу *«Спейс Шатл»* викидає 180 тонн хлору та пари соляної кислоти, що еквівалентно знищенню 10 млн. тонн озону в озоновому екрані планети.

Ряд країн світу розробляють суто екологічні засоби ведення воєнних дій. Вони особливо небезпечні тим, що впливають на

великі території та вражають не тільки і не стільки воєнні об'єкти, скільки цивільне населення.

До Організації Об'єднаних Націй неодноразово вносилися пропозиції, спрямовані якщо не на повне усунення воєн як явища, не сумісного з біосферною етикою людства, то хоча б на можливе пом'якшення їх негативних екологічних наслідків. Зокрема, ці пропозиції передбачають:

1) заборону використання природного середовища як методу ведення екологічної війни;

2) заборону виробництва та використання типів озброєння, що руйнують природне середовище; це в першу чергу хімічна та ядерна зброя;

3) недопущення застосування засобів навмисного руйнування природного середовища, як, наприклад, гербіцидів для знищення лісової рослинності, що мало місце у війні США проти Північного В'єтнаму;

4) недопущення навмисного воєнного впливу на об'єкти, руйнування яких може викликати деградацію природного середовища; це в першу чергу атомні електростанції та хімічні заводи;

5) заборону на розміщення воєнних об'єктів та воєнних дій на території всіх природних національних парків, заповідників та заказників;

6) проведення військових навчань та розміщення військових підрозділів у мирний час таким чином, щоб це не завдавало шкоди природному середовищу;

7) повну заборону на використання ближнього та далекого космосу у воєнних цілях.

На жаль, єдиної концепції, схваленої всім світовим співтовариством, щодо взаємовідносин збройних сил із природним середовищем поки що немає.

9.5. ВПЛИВ ЛЮДИНИ НА ГЛОБАЛЬНІ БІОСФЕРНІ ПРОЦЕСИ

Окремі прояви екологічної кризи ХХ століття мають місцеве, локально-регіональне значення, але деякі спричинюють глобальний вплив на всю біосферу планети. До останніх належать чотири феномени, що проявилися в повному обсязі лише наприкінці ХХ століття й стали об'єктом пильної уваги цивілізованого людства: потепління клімату, кислотні дощі, руйнування озонового екрану атмосфери та запустелювання.

Потепління клімату. Зміни клімату протягом тривалих історичних періодів вивчають методом глибинного зондування вічних льодовиків. Таке зондування в Антарктиді проводилося до глиби-

ни у 2 км, воно охоплює останні 160 тисяч років. Показано, що протягом історії Землі клімат суттєво змінювався, але до початку розвитку цивілізації такі зміни відбувалися поступово. Тільки другій половині ХХ століття з'явилося нове явище – швидка зміна клімату під впливом антропогенної діяльності.

Теплова енергія надходить на поверхню Землі у вигляді сонячного випромінювання. Після перетворення в тепло вона випромінюється в космічний простір. За таких умов поверхня планети мала б середню температуру в -17°C . Але фактично це не так внаслідок присутності в атмосфері так званих активно поглинаючих газів. Їх ще називають парниковими газами. Ці гази «прозорі» для сонячної радіації, але вони утримують сонячне випромінювання і тому сприяють збереженню тепла на поверхні планети. Завдяки парниковим газам, що створюють парниковий ефект, середня температура на планеті в сучасний період складає $+15^{\circ}$.

Основні парникові гази – це вуглекислий газ, метан, галовуглероди і оксиди азоту. Їх порівняльна характеристика подана в табл. 9.9. У кліматичних змінах на частку вуглекислого газу припадає 64%, метану – 20%, фреонів – 10%, оксиду азоту – 6%.

Антропогенні зміни клімату Землі відбуваються під впливом великої кількості чинників. Згідно з М. Мюллером (1992), потепління клімату викликається, головним чином, парниковим ефектом, якому на 46% сприяє виробництво енергії шляхом спалювання викопного палива з викидами в атмосферу вуглекислого газу, на 24% – забруднення атмосфери іншими хімічними речовинами,

Таблиця 9.9. Характеристика основних парникових газів

Парниковий газ	Основне джерело	Кількість в атмосфері в об'ємних частинах на млн. в доіндустріальну епоху	Кількість в атмосфері в об'ємних частинах на млн. в сучасну епоху	Щорічний приріст, %
Вуглекислий газ, CO_2	Спалювання палива, вирубування лісів	280	358	0,4
Метан, CH_4	Виробництво і транспортування природного газу, тваринництво	700 (на млрд.)	1720 (на млрд.)	0,6
Галокарбони, фреон та ін., $\text{C}_n\text{H}_n\text{F}(\text{Cl})_n$	Холодильна техніка	0	3,2 (на трлн.)	6,3
Оксид азоту, NO_2	Мінеральні добрива, двигуни внутрішнього згорання	275	312	0,25

зокрема метаном, на 18% – вирубування лісів та ерозією ґрунту, що веде до зниження біологічного зв'язування вуглекислого газу, на 9% – інтенсифікацією сільського господарства, з якою пов'язане надходження до атмосфери підвищеної кількості оксидів азоту, та на 3% – спалюванням сміття. Вуглекислий газ, як і інші парникові гази, має здатність утримувати теплове випромінювання біля поверхні планети і цим викликати підвищення температури.

Загальний вміст парникових газів у сучасній атмосфері складає (у частках на мільйон): вуглекислого газу – 358, метану – 1,72, оксидів азоту – 0,32, хлорфторвуглеводнів – 0,001. Річний ріст концентрації цих газів у повітрі (у процентах) складає: вуглекислого газу – 0,4, метану – 0,6, оксидів азоту – 0,25, хлорфторвуглеводнів – 0,6. Зокрема, завдяки природним процесам до атмосфери надходило та продовжує надходити приблизно 70×10^{10} тонн CO_2 , антропогенне спалювання палива додало до цього ще $1,5 \times 10^{10}$ тонн. У 1987 році в атмосферу планети надійшло 5,5 млрд. тонн вуглекислого газу, що становило 1 тону на 1 людину в рік. Розвинені країни продукували в цьому році 3,2 тонни CO_2 на людину, а країни, що розвивалися, – 0,4 тонни. З 1950 р. до 1990 р. викиди вуглекислого газу зросли на 30%. Одне лише вирубування лісів спричинює збільшення вуглекислого газу на 20%.

Такі кількісні оцінки навіть на підставі найбільш деталізованих моделей не беззаперечні. Річ у тому, що перші виконані за стандартною методикою підрахунки кількості вуглекислого газу в атмосфері були розпочаті лише в 1958 році на станції Мауна Лоа на Гавайських островах (цей район був обраний спеціально тому, що знаходиться на максимальному віддаленні від промислових центрів і дозволяє реєструвати глобальну, а не вузько локальну зміну концентрації вуглекислого газу в атмосфері). Але й ці, хоча короткотривалі дані, доводять, що швидке потепління клімату планети – це реальний процес.

Шведський учений *С. Арреніус* ще в 1896 році висловив думку, що викиди в атмосферу антропогенного вуглекислого газу призведуть до потепління клімату, оскільки океан не може поглинути весь антропогенний вуглекислий газ. Висновки сучасних спеціалістів збігаються в тому, що антропогенні забруднення атмосфери парниковими газами дійсно ведуть до потепління клімату, хоча вони по-різному оцінюють розміри цього потепління. Збільшення середньорічної температури Землі в останні десятиліття визначається в межах від 6°C до $2-2,5^\circ\text{C}$. Вважається, що в середньому в другій половині ХХ століття температура збільшувалася за кожні 10 років на $0,3^\circ\text{C}$. За даними спеціалістів ООН, до 2100 року температура Землі зросте на 3°C .

Власне, саме потепління клімату може викликати зміну режиму погоди на території великих регіонів планети і в першу

чергу вплинути на сільськогосподарське виробництво: вимагатиме змін агротехніки, районування культурних рослин і тварин та взагалі реорганізації бази сільського господарства. Японський учений *Д. Утідзіма* (1991) вважає, що вже тільки це підвищить вартість сільськогосподарської продукції на 10–20%.

Але, мабуть, більш небезпечним є інше: під впливом потепління почнеться танення льоду Антарктики, Арктики та високогір'я. Зростання стоку призведе до підняття рівня Світового океану. У 1987 році прем'єр-міністр Норвегії *Г.Х. Брундтланд* зробив доповідь, в якій було висловлено серйозне занепокоєння щодо наслідків підняття рівня Світового океану. У доповіді, зокрема, зазначалося: «...будуть затоплені низько розташовані міста та сільськогосподарські райони, і більшість країн має враховувати, що їхні економічні, соціальні та політичні структури можуть бути серйозно порушені».

За останні 100 років, за даними точних спостережень за рівнем Світового океану, зареєстровано його підняття на 0,15 м, а швидкість підняття складає 1,2 мм на рік. Є небезпека, що до 2100 року рівень Світового океану підніметься щонайменше на 65 см, а за максимальними оцінками – навіть на 3,45 м.

Потепління клімату загрожує і серйозними змінами всього живого населення планети. В умовах потепління клімату почався перерозподіл опадів. За останні 100 років у Північній півкулі їх кількість зросла на 6–8 мм на рік, відбулося зрушення сезону опадів: їх максимум, що раніше припадав на квітень – червень, почав чітко переміщатися на вересень – листопад, що несприятливо позначається на сільськогосподарському виробництві.

Основні наслідки потепління клімату при збереженні його темпів – це підняття до 2100 року середнього рівня моря на 0,5 м, збільшення опадів у середніх широтах, особливо взимку, підвищення сухості й зменшення опадів у літні періоди, зростання кількості штормів і торнадо.

У світового потепління клімату є ще й інший небезпечний аспект. Воно може викликати прискорення метаболізму, у першу чергу в мікроорганізмів, підвищить темпи їхньої біологічної еволюції і приведе до виникнення нових епідемій серед людей та тварин, боротися з якими буде непросто.

За підрахунками спеціалістів ООН, економічні збитки від майбутнього потепління клімату можуть бути оцінені в 10^{13} доларів. Людство не має таких ресурсів. Запобігти швидкому потеплінню клімату можна перш за все скоротивши викиди в атмосферу планети парникових газів. У 1988 році була прийнята Резолюція 43/53 ООН «Охорона глобального клімату для сучасності та майбутніх поколінь людства», яка орієнтує всі держави світу на розробку та впровадження конкретних заходів у цій сфері.

Щоправда, окремі спеціалісти (Ю.А. Кравцов, 1996) відзначають, що біосфера планети має певну буферність стосовно дії парникового ефекту. Винесення великої кількості питної води в Північний Льодовитий океан великими ріками збільшить площу льодового покриву, що приведе до похолодання в низьких широтах. Зате в тропіках і субтропіках стане жаркіше. Середня температура планети стабілізується, але контрасти клімату збільшаться. Така перспектива матиме не менші соціальні наслідки, ніж загальне потепління клімату, та й буферність біосфери має межі.

Кислотні опади. Кислотними називають будь-які види опадів (дощ, сніг, туман) тоді, коли їх рН нижче 7,0, тобто вони мають кислу реакцію. Реєстрація динаміки кислотності атмосферної води ведеться досить точно за кислотністю льоду в Антарктиді, Гренландії та Альпах. Вона показує (Лал та ін., 1991), що ще 180 років тому рН дощової води була на рівні 7,0, тобто нейтральною. Кислотні дощі вперше зареєстровані в 1972 році в англійському місті Манчестері. Основною причиною випадання кислотних дощів було надходження в атмосферу оксидів азоту та сірки.

Кислотні опади в наш час спостерігаються всюди. Висока кислотність характерна для опадів у Західній Європі, у 1990 році вона коливалася в межах від 38 до 6,8 що було на 0,2 нижче, ніж у 1989 році. Стали типовими кислотні опади і для України. У Черкаській області опади закиснені азотною кислотою, у Сумській – сірчаною. В.В. Скиба, який вивчав у 1987–88 роках кислотність опадів Закарпаття, установив, що рН талої снігової води складала 5,7–6,6, а на високогір'ї навіть 4,2–4,6, рН дощових опадів дорівнювала 5,7–6,8. Вони відрізнялися високою концентрацією нітратів (10–20 мг/л). Частота випадання кислотних дощів швидко зростає.

Україна сильно забруднена внаслідок трансграничного перенесення шкідливих речовин із країн Західної Європи. Кислотні дощі надходять в Україну з масами атлантичного вологого повітря. Немає жодної сусідньої з Україною країни на заході, з боку якої перенесення забруднюючих речовин мало б нульовий чи від'ємний баланс (табл. 9.10). Під впливом кислотних дощів відбувається швидке закиснення води в річках, озерах, ставках та інших континентальних водоймах. Вода в таких водоймах з бікарбонатної стає сульфатною, у ній зростає кількість алюмінію та марганцю. У таких водоймах підвищена рухомість ртуті, міді та цинку. У водоймах із закисненою водою видове різноманіття знижується, найшвидше вимирають молюски, раки, земноводні, розповсюджуються 1–2 види організмів (часто це водорість мушкетія).

Від кислотних опадів у першу чергу страждають закриті водойми – озера та ставки. Під впливом кислотних дощів зростає кислотність ґрунтів. У багатьох регіонах вона досягає рН 4,1–4,5.

Таблиця 9.10. Трансграничне перенесення атмосферних забруднень через західний кордон України за 1987–1990 роки в середньому, в тис. тонн

Країни	Оксиди сірки		Оксиди азоту	
	в Україні	з України	в Україну	з України
Польща	216	12	49,9	2,6
Німеччина	124	2	46,2	0,4
Румунія	106	44	14,1	8,5
Чехія і Словачія	92	4	21,5	1,1
Угорщина	53	4	7,6	0,9
Болгарія	25	8	2,3	2,0

В Україні за останні 30 років площа кислих ґрунтів зросла на 30%. У таких ґрунтах підвищується міграція свинцю, цинку, нікелю та міді. Це завдає збитків сільському господарству і природній рослинності. Кислі ґрунти вимагають вапнування, що збільшує вартість продукції.

Найбільш чутливі до кислотних опадів ялинкові та смерекові ліси в Європі почали всихати. Вважається, що в цьому районі від кислотних опадів до 1992 року постраждало 31 млн. га лісу (табл. 9.11). У першу чергу починають всихати шпилькові деревостої віком близько 60 років. У Німеччині тільки з 1982 до 1984 року кількість уражених кислотними опадами шпилькових лісів (лісових масивів) зросла з 8% до 50%, а до 1990 року до 75%. У 1990 році в лісах Франції було 28% дерев, що загинули, в Іспанії масовим стало опадання листя в лісових рослин. Відбувається зміна видового складу нижніх ярусів лісу, посилюється переважання нітрофільних видів, розростається щучник, з травостою зникають чорниця та вереск. Трансформується вся екосистема.

Таблиця 9.11. Пошкодження лісів кислотними дощами в окремих державах Європи (за Самеко, 1990, Душаном, 1991)

Держава	Площа пошкоджених лісів у % до загальної лісової площі
Данія	61
Нідерланди	57–59
Велика Британія	56
Швейцарія	52–56
Ліхтенштейн	55
Німеччина	52
Чехія	57
Словаччина	16
Польща	40–60
Бельгія	46
Угорщина	40
Югославія	39
Іспанія	37
Норвегія	36
Фінляндія	35
Австрія	33
Швеція	32
Греція	20–30
Румунія	20–30

Кислотні дощі згубно впливають на культурні та архітектурні пам'ятники. Під їхнім впливом швидко став руйнуватися мрамур, активно йде корозія металів.

Руйнування озонового екрану атмосфери. Озоновий шар знаходиться в атмосфері на висоті 12–23 км і захищає поверхню планети від жорсткої ультрафіолетової радіації з довжиною хвилі 320–400 нм. Процес руйнування озону в атмосфері ініціюється різного роду речовинами. Як уперше показали вчені США *М. Моліна* та *Ш. Роуланд*, це хлор- та бромпохідні, які називають фреоном, а також тетрахлорид вуглецю, метилхлороформ та інші речовини. Але основний внесок роблять фреони, що широко застосовуються в холодильних установках різних типів, в аерозольних балончиках та миючих засобах. Світове виробництво фреонів на початок 90-х років перевищило 1 млн. 360 тис. тонн на рік (71% фреонів виробляють США і розвинені країни Західної Європи).

Свій вплив на руйнування озону стратосфери здійснює й космічна та ракетна техніка внаслідок викидів продуктів згорання їхнього палива. Найбільш шкідливими є ракети, що працюють на твердому паливі. За ступенем шкідливості різні типи ракет поділяються таким чином. На першому місці за шкідливістю стоять американські ракети типу «Дельта» та «Титан II». На другому місці – французькі типу «Аріан V». На третьому – радянські «Вертикаль» та «Протон». Забруднюють високі шари атмосфери оксидами азоту й сучасні надзвукові літаки.

Дослідження озонового шару у верхніх шарах атмосфери почалися з 1930 року. Згодом вони були розширені і для ведення спостережень була створена спеціальна мережа станцій («мережа Добсона»). Виміри кількості стратосферного озону в період з 1980 до 1991 року з канадського супутника «Німбус 7» показали, що швидкість руйнування озону становить 0,224% на рік. За оцінками НАСА (США), у період з 1978 до 1990 року кількість озону в озоновому екрані скоротилася на 45%.

Зменшення товщі озонового екрану та розриви в ньому ведуть до збільшення ультрафіолетового випромінювання, що досягає поверхні Землі. Відповідно до супутникових даних за останні 10 років ультрафіолетове випромінювання зросло на 10%, а в Антарктиді, де стійко зберігається «озонова діра», – на 40%.

За даними «Грінпіс», зменшення товщі озонового шару на кожні 10% веде до збільшення кількості випадків захворювання на рак шкіри на 300 тисяч. Частішає захворювання на катаракту очей. Показано, що підвищене ультрафіолетове опромінення знижує імунітет, стають більш важкими та частими інфекційні захворювання людини та сільськогосподарських тварин.

В Україні здійснюється пильний контроль за станом озонового екрану над її територією. Працюють 6 спеціальних станцій

(у містах Києві, Одесі, Борисполі, Богуславі, Львові та Феодосії), що контролюють надходження ультрафіолетової радіації. Вони показали, що з 1980 року озоновий екран над Україною стає менш потужним. З урахуванням цього Україна приєдналася до Конвенції 1985 року з охорони озонного екрану та скорочення викидів і виробництва фреонів та інших речовин, що руйнують озон.

Запустелювання. *Запустелювання* – це виснаження аридних та напіваридних екосистем під впливом діяльності людини та посух. Запустелювання відбувається головним чином у посушливих зонах. Воно проявляється в сильній деградації природних біомів та втрат родючості ґрунтів. Території, на яких проявляється запустелювання, уже не можуть самовідновлюватися. Цього процесу зазнали у світі вже 4 млрд. 616 млн. га й ці площі продовжують зростати. Темпи запустелювання дуже високі: щорічно внаслідок цього процесу площі пустель світу зростають на 60 тис. км².

Сучасне людство вперше зіткнулося з цим явищем на великих територіях у 1968–1973 рр., коли запустелювання південного району Сахари, так званого Сахелю, спричинило голод серед місцевого населення.

Іншим яскравим прикладом рукотворної екологічної катастрофи став район Аралу.

Аральське море являло собою досить великий водняний басейн із запасом води більше 60 км і площею в 68 320,5 км². Але для потреб південних середньоазійських держав на ріках Амудар'я і Сирдар'я, що живлять Арал, було споруджено багато великих зрошувальних систем. У результаті до 1990–1992 років рівень води в Аральському морі впав на 14,5 м. На площі у 27 тис. км² оголилося дно моря, й Арал розпався на дві водойми – Великий і Малий Арал. На висохлому дні утворилася мертва солоняча пустеля. Вітер із цієї пустелі з пиловими бурями виносить 15–75 млн. т солі за рік на відстань до 5 тисяч кілометрів. Таке засолення істотно знижує продуктивність екосистем на величезній території. У самому Аральському морі солоність води зросла з 0,04% до 2,4%. У морі загинуло 70% його звичайних мешканців, також загинули прибережні очеретяні зарості. Рибні улови в Аралі стали мізерно малими.

Зрошувальні системи, заради яких був загублений Арал, експлуатувалися неграмотно. З кожних 100 км³ води втрачалося даремно близько 80 км³. Норми витрати води завищувалися, врожаї бавовнику фальсифікувалися, а на них списувалися втрачена вода. У районах бавовносіяння відбувалося швидке засолення ріллі. Її площа зменшилась у 2–3 рази навіть у Ферганській долині. Екологічна криза Аралу привела до кризи соціальної, тому що порушилися традиційні види зайнятості населення в місцях, які втратили свій природний потенціал.

Аналогічний процес відбувався і в районі Аральського моря. Аральська катастрофа завершилась аридизацією клімату на великій території. Вона відчувається на південь від Аралу на 100–400 км. На віддалі до 250 км від Аралу рівень ґрунтової води знизився на 5 м. Арал для людини виявився прикладом рукотворної крупнорегіональної катастрофи, що була викликана народногосподарською діяльністю. Він повинен стати уроком для всього цивілізованого людства.

9.6. ЖИВІ ОРГАНІЗМИ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО СТРЕСУ. ТРАНСФОРМАЦІЯ І ДЕГРАДАЦІЯ БІОТИ ЗЕМЛІ

Трансформація та деградація біоти земної кулі наприкінці ХХ століття сформувались як глобальні явища. Вони найбільш характерні для тих регіонів планети, де:

- а) скоротилися площі природних угідь та відбувся їхній територіальний розподіл на окремі островці – інсуляризація;
- б) природні угіддя перетворені в напівкультурні;
- в) природні та напівкультурні угіддя мають високе експлуатаційне навантаження;
- г) у природне середовище надходить велика кількість промислових та сільськогосподарських відходів.

Під впливом діяльності людини та антропогенних стресів у біосфері відбулося багато змін. Виявилось, що велика кількість видів рослин та тварин були знищені. Змінилася чисельність видів живих істот, деякі з них стали рідкісними, інші – численними. Велика кількість живих істот гине від отруйних речовин, що надходять до екосистем у результаті діяльності людини. З'явилася навіть окрема наука – екотоксикологія, яка вивчає цей процес.

Існують *три основні механізми деградації живої речовини біосфери.*

1. *Надмірне добування*, яке спостерігається тоді, коли з популяцій рослин чи тварин вилучається більше організмів, ніж їх може утворюватися в процесі розмноження. Таким чином, йде знищення корисних рослин і тварин, які використовуються людиною як їжа, корми чи сировина.

2. *Руйнування місць проживання*, яке відбувається під впливом забруднення середовища сторонніми, і в тому числі токсичними, речовинами, або збідніння ресурсів, якими користуються живі організми.

3. *Біологічне забруднення* шляхом свідомого або випадкового вселення нових видів, які безперешкодно розмножуються в

умовах відсутності в них природних ворогів та витісняють місцеві види живих організмів.

Антропогенез часто веде до роз'єднання різних груп організмів, які складають екосистему. В антропогенно змінених біомах відбувається заміна ланцюгів живлення новими. Такі ланцюги живлення, як правило, спрощені, більш короткі і тому більш уразливі. В умовах розбалансування трофічних мереж екосистем прискорюється процес вимирання окремих видів.

Деякі специфічні форми антропогенного впливу на природне середовище вважалися начебто нешкідливими, але фактично вони пригнічують живі організми та призводять до деградації біомів і біосфери в цілому. До цих категорій належать шумове забруднення, дія на організми різного роду випромінювання та ін.

Чималий внесок у деградацію біомів здійснює і *біологічне забруднення*. Воно виникає або внаслідок самовільної експансії у вільні екологічні ніші сторонніх для даного угруповання видів, або в результаті запланованої чи випадкової інтродукції видів людиною. Прикладом біологічного забруднення екосистем України є розселення колорадського жука та амброзії полинестої. Загально-відомі тяжкі наслідки ввезення в 1859 році до Австралії всього 24 особин кролів, яких до 1950 року стало кілька мільйонів, через що вони стали свого роду екологічною катастрофою для цього континенту. Тільки зараження кролів вірусом міксоматозу, який розносять мухи та комарі, дозволило знизити чисельність кролів на 99,8%.

У ХХ столітті особливо чітко проявилася тенденція до переексплуатації природних угідь. Переексплуатація – це перш за все результат демографічного вибуху, і жодна з форм власності на природні ресурси не зберігає їх від деградації. Так, відкритий океан традиційно є загальнодоступним для використання всіма бажаними, землі прерій США були в основному приватною власністю, але в кожному з цих випадків відбулася приблизно однакова деградація біомів цих екосистем. За період розвитку людської цивілізації, за даними *С.П. Горшкова (1989)*, знищено більше 40% загальної біомаси планети і 18% гумусу.

Щорічно вирубується 150 тис. км² лісів. Тільки з 1850 по 1990 рік 1 млрд. га лісів замінено сільськогосподарськими угіддями, а за останні 20 років лісистість планети знизилася з 29 до 27%. Серйозне занепокоєння викликає процес знищення тропічних лісів, які дають 22% усієї біопродукції Землі. Щорічно їх вирубується приблизно 11,3 млн. га. При таких темпах цей біом може зникнути вже через півстоліття. Під впливом кислотних дощів та інших атмосферних забруднювачів деградують ліси на всіх континентах. Рослини, що зберігаються, набувають специфічних структурних рис: у них змінюється товщина листків, знижуються показники фотосинтезу та дихання.

Гинуть не тільки рослини, ще більшою мірою збіднюється фауна. На суходолі одними з перших страждають хижі види тварин. У Німеччині останній ведмідь був забитий у 1835 році, рись – у 1897 році, вовк – у 1881 році. У «Чорному списку» МСОП серед повністю зниклих за період з 1600 до 1970 року значиться 36 видів ссавців та 94 види птахів. І цей список щорічно збільшується.

Свій внесок в умовах демографічного вибуху в знищення тварин вносить спортивне полювання. Воно має чимало захисників, які вважають, що полювання звільняє тварин від більш болісної смерті в природних умовах, відповідає законам життя дикої природи, сприяє розвитку в людини любові до природи і навіть є одним з «демократичних прав» людини. Насправді ж полювання набуває ролі «останньої краплі» у знищенні видів тварин. Необхідна його тверда регламентація з екологічних позицій. Ще 200 років тому в Африці жило більш 10 млн. слонів. Полювання і руйнування біотопів їх існування привели до того, що в 1979 році їх було всього 1,3 млн., а в 1990 – 0,6 млн. У російському секторі Арктики збереглося всього 4–5 тисяч особин білого ведмеда. Через руйнування місць розмноження і промисел вимирає багато видів черепах.

Прокляттям для всього живого в деяких країнах (у першу чергу Африки) став масовий туризм. Природне середовище заради одержання прибутку порушують готелі «у мальовничих місцях», під'їзні дороги, спортмайданчики і вся система життєзабезпечення туристів. У найзатишніших місцях тварини позбавляються спокою, різко падає їх репродуктивний потенціал.

Відбувається деградація цілих природних зон і зональних ландшафтів. У Канаді практично знищено 80% прерії. Для України особливу небезпеку представляє деградація степових екосистем. Вони склалися впродовж 10 млн. років, а зруйновані були за якихось 2–3 сторіччя. Власне кажучи, Україна втратила свою степову біоту. Вона збереглася тільки на незручних землях і дрібними фрагментами. Розораність степової зони України становить 80–90%. Деградують і луги внаслідок пересихання дрібних річок. Флора і фауна великого регіону все біднішає й біднішає.

Масовим стало отруєння диких тварин ксенобіотиками і важкими металами. У США описана хвороба диких птахів «синдром Кестерсона», яка розвивається під впливом отруєння селеном та миш'яком, що надходять до екосистем з дренажними водами після використання їх при зрошенні. У таких птахів втрачається зір, деформуються лапи та дзьоб.

Перетворення континентальних водойм та океанів у «стічні канали» цивілізації поставило під загрозу існування їх мешканців. У Північній Америці з 1 033 видів риб 292 види, тобто 28%, занесені до Червоної книги МСОП. В Австралії з 192 видів корін-

ної фауни риб 65 (34%) знаходяться під загрозою зникнення. Для Чорного та Азовського морів повної статистики збіднення флори та фауни немає, але серед зареєстрованих у них 3 500 видів живих організмів чимала доля знаходиться на межі вимирання. Стало питання про створення Червоної книги Чорного моря.

До зниклих відносять навіть деякі види акул, усього їх близько 350 видів. 80% видів акул для людини не є небезпечними (за рік реєструється всього 30–100 випадків нападу акул на людину). Проте знищуються вони нарівні з небезпечними видами, як об'єкти спортивного полювання та м'яса. Світовий ринок м'яса акул складає 600 тисяч тонн на рік. Акули ж є найважливішим компонентом трофічних ланцюгів океанів, і їх зникнення створює небезпеку порушення океанічних екосистем. Розмножуються акули повільно: одна самка дає всього 2–50 потомків на рік.

Інтенсифікація рибальських технологій призвела до зниження чисельності багатьох видів не лише риб, а й інших водних організмів. Зокрема, у наш час уже більш ніж 2 500 рибальських суден у світі обладнані так званими наддовгими сітками (їх довжина сягає 80 км). Такі сітки, що перевіряються один раз на 7–14 годин, дають величезний «небажаний вилов» видів риб, молюсків, ссавців і навіть птахів, які не використовуються людиною. Усі ці організми гинуть, не даючи ніякої користі людині.

Одним із помітних проявів деградації біоти земної кулі є зменшення біологічного різноманіття. Велике біологічне різноманіття – фактор стійкості біосфери, воно дозволяє використовувати широкий асортимент ресурсів, забезпечує буферність трофічних мереж, має рекреаційну та естетичну цінність. Є в цьому і моральна сторона: усе живе має право на існування. Але прямо чи опосередковано людством за порівняно короткий період існування було знищено до 10% видів живих організмів. Темпи знищення видів рослин та тварин досягли 150 видів за рік. До зниклих видів відносяться тур, стеллерова корова, гігантський лемур на Мадагаскарі. Ссавців зникло всього 120 видів, птахів – 150. Це не випадковість, а закономірний результат загальної деградації природних екосистем.

Міжнародний союз охорони природи та природних ресурсів (МСОП) для отримання точної інформації про кількість зниклих видів живих організмів за точку відліку прийняв 1960 рік, коли вже було встановлено основне різноманіття фауни та флори. Виявилось, що з 1960 до 1975 року на Землі зникло 63 види ссавців, 74 види птахів. Особливо небезпечним є вимирання рослин, оскільки з кожним їх видом пов'язані своїм харчуванням та іншими функціями декілька видів безхребетних, а іноді й хребетних тварин. Це означає, що зникнення одного виду рослин приводить до зникнення не менше 10 видів тварин.

Процес вимирання видів торкнувся всіх континентів та акваторій. Згідно з оцінкою, що була зроблена в роботі «Світ у 2000 році – доповідь президенту» (США), до 2000 року на планеті повністю зникне від 500 тис. до 2 млн. видів живих організмів. Це складає 15–20% кількості існуючих у наш час рослин та тварин.

Відбувається зниження біологічного різноманіття не лише диких рослин і тварин. Це стосується й різноманіття порід свійських тварин та сортів культурних рослин, їх змінює мала кількість інтенсивних порід та сортів. Місцеві, адаптовані до певних умов породи та сорти зникають. *Ю.А. Столповський (1993)* ставить питання про створення «Червоної книги свійських тварин». За ініціативою ФАО в ряді країн уже розпочато роботу з охорони рідкісних порід та сортів. Зоологічне товариство Лондона створило генетичний банк, з 1971 року функціонує заповідник рідкісних порід свійських тварин. Пізніше на базі Ганноверського інституту ветеринарної медицини був створений Всесвітній банк генофонду сільськогосподарських тварин.

У цілому, живе населення планети стає все менш і менш різноманітним. Антропогенні екосистеми легко впізнати. Вони бідні на види рослин та тварин, домінування переходить до 1, 2 або 3 видів організмів. У таких випадках кругообіг речовин та потік енергії в екосистемі стає вузько каналізованим, що робить такі екосистеми надто вразливими. Знищення біоти призводить до втрати всієї екосистеми.

9.7. ТЕРИТОРІАЛЬНІ АСПЕКТИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ

Глобальна екологічна криза кінця ХХ століття охопила всі континенти та акваторії. Ступінь деградованості навколишнього середовища та біомів є найбільшим у тих регіонах, де вища густина населення й досягнуто найбільшої інтенсифікації промислового та сільськогосподарського виробництва. Але так чи інакше екологічною кризою охоплені всі регіони світу, в окремих із них ситуація близька до екологічної катастрофи.

Економічно розвинені країни роблять найбільший внесок в антропогенне забруднення навколишнього середовища, але вони мають і більші можливості щодо ліквідації наслідків забруднення. Перед обличчям серйозних проблем стоять США. На території цієї країни 41% ріллі охоплено ерозією, за роки 1964–1982 на 170% зросла кількість використовуваних пестицидів. У 1985 році на полив було використано 522 тисячі літрів води, що

викликало засолення 5,6 млн. га земель. Для збереження власного природного середовища США намагаються розмістити екологічно брудні виробництва на території країн, що розвиваються. Було навіть здійснено спробу вивозити сміття для спалювання в Антарктиду, та Фондом захисту навколишнього середовища з цього приводу була порушена судова справа проти Національного наукового фонду США.

На європейському континенті за рік утворюється 2 млрд. тонн відходів. Більшість із них скидаються до річок. Зараз тільки 4% річок залишаються чистими, тоді як 15 років тому таких було 20%. За прогнозами, до кінця ХХ століття стоки таких річок, як Дунай, Дністер та Дніпро, зменшаться ще на 40–70%, а скиди стічних вод до них зростуть у 1,5–5 разів. Усе більше погіршується стан донних відкладень: у них концентруються важкі метали та токсичні речовини. Серед країн Європи однією з найбільш екологічно неблагополучних є Угорщина. За даними *М. Варкаса (1991)*, її територія сильно забруднена побутовими та промисловими відходами, використовується бензин із високим вмістом свинцю. Складна екологічна ситуація склалася в Чехії. Ґрунт на 60% сільськогосподарських угідь змінений під впливом кислотних дощів, процесом висихання охоплено 70,5% лісів. У результаті тривалість життя людей тут на 7 років менша, ніж у середньому в країнах Європейського Союзу. Під загрозою зникнення знаходиться 65% видів флори та 62% ссавців. По суті, Чехія та Словаччина – район екологічного лиха.

Завдяки переважно сільськогосподарській орієнтації виробництва країн, що розвиваються, там довго зберігали екологічну чистоту навколишнього середовища, але в другій половині ХХ століття демографічний вибух та індустріалізація привели до швидкої деградації природного середовища і в цих державах. Помітно зростає забруднення на території Китаю. Одного лише промислового пилу тут утворюється 13,9 млн. тонн на рік, стічних вод – більше 25,2 млрд. тонн.

Екологічна криза в Африці пов'язана з європейською колонізацією, коли надзвичайно швидкими темпами почали руйнуватися традиційний побут та способи господарювання місцевого населення. Ускладнює ситуацію те, що африканський континент має один із найвищих показників приросту чисельності населення.

Деградація природного середовища на величезній території колишнього СРСР була викликана реалізацією концепції, в якій головним пріоритетом була оголошена максимізація обсягів виробництва за будь-яку ціну. Радянське суспільство було суспільством марнотратних споживачів. Соціалізм, як і інші суспільні формації, виявився безпорадним перед руйнуванням природного середовища. Централізована економіка не сприйняла

екологічного імперативу. Після розпаду СРСР усі країни Варшавського блоку опинилися, за висловом Ч. Баріло (1991), в «екологічній пастці» – екологічне середовище в дуже поганому стані, а його поліпшення в умовах ринкової економіки вимагає великих коштів, яких ці країни не мають.

Не уникла впливу глобальної екологічної кризи і територія України. Знаходячись у східній частині Європи, вона займає територію 60 355 тис. га. За природними ресурсами Україна належить до найбагатших держав світу. Але структурна деформація економіки з орієнтацією на продаж сировини та ресурсоемні виробництва в поєднанні з екстенсивним розвитком сільського господарства за низької екологічної культури виробництва призвели до того, що на кінець ХХ століття в природному середовищі України також почалися деградаційні процеси. Найбільш забрудненими районами Європи є Донбас та Придніпров'я. Це природно, оскільки в цьому регіоні, яке складає 18% усієї території, проживає 28% населення та виробляється 40% усієї продукції. Виробнича сфера України щорічно залучає до використання більш ніж 1,5 млрд. тонн природних речовин, з яких більше 1 млрд. тонн йде у відходи. Ряд промислових підприємств України недостатньо очищують відходи від токсичних речовин. Це веде до того, що в навколишнє середовище викидається неприпустимо велика кількість забруднюючих і навіть отруйних речовин.

У 1991 році в повітряний простір України надійшло з різних джерел 14,3 млн. тонн забруднюючих речовин. Основні викиди дають металургійні підприємства (33%), енергетика (30%), вугільна (10%) та хімічна промисловість (7%). Це спричинює до сильну загазованість міст, особливо великих промислових центрів України. У м. Горлівка викидається ртуті до 0,015 кг/людину, у м. Костянтинівка – кадмію до 0,01 кг/людину, у м. Комунарську – промислового пилу до 1,9 т/людину, у м. Рубіжному – сірчаної кислоти до 2,9 кг/людину, у м. Красноперекопську – азотної кислоти до 381,5 кг/людину. До того ж мали місце випадки завезення на територію України шкідливих відходів виробництв із Німеччини та інших країн Західної Європи.

Запаси прісної води в Україні характеризуються такими показниками: загальний стік складає 52,4 км³, об'єм прісної води в 1 087 водосховищах дорівнює 55,1 км³. Але використовується та зберігається вода погано. Велика кількість підприємств споживає води у 2–3 рази, а деякі – у 10–13 разів більше, ніж це передбачено технологією. Основний споживач води в Україні – сільське господарство, яке використовує на зрошення 7,8 млрд. м³.

В Україні відбувається процес швидкої втрати якості поверхневих та підземних вод, що пов'язано зі скиданням сильно забруднених стічних вод. Основний стік (до 48%) неочищеної води

дає комунальне господарство України. Це зумовлено недосконалістю очисних споруд. Забруднення ряду рік України перевищує ГДК у кілька разів. Вода в р. Дністер сильно забруднена аміаком та органічними речовинами. Забрудненість рік басейну Дніпра в ряді випадків перевищує 14 норм ГДК нітратів, 11 ГДК нафтопродуктів, 10 ГДК фенолу. Майже всі підземні води, вміщують залишкову кількість пестицидів, у тому числі ДДТ, мінеральних добрив та інших речовин. У промисловому м. Донецьк р. Кальміус та Нижньо-Кальміуське водосховище містять сульфатів у 2 рази, нафтопродуктів – у 3–4,5 разів та фенолів – у 2–10 разів більше від санітарних норм.

У неблагополучному стані знаходиться весь Азово-Чорноморський басейн, що на півдні України. До нього надходить велика кількість побутових та промислових стічних вод, нафтопродуктів та залишкової кількості добрив та пестицидів. Азовське море за ступенем забруднення в розрахунку на 1 м³ води знаходиться на першому місці у світі. За даними *В.Н. Білоконя та Е.П. Нахшиної* (1993), у ряді водосховищ Дніпра донні відклади вміщують значну кількість важких металів. Ріка Дніпро та її притоки протікають в районах інтенсивного сільськогосподарського використання. До них надходить така значна кількість залишкових добрив та пестицидів, що самоочищення сильно порушилося, а природні трофічні ланцюги розбалансувалися. Дністер виявився найбільш забрудненою рікою України. Тільки з 1991–1992 років, коли була вдосконала система пропуску води в системі Дністровського водосховища, стан цієї ріки став покращуватися.

Забруднення рік та підземних вод призводить до різкого забруднення Азовського та Чорного морів. Щорічно в Азовське море скидається 1,1 млрд. м³ неочищених стоків, у Чорне море – 2 млрд. м³. Із цим стоком тільки в Чорне море в 1990 році було скинуто 5,1 млрд. тонн різного роду забруднюючих та токсичних речовин.

Матеріали обстеження ґрунтів України показують, що їх забруднення небезпечно зростає. Так, *В.В. Гриневиц та ін.* (1989) при вивченні стану ґрунтів Київської області виявили, що 43% проб мали вміст азоту, який перевищував ГДК. Концентрація нітратів у ряді колодязів досягала 265–273 мг/л при нормі не більше 50. Має місце техногенне забруднення сільськогосподарських ґрунтів викидами промислових підприємств. Воно особливо велике в Донецькій, Луганській та Харківській областях. У цілому в Україні триває процес безперервного погіршення якості ґрунтів та зниження їхньої родючості.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть, якими речовинами забруднюються атмосфера, гідросфера та ґрунти.
2. Назвіть категорії антропогенних забруднювачів та основні види забруднення природного середовища.
3. Перерахуйте райони та випадки екологічного лиха, вкажіть на їхні причини та наслідки.
4. Дайте визначення поняттям «екологічна катастрофа» та «екологічна небезпека» відповідно до законодавства України.
5. Назвіть основні механізми деградації біомів і вимирання окремих організмів.
6. Який вплив на клімат планети здійснює порушення біогеохімічного циклу вуглецю?
7. Чому антропогенне надходження біогенних елементів до природного середовища порушує екологічну рівновагу?
8. Дайте опис механізму й причин евтрофікації водойм.
9. Поясніть різницю між точковими та неточковими джерелами забруднення.
10. Поясніть, чому миючі засоби, що вміщують фосфор, завдають шкоди природному середовищу.
11. Назвіть прямі та опосередковані фактори вимирання видів рослин і тварин, наведіть приклади.
12. Назвіть канали несприятливої дії на природне середовище військової промисловості та локальних воєн.
13. Що таке кислотні опади та чому вони виникають?
14. Назвіть причини, що викликають запустелювання в Приараллі.
15. Що таке антропогенне забруднення?

Питання для обговорення

1. Спробуйте оцінити розмір вашого власного «внеску» в забруднення навколишнього середовища. Для цього складіть перелік видів і зазначте кількість споживаних вами матеріалів та речовин за повну добу і кількість відходів. Після цього підрахуйте річний обсяг вироблених вами відходів.
2. Доведіть, що зміни природного навколишнього середовища, які спостерігаються протягом останніх десятиліть ХХ століття, мають характер глобальної екологічної кризи.
3. Чому екологи зацікавлені в підвищенні продуктивності сільськогосподарських земель?
4. Чи погоджуєтеся ви з тезою, що сучасний період життя суспільства є поворотним у розвитку цивілізації?
5. Які зміни відбудуться на планеті в разі розв'язання атомної війни?
6. Розгляньте екологічну ситуацію в Україні у 1990–1997 роках та причини, що викликають екологічну напруженість у ряді регіонів країни.

10.1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ПРОДУКТАМИ ХАРЧУВАННЯ

Якість життя людини визначається, насамперед, *отриманням повноцінного харчування*. Сучасному населенню планети основне продовольство надають культурні рослини та свійські тварини. Із загального різноманіття рослин людина використовує 6 тис. видів. Але культивується лише приблизно 1,5 тис. видів, решта використовується в дикорослому вигляді. Масово вирощується у світі лише 90 видів, а основну масу їжі дають не більше ніж 20 видів, 14 з них належать до двох родин – злакові та бобові (табл. 10.1).

Коло видів тварин, що розводяться, також не дуже широке. Проте чисельність особин велика. За даними ФАО ООН, до початку 1990-х років у світі вирощувалося 1 млн. 226 тис. голів великої рогатої худоби, 1 млн. 138 тис. овець, 774 тис. свиней, близько півмільйона кіз та більше 7 млн. свійських птахів.

В Україні практичну цінність як харчові, кормові або сировинні рослини мають 65% видів її флори. До них належать:

Таблиця 10.1. Кількість видів живих організмів, що використовуються в сільському господарстві (за С.Р. Spedding, 1989)

Категорії	Культурні рослини	Свійські тварини	
		Ссавці	Птахи
Використовується видів	1000–2000	20–30	5–10
У % від загальної кількості	0,4	0,5–0,75	0,05–0,1
Кількість економічно важливих видів	100–200	близько 10	близько 3
Кількість видів, що дають основну кількість їжі	15	5	2

лікарські – 800 видів, вітамінозні – 200, дикорослі їстівні – 150, ефіроолійні – 400, дубильні – 100, красильні – 150, волокнисті – 50, кормові – більше 1000, медоносні – 500. Запаси дикорослих корисних рослин дуже великі. Наприклад, ресурсні запаси плодів дикорослих яблук та груш оцінюються в 6 тис. тонн, малини – 5,5 тис. тонн.

Загальні обсяги продуктів харчування, що виробляються, достатні, щоб забезпечити їжею населення планети, хоча його розподіл за регіонами різко нерівномірний. Частка білків тваринного походження складає в добовому раціоні мешканців США 92%, Східної Європи – 39%, Африки – лише 20%.

Збільшення продовольчих ресурсів за останні десятиліття було досягнуто за рахунок інтенсифікації сільського господарства. Але поки що лише в кількох країнах ця галузь забезпечує населення продуктами харчування власного виробництва. Це Австралія, Канада, Нова Зеландія, США та ПАР. За даними ФАО, приблизно половина населення планети не отримує повноцінного харчування. У 1980 році від недоїдання та голоду страждало 800 млн. людей. Це мешканці країн, що розвиваються, в Африці, Південній Америці та Південно-Східній Азії. Сільськогосподарське виробництво контролюється кліматичними та ґрунтовими факторами, але меншою мірою, ніж це прийнято вважати. Більш важливим є загальний соціально-економічний рівень виробництва. Не випадково в Каліфорнії (США) урожайність рису становить 8,5 т/га, а в Індії в більш сприятливому для цієї культури кліматі – тільки 2,5 т/га.

Раціон людини включає чималу кількість продуктів тваринництва, м'яса та молока в першу чергу. Для їх отримання тваринам згодують від 33 до 40% продукції рослинництва (фуражне зерно). Використання пасовищних кормів при утриманні тварин дає все менше результатів – пасовища всіх країн сильно виснажені через перевипас. За оцінками Інституту ботаніки НАН України, середня врожайність луків країни становить усього 17,5 ц/га, хоча при раціональному використанні може та має бути збільшена у 3–5 разів.

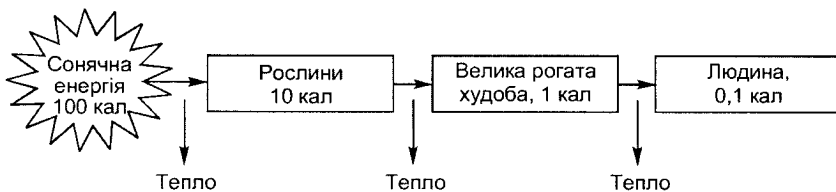


Рис. 10.1. Втрати енергії в ланцюгу живлення агроєкосистеми

З еколого-енергетичного погляду тваринництво не вигідне. Трансформація біомаси з рослинної у тваринну зменшує її кількість у 10 разів.

На *рис. 10.1* ця закономірність ілюструється в енергетичному вираженні. Видно, що на кожній ланці ланцюга живлення корисна енергія органічних речовин зменшується в 10 разів, і з кожних 100 калорій сонячної енергії людина отримує лише 0,1 кал.

Висока частка м'яса та молока в раціонах харчування вимагає великої продуктивності від агроєкосистем. Таким чином, якщо споживання м'яса у світі довести до рівня мешканців США, то виробництво зерна треба подвоїти, що нереально. Необхідне інше: населенню розвинених країн треба відкинути парадигму споживацтва стосовно м'ясо-молочної продукції і стати на шлях самообмеження. Взагалі зменшити навантаження на біосферу з боку агроєкосистем можна тільки одним шляхом: змінити місце людини в трофічному ланцюгу шляхом збільшення частки рослинних продуктів в її їжі. Якби в наш час населення економічно розвинених країн різко скоротило споживання м'яса, молока, вершкового масла та інших продуктів тваринництва й перейшло на тип харчування населення країн, що розвиваються, для яких характерне переважне використання продуктів рослинництва, тоді зерна, яке витрачається на корм худобі, вистачило б для харчування ще 2–3 млрд. людей.

Світові ресурси продовольства поповнюють прісні та особливо морські водойми. У 1970–1990 роках вилов риби у світі стабілізувався приблизно на рівні 75 млн. тонн на рік. У цілому морські біологічні ресурси додають людині приблизно 80 млн. тонн морської продукції на рік. Її частка в харчуванні складає в середньому 5–10%, але вона з кожним роком зменшується. Рибальство деградує через виснаження запасів та забруднення прісних та морських водойм. Так, у 1992 році американський уряд був змушений видати надзвичайну постанову про заборону вилову риби вздовж великої частини атлантичного узбережжя через забруднення миш'яком, що надходив з промисловими стоками.

На зміну рибальству приходить аквакультура – вирощування устриць, мідій, розведення риби в ставках. Великі перспективи має розведення мідій, що дають смачне м'ясо з повноцінним білком. Мідія – двостулковий молюск, який отримує їжу шляхом фільтрації води. У Франції вихід м'яса мідій на 1 га водойми становить 200–250 тонн на рік, тоді як розведення курей дає 2 тонни живої маси, а корів – 0,3 тонни з гектара. До того ж аквакультура економічно більш вигідна. Цей досвід цікавий для України, оскільки мідія природно поширена в північно-західній частині Чорного моря, де можливе отримання до 150 тонн її м'яса з гектара на рік. Досвід розведення мідій уже відомий під

Одесою та в Криму. При правильному підході до 2100 року аквакультура може давати людству до 7 млн. тонн м'яса на рік.

Окрім кількості вироблюваного продовольства, велике значення має його якість. До поняття якості продовольства поруч з іншими показниками входить його екологічна чистота. У країнах Європи активно розроблюються стандарти щодо екологічної чистоти сільськогосподарської продукції. Так, наприклад, у Німеччині дозволене до продажу зерно пшениці вміщує кадмію менше 0,12 мг/кг сухої ваги, свинцю – менше ніж 0,35. За нормами ВООЗ, добове надходження нітратів з їжею має бути меншим ніж 255 мг для людини вагою 70 кг або 3,6 мг на 1 кг ваги тіла.

Наприкінці ХХ століття відкрився ще один шлях виробництва продуктів харчування та кормів для тварин – використання біотехнологій. Терміном «біотехнологія» називають мікробіологічний синтез білка та інших органічних речовин на основі відходів сільського господарства, деревини або навіть нафтопродуктів. Провідне місце серед біотехнологічних процесів посідають США, Японія та Німеччина. Цей шлях виробництва продуктів повністю ще не визнається, бо гігієнічні та екологічні аспекти його залишаються дискусійними. Досвід колишнього СРСР показує, що виробництво папріну екологічно небезпечно, якщо користуватися недосконалими технологіями та ще й при низькій культурі виробництва.

На рубежі ХХ і ХХІ століть вимоги до сільськогосподарського виробництва зросли особливо сильно у зв'язку з демографічною ситуацією. Населення планети вже складає трохи більше 6 млрд. чоловік. Очікується, що до 2020 року воно досягне 8 млрд. При сучасних темпах народжуваності щодня на планеті з'являється 250 тисяч нових громадян. Їх треба годувати і вдягати. Тому за відсутності врегулювання демографічної ситуації неминучо є інтенсифікація виробництва продуктів харчування.

З даних *табл. 10.2* видно, що протягом другої половини ХХ століття вдалося не знижувати, а навіть дещо підвищувати обсяги

Таблиця 10.2. Чисельність населення і виробництво зерна у світі в другій половині ХХ століття

Роки	Чисельність населення, млн. чол.	Виробництво зерна, млн. т	Зерна в розрахунку на одну людину, т
1950	2565	631	0,246
1960	3050	849	0,278
1970	3721	1103	0,296
1980	4477	1442	0,322
1990	5320	1688	0,317
2000	6110	1846	0,302

виробленого зерна на душу населення. Однак до початку XXI століття випереджальні темпи виробництва зерна явно стали падати.

Кожній новій людині тільки для виробництва їжі необхідно 0,4 га ріллі, а резерв орних ґрунтів на планеті, власне кажучи, вичерпаний. За підрахунками фахівців, потенційно придатної під ріллю землі на планеті близько 3,2 млрд. га. Уже розорано 1,5 млрд. га. Але розорювання решти – приблизно 1,7 млрд. га – різко підірве екологічний режим господарських територій і викличе значний спад урожайності.

Соціальні аспекти забезпечення продовольством загострюються тим, що в країнах, які розвиваються, його виробництво зорієнтоване не на забезпечення населення харчуванням, а на економічні вигоди землевласників. У Бразилії, наприклад, чимала частина населення недоїдає. Спеціалісти пов'язують це з соціально-економічними факторами: за станом на 1985 рік 2% власників володіли 60% орної землі, яка засівалась економічно вигідними культурами (кава, чай, каучуконоси, цукрова тростина) та непродовольчими культурами. *Б. Небел (1993)* прямо зазначає: «Поки багаті нації спроможні купувати дорогі непродовольчі культури, а великі землевласники розпоряджаються їх виробництвом, земля навряд чи буде давати більше їжі».

10.2. АГРОЕКОСИСТЕМИ

Продукти харчування виробляються галузями сільського господарства (рослинництво і тваринництво) у створюваних задля цього агроєкосистемах. Агроєкосистема – це сукупність біогенних та абіогенних компонентів на ділянці суходолу або акваторії, яка знаходиться в сільськогосподарському використанні.

Агроєкосистеми є антропогенними автотрофними екосистемами, ланцюги живлення яких створюються і керуються людиною з метою отримання максимальної кількості первинної і вторинної біологічної продукції потрібної якості. Важливою частиною будь-якої агроєкосистеми є агробіоценози, тобто співтовариства культурних рослин і свійських тварин та їх супутників.

Основними компонентами агроєкосистеми є:

а) культурні рослини, які висіваються чи висаджуються задля отримання врожаю або підвищення якості ґрунту;

б) свійські тварини;

в) бур'яни, які є поки що неминучим супутником культурних рослин;

г) мікроорганізми ґрунту і гною;

д) різноманітні тварини (головним чином, безхребетні, але також багато гризунів і птахів), які пов'язані ланцюгами живлення з посівами і фермами;

е) паразитичні бактерії, гриби і віруси, що викликають захворювання культурних рослин і свійських тварин.

Поняття про агроєкосистему є результатом застосування концепції екосистем до сільськогосподарських земель. Головною ланкою агроєкосистем є зелені рослини, які забезпечують первинне отримання органічних речовин та надають агроєкосистемам властивостей автотрофності. Роль гетеротрофної ланки виконують сільськогосподарські тварини.

Територіально агроєкосистеми тією чи іншою мірою звичайно бувають зближені, формуючи агроландшафт. Загальну сукупність агроєкосистем планети називають агросферою, її складовими є ділянки території або акваторії, пристосовані для отримання рослинницької продукції (поля, сади, городи, пасовища, сіножаті), утримання й розведення худоби (ферми, тваринницькі комплекси).

Агроєкосистемами у світі зайняті великі площі. Рілля, плантації, сади і засіяні луки займають 19 млн. км², пасовища та природні луки – 26,6 млн. км². У цілому сучасна агросфера охоплює більше 10% поверхні суходолу, зайнятої ріллею, та ще 20%, зайнятих сіножатями та пасовищами. Для отримання їжі та кормів також частково використовуються лісові угруповання. Усе це разом складає 32% площі суходолу.

Порівняння природних екосистем та агроєкосистем (табл. 10.3) показує, що хоча за багатьма параметрами вони відрізняються лише кількісно, у сукупності це веде до глибокої якісної своєрідності агроєкосистем. Визначають *статус агроєкосистем* не лише їхні внутрішні особливості, але й сільськогосподарські ресурси (кількість укладеної праці, матеріалів, енергії), тип використання продуктів агроєкосистем (відбір тільки зерна або вивезення з поля соломи) і характер зв'язку з суміжними агроєкосистемами (транспортування гною з однієї агроєкосистеми в іншу).

Агроєкосистеми порівняно з природними екосистемами відрізняються значним спрощенням будови та функціонування. Автотрофним блоком у них служить практично один вид (монокультура), трофічні ланцюги вкорочені, трофічна мережа рудиментарна. Тварини в агроєкосистемах є перетворювачами первинної продукції. Займаючи разом з людиною одне й те саме місце в трофічному ланцюгу, вони тим самим немовби конкурують із нею за рослинну їжу. Перетворення рослинної їжі у тваринницьку продукцію – молоко та м'ясо – удорожчує харчові продукти. Але з погляду дієтики воно тією чи іншою мірою неминуче, оскільки велика кількість видів тваринної їжі легше перетравлюється і

Таблиця 10.3. Порівняльна характеристика природних екосистем і агроекосистем

Властивості	Природні екосистеми	Агроекосистеми
Біологічне різноманіття	Високе	Низьке
Замкненість кругообігу речовин	Висока	Низька
Вилучення органічної речовини з екосистеми	Майже відсутнє	Відбувається постійно
Необхідність надходження речовин в екосистему ззовні	Відсутня	Висока
Трофічні ланцюги	Довгі	Короткі
Ерозія	Слабка	Сильна
Вимивання речовини з екосистеми	Слабке	Слабке
Потреба в антропогенній енергії	Відсутня	Висока
Стійкість	Висока	Низька

багата на ряд потрібних для людського організму речовин, зокрема на білки та незамінні амінокислоти. Хоча орієнтація на переважне харчування м'ясо-молочними продуктами, що характерне ряду країн світу, ще не має медичного обґрунтування.

Відповідно до законів загальної екології прості екосистеми нестабільні. Умовою стабільності є біологічне різноманіття, та воно відсутнє в агроекосистемах. Тому стабільність, що так необхідна для господарської стійкості агроекосистем, досягається іншим шляхом – вкладенням додаткової антропогенної енергії. І чим простіша агроекосистема, тим більше вона вимагає такої енергії у вигляді ручної або механізованої праці, внесення добрив, пестицидів і т.ін.

Для стійкого існування агроекосистемам необхідне постійне поповнення такими видами матеріальних ресурсів, що споживаються рослинами й тваринами в процесі функціонування. Цей процес спричинює докорінні зміни потоку енергії та кругообігів речовин в агроекосистемах.

Зі споживацької точки зору агроекосистемам дуже важлива екологічна чистота середовища рослин і тварин, її забруднення знижує врожаї, продуктивність худоби та якість продукції. Наприклад, за даними *Н.П. Грицан (1992)*, у Дніпропетровській області забруднення атмосфери фтором знижувало врожаї пшениці на 39–60%, а ячменю – на 23–60%.

Агроекосистеми створюються людиною, до самостійного виникнення та існування вони не здатні. Тому агроекосистеми поєднують у собі екологічні та соціальні компоненти. Переплетення екологічних та соціальних феноменів в агроекосистемах

було помічене ще в XIX столітті й описане в класичному дарвінівському прикладі, який указував на зв'язок воєн з урожайністю конюшини. Війни приводять до появи удовиць, удовиці розводять котів, коти виловлюють мишей, які розорюють гнізда джмелів, збільшується кількість джмелів, що запилюють конюшину, її врожаї стають вищими.

У цілому агроекосистемам характерні такі особливості:

1) постійне та значне вилучення з агроекосистем органічної речовини;

2) велика залежність існування агроекосистем від діяльності людини, що їх підтримує;

3) переважання в агроекосистемах рослин і тварин, які є продуктом селекційної діяльності, а не природного добору;

4) низьке видове різноманіття автотрофного і гетеротрофного блоків;

5) розімкненість біогеохімічних циклів.

10.3. РЕСУРСИ В АГРОЕКОСИСТЕМАХ

У будь-якому виді господарського використання вихідними виступають *ресурси*. *Природними ресурсами* називають об'єкти та явища, що прямо чи опосередковано використовуються для створення матеріальних благ суспільства й підтримки умов існування людства. Існують різноманітні підходи до класифікації ресурсів, їх, зокрема, поділяють на такі ресурси:

а) *вичерпні* (наприклад, нафта, кам'яне вугілля) і *невичерпні* (наприклад, сонячна енергія/радіація, енергія припливів і відпливів);

б) *відновлювані* (наприклад, біомаса рослин і тварин) та *невідновлювані* (наприклад, мінеральні підземні корисні копалини);

в) *замінювані* (наприклад, кам'яне вугілля може бути замінене в багатьох випадках нафтою або газом) і *незамінювані* (такі, як вода, кисень, вуглекислий газ).

Особливим видом ресурсу в сільському господарстві виступає територія, на якій можна формувати агроекосистеми. За даними С. Лазаруса (1990), для різних видів сільськогосподарського користування придатні 15 млрд. га суходолу або 11% від загальної кількості. Десять тисяч років тому на Землі було 4,5 млрд. га потенційно орних земель. Це найважливіше ресурсне джерело має тенденцію скорочуватися, головним чином, через втрати родючості ґрунту та ерозію. Територія, що придатна для розміщення агроекосистем, втрачається також у ході урбанізації, спорудження транспортних мереж, відводиться під відвали гірських порід, ложа водосховищ та звалища. За роки

існування цивілізації втрачено 2 млрд. га, тобто 44% від кількості тих, що могли бути використані. За розрахунками Г. Вольмейера (1992), до кінця XXI століття людство втратить ще 18% ріллі через ерозію та засолення. Одне тільки вторинне засолення орних земель вивело з ладу 2,75 млн. га родючих земель, які могли б прогодувати 9 млн. людей. У наш час резервної землі для ріллі у світі залишилося 1 млрд. га і майже вся вона знаходиться в тропіках.

Земельний фонд України складає 60,4 млн. га. Розораність території дорівнює 56%, що вище від такої в США. В Європі за цим показником Україну перевершує Великобританія, де в сільськогосподарському використанні знаходиться 85% території. З урахуванням інших видів використання в сільському господарстві України активно використовуються 70% території (табл. 10.4). На одного мешканця України припадає 0,81 га сільськогосподарських угідь. Якщо зважити на те, що в 1960 році на кожного жителя України припадало 1,01 га, то це означає, що в останні 30 років промислово-індустріального розвитку та забруднення ґрунту радіонуклідами після Чорнобильської аварії привели до зниження частки ріллі, що припадає на одну людину, на 20%.

Нарівні з територією головним ресурсом сільського господарства виступає також ґрунт. Тільки наявність родючого ґрунту дозволяє використовувати територію для створення на ній агроєкосистем.

Визначальна якість ґрунтів – це їх *родючість*. Природна родючість ґрунту залежить від кількості в ній поживних речовин, гумусу та її водного, повітряного й теплового режиму. Ефективну родючість ґрунту визначають розміром одержаного врожаю.

Таблиця 10.4. Розподіл земельного фонду України за видами використання

Характер використання землі	Частка в % від загального земельного фонду
Рілля	55,6
Лісовкрита площа	15,4
Пасовища	8,5
Водойми	4,1
Сіножаті	3,8
Населені пункти	3,3
Багаторічні насадження	1,7
Шляхи	1,7
Деревно-чагарникові насадження	1,5
Болота	1,5
Інші землі	2,9

Вона включає в себе прийняті технології вирощування рослин і внески антропогенної енергії.

Найбільшою родючістю характеризуються степові та лучні чорноземи. Це одне з головних багатств України. Чорноземні та лугово-чорноземні ґрунти займають 42% її території, що складає 67% усіх чорноземів світу. Родючість ґрунтів України одна з найвищих у світі.

Екологічна недосконалість прийнятої у світі стратегії сільськогосподарського виробництва полягає в тому, що в агроекосистемах відбувається деградація ґрунтів: ерозія, втрата гумусу та вимивання поживних речовин з кінцевою втратою родючості. В Україні водної ерозії зазнають легкі піщані ґрунти Полісся та степової зони. Вітровою ерозією охоплено до 19 млн. га ріллі. У 1969 році пилова буря знищила близько 1 млн. га посіву озими (М.Т. Масюк, 1989). У результаті водної ерозії збільшується мережа ярів. І.П. Ковальчук та ін. (1990) при обстеженні басейну р. Дністер встановили, що густина ярів тут доходить до 2,59 м/км² території, а швидкість росту – до 0,1–2,6 м/рік на вершину яру. Це явище частіше спостерігається в Кіровоградській, Херсонській та Дніпропетровській областях.

Родючість орних земель у багатьох випадках визначається вмістом у них гумусу. 100 років тому вміст гумусу в ґрунтах України становив 4,2%, та в наш час він складає тільки 3,2%. Таким чином, щороку втрачалось 24,0 млн. тонн гумусу.

Важливим видом ресурсу в агроекосистемах є вода. Агроекосистемами забезпечуються водою завдяки атмосферним опадам, запасам ґрунтових вод, прісних континентальних водами та водотоків, вода яких може використовуватися для зрошення. У районах з посушливим кліматом для забезпечення потреб рослин у воді здавна створюються зрошувальні системи. У деяких країнах зрошується більше половини всієї орної землі (табл. 10.5). Водозабезпеченість атмосферними опадами в Україні задовільна, а в північних районах ще краща, є великі ріки та водосховища. Усього в країні 1057 водосховищ та 27 тисяч ставків. Найбільші водосховища – Кременчуцьке, Каховське, Київське, Канівське, Дніпродзержинське.

Використання ресурсів у сільському господарстві здійснюється відповідно до екологічних законів, згідно з якими отримання багатьох видів ресурсів (поживних речовин, води та ін.) відбувається шляхом вилучення з біогеохімічних циклів. Цей процес особливо масштабний щодо поживних речовин – азоту, фосфору, калію та ін.

Наприкінці ХХ століття головним видом добрив стали синтетичні мінеральні речовини. Цей вид добрив буквально викликав революцію в землеробстві. Світове виробництво добрив без-

Таблиця 10.5. Площа зрошуваних земель у різних країнах світу за станом на 1985 р.

Країна	Площа зрошуваних земель, млн. га	Питома вага зрошуваних земель, %
Японія	3,2	58
Китай	40,0	47
Індія	57,0	34
Болгарія	1,2	28
Румунія	2,3	22
США	25,0	18
Угорщина	0,5	9
Колишній СРСР	19,0	8

перервно зростає. У 1960 році їх вироблялося 30 млн. тонн, у 1970 – 71 млн. тонн, у 1983 – 124 млн. тонн, у 1992 – 146 млн. тонн, а до 2000 року обсяги виробництва за прогнозами перевищать (?) 300 млн. тонн (В.А. Ковда, 1975).

Україна нарощувала використання мінеральних добрив дуже інтенсивно. У період з 1960 до 1970 року на 1 га посіву їх припадало в середньому 46 кг, а в 1985–90 рр. – уже 146,8 кг. На душу населення вносилося 85 кг добрив на рік. Повнота використання корисних речовин з добрив невелика. Так, з нітратних і амонійних добрив засвоюється тільки 40% азоту, а з органічних – не більше 20%. До того ж погане зберігання, порушення норм і термінів внесення добрив приводять до їх вимивання за межі агроєкосистем із забрудненням водою нітратами і фосфором.

Однак головними для стабільного існування агроєкосистем є відновні природні ресурси. Це потік сонячної радіації, режим опадів і родючість ґрунту. Як видно з даних *табл. 10.6*, для природних зон України вони достатньо великі і дозволяють одержувати від 8 до 15 т біопродукції щороку з одного гектара.

Таблиця 10.6. Основні відновлювані природні ресурси для головних природних зон України

Природна зона	Сонячна радіація, МДДС м ² /рік		Сума активних температур, °С	Кількість опадів, мм	Середній річний стік, мм	Біопродуктивність, т/га/рік
	сумарна	пряма				
Широколистяні ліси	4000	2000	2300	650	125	13,0
Лісостеп	4100	2000	2500	600	100	15,0
Північний степ	4400	2300	2800	500	60	12,0
Південний степ	4600	2500	3200	450	20	8,0

10.4. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ І ТВАРИНИ – ПРОДУКТ ДОБОРУ ТА ГЕНЕТИЧНОГО КОНСТРУЮВАННЯ

Важливою особливістю культурних рослин і свійських тварин є їх висока однорідність. При формуванні агроєкосистем з рослин одного сорту або тварин одного виду та однієї породи всі особини споживають один і той самий вид ресурсів, однаково потребують основних умов життя і тому завжди змушені займати одну й ту саму екологічну нішу. Зусилля людини протягом багатьох тисячоліть ведення сільського господарства були спрямовані не на вдосконалення співіснування рослин і тварин різних видів, а на вибір найбільш продуктивних форм та їх розведення або вирощування в монокультурі.

Існувало, очевидно, два центри виведення культурних рослин: гірські райони, де створюються сприятливі для цього умови на родючих та добре зволжених ґрунтах схилів, та заплави великих рік, що насичувалися родючим мулом після кожної повені. У цих регіонах у період неолітичної революції склалися основні групи видів вирощуваних рослин і тварин. У подальшому одомашнення і введення в культуру, по суті, припинилося. Далі впродовж багатьох століть тривала робота, спрямована на якісну зміну культурних рослин і свійських тварин, створення певних сортів та порід.

Створення нових сортів і порід здійснювалося у два етапи. На першому, початок якого датується неолітичною революцією, – здійснювався добір бажаних форм з природного різноманіття особин, на другому етапі, який розпочався у ХХ столітті, селекціонери перейшли до активного перетворення вихідних форм шляхом гібридизації, штучної поліплоїдії та реконструкції геному. Так, наприклад, були створені нові сорти пшениці, у геном яких вдалося вбудувати гени сої та гороху, що підвищило вміст високоцінних білків у зерні. Вигідною культурою для годування овець є люцерна, але її білок вміщує мало амінокислоти цистеїну, необхідного вівцям для синтезу білків шерсті. В Австралії успішно ввели в геном люцерни ген синтезу альбуміну, і така люцерна повністю задовольняє вівчарів, бо дає якісні білки.

Результати діяльності селекціонерів вражають. Для всіх основних сільськогосподарських культур у наш час створені досить продуктивні сорти. Дикорослі предки основної продовольчої культури пшениці не дають й одного центнера зерна з гектара, а її сучасні сорти, за розрахунками відомих українських селекціонерів *В.М. Ремесла* та *А.В. Коломацького* (1980), мають можливість врожайність до 142 ц/га, а потенційну – удвічі більшу. Селекція створила групи так званих інтенсивних сортів. Це сорти більш урожайні, з цінним набором господарських ознак та високою чутливістю щодо високого агрофону.

Платою за підвищення продуктивності культурних сортів та порід стало зниження їхньої стійкості до хвороб, бур'янів та шкідників. Сучасні сорти культурних рослин і породи свійських тварин у природному середовищі без підтримки людини існувати не можуть. Цей «захист» своїх годувальників обходиться людині все дорожче та дорожче, вимагаючи додаткових витрат матеріальних ресурсів та енергії.

Переробка рослинних кормів у тваринницьку продукцію, тобто його біоконверсія в різних тварин неоднакова. Найбільш вигідні щодо цього свині, які на створення одного кілограма продукції витрачають 8 кг рослинного білка. Велика рогата худоба екологічно «найдорожча». Тут для виробництва 1 кг продукції необхідно 20 кг рослинного білка. Дешевше свиней коштує тільки розведення птахів. Бройлерам достатньо 5–6 кг рослинного білка для виробництва 1 кг м'яса. У найбільш прогресивних системах вирощування бройлерних птахів 2 кг корму можуть перетворюватися в 1 кг живої маси.

Свійські тварини існують у штучному середовищі, яке імітує компоненти екосистем, що необхідні для їх життя, і створює сприятливий для них мікроклімат. Ферми, тваринницькі комплекси, птахофабрики та інші подібні об'єкти включають у себе будівлі, кормороздавачі, теплоізолюючі конструкції, водопровідну систему та інше, що задовольняє потреби тварин. Усі ці об'єкти являють собою складну систему з виробничих будівель, тварин і людини, яка веде догляд за тваринами й підтримує функціонування технічних засобів. Розведення тварин усе більше пов'язане з тактикою концентрування поголів'я на фермах, комплексах і т.п. об'єктах.

Технічна імітація екологічного середовища, сприятливого для тварин, має свої негативні риси. У тваринницьких приміщеннях усе частіше стає шумно. Це викликає у тварин стресовий стан, а в птахів навіть особливе захворювання – «шумову істерію». Тваринницькі комплекси насичені електромагнітними полями. Концентрація тварин і підвищена густина їх утримання, продиктовані необхідністю економії засобів для будівництва приміщень, спричиняють спалахи інфекційних захворювань. Територія в цьому випадку стає лімітуючим екологічним фактором. Тварини не мають вільного вибору їжі, як при пасовищному утриманні, раціон, що їм пропонується, не індивідуалізований і часто не відповідає потребам тварин. Це впливає не лише на кількість продукції, але й на її якість.

Для країн, що розвиваються, та країн СНД характерна низька продуктивність свійських тварин. Це створює безліч несприятливих супутніх ефектів. Недостачу продукції доводиться перекривати збільшенням поголів'я тварин, а це, у свою чергу,

вимагає більше кормів, більше територій для утримання тварин, що призводить до забруднення природного середовища. Першочергове завдання тут очевидне – це підняття реальної продуктивності тварин до їхньої потенційної породної можливості.

10.5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ АГРОЕКОСИСТЕМ

Центральною енергетичною ланкою агроєкосистем є зелені рослини, які трансформують сонячну енергію у зв'язану енергію органічних речовин. Ефективність цього процесу невисока. У помірних широтах, в яких знаходиться Україна, кількість сонячної енергії, що надходить до поверхні ґрунту за рік, дорівнює приблизно 14 109 ккал. З урахуванням розмірів отримуваного врожаю, за розрахунками Д. Піментела (1987), ефективність зв'язування сонячної радіації в найбільш урожайної культури кукурудзи на зерно складає 0,5%, у картоплі – 0,4%, а в пшениці – усього 0,2%.

Теоретично рослинництво має бути енергетично прибутковим, оскільки воно базується на зв'язуванні сонячної енергії. Але це справедливо лише для примітивних землеробних систем, в яких застосовувалася тільки м'язова праця. У сучасних агроєкосистемах додаткові витрати енергії при виробництві сільськогосподарської продукції перевищують за обсягами ту енергію, яка акумульована в ній. Таким чином, сучасні агроєкосистеми збиткові, а сільське господарство є найбільшим енергоспоживачем. У США воно забирає 17% енергії, що виробляється в країні, в Індії – 29%. Енергетично найдешевше зерно виробляється в Англії.

Усе сучасне сільськогосподарське виробництво таке, що в агроєкосистемах вкладається додаткова антропогенна енергія. Так називають усю енергію, що вноситься в агроєкосистеми при виробництві продуктів рослинництва і тваринництва у вигляді м'язової енергії та енергії трудових затрат, необхідних при виробництві, транспортуванні й використанні добрив, пестицидів та інших речовин, а також при зрощуванні.

Витрати антропогенної енергії поділяються на три основні види:

- 1) витрати на підтримку високої життєздатності й продуктивності рослин і тварин в агроєкосистемах у період їх вирощування;
- 2) витрати на підтримку екосистеми в стані, придатному для використання;
- 3) витрати на відшкодування речовин, що вилучаються з агроєкосистем з урожаєм та продукцією.

Основні канали витрачання енергії в енергетичному бюджеті агроєкосистем наведені в *табл. 10.7*.

Енергетичні еквіваленти виробничих і трудових витрат на основні матеріали й процеси сільського господарства вже знай-

Таблиця 10.7. Основні напрямки витрат антропогенної енергії в сільському господарстві (за Б.М. Міркінім, 1997 зі змінами)

Рослинництво	Тваринництво
Витрати енергії в ході селекційної роботи з одержання нових сортів і їх розмноження з отриманням потрібної кількості насіння	Витрати енергії в ході селекційної роботи з отримання нових порід та їх розмноження з отриманням потрібної кількості потомства
Основні й передпосівні обробки ґрунту	Заготівля кормів і підготовка їх до згодовування (заготівля сіна, силосу, комбікормів, запарювання соломи тощо)
Витрати енергії на виробництво мінеральних і органічних добрив	Витрати енергії на виробництво кормових добавок і лікарських засобів
Транспортування і внесення мінеральних і органічних добрив	Витрати енергії на отримання поточної продукції від тварин (ручне й механічне доїння, стрижка вовни, забивання тварин на м'ясо)
Витрати енергії на виробництво пестицидів	Витрати енергії на транспортування продукції та її зберігання (холодильні камери тощо)
Транспортування і внесення пестицидів для боротьби з бур'янами, шкідниками і хворобами рослин	Доведення продукції до продажних кондицій
Догляд за посівами з використанням ручної праці й механізмів	
Збирання врожаю і доведення його до продажних кондицій	
Зберігання насіння й продукції	

дені. Наприклад, вважають, що 1 кг азотних добрив еквівалентний 19 100 ккал, 1 кг гербіциду – 63 000 ккал, 1 л дизельного пального – 11 400 ккал, зрошення 1 га посіву – 10 582 000 ккал, утримання однієї молочної корови за рік – 4 475 900 ккал і т.д.

Загальні витрати антропогенної енергії звичайно залежать від способу виробництва сільськогосподарської продукції та від енергетичних витрат на забезпечення підсобних операцій. У первинних агроecosистемах, що збереглися в деяких районах Південної Америки, на виробництво продуктів харчування витрачається лише м'язова енергія, й відношення антропогенної і сонячної енергії становить 1:15. В індустріальних сучасних системах з високою механізацією і хімізацією це співвідношення становить 30:1, тобто вони енергетично збиткові: антропогенної енергії витрачається в 30 разів більше, ніж отримується сонячної енергії, зв'язаної в продуктах харчування.

Світовий досвід сільського господарства свідчить, що ефективність агроecosистем залежить від розмірів конкретного господарства (ферми, сільського двору і т.п.). Виявляється, що

найбільш ефективним є виробництво саме у великих господарствах. Не випадково в США всього 15% ферм володіють 71,3% орної землі й виробляють більше 90% продукції (Кокс, 1987).

Аналізуючи тенденції змін розміру антропогенної енергії, що вноситься в агроєкосистеми протягом ХХ століття, М.Ф. Реймерс (1990) сформулював закон зниження енергетичної ефективності сільськогосподарського природокористування. Згідно з цим законом підвищення врожайності рослин і товарного тваринництва вимагає на кожну одиницю продукції все більшої і більшої кількості затрат антропогенної енергії.

Для того щоб підвищити енергетичну ефективність сучасних агроєкосистем, існує чимало можливостей: зниження витрат палива за рахунок більш економічного режиму роботи двигунів, заміна мінеральних добрив гноєм, перенесення центру ваги в боротьбі з бур'янами та шкідниками з пестицидів на біологічні та агротехнічні методи, використання комбінованих агрегатів, які за один прохід виконують декілька операцій та ін. Але радикальне підвищення енергетичної ефективності сучасних агроєкосистем можливе лише на базі докорінної зміни стратегії сільськогосподарського виробництва.

10.6. СПІВЖИТТЯ В АГРОЄКОСИСТЕМАХ. БУР'ЯНИ, ХВОРОБИ ТА ШКІДНИКИ

Однією з важливих характеристик агроєкосистем є співвідношення в них посіву, пасовищ та поголів'я домашніх тварин. Звичайно у виробництві це співвідношення оцінюється за кількістю поголів'я худоби на гектар ріллі. Нормативи утримання тварин залежать від родючості ґрунту й типів його господарського використання. Згідно з балансовими розрахунками для Східної Європи з урахуванням кругообігу речовин у системі «ферма – гній – посів – навколишнє середовище» на 1 га ріллі доцільно мати від 0,8–1,1 до 2,2–3,0 умовних голів великої рогатої худоби. Відхилення від цих параметрів має завжди однакові наслідки: або дефіцит гною та деградація ґрунту через заміщення органічних добрив мінеральними, або деградація агроєкосистеми в силу необхідності інтенсифікації процесу кормовиробництва.

Має значення синхронізація життєдіяльності вищих рослин і мікроорганізмів у ґрунті. Вона визначає родючість ґрунту, стабілізує запаси поживних речовин і замикає кругообіг речовин. Співжиття в ґрунті зовні мало помітне, але дуже важливе. Відомо, що в середньому в товщі орної землі на 1 га живе 500 кг дощових черв'яків, 50 кг нематод, 40 кг ґрунтових ракоподібних

і 20 кг змій та гризунів. На кожний квадратний метр ріллі припадає 2–3 кг внутрішньогрунтової живої речовини, з якої 1,5 кг складають корені рослин.

У межах окремого посіву чи стада стійкість видів забезпечується їхнім генетичним різноманіттям і проживанням у стабільному екологічному середовищі. Якщо практика сільського господарства враховує другу половину цього принципу й намагається вирівняти та оптимізувати умови існування в агроєкосистемах, то перша частина порушується. Рослинництво й тваринництво спираються на посіви і стада, сформовані з генетично однорідних груп рослин або тварин. Цим значною мірою визначається вразливість агроєкосистем шкідниками, бур'янами та хворобами. Вони знаходять тут для себе сприятливе середовище у вигляді сконцентрованих кормів і ресурсів.

Зовні найбільш очевидними співмешканцями культурних рослин і домашніх тварин в агроєкосистемах є бур'яни та комахи-шкідники. За походженням бур'яни поділяються на дві основні групи:

1) *агрофіти* – справжні бур'яни, пов'язані з культурними рослинами протягом багатьох тисячоліть;

2) *апофіти* – вихідці з місцевої флори.

Загальна кількість видів бур'янів, шкідників, патогенних мікроорганізмів обчислюється десятками тисяч. Бур'яни знижують потенційний урожай сільськогосподарських рослин на 10–12%, шкідники і хвороби забирають до 25% агропродукції.

Боротьба з бур'янами і шкідниками здійснюється в сучасному сільському господарстві головним чином завдяки хімічним препаратам, що отримали загальну назву пестицидів. Залежно від характеру дії пестицидів їх поділяють на гербіциди – засоби знищення бур'янів, інсектициди – препарати для боротьби з комахами, фунгіциди – речовини, що пригнічують патогенні гриби і т.п. Світовий асортимент пестицидів налічує близько 900 основних типів. В Україні застосовується більше 170 видів.

Використання хімічних речовин для боротьби зі шкідниками, хворобами і бур'янами має довгу історію. Ще Гомер писав про очисну дію препаратів сірки. Але «переможний» хід пестицидів почався з 40–50-х років ХХ століття. Відкрив його сумнозвісний ДДТ. *Пестициди* поділяються на два покоління. Пестициди першого покоління – це неорганічні речовини з вираженою токсичною дією. Пестициди другого покоління – синтетичні органічні сполуки. Вважається, що пестициди першого покоління мали широкий спектр дії, знищуючи чи пригнічуючи всі організми, і були стійкими, довго зберігалися в природному середовищі, а пестициди другого покоління менш стійкі й мають велику вибірковість дії. Але ця вибірковість не така велика, як

хотілося б. Такі препарати справді швидко розкладаються в ґрунті, та однак продукти їх розпаду інколи виявляються більш токсичними, більш стійкими, ніж вихідний пестицид. Тому антекологічність їхніх властивостей збереглася в повному обсязі. Пестицидам властиві особливості, які роблять їх масове застосування неможливим. Перша полягає в тому, що пестицидів, які б діяли лише на один вид живого організму, немає і, скоріш за все, ніколи не буде. Вони так чи інакше впливають не тільки на той вид, з яким ведеться боротьба, але й на його паразитів і конкурентів. Більшість із них тією чи іншою мірою токсичні для людини. Друга особливість полягає в тому, що внаслідок генетичного різноманіття в межах виду завжди знаходяться форми, несприйнятливі до даного пестициду. На загальному тлі пестицидних обробок такі форми швидко розмножуються і сумарна чисельність шкідників майже не знижується. Можливо, що йде мікроеволюційний процес, який призводить до виникнення мутацій, не чутливих до даного пестициду.

Найбільш несприятливою екологічною особливістю пестицидів є здатність багатьох із них переміщатися по харчових ланцюгах і концентруватися в організмах, що знаходяться на вершині ланцюга живлення. Тому від пестициду першими і найбільшою мірою найчастіше страждають не комахи-фітофаги, проти яких спрямований пестицид, а консументи першого і другого порядку – хижі комахи, комахоїдні птахи, тобто ті групи організмів, що є природними обмежувачами кількості шкідників у посівах. Від гербіцидів нерідко в першу чергу гинуть не бур'яни, на які спрямована дія гербіциду, а комахи-фітофаги, що харчуються цими бур'янами. Таким чином, головна шкода від пестицидів – це руйнування нормальних ланцюгів живлення в співтовариствах.

Інформації про нешкідливість пестицидів для людини поки що дуже мало. У США із загальної кількості використовуваних пестицидів тільки 10% перевірені на мутагенну активність, 30% – на канцерогенну і 40% – на тератогенну. Решта пестицидів надходять у виробництво без усякої перевірки.

Пестициди відрізняються стійкістю. Обстеження, виконане у 1990 році в Україні, показало, що в ряді регіонів пестициди проникли у ґрунтові води на глибину до 220 м. А всього в підземних водах виявлено 40 видів залишкових кількостей пестицидів та їхніх метаболітів. До цього часу в ґрунтах і воді реєструється ДДТ, використання якого в Україні давно заборонене. Особливо схильні накопичувати залишкову кількість пестицидів агроєкосистеми лісостепової зони. Обстеження продукції рослинництва в Україні показало, що 25% її містить залишкову кількість пестицидів, у тому числі 5,1% – у кількостях, які перевищують максимально допустимий рівень. Не випадково, що у світі щорічно

рееструється до 3 млн. отруень від пестицидів і 20 тисяч смертельних випадків.

Ще в 1930-х роках відомий вчений *О.О. Любищев* показав, що в сільському господарстві оцінки шкідників як абсолютно небажаних і таких, що завдають тільки шкоди, не вірні. Саморегуляція агросистем досить висока, якщо не пригнічувати її надмірно великими дозами пестицидів. Правильна агротехніка зі збереженням популяцій корисної фауни в посівах значно ефективніша, ніж застосування пестицидів. *І. Павлов (1991)* писав: «На мою думку, здійснення мрій деяких селекціонерів про створення сорту, непридатного в їжу комахам, шляхом вбудовування в тканини рослин спеціальних відлякуючих речовин, привело б до катастрофи. Це блокада природних трофічних ланцюгів: немає комах – гине велика кількість інших тварин і рослин».

Шкідливість і корисність бур'янів, як і шкода від комах-шкідників, визначається їх кількістю. Більш правильно говорити про контроль бур'янів і шкідників, а не про боротьбу з ними з метою повного їх знищення. Масове розмноження окремих видів у посівах зумовлене відсутністю ворогів і надлишком трофічних ресурсів. У напрямку контролю й регулювання чисельності бур'янів і шкідників лежить стратегічний успіх конструювання високопродуктивних агросистем.

10.7. ФАКТОРИ СТАБІЛІЗАЦІЇ АГРОСИСТЕМ. СІВОЗМІНИ. МЕЛІОРАЦІЯ

З нестійкістю агроєкосистем сільське господарство зіткнулося ще в давнину. Тоді ж було розпочато пошук таких систем землеробства, форм і методів, які б забезпечували стабільне отримання сільськогосподарської продукції і тривале збереження родючості ґрунтів.

Великий фахівець із землеробства *В.П. Нарцисов (1982)* стверджував, що серцевиною будь-якої системи землеробства є сівозмінна. Давнє землеробство сівозміни не знало, якщо не вважати, що чергування за схемою «рілля – переліг», «рілля – заваль» є своєрідною сівозмінною.

Для забезпечення тривалого збереження родючості ґрунтів в агросистемах можна використовувати тільки п'ять способів:

- 1) чергування сільськогосподарських культур на полі – сівозмінна;
- 2) відведення ріллі під заваль;
- 3) введення чистих парів;
- 4) травосіяння;
- 5) органічні та мінеральні добрива.

Сівозміна має займати в цьому ряді одне з перших місць. Сівозміна – це не плід творчості вчених, а результат кількасотлітніх пошуків землеробів. Перші узагальнення досвіду їх використання й поради хліборобам-початківцям відносяться до часів Давньої Греції та Давнього Риму. Рекомендації щодо чергування посівів пшениці, бобів, люпину та віки, тобто з організації примітивної сівозміни, є в працях *Гая Секунда Плінія Старшого* (23–79 рр. н.е.).

Удосконалення сівозміни відбувалося спочатку переважно в напрямку пошуку таких послідовностей зміни культур, таких попередників, які б дозволяли при постійному використанні ріл-лі отримувати досить високі врожаї основних сільськогосподарських культур.

Ротація в сівозмінах XIX століття була порівняно швидкою, одна й та сама культура поверталася на поле вже через 2–3 роки. Виснаження орних земель не компенсувалося включеними в сівозміну культурами. Тому удосконалення сівозміни здійснювалося шляхом їхнього подовження. Розроблялися та впроваджувалися 9- та 12-пільні сівозміни, в яких культура поверталася на поле тільки через 9 і 12 років відповідно. У такі сівозміни обов'язково включали сидеральні культури, багаторічні злаково-бобові травосуміші та пари.

Конструювання сівозмін не уникло споживацького підходу. Під впливом інтенсифікації сільського господарства сучасні сівозміни роблять із вкороченими ротаціями та спеціалізують, насичуючи однорідними культурами, що відрізняються високою товарністю та прибутковістю. У спеціальних зернових сівозмінах насиченість зерновими й зернобобовими культурами досягає 60–85%. При орієнтації господарств на просапні культури насичення ними становить щодо картоплі – 50%, цукрового буряку – 30%. Усі ці заходи спрямовані на отримання додаткової продукції. Для забезпечення високих врожаїв перевага віддається не сівозмінам, а високим дозам мінеральних добрив. Це значно легше робити і дає більш швидко віддачу, хоча багатьом уже стало зрозуміло, що така віддача досягається надто дорогою ціною – ціною прогресуючого погіршення якості ґрунту в агро-системах.

В умовах надлишкового чи недостатнього для стабілізації агросистем водозабезпечення вдаються до різноманітних *меліоративних заходів*. Зрошення земель в умовах недостатнього водозабезпечення дозволяє в кілька разів збільшувати врожайність сільськогосподарських культур. Правильно сконструйовані зрошувальні системи забезпечують тривалу стабілізацію водного режиму. Промивання засолених земель прісною водою відновлює їх родючість. Розроблена технологія звільнення ґрунтів від

токсичних важких металів кобальту, нікелю, міді, марганцю, мис'яку, цинку, які переходять у нерозчинні й недоступні для рослин форми при вапнуванні. Штучне дощування добре змиває шкідливі речовини з листків.

Серед меліорації своїм видатним світогосподарським значенням виділяється іригація. Нею охоплено на земній кулі приблизно 250 млн. га, тобто близько 15–16% оброблюваних площ. Поливні угіддя дають до 1/3 усієї продукції землеробства, так що їхня продуктивність більш ніж у 2 рази вища, ніж незрошуваної ріллі. Особливо ефективними є іригаційні заходи в аридних областях, де питання створення оптимального термічного режиму розв'язані самою природою і завдяки достатній кількості сонячного тепла є передумови до формування надзвичайно стабільного землеробства.

Тригація має багатоцільове призначення. Насамперед вона розширила межі землеробства внаслідок освоєння тих районів, де землеробство без штучного зрошення неможливе. У посушливому поясі, що простягнувся від південних берегів Середземного моря до басейну Тихого океану, критична межа землеробства пролягає приблизно по річний ізогієті 200 мм, хоча це справедливо лише для маловрожайного і низькодохідного споживчого господарства. В ареалах же товарного землеробства нижній рубіж поливних посівів визначає ізогієта 500 мм.

Зрошення застосовується також з метою ліквідації сезонного недоотримання вологи. Так, для Південної Азії, де панує мусонний ритм випадання дощів, цей напрямок іригації з агрономічних позицій правомірний і з економічних майже повсюдно виправданий. Навіть у такому у цілому добре зволоженому регіоні, як південний схід Азії, що одержує опадів 1500–3500 мм на рік, у зимові місяці в ґрунті спостерігається дефіцит вологи. З огляду на сприятливі термічні умови, зрошення в подібних випадках спрямоване на одержання з однієї ділянки двох-трьох урожаїв на рік, тобто на гарантування цілорічної вегетації. Більш того, один із парадоксів саме в тому й полягає, що на територіях, які в цілому страждають від надлишку вологи, зрошення корисне не тільки в сухий, але й у дощовий сезон, оскільки мінливість режиму опадів сильно позначається на врожаях. Це стосується й головної продовольчої культури – рису, вирощування якого на поливних землях подвоює врожайність.

У країнах з розвинутою ринковою економікою зрошення веде, у першу чергу, до витіснення з полів менш цінних сільськогосподарських рослин більш дохідними і разом з тим порівняно вологолюбними. У даному випадку воно знаменує насамперед застосування капіталу до землі і неминуче спричиняє інтенсифікацію всього виробництва. Меншою мірою, але теж досить широко

така тенденція у використанні земельного фонду властива державам третього світу. У Південній Азії впровадження іригації супроводжувалося збільшенням частки високотоварних технічних культур (цукрової тростини, бавовнику) у посівному кліні, хоча вони й неспроможні позбавити зернові пануючого положення в селянському господарстві.

У глобальному аспекті головним вогнищем зрошення віддавна були і залишаються Азія і сухі регіони Європи, де воно, спираючись на багаті традиції, представлене різноманітними формами й охоплює приблизно 30% оброблюваних площ, у тому числі в КНР – 45%. Цей показник в Європі дорівнює 12%, у країнах СНД – 9, Північній і Центральній Америці – 9, Південній Америці – 6, Африці – 6 і Австралії з Океанією – 4%. У багатьох азіатських країнах, включаючи такі великі, як Китай, Індія, Пакистан, іригаційне господарство як споживач гідроресурсів, як і раніше, не має рівноцінних суперників. Та й у цілому у світі частку галузі в попиті на воду оцінюють приблизно в 70%.

На сучасному етапі в ряді регіонів уже виразно відчувається виснаження водних ресурсів, у результаті чого саме їхній дефіцит, а не обмеженість земельного фонду утруднює розвиток сільського господарства «вшир». Площа поливної ріллі, що припадає на одного жителя планети, з кінця 1970-х рр. починає скорочуватися, і це є небезпечною тенденцією для більшості країн, розташованих у поясі посушливого клімату. При цьому загострюються міждержавні суперечності, що стосуються розподілу річкового стоку. Найбільш глибокі вони на Середньому Сході, де проблема має давні історичні корені. Так, стосовно розподілу вод ріки Йордан існують серйозні розбіжності між Ізраїлем і Йорданією, які життєво в них зацікавлені, а стік Євфрату став предметом суперечки між Туреччиною, Сирією та Іраком.

З викладеного випливає, що в даний час надію варто покласти скоріше на раціональне використання залучених в експлуатацію агроприродних ресурсів, а не на їх кількісне збільшення. Особливо актуальним є завдання економічного споживання зрошувальної вологи. Такий шлях допомагає згладити загострення міжгалузевої конкуренції за воду і більш повно врахувати інтереси інших секторів економіки, а головне – дозволяє підвищити результативність боротьби з деградацією земель. За деякими підрахунками, до 1/2 усіх зрошуваних площ страждає від процесів засолення і заболочування, що стали справжнім лихом поливної ріллі. Подібний стан характерний, зокрема, для Центральної Азії. У минулому засолені землі для відновлення їхньої продуктивності тимчасово, часом надовго, покидали. Це неминуче вело до збереження екстенсивної перелогової системи господарювання, але такий шлях є безперспективним при поси-

ленні попиту на земельні ресурси. Компенсація втрат шляхом нового іригаційного будівництва стає все менш ефективною, оскільки найбільш дохідні гідромеліоративні об'єкти в регіоні, як і в усьому світі, як правило, уже споруджені. У Центральній Азії, як і в інших областях традиційного зрошення, до 50% і більше вологи, що подається на поливні землі, втрачається на фільтрацію і випаровування, не доходячи до зрошуваних рослин. І це при тому, що безповоротне водоспоживання на Амудар'ї наблизилося до 1/2, а на іншій найбільшій ріці регіону Сирдар'ї – до 2/3 їхнього стоку. Звідси виникла масштабна проблема Аралу, чия акваторія через прогресуюче падіння рівня моря скоротилася на 40% при зменшенні обсягу води на 65%.

Погіршення стану поливних земель разом зі збільшенням нестачі водних ресурсів змушує зосередити увагу на питанні ощадливого використання останніх. Найбільш перспективними виглядають розробка і широке впровадження нових, прогресивних прийомів іригації. Так, уже стало звичайним застосування дощувальних установок фронтальної чи кругової дії. Надзвичайно економічними є крапельне (внутрішньогрунтове) і підземне зрошення з використанням пластикових труб. Особливо це стосується крапельного методу, яким забезпечується суворо дозоване подання води безпосередньо в кореневу систему рослин. Його коефіцієнт корисної дії близький до 90%, що робить метод особливо популярним у вододефіцитних і вільних від морозів районах (через низькі температури труби стають крихкими й ламкими), наприклад, в Ізраїлі і США (штат Каліфорнія). У результаті урожайність промислових сортів томатів виявляється в 2 рази вищою, а витрата води на 40% меншою, ніж при поливі по борознах. Однак витрати на устаткування й інші капіталовкладення при крапельному зрошенні приблизно в 6 разів перевищують аналогічні витрати при різних видах поверхневої іригації. Тому осередки його зародження прив'язані до передових районів інтенсивного сільського господарства зі спеціалізацією на виробництві фруктів, винограду, овочів і бавовни. Для країн, що розвиваються, збільшення початкових інвестицій найчастіше представляється непосильним завданням, хоча в умовах селянського малоземелля прогресивні методи іригації вкрай необхідні: вони дозволяють збільшити оброблювані площі за рахунок економії на постійній і тимчасовій мережі зрошувачів і на дренажних об'єктах.

Однак реальна практика зрошувальних та осушувальних меліорацій у багатьох випадках мала несприятливі екологічні наслідки, що виявились в усій повноті, наприклад, в Приараллі. Сучасне великомасштабне осушення, як показав досвід Польщі та Білорусії, дає звичайно лише тимчасове підвищення врожаю,

але потім на осушених землях вони стійко падають. У сучасних умовах України й багатьох інших країн основний напрямок меліоративних заходів починає змінюватися від гігантських проєктів осушення та обводнення до більш скромної, але корисної роботи: полезахисного розведення, внутрішньогосподарського зрошення окремих ланів, відведених під овочеві культури, охорону земель від ерозії і т.ін.

10.8. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва почалася трохи більше століття тому, коли в сільському господарстві замість вирубно-вогневої та завально-перелогової систем з їхнім самовідновленням родючості ґрунту було здійснено перехід до сівозмін, мінеральних добрив та нових сортів і порід.

Головними компонентами інтенсифікації є:

- а) використання добрив;
- б) широке застосування пестицидів;
- в) зрошення;
- г) перехід на інтенсивні сорти і породи, чутливі до поліпшення умов вирощування чи утримання;
- д) індустриальні технології в рослинництві й тваринництві.

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва нерозривно пов'язана з підвищенням рівня його спеціалізації. Відбувається концентрування виробництва тієї чи іншої продукції в окремих господарствах або районах. Це максимізує виробничо-економічні показники і призводить до виникнення нових проблем – швидкого виснаження природних ресурсів і необхідності вносити в такі агросистеми велику кількість антропогенної енергії.

В інтенсивному сільському господарстві було два піки: *зелена революція* та *індустріалізація*. *Зелена революція* – це впровадження інтенсивних високопродуктивних сортів, що вимагають високого агрофону, тобто великих кількостей добрив і пестицидів. За створення нових сортів інтенсивного типу мексиканській селекціонер *Н. Берлоуг* у 1970 році був удостоєний Нобелівської премії. Його сорти при вирощуванні на високому агрофоні відрізнялися продуктивністю у 2-3 рази вищою, ніж попередні. *Індустріалізація* полягала в широкій заміні ручної праці машинною при орієнтації на добрива й пестициди як засіб регулювання врожаїв.

Вершиною інтенсифікації можна вважати так звану *просапну*, або *промислово-заводську, систему землеробства*, в якій під

інтенсивні культури відводиться більш ніж 50% площі сівозміни. Обробіток культур відбувається на фоні високих доз добрив, переважна більшість операцій по догляду за посівом механізована, а боротьба з бур'янами, шкідниками і хворобами ведеться за допомогою пестицидів. Вирощування культур у сівозміні просяпної системи ущільнене внаслідок введення парозаймаючих і проміжних культур. Цю систему характеризує в цілому високий коефіцієнт використання родючості ґрунту, великі механічні навантаження на ґрунт, що спричинює його ущільнення й розпилення, внесення в агросистеми великої кількості ксенобіотиків та антропогенної енергії. Проте інтенсивні системи землеробства вирішили завдання забезпечення продуктами харчування зростаючої кількості населення. За останні 30 років вдалося подвоїти валові збори зерна та зернобобових, цукрового буряку та інших важливих культур.

Характерною рисою інтенсивного промислового тваринництва є повний розрив прямого екологічного зв'язку між тваринами – споживачами рослинної біомаси та ланами, на яких ця біомаса виробляється. У розвинених країнах світу молочне виробництво, свинарство, виробництво яєць та м'яса птахів і частково яловичини базується на безвигулній технології з концентрованим утриманням тварин в особливих комплексах, куди всі корми доставляються вже готовими. Гній на таких підприємствах вважається за непотрібні відходи.

У *неінтенсивних системах* виробництва при вільному випасанні тварин ферми лани та луки органічно пов'язані між собою. Тому принципи виробництва продукції та екологічні проблеми неінтенсивного й інтенсивного тваринництва якісно відрізняються. При утриманні тварин на вільному випасі велику роль відіграє характер взаємозв'язку тварин із типом травостою пасовищ. Пасовища можуть використовуватися в двох напрямках: 1) односторонньому; 2) багатосторонньому.

У першому випадку на пасовищі випасають тварин тільки одного виду та однієї породи, а в другому – ресурсна база пасовища використовується тваринами різних видів, наприклад, коровами, кіньми та козами. Другий напрямок забезпечує більш повне використання фітомаси.

У цілому, інтенсивне сільське господарство – це складний соціально-технологічний феномен. Інтенсифікація виконала замовлення суспільства на продукти харчування й спромоглася підтягнути їх виробництво до високих темпів росту чисельності населення планети. Але водночас технічні рішення, що лягли в основу інтенсифікації, виявилися антиекологічними й посилили прояв екологічної кризи в агросфері.

10.9. ВІДХОДИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА. ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Будь-які форми ведення сільського господарства вносили та вносять небажані зміни в природне середовище. Але в період інтенсифікації відходність сільського господарства та його виснажувальний вплив на природне середовище багаторазово зростає. Інтенсифікація сільського господарства викликала цілу низку небажаних наслідків. Головні з них такі:

- деградація ґрунтів;
- забруднення природного середовища залишковою кількістю мінеральних добрив та пестицидів;
- несприятливі зміни гідрологічного режиму і пов'язані з ними процеси запустелювання та заболочення.

Супроводжує деградаційну дію інтенсивного сільського господарства погіршення якості сільськогосподарської продукції, що викликає велике занепокоєння широких мас населення більше, ніж погіршення середовища життя. Це низька культура землеробства, застосування неефективних технологій, незахищеність ґрунтів від промислових забруднень. Є й соціальна причина – споживацьке ставлення до ґрунту. Деградація ґрунту проявляється в:

а) *«виорюванні» на ріллі*, де спеціалізовані сівозміни різко посилюють ерозійні процеси та знизили родючість ґрунту, постійно збільшуючи його потреби в добривах;

б) *перевипасі на пасовищах*, наслідком чого стала їх сильна деградація;

в) *ущільненні ґрунту* під дією важких сільськогосподарських машин.

Ці процеси охопили всю агросферу планети. За оцінками ФАО ООН, до 1991 року деградаційними процесами було охоплено 500 млн. га, тобто 1/5 всієї ріллі світу, а 4,5 млн. га практично виведені з використання.

Інтенсифікація різко посилює відходність сільського господарства. Природне середовище забруднюють три основні види відходів:

- 1) залишкова кількість добрив;
- 2) залишкова кількість пестицидів;
- 3) гній та рідкі стоки тваринництва.

З урожаєм з ланів щорічно вивозяться біогенні елементи. Загальне їх винесення з агроєкосистем приблизно становить 108 тонн мінеральних речовин або 400–600 кг/га зольних речовин і азоту (Ковда, 1965). У сучасному землеробстві цей дефіцит покривають головним чином за рахунок синтетичних

мінеральних добрив. Але мінеральні добрива не можуть повністю засвоюватися рослинами. Частина їх залишається в ґрунті й проникає до ґрунтових вод, або зі стоками надходить до водойм, або при вітровій ерозії розноситься на великі території. Перш за все, великі дози добрив приводять до забруднення питної води. Особливо гостро стоїть проблема залишкової кількості азотних добрив, які забруднюють воду нітратами. Річ у тому, що орна земля набагато гірше утримує іони, ніж натуральна. Тому внесення нітратів, за оцінками *М. Нейлла* (1989), з неораних земель складає 2 кг/га на рік, а з ріллі – 76 кг/га на рік. За даними *Н.І. Опополь* (1991), населення в Україні отримує на добу нітратів 167 мг, тоді як добова норма не має перевищувати 50 мг.

Шкода від нітратів, що викликають захворювання людей і тварин, була з'ясована ще в 1945 році. До них чутливий організм дорослих, і особливо дітей. У дітей у віці до 3 місяців при попаданні в організм разом з їжею та водою нітратів розвивається особливе захворювання – метгемоглобінемія. Суть цього захворювання полягає в тому, що під дією нітратів гемоглобін перетворюється в метгемоглобін, який не спроможний переносити кисень.

Нітратами небезпечні не тільки самі по собі. В організмі людини з нітратів відбувається ендогенний синтез нітрозосполук. Нітрозосполуки – це речовини, що містять нітрозогрупу N—NO, з'єднану з вуглецем. Вони надзвичайно стійкі і можуть довгостроково переміщатися по ланцюгах живлення, концентруючись у вищих ланках. Типовим є, наприклад, такий ланцюг живлення: повітря, ґрунт, вода → сільськогосподарські рослини → свійські й дикі тварини → продукція тваринництва → людина. На всіх етапах нітрозосполуки виявляють канцерогенну дію. Крім людини, вони здатні викликати рак у 40 видів тварин.

Але, напевно, найбільшу екологічну небезпеку становить забруднення природного середовища залишковою кількістю різних видів пестицидів. Пестициди небезпечні не тільки самі по собі, у ґрунті вони зазнають розкладання й трансформації, і продукти таких перетворень виявляються ще більш небезпечними, аніж вихідний пестицид.

Масштаби застосування пестицидів величезні. Їх виробництво у світі зростає і вже перевищує 2 млн. тонн на рік, що складає 0,4 кг на одну людину. У США в 1982 році застосування пестицидів становило 2,72 кг на кожну людину. В Україні в цілому пестициди використовують у межах 4 кг/га, а в Криму – до 14–16 кг/га. За даними ВООЗ, у 1991 році лише в країнах, що розвиваються, на лани бавовнику було внесено 300 тисяч тонн різноманітних пестицидів. Використання гербіцидів явно спростило працю агрономів. Замість точного дотримання сівозміни, раннього

боронування та прополювання, ретельного приготування гною до внесення на лани вони просто почали вносити все більше й більше гербіцидів. Замість приваблювати в агроекосистеми корисних тварин для підвищення імунітету та стійкості рослин – почали просто застосувати інсектициди і фунгіциди.

Залишкова кількість пестицидів у продуктах рослинництва й тваринництва почала завдавати помітної шкоди здоров'ю людини. Використання пестицидів у рослинництві веде до того, що у світі щорічно реєструється від 400 тис. до 2 млн. випадків отруєння ними (В. Ейхлер, 1986; Л.А. Юданова, 1989). Виявлено канцерогенну і мутагенну дію пестицидів. Наприклад, лише тепер з'ясувалося, що деціс, який широко застосовується в боротьбі з колорадським жуком, негативно впливає на здоров'я дітей (Довгуша, 1993).

Можливо, краще було б назвати пестициди «біоцидами» – речовинами, які знищують усе живе, оскільки вибірковість дії навіть найдосконаліших препаратів така низька, що вони знищують не тільки шкідливі організми, а й корисні форми живих організмів, завдають шкоди здоров'ю людини.

Виробництво пестицидів досить прибуткове для цілої групи великих хімічних компаній і концернів, і вони, природно, не зацікавлені в скороченні їх застосування. Захисники пестицидів стверджують, що сучасні їх види безпечні, оскільки вносяться на лани в невеликих кількостях. Ці розрахунки невірні, оскільки нові покоління пестицидів мають підвищену ефективність унаслідок підвищеної токсичності. Потрібна нова система оцінки пестицидів – в одиницях біологічної дії.

Серйозним забруднювачем навколишнього природного середовища є сільськогосподарські тварини. При їх утриманні утворюється велика кількість відходів (табл. 10.8). Гній та стічні води забруднюють ґрунт і водойми, а аміак і сірководень надходять в атмосферу. Кожна тисяча голів худоби дає на рік до 60 м³ екскрементів і рідких стоків. Обсяги рідких стоків залежать від способу змиву підлоги тваринницьких приміщень. «Сімейна» ферма всього на 10 голів великої рогатої худоби дає на рік 20 тонн твердих і до 40 м³ рідких стоків. Було підраховано, що у ФРН обсяги відходів тваринництва перевищують у 5 разів обсяги побутових відходів і в 6 разів – обсяги промислових відходів. Окрім цього, тваринницькі комплекси призводять до забруднення атмосфери пилом, що утворюється, головним чином при підготовці й транспортуванні кормів, аміаком, сірководнем та іншими газами. Це робить тваринництво одним із найбільш екологічно небезпечних виробництв.

Якісний склад тваринницьких відходів залежить від виду й віку тварин. Вони містять у собі воду, органічні та мінеральні

Таблиця 10.8. Кількість відходів, що утворюються на тваринницьких комплексах (за Вашкулатом та ін., 1985)

Тип комплексу і кількість тварин у ньому	Вихід екскрементів, тис. м ³ /рік	Вихід рідкого гною при самосплаві, тис. м ³ /рік
Виробництво свинини, на 54 тис. голів	114	181
Виробництво яловичини, на 10 тис. голів	94,8	113
Виробництво молока, на 1200 голів	24	26,5

речовини, бактерії, віруси та яйця гельмінтів. У гною нерідко розвивається патогенна мікрофлора: патогенна кишкова паличка, сальмонели. У цілому, у добових водах тваринницьких комплексів знаходиться до 100 видів збудників різноманітних інфекційних хвороб. Надходження до природного середовища неперероблених тваринницьких відходів не тільки забруднює ґрунт і водойми, але й створює небезпеку виникнення інфекційних хвороб і зараження гельмінтами тварин і людини. Безпідстилкова технологія, що є основною на великих тваринницьких комплексах, приводить до утворення гною, який вміщує токсичні речовини. Крім цього, такі стоки досить важко застосувати як добрива.

Потужним деградаційним фактором є викликане сільськогосподарською діяльністю збезлісення територій. Збезлісення агроландшафтів є наслідком не тільки прямого вирубування лісу під орні землі. До знищення лісів ведуть ерозія, меліорація, хімізація, випас, забруднення та рекреація. Серйозність агроекологічних проблем посилюється ще тією обставиною, що вони загальні для всіх регіонів світу і для країн з різними соціальними системами. Перехід до приватновласницького володіння землею, фермерства та орендарства в умовах, що склалися в країнах, які виникли після розпаду СРСР, посилює небезпеку навколишньому середовищу. Нові власники землі на початкових етапах намагаються збільшити прибутки та економлять кошти, у першу чергу на природоохоронних заходах. Не дуже піклуються вони й про якість продукції. Тому цей соціальний сектор аграрної економіки потребує державної підтримки й державного контролю. За підрахунками *Л.Р. Брауна* і *Д.Е. Янга* (1992), через деградацію природного середовища світове виробництво зерна буде зменшуватися на 1% щороку.

У цілому, сільське господарство як галузь, що допускає щорічне стікання до Світового океану в результаті ерозійних процесів до 4 млрд. тонн ґрунту – головного ресурсу виробництва, безумовно, має терміново переглянути й змінити самі принципи своїх технологій. Але поки що ні спеціалісти сільського господарства, ні громадськість не усвідомили, що екологія – це частина процесу

виробництва сільськогосподарської продукції. І тільки в 90-х роках ХХ століття стала очевидною необхідність докорінної зміни використання сільськогосподарських процесів в інтересах суспільства.

10.10. СТРАТЕГІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО КОРИСТУВАННЯ В ХХІ СТОЛІТТІ. АДАПТИВНЕ РОСЛИННИЦТВО ТА АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Традиційне сільське господарство має прості пріоритети: максимальний врожай за найменших витрат праці й повного ігнорування можливої деградації природного середовища.

У ХХІ століття людство ввійшло з усвідомленням двох важливих положень. Це концепція продовольчої безпеки й концепція ємності природного середовища, що забезпечує виживання людства. Продовольча безпека являє собою суспільно-технологічну систему, покликану забезпечити виробництво продуктів харчування в кількості, достатній для будь-якої окремо взятої країни і людства в цілому. Забезпечення продуктами харчування відповідно до медичних норм, гарантована продовольча безпека є завданням уряду будь-якої держави. Природно, що чисельність населення при такому підході, який виключає голод, не може бути нескінченно великою. Ця чисельність визначається ємністю природного середовища, тобто наявністю території, природних ресурсів і технологічних засобів для виробництва продуктів харчування. Таким чином, як планета в цілому, так і окремі її регіони мають певну ємність виживання як гранично допустиму чисельність народонаселення, яку можна забезпечити продовольством при раціональному користуванні природними ресурсами.

Таке раціональне сільськогосподарське користування розуміють як тривале збереження для нащадків природного середовища в невиснаженому і не забрудненому відходами і токсикантами стані. Воно веде до необхідності дотримання вимог екології при виробництві продуктів харчування. Екологічний імператив на початку ХХІ століття стає провідним критерієм оцінки рослинницьких і тваринницьких технологій.

Продовольча безпека містить у собі не тільки достатню кількість продуктів харчування, але й достатню їх якість. Продукти харчування повинні бути цілком безпечними для здоров'я. У даний час ця вимога найчастіше не витримується.

Припущена при цьому екологічна недосконалість технологій призвела до необхідності розвитку альтернативного сільського господарства.

Альтернативні рослинництво й тваринництво керуються екологічним імперативом та містять два компоненти:

- 1) найбільш доцільні способи використання ресурсів;
- 2) відтворення ресурсів та їх охорона від виснаження.

Розробка конкретних технологій альтернативного землеробства триває вже близько 30 років. Залежно від конкретних рішень в альтернативному землеробстві склалося кілька основних напрямків.

Біологічне землеробство. Як самостійний напрямок біологічне землеробство було запропоноване *Лемер-Буше* в 1964 році. Воно передбачало відмову від застосування мінеральних добрив, пестицидів та інших хімічних препаратів. Родючість ґрунту підтримується виключно за рахунок органічних добрив: гною, сидератів і т.п. Для прискорення мобілізації поживних речовин гній обов'язково компостується, проходячи при цьому аеробний розклад. Гній та сидерати для кращого контакту з повітрям закладаються в ґрунт лише поверхнево. Коло засобів боротьби з бур'янами й шкідниками обмежується нетоксичними або слаботоксичними речовинами. Перевага надається при цьому біопрепаратам: відвари піретруму, тютюну, кропиви, полину, хвощів. Велике значення в біологічному землеробстві відводиться сівозмінам.

Органічне землеробство. Ця система являє собою американський варіант біологічного землеробства й принципово не відрізняється від нього. Тут також включається застосування мінеральних добрив і пестицидів, але екологічні вимоги менш жорсткі. Заборона на використання мінеральних добрив обмежується тільки роком, який передує збору врожаю на даному полі.

Органобіологічне землеробство засноване на працях *Х. Руша* та *Х. Мюллера* і особливо популярне в країнах Західної Європи. З погляду агроекології це найбільш продумана система, яка дозволяє контролювати природність кругообігів речовин в агроекосистемах кожного окремого господарства. Біологізація виробництва в цій системі досягається шляхом максимальної стимуляції діяльності ґрунтової мікрофлори. Для цього сівозміни насичуються бобовими культурами та кормовими злаками. Гній та дозволени для застосування несинтетичні добрива (томасшлак, доломіт, вапняки) закладаються в ґрунт поверхнево. У деяких господарствах застосування синтетичних мінеральних добрив заборонене повністю, і тоді навіть гній купується тільки на тих фермах, що працюють за системою альтернативного землеробства.

Біодинамічне землеробство. Основні ідеї цієї системи були закладені в публікації *Р. Штайнера* (1924), яка містила багато оригінальних елементів. Біодинамічне землеробство зорієнтоване перш за все на використання біоритмів, властивих Землі та космічному простору. Ретельно враховуються і цикли Місяця.

Ідея ця має сенс і перегукується з працями *О.Л. Чижевського* (1976). У наш час біодинамічне землеробство розвивається в країнах Західної Європи й іноді дає непогані результати. Так, було перевірено залежність врожаю кукурудзи від 18- та 6-річних циклів Місяця. Ця перевірка показала, що піки максимальних врожаїв дійсно повторюються кожні 18–19 років і охоплюють послідовно 5–8-річні цикли, що відповідає часу мінімальних місячних деклінацій. Цілком раціональна рекомендація біодинамічного землеробства щодо застосування для підживлення ґрунту борошна з водоростей у дозі до 600 кг/га, яке вміщує велику кількість мікроелементів. Разом з тим запропонована система включає використання особливих біодинамічних компостних препаратів із рослин (кропива, хвощі, пижма, валеріана), заготівлю та виготовлення яких проводять у певні терміни, які визначаються певним розташуванням небесних світил, що забезпечують «активізацію» цих компостів. Ця частина біодинамічного землеробства в прихильників традиційних технологій викликає великі сумніви.

Екологічне землеробство. Цей напрямок складає аморфну групу технологій та ідей, які передбачають ті чи інші засоби екологізації землеробства. До нього приєднується система ANOG – комітету з вирощування овочів і фруктів із природними якістьми. Звичайно, значна увага тут приділяється дотриманню сівозмін, які мають забезпечувати збереження природної родючості ґрунту. У ряді випадків це майже єдиний елемент таких систем. Додатково в ряді інших випадків вдаються до насичення сівозміни бобовими культурами, при чому підбирають їх так, щоб вони мали кореневі системи різної глибини. Нерідко одна два поля відводяться під сидерати, які переорюють не тільки восени, але й весною. Обробіток ґрунту в екологічному землеробстві мінімізований. Він полягає в сплужуванні, у безвідвальній оранці та дискуванні. Боротьба з бур'янами проводиться головним чином механічними й біологічними методами. Деяке збільшення засмічення посівів в екологічному землеробстві вважають навіть позитивним явищем, оскільки воно знижує ерозію ґрунту.

Реальні ферми, що працюють у межах альтернативного землеробства, не дотримуються так суворо однієї з цих систем, а поєднують їх окремі елементи. Так, в Англії на початку 1980-х років біоферми займали площу в 2400 га, дотримувались 4-пільної сівозміни й використовували як добрива гній, солому, фосфорит, морські водорості та інші природні речовини. Обсяги продовольства, що виробляється в усіх системах альтернативного землеробства, поки що невеликі: у США – 2,4%, у країнах Західної Європи – 0,1–0,8%. Це пояснюється переважно низькою еконо-

мічною рентабельністю таких господарств, хоча ціни на біологічно чисту продукцію в 1,5–2 рази вищі, ніж на звичайну.

В останнє десятиліття альтернативне землеробство почало набувати все більшої підтримки як таке, що забезпечує одержання екологічно чистої продукції. В Естонії з 1 травня 2001 року почав діяти спеціальний закон, який підтримує органічне сільське господарство. У Німеччині кількість сільськогосподарських ферм, що ведуть альтернативне землеробство, зросла до 10,5 тисяч при загальній площі земель у 0,5 млн. га. Вони почали виробляти 2,4% усієї сільськогосподарської продукції, хоча економічний дохід таких ферм у середньому на 11,5% нижчий, ніж дохід ферм, що працюють за системою традиційного землеробства.

Альтернативні системи землеробства зазнають критики. У. Бурт та Х. Бейтц (1988) підкреслювали, що безпечність продукції, яка отримується від альтернативного землеробства, лише уявна. Так, фітопатогенні гриби в ряді випадків продукують мікотоксини, які є сильнодіючими отрутами. Екскременти плодожерки яблукової містять канцерогенні речовини. Господарства, що працюють за системою альтернативного землеробства, страхуються від епіфітотій тільки тим, що знаходяться в оточенні ферм, які використовують засоби хімічного захисту рослин.

Прихильники альтернативного землеробства розуміли й розуміють, що повернення до екстенсивних методів ведення сільського господарства немає і бути не може. Для цього немає ні природних, ні соціальних умов. Потрібне створення принципово нової технології, яка б відповідала концепції отримання екологічно чистих продуктів в екологічно безвідходному виробництві.

У цьому напрямку представляють інтерес підходи так званого компромісного землеробства. Розробка компромісного землеробства відбувалася приблизно з кінця XVIII століття одночасно в країнах Західної Європи та Росії. Ідея компромісу полягала у включенні до використовуваних засобів впливу на поле та сільськогосподарські рослини таких засобів, які разом з максимізацією виходу продукції запобігали чи хоча б сповільнювали темпи втрати ріллею головної споживчої якості – родючості ґрунту і не призводили б до деградації природного середовища в агросфері.

Одним із варіантів компромісного землеробства є система адаптивного рослинництва, розроблена О.О. Жученком (1988–1990). Адаптивне рослинництво – це сукупність індустріальних сільськогосподарських систем з високою продуктивністю, що відповіає природним умовам і не порушує екологічної рівноваги. У таких системах скорочене використання мінеральних добрив. У цілому адаптивне рослинництво має спиратися і на сорти нового типу. Замість інтенсивних сортів на поля повинні прийти

сортів адаптивні. Адаптивний сорт, на думку *О.О. Жученка* та *Б.М. Міркіна*, повинен мати такі особливості:

- 1) велика екологічна пластичність, унаслідок чого дає врожаї при широкій амплітуді зміни умов;
- 2) скоростиглість;
- 3) висока конкурентна спроможність щодо бур'янів і стійкість до шкідників та хвороб;
- 4) висока господарська врожайність, тобто висока частка тих частин рослин, які використовуються людиною – насіння, бульби і т.п.;
- 5) реактивність на поліпшення умов проростання;
- 6) придатність для вирощування разом з іншими сортами або навіть з іншими культурами, тобто велика ценотична сумісність.

Таких сортів сучасне рослинництво не має. У США виник напрямок адекватних технологій у сільському господарстві, одним із компонентів якого є орієнтація на місцеві ресурси – сорти та породи. У наш час в США під керівництвом *Г. Хабхана* розпочата програма «Пошук тубільного насіння», реалізація якої може допомогти повернути виробництво «сімейних», народних сортів, дещо менш продуктивних, проте внаслідок внутрішнього генетичного різноманіття значно стійкіших до бур'янів, шкідників, хвороб і зміни режимів вирощування. А в цілому в сільському господарстві США простежується чіткий перехід до аграрної економіки, під якою розуміють рослинництво й тваринництво, засновані на природних системах. Аграрна економіка розвивається на противагу індустріальному сільському господарству.

Колись *К.А. Тимірязєв* (1917–1920) писав: «Володіння землею не тільки право або привілей, а важкий обов'язок, який тягне відповідальність перед судом нащадків». Ці слова в період переходу до ринкової економіки особливо актуальні.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть види ресурсів, які використовуються сучасним сільським господарством.
2. У чому різниця між екстенсивним та інтенсивним способами збільшення розмірів отримуваної сільськогосподарської продукції?
3. Дайте визначення поняття «агроекосистема».
4. Назвіть основні типи ерозії та дайте оцінку шкідливості ерозійних процесів.
5. Перерахуйте основні способи запобігання ерозій, які придатні для землеробства України.
6. Назвіть небажані наслідки широкого застосування пестицидів у сільському господарстві.

7. Поясніть, чому застосування пестицидів не вирішило проблеми захисту посівів від шкідників та бур'янів.
8. Дайте характеристику основних напрямків альтернативного землеробства.
9. Назвіть основні види екологічних збитків, які можуть заподіяти природному середовищу тваринницькі комплекси.
10. Назвіть основні види антропогенної енергії, що вноситься в агро-екосистеми в ході виробництва продукції рослинництва й тваринництва.
11. Що таке антропогенна енергія і в якій формі вона надходить до агроекосистем?

Питання для обговорення

1. Визначте шляхи вирішення продовольчої проблеми в Україні з урахуванням стану природного середовища.
2. Порівняйте з погляду екології біологічні та хімічні засоби боротьби з бур'янами й шкідниками в сільському господарстві.
3. Оцініть переваги та недоліки органічних та мінеральних добрив з погляду екології.
4. Визначте економічні та соціальні фактори, що зумовлюють подальше широке виробництво й застосування пестицидів, незважаючи на очевидну екологічну шкоду від них.
5. Зважте екологічні та економічні перспективи різних форм альтернативного землеробства.

11.1. ТИПИ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

У взаємодії суспільства і природи техніка відіграє, як правило, подвійну роль. З одного боку, за її допомогою людина задовольняє свої потреби, але з іншого – вона є головною причиною змін, що відбуваються в природі (антропогенні зміни), які є небажаними для всього живого у біосфері.

Промислові підприємства перетворюють майже всі компоненти природи (повітря, воду, ґрунт, рослинний і тваринний світ тощо). У біосферу (атмосфера, водойми і ґрунт) викидаються тверді промислові відходи, небезпечні стічні води, гази, різні за розмірами й хімічним складом аерозолі.

Знаходячись в органічному зв'язку з природою, сучасне суспільство перетворює її за допомогою техніки, причому в таких обсягах, що обумовлюють формування штучного середовища існування людини, яке все більше набуває рис певної цілісної оболонки, трактованої як *техносфера Землі*.

Промислове виробництво базується на переробці різноманітних видів природних ресурсів з отриманням або засобів виробництва, або корисних для людини продуктів. Звичайно промисловість поділяють на дві основні галузі – видобувну та переробну. Видобувна промисловість включає в себе видобування рудних та нерудних корисних копалин, лісову промисловість і деякі інші види. Переробна працює на сировині, яка надходить від видобувної промисловості й сільського господарства. Переробна промисловість поділяється на металургійну, машинобудівну, деревообробну, текстильну, електротехнічну та інші види промисловості.

Будь-яке промислове виробництво включає три етапи:

- 1) виявлення та освоєння природних ресурсів;
- 2) розгортання виробництва з переробки цих ресурсів і отримання корисної продукції;
- 3) накопичення відходів та їх видалення.

Усі ресурси промислового виробництва є речовинами, що вилучені з планетарного кругообігу або з їх природного депо.

Для будь-якого промислового виробництва характерна тенденція до концентрації. Вона впливає з нерівномірного розподілу ресурсів, а також пов'язана з тим, що територіальна сконцентрованість видобувної та переробної галузей дає економію транспортних засобів. Виникають територіально-виробничі комплекси – групи технологічно та економічно зв'язаних виробництв і підприємств. Розташовуються промислові підприємства переважно в містах. При розміщенні за межами міста вони швидко перетворюються в міста або населені пункти міського типу.

Суперечності між природним середовищем і промисловим виробництвом почали формуватися від самого початку виникнення виробництва, оскільки за своєю суттю воно більш відчужене від природних процесів порівняно з сільським господарством.

Екологічна оцінка типів промислового виробництва базується на оцінках виду та розмірів речовин, що вилучаються з природного середовища, та характеру й кількості відходів. Вилучаються з природного середовища у першу чергу гірські породи, що містять руди металів, нафта, газ чи інші необхідні для промислового виробництва речовини. Обсяги такого вилучення досить великі. Так, наприклад, при розробці Курської магнітної аномалії був виритий кар'єр глибиною 500 м і завдовжки до 500 км. Аналогічні процеси відбуваються при промисловому виробництві на території України, тим більше що країна багата корисними копалинами; існує більше 7 тисяч родовищ і добре розвинутий гірничодобувний комплекс.

Але найбільші екологічні проблеми створюють відходи, які значною мірою властиві промисловому виробництву. Гірничодобувний промисловості притаманний особливий тип відходів – відвали гірської породи. Вони займають великі території і призводять до сильного запилення атмосфери. Металургійна промисловість додає до них гори шлаку й попелу. За даними *Х. Шимогаки (1993)*, у світі внаслідок спалювання кам'яного вугілля за рік утворюється $3,91 \times 10^6$ тонн вуглезольних відходів, які на 60% зберігаються у відкритих відвалах. Відвали гірничодобувних і металургійних підприємств забруднюють природне середовище не тільки пилом, але й стоком поверхневих і ґрунтових вод. Такі території завжди вимагають дорогої рекультивациї, але й вона не може повністю відновити природу таких «місячних ландшафтів».

Залежно від типу промислового виробництва на його проміжних етапах до навколишнього середовища потрапляє чимало найрізноманітніших відходів. Це й оксид сірки, азоту та вуглецю, і фреони, фенол, сульфати, і речовини з поверхнево-активними

властивостями. Загальновідома висока відходність хімічної промисловості, що виробляє азотну, сірчану, соляну кислоти, луки та пластмаси. Сильно забруднює навколишнє середовище виробництво паперу. Відбілювання супроводжується утворенням приблизно 1 тисячі токсичних речовин, у тому числі таких небезпечних, як діоксин, фурани і т.п.

Світове господарство щорічно викидає тільки в атмосферу 200 млн. т оксиду вуглецю, більше 50 млн. т вуглеводів, 120 млн. т золи, 150 млн. т діоксиду сірки, велику кількість оксидів азоту, фтористих з'єднань, ртуті та інших токсичних речовин. За наявними оцінками, загальний обсяг викидів забруднюючих речовин у 1970 р. склав 19 млрд. т, а до кінця нинішнього тисячоріччя може зрости до 50 млрд. т.

Негативний вплив виробництва на навколишнє середовище обумовлений не тільки його нераціональною структурою, але й недосконалістю технологічних процесів. Про це свідчить уже той факт, що з величезної кількості речовини, що вилучається людьми з природного середовища для цілей виробництва, у кінцевий продукт перетворюється лише 1,5–2,0%. Основна ж його маса переходить у виробничі і побутові відходи. Таке положення склалося історично. Воно обумовлене, з одного боку, рівнем розвитку науки і техніки, а з іншого – характером виробничих відносин, що домінують у тому чи іншому співтоваристві.

11.2. ЕНЕРГЕТИКА

В основі будь-якого виробництва лежить проблема забезпечення енергією. Промисловість майже повністю базується на енергії викопного палива та частково атомній енергетиці (табл. 11.1). Головне невичерпне джерело енергії – потік сонячної радіації, що майже не використовується. Енергетичні потреби промислового виробництва дуже великі, бо витрачаються не тільки на пряме

Таблиця 11.1. Структура світового енергетичного балансу в 1991 р.

Джерела енергії	Обсяги виробництва, %
Нафта	33
Вугілля	26
Природний газ	17
Біомаса	14
Гідроенергія	6
Атомна енергія	4

виробництво, а й на роботи з відновлення порушень у навколишньому середовищі, з витратами на охорону здоров'я і т.ін.

Усі промислові системи в екологічному розумінні є *гетеротрофними*. Вони базуються на зв'язаній енергії органічних речовин, викопних енергоносіїв, людській праці або, останнім часом, частково на атомній енергії. За очевидного різноманіття джерел енергії для промислового виробництва енергію отримують головним чином за рахунок спалювання викопного пального – вугілля, нафтопродуктів та газу. За оцінками *Г. Дейвіса* (1992), сучасне людство отримує 78% енергії за рахунок спалювання викопного пального, 18% – від відновлюваних джерел (енергія текучої води і спалювання деревини) та 4% – ядерна енергетика. Отже, сучасна енергетика використовує головним чином невідновлювані ресурси, які утворилися в далекому минулому внаслідок життєдіяльності на планеті.

Ріст споживання невідновлюваних енергоносіїв ставить людство перед складною проблемою виснаження їх запасів. Так, за сучасних темпів використання розвіданих запасів людині вистачить нафти всього на 100 років, а вугілля – на 300. Однак споживання енергії в індустріалізованому світі швидко зростає. У розрахунку на 1 людину воно характеризується такими показниками: 1910 рік – 1 тонна умовного палива, 1950 – 1,4 т, 1970 – 2,5 т, 1990 – 2,7 т. Загальний показник використання енергії первісною людиною не перевищував 8 мДж/добу, а сучасною – становить 1 тисячу мДж/добу, що еквівалентно спалюванню 2,7 т вугілля. Сучасне людство споживає 10 млрд. тонн умовного палива на рік, з них 35% попередньо перетворюються в електроенергію.

За даними ООН, за час свого існування людство витратило 80–85 млрд. тонн різного виду пального, з них 40 млрд. тонн – за останні 25 років. Такий вибухоподібний ріст споживання енергії привів до зниження кількості кисню в атмосфері планети, оскільки основна частина енергії отримується за рахунок спалювання нафти, газу, вугілля та деревини. При цьому одна тепла електростанція потужністю в 1 тисячу МВт при спалюванні палива витрачає таку кількість кисню, яку виділяє 101 тисяча гектарів лісу.

За сучасних способів розробки родовищ близько 40–50% розвіданих запасів нафти і 20–40% природного газу залишаються не добутими з надр.

Від 1 до 17% нафти, газу і нафтогазопродуктів втрачаються в процесі видобутку, підготовки, переробки, транспортування і використання. Великі комплекси нафтової і газової промисловості й населені пункти перетворюють майже всі компоненти природи (повітря, воду, ґрунт, рослинний і тваринний світ тощо).

В атмосферу, водойми і ґрунт у світі щорічно викидається більше 3 млрд. т твердих промислових відходів.

Найбільшим джерелом багатокомпонентних забруднень є *теплоенергетика*. На її частку в загальному техногенному забрудненні повітря припадає близько 75% викинутого діоксиду сірки, близько 50% оксидів азоту і 20% твердих домішок. Нафта і продукти її переробки, що спалюються в топках електростанцій, майже на 60% визначають рівень забруднення повітря в Західній Європі. Вичерпання природних запасів корисних копалин і природних компонентів пов'язане з загальними тенденціями промислового розвитку людства.

Характерними викидами енергетичного комплексу є сірчистий газ, оксид вуглецю, оксиди азоту, сажа, а також найбільш токсичні інгредієнти – оксид ванадію (V) і бенз(а)пірен. Основними джерелами утворення летких викидів в енергетиці є установки збагачення і брикетування вугілля, вуглемельні агрегати, енергетичні й теплофікаційні котельні установки.

Енергетика є галуззю промисловості, що споживає величезну кількість свіжої води, 99% якої використовується на виробництво електричної і теплової енергії. Щорічно використовується близько 30 млрд. м³ води, 65–70% заощаджується шляхом використання оборотного водопостачання. Велика частина води витрачається на охолодження різних агрегатів, через що теплові електростанції являють собою джерелами теплового забруднення. Іншим великим споживачем води, що забруднює водойми і підземні води, є система гідрозоловидалення ТЭЦ, яка використовує тверде паливо – вугілля, сланці, торф.

Зі стічними водами у водні об'єкти скидаються забруднюючі речовини, з яких характерними для енергетики є завислі речовини, нафтопродукти, хлориди, сульфати, солі важких металів, специфічні речовини (сірководень, капролактамі, формальдегід).

У Росії щорічно близько 53 підприємств атомної енергетики скидають забруднені води, з них у басейн Каспійського моря – 15, Балтійського – 7, Чорного – 2, арктичних морів – 27, Тихого океану – 2. У водні об'єкти відкритої гідрографічної мережі підприємствами атомної енергетики скидається близько 30 тис. Кі радіонуклідів, з яких 99% мають період напіврозпаду від кількох годин до однієї доби. Радіоактивні ізотопи, що скидаються, досить швидко розпадаються і практично не спостерігаються в кількостях, які перевищують припустимі концентрації у водоймах.

За обсягами споживаної енергії має місце лише регіональна нерівноцінність. У 1990 році 2/3 всієї виробленої енергії споживали 1,2 млн. чоловік у розвинених країнах, а 1/3 припадала на 4,1 млрд. чоловік, які проживають у країнах, що розвиваються.

Як сам видобуток енергетичних ресурсів, так і їх використання характеризуються високим марнотратством. У колишньому СРСР втрати енергії оцінюються в 10% від загальної кількості. У Західному Сибіру до 1991 року було втрачено 2% добутої нафти, а це 100 млн. тонн. У результаті видобування нафти тільки на тюменській півночі виведено з ладу 7,2 млн. га оленячих пасовищ, і виробництво м'яса оленя знизилося більш ніж у 2 рази. При будівництві Братської ГЕС були залиті водою ліси, запаси яких оцінюються в 40 млн. м³. При сучасній вартості 1 м³ деревини у 33 долари це складає втрати в межах 1,3 млрд. доларів.

Складність екологічних та економічних проблем промислової енергетики зумовила орієнтацію великої кількості держав на атомні електростанції як головні джерела отримання великої кількості енергії. Але виявилось, що атомна енергетика має свої проблеми. Електроенергія, що отримується на АЕС, не може бути дешевою. Якщо врахувати всі витрати, починаючи з втрат земель та закінчуючи ліквідацією відходів, то, за підрахунками Ю.І. Корякіна (1990), для всіх АЕС колишнього СРСР вони склали 215 млрд. крб., тоді як електроенергії до 1990 року виробляли лише на 10 млрд. крб.

Україні властиві ті ж проблеми отримання енергії, що стоять і перед іншими державами світу. Структура енергетичних ресурсів України наведена в табл. 11.2. До 1986 року пріоритет був відданий розвитку атомної енергетики, її частка в загальному енергозабезпеченні України досягала 17,3%. Після Чорнобильської аварії розвиток енергетики більшою мірою базувався на теплових електростанціях, у тому числі на тих, що працюють на природному газі.

Таблиця 11.2. Структура енергетичних ресурсів України

Вид ресурсу	Обсяги споживання	
	млн. т нафтового еквіваленту	%
Природний газ	27	36,4
Вугілля	18,2	24,6
Ядерна енергія	17,3	23,3
Мазут	9,2	13,4
Гідроенергія	2,4	3,2

11.3. ПРОМИСЛОВІ ОБ'ЄКТИ ЯК ЕКОСИСТЕМИ

З екологічної точки зору самі по собі промислові системи, що включають основне і підсобні підприємства, не є екосистемами. Для екосистем необхідна присутність двох блоків: автотрофного і гетеротрофного. Промислові об'єкти як такі автотрофного блока не мають, але вони розміщуються в межах міських чи сільських населених пунктів, і тому можна з певним припущенням виділяти й аналізувати їх як екосистеми.

Вивченням промислових екосистем займається промислова екологія або нерідко в більш вузькому значенні терміну інженерна екологія. Основними завданнями промислової екології є:

1. Розробка маловідходних, ресурс- і енергозберігаючих технологій усіх видів промислового виробництва з дотриманням усіх вимог щодо охорони природного середовища як у зоні самого виробництва, так і за її межами.

2. Вироблення методів екологічно безпечної переробки і поховання відходів, що в тій чи іншій кількості неминучі практично при будь-якому промисловому виробництві.

3. Розробка прикладної теорії екологічного забезпечення промислового виробництва, орієнтованої на мінімізацію втрат живої і неживої природи за збереження екологічної рівноваги.

Промислова екологія як галузь загальної екології стала особливо актуальною на початку ХХІ століття, коли загальна індустріалізація і концентрація промислового виробництва досягли надто широких, власне кажучи, глобальних масштабів.

11.4. ГЕОГРАФІЯ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА. ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

Транспорт є важливою складовою економіки, що забезпечує зв'язок різноманітних виробничих об'єктів та населених пунктів. Як галузь промисловості транспорт дуже специфічний, його «продукція» – це переміщення вантажів та людей. Без такого переміщення ні сільськогосподарське, ні промислове виробництво не мало б завершеності. Ця специфічність обумовлює надзвичайно велике споживання енергії того, що транспорт є величезним споживачем енергії. Він споживає близько 30% виробленої енергії.

Розміщення транспортних мереж досить своєрідне. Відомо, що промислове виробництво має дискретний або локальний характер розміщення виробничих об'єктів, а для сільського господарства властиве ареальне розтягнуте розміщення виробництва. Транспорт характеризується лінійним розміщенням.

Основними видами транспорту є залізничний, автомобільний, водний, трубопровідний і повітряний. Сукупність усіх цих видів транспорту називається транспортною системою. Під транспортні магістралі у світі вилучено 7% території суходолу. На всіх континентах створена досить густа залізнична мережа. Світовий парк автомобілів, включаючи вантажні машини, автобуси та ін. – 600 млн. одиниць. За прогнозами до 2010 року кількість автомобілів перевищить 1 млрд. Усе більший обсяг перевезень (пасажирських і товарних) здійснює повітряний транспорт. Щорічно послугами літаків користується близько 700 млн. чоловік.

Екологічна оцінка транспортної системи показує, що вона завдає суттєвих збитків навколишньому середовищу. Один автомобіль у середньому за рік поглинає 1 тону кисню й викидає в повітря до 600–800 кг вуглекислого газу, 40 кг оксидів азоту та 200 кг неспалених вуглеводнів.

Але особливу екологічну небезпеку становить свинець, що додається до етилованого бензину. Середній вміст свинцю в бензині складає 0,4 г/л, при спалюванні бензину в двигунах 75% кількості свинцю переходить у повітря. Підраховано, що навіть на території такої невеликої держави, як Австрія, сумарні викиди свинцю від автомобільного транспорту і лакофарбової промисловості складають 15 тис. тонн на рік.

За результатами аналізу, проведеного *Л.В. Ланчинською* (1990) та іншими авторами вздовж доріг Харківської області, відомо, що на віддалі до 100 м обабіч доріг вміст свинцю в ґрунті й рослинах перевищує ПДК у 5–10 разів, а кадмію, нікелю, міді, цинку – у 2–3 рази. Ці зони зовсім не придатні для випасу худоби, заготівлі сіна, і тим більше – для посадки плодово-ягідних культур. Уздовж ряду автотрас України посадки збереглися ще з 30–50-х років, коли вони були виправдані тим, що на шляхах переважав екологічно чистий гужовий транспорт. У наш час вживання в їжу плодів та ягід, зібраних у посадках уздовж автотрас, без ретельного санітарного контролю не припустиме.

Мережа автошляхів є місцем масової загибелі багатьох тварин. За даними *П. Сомерма* (1991), у Фінляндії на ділянці автошляху у 20 км за добу реєструється до 70 випадків загибелі тварин 15 видів (їжаків, ворон, зайців та ін.).

Система автомобільних шляхів створює умови для активізації процесів ерозії. За підрахунками, зробленими спеціалістами, під впливом прокладених шляхів змив ґрунту зі схилів зростає з 0,3 до 30 т/га на рік.

Цивільна авіація в процесі розвитку стає дедалі більш екологічно небезпечною. Відомо, наприклад, що тільки один літак Боїнг за одну годину польоту спалює 16 тонн гасу, а при зльоті витрачає 7,8 тонни. При кожному старті літак викидає в атмосферу до 100 кг

оксиду вуглецю і 50 кг оксиду азоту. У середньому у світі на переїзд 1 пасажера на 100 км витрачається 2,7 кг гасу. У ФРН тільки одна цивільна авіація за рік спалює 3 млн. тонн гасу. Повітряний транспорт споживає 14% світового виробництва палива. Особливо небезпечним є надходження продуктів спалювання авіаційного палива у верхні шари атмосфери. Сюди завдяки літакам щорічно потрапляє до 180 тисяч тонн сірчастого газу та 1,5 млн. тонн оксидів азоту. Це прискорює руйнування озонового шару, що відбувається під впливом фреонів.

Доставка споживачам енергії у вигляді електрики (що також можна розглядати як один із видів транспорту) призвела до необхідності створення широкої мережі ліній електропередач. Результатом цього є вилучення земель із сільськогосподарського та лісогосподарського використання. На 1 км високовольтної ЛЕП з напругою 20 кВт вилучається 2,2 га землі і 16 га – при більших значеннях напруги.

11.5. НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС ТА ЕКОЛОГІЯ

Метою науково-технічного прогресу є збільшення обсягів виробництва, підвищення різноманітності продуктів виробництва та їхніх споживацьких якостей. Досягнення науково-технічного прогресу щодо цього відомі. Однак у більшості країн світу, і в Україні зокрема, науково-технічний прогрес другої половини ХХ століття виявився зорієнтованим, перш за все, на непропорційно потужний розвиток промисловості на шкоду іншим галузям виробництва та за рахунок майже повного ігнорування екологічного імперативу.

У ході науково-технічної революції була здійснена глибока трансформація промислового виробництва. Галузева і територіальна структури промисловості набули домінуючого характеру, підкоривши собі інфраструктуру інших галузей економіки. Відбулося стрибкоподібне нарощування потужностей виробництва.

За досягнення науково-технічного прогресу видавався, наприклад, відкритий спосіб видобування кам'яного вугілля та руди. При цьому продуктивність праці одного робітника стає в 6 разів вищою, ніж при шахтному способі, проте з ладу виводяться тисячі гектарів землі і створюються величезні території відвалів порожньої породи. У середньому видобуток 1 млн. тонн вугілля відкритим способом супроводжується знищенням 20 га природних угідь, а видобуток такої ж кількості вугілля шахтним способом – лише 5 га.

У цілому для промислового виробництва епохи науково-технічної революції висока відходність стала гострою проблемою.

Досить сказати, що в США за рік формується 265 млн. тонн екологічно небезпечних відходів, у країнах Європейського Союзу – 35 млн. т. Світовий обсяг відходів, за *П. Бусоном* (1989), складає 400 млн. тонн. Екібастузька ДРЕС-1 лише за 1986 рік викинула в повітря 177 тис. тонн сірчистого газу, 48 тис. тонн оксидів азоту й дала 1,281 млн. тонн попелу. При підрахунках витрати на ліквідацію завданої шкоди виявляються вищими, ніж прибуток від виробленої електроенергії.

Серйозні екологічні проблеми породжує металургійна промисловість України. Вона працює переважно на старих, високовідходних, ресурсо- та енерго- високовитратних технологіях. Домни, сталеплавильні печі, коксові печі та інші подібні об'єкти дають на рік до 1 млн. тонн небезпечних відходів, а до водойм надходить 0,5 млрд. м³ води з домішками фенолів, ціанідів, сірководню та інших шкідливих речовин. Це створює вкрай несприятливу екологічну ситуацію в таких промислових містах, як Кривий Ріг, Дніпродзержинськ, Запоріжжя, Макіївка. Високим ступенем забруднення характеризуються басейни: Нікопольський марганцеворудний, Криворізький та Керченський залізородні, Донецький вугільний, Дніпровський буровугільний, Прикарпатський сірконосний. У цих регіонах багато порушених земель. У цілому на 1991 рік в Україні їх нараховувалося 190 тис. га.

Величезної шкоди природі всіх країн завдало будівництво ГЕС нового покоління. Так, у Канаді в 1985 році почалася реалізація великого проекту створення серії ГЕС із перетворенням стоку 19 рік і створенням 27 великих водосховищ. Уже перші результати показали, що проект викликав загибель тисяч оленів карібу, оскільки були затоплені місця їхнього отелення, виникла загроза загибелі багатьох видів риб. Недаремно зараз проти цього проекту протестують багато природоохоронних організацій. Таким чином, науково-технічна революція, вирішуючи проблеми споживання задачі, не змогла забезпечити гармонії промислового виробництва і природного середовища.

11.6. ВПЛИВ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА НА БІОСФЕРУ

Екологічна оцінка промислового виробництва базується на простих критеріях: розміри споживання відновлюваних і невідновлюваних природних ресурсів і рівень відходності з урахуванням небезпечності цих відходів для природного середовища та людини. Основну деградаційну дію стосовно природного

середовища спричинюють відходи промислових підприємств. Існує самостійне поняття про промислове забруднення навколишнього середовища, яке набуло глобального характеру. *Промисловим забрудненням* називають надходження до навколишнього природного середовища різноманітних несприятливих для нього речовин, що є побічним результатом промислового виробництва.

Промислове забруднення поділяється на такі основні форми:

- 1) забруднення атмосферного повітря пиловими і газоподібними викидами промислових підприємств;
- 2) забруднення водойм і підземних вод стічними промисловими водами, що містять спектр токсичних речовин;
- 3) забруднення ґрунту важкими металами та іншими шкідливими речовинами.

Промисловість створює помітне теплове забруднення приземного шару повітря внаслідок викиду до навколишнього середовища залишків тепла і відходних газів багатьох підприємств найрізноманітнішими способами. Так, для охолодження спрацьованої пари на ТЕС та АЕС використовують велику кількість води, яка створює теплове забруднення, підвищуючи температуру води в місцях стоку на 8–12°C. Загальновідомо, якої шкоди завдає високий рівень шумового забруднення, що створюється багатьма типами виробництв.

Відходність металургійної та хімічної промисловості найбільша. Виплавлення однієї чавунної відливки спричинює викид у навколишнє середовище 10–30 кг пилу, 200–300 кг чадного газу, 1–2 кг оксидів сірки та азоту, 0,15–1,5 кг фенолів та інших органічних речовин і 3 м³ стічних вод.

Під забрудненням ґрунтів розуміють збільшення концентрацій речовин, що містяться в ґрунті, вище гранично допустимого рівня, а також поява в ґрунтах будь-якої кількості невластивих їм речовин, визнаних шкідливими. Розрізняють шість ступенів забруднення ґрунтів (0–5) за ознакою зниження їх продуктивності, кількості виробленої біомаси, а за видами забруднень розрізняють чотири класи речовин-забруднювачів: фізичні, хімічні, біологічні й радіоактивні.

Речовини-забруднювачі потрапляють у ґрунт у вигляді складних органічних і неорганічних сполук, де потім розкладаються до простих елементів чи утворюють нові сполуки. У списки складних шкідливих речовин, що забруднюють ґрунти, внесено у світі більше 10 тис. найменувань. Це пов'язано з розвитком науки і техніки та з медико-біологічними дослідженнями токсичних, канцерогенних, патогенних і інших властивостей відомих і нових речовин. Переліки речовин, визнаних забруднювачами, і встановлені для них норми ГДК істотно відрізняються в різних країнах.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) деяких важливих забруднювачів ґрунту наведені в *табл. 11.3*.

Високовідходні і транспортні системи. Так, у Канаді щорічно виливається в каналізацію або захороняється 240 млн. літрів спрацьованих масел. У світі лише 40% таких масел йде на рециклінг або використовується як паливо, решта йде на відходи.

Відходів промисловості в епоху науково-технічної революції стало так багато, що розвинені країни світу їх уже не можуть розміщувати на своїй території. У 1987 році із Західної Німеччини до НДР було вивезено 870 тис. т промислових відходів. У 1992 році Організація африканської єдності заборонила ввозити до держав Африки відходи з економічно розвинених країн. Здійснюються також спроби використовувати для складування або «переробки» відходів і територію України.

Промисловість є найбільшим споживачем енергії. Головним чином, саме для її потреб велось спорудження великих ГЕС. Ці промислові об'єкти викликають серйозні екологічні та соціальні порушення. Під водосховища відводяться великі території часто досить цінних земель, на значних територіях піднімається рівень

грунтових вод, відбувається переселення великої кількості населення та «перенесення» сіл і невеликих міст.

Найбільш поширені електростанції – ТЕС – сильно забруднюють атмосферу, при видобуванні палива для них шахтним або кар'єрним способом утворюються величезні відвали гірської породи. Багато проблем створюють АЕС. Екологічно небезпечне саме видобування урану і його переробка для отримання ядерного палива, не вирішена проблема захоронення відходів, а

Таблиця 11.3. Санітарні норми допустимих концентрацій хімічних речовин у ґрунті

Речовина	ГДК, мг/кг ґрунту з урахуванням фону (кларка)
<i><u>Рухливі форми</u></i>	
Кобальт	5,0
Фтор	2,8
Хром	6,0
<i><u>Водорозчинна форма</u></i>	
Фтор	10,0
<i><u>Валовий вміст</u></i>	
Бенз(а)пірен	0,02
Ксилоли (орто-, мета-, пара-)	0,3
Миш'як	2,0
Відходи флотації вугілля	3000,0
Ртуть	2,1
Свинець	32,0
Свинець + ртуть	20,0 + 1,0
Сірчані сполуки (S):	
елементарна сірка	160,0
сірководень	0,4
сірчана кислота	160,0
Стирол	0,1
Формальдегід	7,0
Хлорид калію	560,0
Хром	0,05
Ацетальдегід	10,0
Ізопропілен + альфаметилстирол	0,5
Суперфосфат (P ₂ O ₅)	200

їх перевезення також небезпечно. Не розв'язано проблему демонтажу й консервації АЕС після закінчення терміну експлуатації, яка становить у середньому 30 років.

Науково-технічна революція привела людство до епохальних досягнень: з'явилися потужні комп'ютерні системи, радіо й телебачення стали загальнодоступними в усьому світі, людина освоїла найближчий космос. Але водночас науково-технічна революція, ігноруючи важливість збереження природного середовища для виживання людини, наблизила планету до глобальної екологічної кризи. Якщо в методах промислового виробництва не відбудуться докорінні зміни, то забруднення біосфери буде продовжуватись і здатність екосистем до самоочищення в певний момент виявиться вичерпаною.

Переважаючий вплив на забруднення природного середовища здійснюють підприємства металургійного комплексу, електроенергетичні, паливної і хімічної промисловості.

Практично всім галузям характерна низька забезпеченість очищення стічних вод, що скидаються у водойми.

Усе більш визначальну роль у погіршенні стану повітряного басейну великих міст відіграє дорожньо-транспортний комплекс, в якому викиди від пересувних і стаціонарних джерел складають більше 60% загального обсягу всіх викидів. Багато видів сучасних виробництв характеризуються утворенням токсичних рідких відходів, для яких відсутні задовільні технології очищення чи знешкодження, і, отже, потрібна дуже тривала ізоляція відходів від біосфери. Забезпечити таку ізоляцію на поверхні землі практично неможливо, особливо для великих обсягів відходів, що вимірюються мільйонами кубометрів і розташовані в різних ставках-накопичувачах, випарниках та інших подібних спорудах. Такі спорудження неминуче стають джерелами постійного чи епізодичного надходження відходів у підземні й поверхневі води прилеглих ділянок.

Значно більш безпечним в екологічному відношенні способом поводження з рідкими відходами є підземне поховання в глибокі водоносні горизонти платформних артезіанських басейнів. Такі горизонти містять, як правило, високомінералізовані підземні води, які не мають практичної цінності й надійно ізолювані від поверхні землі, поверхневих вод і прісних підземних вод верхньої частини земної кори, що використовуються для господарсько-питного водопостачання. Цей спосіб звертання з рідкими відходами надійно забезпечує тривалу (прогнозовану на багато тисяч років) ізоляцію відходів, що й визначає його екологічну безпеку.

Серйозну проблему являє специфіка багатьох галузей промисловості, і, як наслідок, потрібні індивідуальні підходи до вирі-

шення природоохоронних завдань. Це характерно, наприклад, для підприємств оборонного комплексу, які здійснюють специфічний вплив на навколишнє середовище – забруднення ґрунтів залишками компонентів використаного ракетного палива, накопичення токсичного ракетного палива старих систем і запасів хімічної зброї, небезпека впливу на населення і навколишнє середовище радіохімічних і хімічних виробництв, а також підприємств, що випускають вибухові речовини.

Виробнича діяльність підприємств нафтодобування завдає такої шкоди навколишньому середовищу:

- вилучення земельних ресурсів для будівництва об'єктів нафтовидобутку, порушення і забруднення земель;
- викиди забруднюючих речовин в атмосферу, скидання в поверхневі і підземні води, а також на підстилаючу поверхню;
- вилучення з нафтою високомінералізованих супутних вод;
- поховання відходів буріння;
- аварійні розливи нафти.

Найбільш відчутний негативний вплив підприємств нафтовидобутку на атмосферне повітря.

Забруднюючими речовинами, що утворюються в процесі видобутку нафти, є вуглеводні (48% сумарного викиду в атмосферу), оксид вуглецю (33%), тверді речовини (20%).

Основними джерелами викидів в атмосферу в чорній металургії є: в агломераційному виробництві – агломераційні машини, машини для випалу котунів; дробильно-розмелене устаткування, місця розвантаження, навантаження і пересипання матеріалів, при виробництві чавуну і сталі – доменні, мартенівські і сталеплавильні печі, установки неперервного розливання сталі, травильні відділення, вагранкові печі чавуноливарних цехів.

За даними аерокосмічної зйомки сніжного покриву, зона дії підприємств чорної металургії простежується на відстані до 60 км від джерела забруднення.

Помітний вплив на зміну стану навколишнього середовища здійснює гідробудівництво.

Водоймища, створювані в результаті спорудження гребель електростанцій, регулюють річковий стік, знижують небезпеку повеней і розвитку ерозії ґрунтів, поліпшують судноплавність рік, забезпечують постачання водою сільськогосподарських угідь, служать для рекреаційних та інших цілей.

Разом з тим запрудження рік і будівництво водоймищ нерідко приводять до негативних наслідків. Водоймища, особливо великі, впливають на зміну мікроклімату регіонів, де вони розташовані. При створенні великих водоймищ відбувається затоплення родючих земель і поселень. Гідроспорида впливають на рівень ґрунтових вод, викликають нерідко засолення чи

заболочування ґрунтів і зниження їх продуктивності. Затоплення водоймищами наземної рослинності найчастіше супроводжується її розкладанням, розвитком нових видів водної флори і фауни, приводить до евтрофікації водойм.

В енергетиці основними джерелами забруднення є теплові електростанції, виробництво енергії на яких супроводжується в першу чергу забрудненням атмосферного повітря.

Таким чином, незважаючи на спад виробництв, що продовжувався в останні роки, зниження обсягів забруднень, що утворюються на промислових підприємствах і відповідно надходять у повітря, водні об'єкти і ґрунти, не викликало адекватного зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

11.7. КОНФЛІКТНІ СИТУАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Науково-технічна революція ХХ століття порівняно з промисловою революцією ХІХ століття значною мірою змінила засоби, якими користується людство при освоєнні природи, але вона не торкнулася мети цього освоєння. Мета залишилася незмінною і полягає в споживанні природних багатств планети. Природа для людини все ще є предметом експлуатації та джерелом корисностей, що стають доступними після промислової переробки. Такий підхід прийнято називати *технократичною парадигмою*.

Технократична парадигма, яка в другій половині ХХ століття стала пануючою, тільки поглибила конфлікт між стратегією розвитку людської цивілізації та біосферою. Конфліктність у системі «людство – природне середовище» поглиблюється надзвичайно низьким коефіцієнтом використання ресурсів промисловості, унаслідок чого доводиться витратити дуже багато сировини. За підрахунками А. Кларка (1966), щоб забезпечити одну сучасну людину предметами першої необхідності, предметами розкоші, щороку із Землі вилучається більше двадцяти тонн сировини.

У результаті зростання промислових потужностей людство отримало можливість не тільки вилучати різні сировинні речовини з місць їхньої концентрації, але й переміщувати їх у величезній кількості в нові місця. Як наслідок, почали виникати нові зони концентрацій, не властиві природі. Але особливо небезпечним для біосфери є систематичне вилучення речовин з біосферних депо та залучення їх до активної частини біогеохімічних циклів.

До початку ХХ століття в системі «людство – природне середовище» відбулася важлива якісна зміна: природа перестала бути пасивним джерелом матеріальних та енергетичних благ для

людей, вона почала діяти як активне гальмо розвитку суспільства. Це гальмо, звісно, не стримає розвитку цивілізації, але воно все більш активно перешкоджає технократичному розвитку. Стає очевидним, що технократизм веде людство до прірви невирішених конфліктів між інтересами людини як біологічної істоти та природного середовища, яке вже не може забезпечити підтримку її добробуту і навіть існування.

Загострює конфлікти в системі «людство – природне середовище» розвиток промисловості в напрямку механізації, автоматизації та кібернетизації, що послідовно змінюють одна одну. Кібернетизація розглядається її головними adeptами як кінцева мета розвитку промисловості. Вона одночасно є й вершиною технократичного мислення. Виробництво такого типу все більше відокремлюють людину від об'єкту праці, а це означає, що й від природи також.

В епоху науково-технічної революції, незважаючи на розробку високоефективних способів очищення відходів промисловості, основна їх частина, як і раніше, нейтралізується «методом розбавлення», коли шкідливі газоподібні відходи викидаються за допомогою високих труб якомога вище в атмосферу, щоб вони були віднесені на більшу територію, унаслідок чого їх концентрація знизиться до рівня ГДК. Шкідливі рідкі відходи аналогічним чином скидаються у водойми для розбавлення. Абсолютна кількість відходів промисловості за такого способу дії, звісно, залишається незмінною.

В оцінці наслідків промислового впливу на природу важливе значення має виявлення допустимих обсягів цього впливу, за яких воно б не завдало шкоди людині й природі. Будь-який промисловий вплив на природу характеризується відповідною реакцією навколишнього середовища, що виражається, як правило, у трьох формах:

- *адаптаційна* (з локальним, статичним порушенням рівноваги);
- *відновна* (чи самовідновна), яка характеризується повним поверненням екосистеми у початковий стан;
- *частково відновна* (чи невідновна), яка характеризується необоротним зрушенням екосистеми від початкового (рівноважного) стану.

У цілому, навколишнє природне середовище до кінця ХХ століття якісно змінилося за багатьма своїми параметрами, порівняно з середовищем, в якому людство виникло і де минули перші фази його становлення.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні галузі промислового виробництва і дати характеристики основним принципам їх роботи.
2. Назвіть основні етапи промислового виробництва.
3. Назвіть основні енергоресурси України та їх частку в енергозабезпеченні народного господарства.
4. Що називають викопним паливом?
5. Поясніть суть концентрованого промислового виробництва і назвати причини, що призводять до його появи.
6. Перерахуйте основні енергетичні джерела, якими користується промисловість.
7. Вкажіть, які види збитків завдають природному середовищу великі гідроелектростанції.
8. Визначте зміст поняття «промислове забруднення» та порівняйте його з сільськогосподарським забрудненням.
9. Назвіть основні форми впливу промислового виробництва на біосферу.

Питання для обговорення

1. Обговоріть можливі способи економії енергії при промисловому виробництві.
2. Порівняйте різні види транспорту за ступенем несприятливої дії на природне середовище.
3. Чому неприпустимо вживати ягоди та фрукти в їжу та траву для годівлі тварин, якщо вони зібрані поблизу від автотраси?
4. Як впливають транспортні засоби на вміст кисню в атмосфері?
5. Визначте зміст поняття «технократична парадигма» і сформулюйте своє ставлення до неї.
6. Чому, на вашу думку, науково-технічний прогрес у промисловості привів до екологічної кризи?
7. Сформулюйте своє ставлення до автоматизації та кібернетизації промислового виробництва.

12.1. ІНФРАСТРУКТУРА МІСТ

Місто – це антропогенна екосистема, що являє собою концентроване розміщення промислових і побутових споруд, та населення, яке знаходиться на його території. На відміну від сільських населених пунктів жителі міст зайняті трудовою діяльністю переважно у сфері промисловості, управління або культури. Для міст характерна чисельність населення не менше 5–10 тисяч і багатоповерхова забудова. Міста відрізняються високою густотою заселення. У Лондоні, Нью-Йорку і Токіо вона дорівнює 10–12 тис. чол. на 1 км². Ємність міського середовища залежить від інфраструктури міста і розвитку транспортних мереж.

Процес розвитку населених пунктів типу міста називають *урбанізацією*. Способи виникнення міст в історії людства були різними. Міста виникали як сумісні поселення ремісників, що полегшувало їхню виробничу діяльність, як центри торгівлі, як воєнні укріплення (фортеці), що забезпечувало захист сконцентрованого в них населення від нападу ворога. Вплив міст на природне середовище поширюється за їх межі. Вони оточені більш чи менш протяжними зонами двох типів: сільськогосподарськими з виробництвом, що визначається потребами даного міста, та рекреаційними, які використовуються жителями міста для відпочинку.

Темпи урбанізації наприкінці ХХ століття дуже високі. У 1960 році в містах світу проживало 735 млн. людей, а в 1985 році – уже 2 млрд. Якщо в 1975 році у світі було 8 міст з населенням більше 10 млн. людей, із них 5 – у розвинених країнах, то у 2000 році – 25, із них 20 у країнах, що розвиваються. У колишньому СРСР з 1913 до 1987 року міське населення зросло в 6,5 разів, тоді як чисельність населення країни збільшилася лише в 1,8 рази.

Урбанізація стала результатом промислової революції і одночасно стимулом та основою швидкого прогресу промислового

виробництва внаслідок концентрації виробництва та кадрів. Але урбанізація як соціальний процес має й негативні сторони:

- а) скорочується сільське населення;
- б) міста перевантажуються переробними виробництвами, у тому числі й сільськогосподарської продукції;
- в) погіршуються умови життя населення не тільки в межах міста, але й у селі.

Проявився процес урбанізації і в Україні. До 1918 року країна була аграрною і в містах проживало тільки 18% населення. У 1940 році міське населення України становило 14 млн. чоловік (у 1950 – 12,8 млн. чол., тимчасове зниження як результат війни з фашистською Німеччиною), у 1970 – 25,7 млн., у 1990 – 35,1 млн.

Тільки за останні 30 років частка міського населення в Україні зросла в 1,5 рази та складала у 1991 році 67,8% загальної чисельності населення. В Україні є 5 міст з населенням більше мільйона чоловік: Київ, Дніпропетровськ, Одеса, Донецьк і Харків.

В економічно розвинених країнах урбанізація в основному завершилася, у країнах, що розвиваються, вона тільки починається. До 1980 року в країнах, що розвиваються, було 118 міст з населенням більше 1 млн. чоловік, а в розвинених – 117. До 2000 року в містах, за прогнозами, буде проживати не менше 50% усього населення планети.

Для сучасного етапу розвитку цивілізації характерне стихійне зростання міст, незважаючи на відсутність вирішення інших територіальних проблем, наприклад, у ФРН площа міст становить 2,4% території країни, а площа заказників та заповідників – 1,2%.

XX століття позначається процесом злиття міст і утворенням мегаполісів. Прикладом може бути Бос-Ваш – злиті міста, розташовані на Атлантичному узбережжі Америки суцільною смугою довжиною 800 км і завширшки 100–150 км. На цій території (1,5% від загальної площі Америки) живе 19% усього населення країни.

Сучасне місто для своїх жителів створює багато переваг економічного, соціального і суб'єктивного характеру. На підприємствах заробітки кращі, ніж у сільському господарстві, у місті пом'якшуються особисті конфлікти – легше змінити місце роботи, переїхати з одного району в інший, що неможливо в селі. Але в будь-якій країні «утримання» жителя міста коштує дорожче, ніж селянина.

З погляду екології міста гетеротрофні. Харчування населення повністю забезпечується агроекосистемами і сільським господарством. Для забезпечення харчуванням сучасного міста з населенням 1 млн. жителів і площею 280 км² необхідно 8000 км² сільськогосподарської території.

Міста, розташовані на території країни, не тільки займають сільськогосподарські землі, але суттєво порушують природні біогеохімічні цикли, тому що речовини, необхідні для міських підприємств і будівництва, видобуваються в одному місці, а концентруються в іншому внаслідок транспортування їх у великі та малі міста.

У результаті місто з населенням 0,5 млн. чоловік займає приблизно 100 км² території. У неї входять власне житлові споруди, транспортні системи, виробничі об'єкти, парки й ін.

Природною потребою людей є повітря, зокрема кисень, необхідний для дихання і підтримання процесів горіння. Місто з населенням у 0,5 млн. чоловік споживає за рік 1,5 млн. т кисню. Кисень виробляється тільки зеленими рослинами, а оскільки виробників кисню в зоні міста недостатньо, виявляється, що для покриття потреб міста в кисні необхідна площа, вкрита зеленою рослинністю (ліс, луг, посіви) приблизно у 20 разів більше площі самого міста.

Одночасно таке місто витрачає до 250 млн. м³ води на рік. Основна частина цієї води повертається в природне середовище у вигляді міських стоків, але вже істотно забруднених промисловими і побутовими відходами.

Як гетеротрофна екосистема, місто потребує постачання харчових продуктів. У фізичній вазі один житель міста споживає до 2 кг їжі на день. Це вимагає завезення в міста великої кількості як готових продуктів, так і сировини (зерна, м'яса, молока), що переробляється для одержання потрібних продуктів (хліба, цюбас, сметани, кефіру і т.п.) у самому місті.

Необхідність переробити таку кількість продуктів, а також задовольнити інші потреби населення є причиною великого споживання енергії містами.

12.2. МІСЬКІ СПОРУДИ. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У містах переважають споруди трьох типів: виробничі, адміністративні та побутові. Для міського будівництва важливим елементом є створення санітарно-захисних зон навколо промислових об'єктів. Жилі райони міста переважно розміщують на відстані від заводів та фабрик, але це створює іншу проблему: виникає необхідність будівництва транспортних артерій, які забруднюють міське середовище.

Значною мірою якість міського життя залежить від розумного зонування міської території на виробничі, побутові і рекреаційні зони та від розміщення транспортної мережі міста й

передмістя. Існує два основні типи забудови міст. При розосередженій забудові виробничі й побутові приміщення споруджуються в достатній ізоляції одне від одного, а при кластерній вони згруповані. І той, і інший типи забудови мають свої позитивні й негативні сторони. Розосереджена забудова підвищує комфортність, але подовжує транспортні та енергетичні магістралі, а кластерна внаслідок скупченості споруд і населення створює екологічні та соціальні стреси.

Екологічне нормування в містобудуванні недосконале і часто порушується суто з місцевих міркувань або через економію засобів. У жертву економіці приноситься комфортність жилих районів. Розташування жилих кварталів або не забезпечує достатньої вентиляції, або, навпаки, створює постійні протяги.

Відсутність медико-екологічного контролю при спорудженні жилих і виробничих приміщень веде до появи все більшої кількості «хворих будинків». Люди, які мешкають у них, скаржаться на постійну втомленість, дратівливість, депресію. Як правило, «хвороба» будинку пов'язана з виділенням із будівельних матеріалів шкідливих речовин. Серйозним забруднювачем повітря в побутових і виробничих приміщеннях можуть бути лаки й фарби, складники яких на 50% при висиханні переходять у повітря. Використання таких матеріалів у розвинених країнах світу становить 25 кг/рік на одну людину, а в країнах, що розвиваються, – 45 кг/рік.

У ХХ столітті в містобудуванні почали широко застосовувати азбест. Це волокниста форма силікату магнію. Азбест містить залізо, кальцій та алюміній, підвищує міцність будівельних матеріалів. За підрахунками спеціалістів, у містах світу вже накопичено до 1 тисячі волокон азбесту на 1 м³ міського повітря. Азбест біологічно дуже активний матеріал. Його волокна потрапляють у легені й викликають ураження тканин. Це захворювання навіть отримало свою назву – азбестоз. Хвороба може завершитися розвитком ракової пухлини. У США азбест віднесено до речовин 1 групи небезпечності. Його кількість у повітрі не повинна перевищувати 0,5 мг/м³, що складає приблизно 1 тисячу волокон в 1 м³ повітря. Небезпека азбестових впливів особливо велика через відстрочену дію – хвороба розвивається через 20–40 років після отримання надмірної дози. В Україні, на жаль, азбест і азбестоцементні вироби (шифер, труби) застосовуються досить широко без належного медико-екологічного контролю.

Промислове будівництво зі шлакоблочних матеріалів, природна радіоактивність яких не контролюється, призвело до забруднення приміщень радоном. У Великобританії при обстеженні населених пунктів знайдено більше 100 тисяч приміщень (це 0,5% від загальної кількості), в яких випромінювання радону

перевищувало 200 Бк/м³. У ФРН у 10% жилих будинків вміст радону перевищує 80 Бк/м³. У Китаї жилих приміщень з концентрацією радону більш ніж 60 Бк/м³ 10% загального житлового фонду. У США зареєстровано 3% будинків від загального житлового фонду з концентрацією радону вище санітарних норм. В Україні цей показник поки що не контролюється.

В архітектурі міст чималу увагу починають приділяти візуальному сприйняттю міських споруд. На думку В.А. Філіна (1990), у сучасному містобудівництві склалася небезпечна тенденція спорудження величезних будівель з повторюваних елементів. В.А. Філін називає такі елементи – а це великі, іноді на цілий квартал будівлі з бетону та скла – «агресивними полями». У зв'язку з особливостями зору такі агресивні поля мають несприятливий вплив на психіку людини і зоровий апарат. Певну роль відіграє кольорова гама міста. Це багато в чому визначається національними традиціями. У багатьох містах Японії переважають блакитні відтінки, у Південній Кореї – сірі. В Україні у 1960–80-ті роки в будівництві була характерною одноманітність та стандартність архітектурних рішень.

12.3. ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ МІСТ

Міста – основні споживачі енергії. У розрахунку на 1 га тут споживається енергії в тисячі разів більше, ніж у сільській місцевості. Місто споживає енергію в різних формах. Досить широко використовується викопне паливо – кам'яне вугілля, нафтопродукти і природний газ. Це вже само по собі визначає забруднення міст продуктами згорання. До жилих будинків і виробничих приміщень енергія потрапляє у формі електрики, газу, парового опалення. Широко застосовується гаряча вода.

Але в цілому в місті життя з погляду енергетичних витрат більш економне, ніж у селі. Квартирні комплекси багатопверхових будинків легше обігріти і забезпечити комунікаціями порівняно з індивідуальною забудовою на селі. Але в споживанні енергії спостерігається високе марнотратство. Низьку ефективність мають теплопроводи, завдяки яким розподіляється гаряча вода і пара серед промислових та побутових споруд на території міст.

Чимало можна зробити для економії енергії в побутовій сфері. Це розумна витрата ресурсів, які місто надає своїм жителям, – холодна та гаряча вода, електрика. Тільки дбайливе зимове утеплення побутових і промислових приміщень у масштабах міста забезпечує значні скорочення витрат енергоносіїв.

Певну роль в економії енергії має відіграти перепрофілювання міського виробництва. У наш час в Україні селу відведена роль виробника не продуктів харчування, а сировини для їх виробництва: переробні підприємства перемістилися до міст. Треба повернути селу функцію виробника продуктів харчування в повному обсязі – від вирощування врожаю й отримання тваринницької продукції до повної їх переробки та пакування.

12.4. ЕКОЛОГІЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У містах зосереджено основну масу транспортних засобів. Це вантажний, приватний і громадський транспорт. В останні десятиліття не лише в розвинених країнах, але й у країнах, що розвиваються, зростає кількість приватних автомобілів.

Автотранспорт дає 70% усіх токсичних викидів в атмосферу та 90% шумового забруднення. Великого транспортного навантаження зазнають міста України. В Україні зареєстровано більше 1 млн. вантажних автомобілів та 2,5 млн. легкових (за даними 1993 року). Частка автотранспортного забруднення атмосфери в загальній їх кількості складає: в Ужгороді – 91%, Ялті, Полтаві – 88%, Сімферополі – 83%, Львові – 79%, Києві – 78%, Чернівцях – 75%.

Прогресуючому забрудненню навколишнього середовища в містах сприяє велика питома вага приватних автомобілів. Наприклад, в Японії з 1950 до 1990 року їх кількість зросла в 4 рази. Для зниження екологічних збитків від автотранспорту робиться чимало. Запобігання смогу досягається зниженням шкідливих викидів у вихлопних газах автомобілів. Для цього їх забезпечують спеціальними конверторами. Японія вже перейшла до випуску легкових автомобілів, обладнаних такими конверторами. На 50% менше шкідливих викидів дають автомобілі, що працюють на природному газі. Впливає на загазованість повітря і стан доріг: чим він кращий, тим менше шкідливих викидів. Для певних груп працюючих вводяться спеціальні графіки роботи вдома, що зменшує кількість поїздок населення, ряд підприємств із цією ж метою подовжують робочі зміни та додають ще один неробочий день тижня.

Багато в чому екологія міста пов'язана з вирішенням проблеми транспортних потоків. Тут важливе значення має розташування автомагістралей щодо жилих та виробничих районів міста, винесення найбільш інтенсивних потоків на ізольовані автотраси. Потрібні оптимальне планування автотрас, якість покриття на них та спорудження захисних зон уздовж автошляхів.

Захист побутових і службових приміщень від шуму, як правило, продуманий погано, хоча тут є прості рішення. Уздовж автодоріг, які є основним джерелом шуму, споруджуються на відстані 10–20 м протишумові бар'єри. Поблизу джерел шуму на відстані не менше 30 м від проїжджої частини доцільним є розміщення тільки малоповерхових будівель. Житлові будинки мають будуватися закритими або напівзакритими кварталами. Неповною мірою використовуються протишумові можливості зелених насаджень. Рідко застосовуються спеціальна шумопоглинаюча цегла, подвійні рами.

Екологічною проблемою стало й придорожнє сміття – пакувальний матеріал, банки, пляшки, залишки продуктів харчування і все те, що викидається з транспортних засобів. У 1989 році група німецьких учених провела облік усього цього сміття і з'ясувала, що в містах його на кожні 500 м шляху припадає 147,7 кг, а в сільській місцевості – 124–170 кг.

Міський автомобільний транспорт не тільки забруднює повітря продуктами згорання палива і створює шум, але й сприяє зростанню надходження свинцю в навколишнє середовище. У принципі сучасна промисловість може вирішити цю проблему шляхом заміни етилованого бензину на малоетилований чи зовсім неетилований. В Україні поки що використовують бензин із вмістом свинцю 0,36 г/л, тоді як в Англії, Німеччині та США – 0,013–0,15. Постанова Кабінету Міністрів України орієнтує на постачання неетилованого бензину, і його в 1991 році було вже поставлено 51% від загальної кількості.

12.5. ЕКОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ В МІСТАХ. МЕЗО- ТА МІКРОКЛІМАТ

Уявлення про місто як гарант високої якості життя, що забезпечує жителю міста чистоту, зручність та якісне медичне забезпечення, склалося в ХІХ столітті. У другу половину ХХ століття ситуація докорінно змінилася. Міста залишилися центрами економічного, політичного і культурного життя, але якість міського життя виявилася набагато нижчою порівняно з сільськими населеними пунктами, а на межі ХХІ століття і сільські, і міські населені пункти стали зближатися за якістю життя: екологічна ситуація в них може бути однаково несприятливою.

Більш того, уже наприкінці ХІХ століття місто почали описувати як усепоглинаючий Молох, як прообраз диявола. Таким воно зображене у творах відомого письменника *Еміля Верхарна* і на картинах художника *Д. Тагора*. У таких оцінках є своя частка істини: чимало сучасних міст являють собою не гармонійне

ціле, а просту й погано організовану сукупність підприємств і спальних поселень. Стосовно своїх мешканців місто виглядає як не дуже турботливий роботодавець.

Якість міського життя багато в чому визначають промислові підприємства міста. Вони є основними споживачами води, тепла, створюють той чи інший тип забруднення середовища. Екологія шахтарського, металургійного або хімічного промислового центру відрізняється, хоча може бути однаково несприятливою для здоров'я людини.

Основні зміни параметрів мікроклімату в містах порівняно з сільською місцевістю наведені в *табл. 12.1*.

Середня температура повітря в містах на 1–2°C вища, ніж у сільській місцевості. Опадів випадає на 5–30% більше, а швидкість вітру на 20–30 м/сек менша. У великих містах відносна вологість повітря нижча на 2–10%, хоча хмарність вища на 20–100%. Разом з тим містам властива підвищена запиленість повітря і над ними постійно висять пилові хмари. Через це прозорість повітря зменшується на 15–25%.

Для великих промислових міст усе більш характерними стають смоги. Смогом називають різке підвищення в повітрі кількості пилу, токсичних газів або краплинок туману з розчиненими в них шкідливими речовинами. Розрізняють два види смогів – вологі та сухі (фотохімічні). Вологий смог утворюється в результаті насичення повітря автомобільними й газоподібними промисловими викидами. Сухий смог формується у затишну погоду внаслідок насичення сухого повітря газоподіб-

Таблиця 12.1. Основні зміни мікроклімату в містах порівняно з сільською місцевістю

Параметри мікроклімату	Стан у місті порівняно з сільською місцевістю
Середньорічна температура	на 0,5–1,0° вище
Температура взимку	на 1–2° вище
Ультрафіолетове випромінювання влітку	на 5% нижче
Ультрафіолетове випромінювання взимку	на 30% нижче
Середньорічна швидкість вітру	на 20–30% нижча
Опади	на 5–10% більше
Пилоподібні домішки в повітрі	у 10 разів більше
Газоподібне забруднення повітря	у 5–25 разів більше
Кількість хмар	на 5–10% більша
Кількість туманів узимку	на 100% більша
Кількість туманів улітку	на 30% більша
Кількість гроз	у 1,5–2 рази менша

ними домішками, особливо окислами азоту. Сприяють смогу й ефірні виділення деяких дерев і чагарників, що необдумано використовуються для озеленення міст. Смоги вкрай несприятливо впливають на здоров'я людини, спричинюючи напади астми і серцево-судинні кризи.

Міське населення все частіше отримує неякісну питну воду. Міжнародне Десятиліття питної води (1981–1991 рр.), що проводилося за ініціативою ООН, виявилось невиконаним у більшості держав світу.

В екології міського середовища немає дрібниць. Культура поведінки – це також фактор, що визначає якість життя в місті. Гучна музика, паркування автомобілів біля жилих будинків, система збору й видалення побутових відходів і багато іншого є такими ж складовими середовища, як і якість повітря та води.

Важливе значення в екології міст мають зелені насадження. Вони виконують ряд важливих функцій. Дерева і чагарники в спеку охолоджують повітря (у середніх широтах на 3–5°C). Зелені рослини збагачують повітря киснем: 1 га зелених насаджень дає до 600 кг кисню за вегетаційний період. Деревно-чагарникові рослини знижують рівень шуму на 12 дБ. Дуже важливою для міста є здатність зелених рослин очищувати повітря від пилу та аерозолів. Підраховано, що в парках таке очищення забезпечується на 85%, на вулицях із двостороннім озелененням – на 70%.

Майже всі великі міста світу забруднені. Найстаріші столиці Європи – Париж, Мадрид, Рим та багато інших – відрізняються великою забрудненістю атмосфери та шумом. Як показує санітарно-гігієнічне обстеження, у багатьох районах столичних міст світу шум на вулицях перевищує 90 дБ. 62% мешканців змушені приймати транквілізатори, у 33% населення виражена гіпертонія.

Серйозна екологічна ситуація склалася в багатьох великих та малих містах України. У промислових центрах вона зумовлена викидами в атмосферу значної кількості забруднюючих речовин. Особливо напруженою є екологічна ситуація в таких містах-мільйонерах, як Київ, Харків, Дніпропетровськ, Одеса. Вони розташовані в степовій зоні, для якої характерне жарке літо і нестача питної води. Одеса бере воду з р. Дністер, Київ – з Десни, Харків – із Сіверського Дінця. Екологічний стан цих річок швидко погіршується. Наприклад, у Харкові та Ізюмі швидко зростає кислотність питної води.

Наскільки напружена екологія міст України, можна побачити на прикладі Києва. Тут більше 400 промислових підприємств разом із комунальними спорудженнями дають за рік більше 4 млн. м³ стічних вод, з яких, за даними С.Г. Кочубей та ін. (1990), 1,5 млн. м³ надходить у водотоки (головним чином, у Дніпро) без будь-якого очищення.

Несприятливе середовище для життя і в приморських містах України. На пляжах у прибережній смузі води зареєстроване наднормативне мікробіологічне забруднення, викликане неякісним очищенням стічних вод і постійними аваріями на очисних спорудах. У м. Одеса розташовано 76 будинків відпочинку й санаторіїв, але поруч із ними функціонують три морські порти, а в море надходить щорічно більше 150 млн. м³ стічних вод. Зовсім не випадково тут у 1970 та 1994 роках спостерігалися спалахи епідемії холери.

12.6. РОСЛИНИ І ТВАРИНИ В МІСТІ

Техногенний вплив на природу в містах максимальний. Природний тип ландшафту знищений повністю або значно змінений.

Однак у містах знаходить собі притулок чимала кількість видів живих істот. Міська фауна і флора частково формується людиною цілеспрямовано, а частково створюється стихійно. Для міста як екосистеми характерна розірваність трофічних ланцюгів, що створює можливість масового розмноження окремих видів і приводить до низького біологічного різноманіття.

Рослини ростуть у містах усюди: у парках, садках, на газонах і просто вздовж вулиць. Вони мають санітарно-гігієнічне та декоративне значення. Чимало жителів міст вирощують їх у себе на балконі й у квартирі. Виник рух за озеленення промислових приміщень.

Тваринний світ міст набагато бідніший, ніж рослинний. Він представлений вихідцями з природних угруповань, які змогли пристосуватися до специфічних міських умов життя. Серед тварин, які мешкають у містах, майже скрізь представлені горобці, шпаки, ворони, галки, гризуни (миші та пацюки), комахи (мухи, блохи, таргани, блошин). Деякі з тварин виступають як паразити і переносники хвороб (комахи-кровососи й пацюки), а інші, навпаки, відіграють роль санітарів (ворони).

Рослини створюють у людини відчуття комфорту, оптимізують газовий склад повітря, виділяючи кисень і поглинаючи вуглекислий газ. Дуже важливим є правильний підбір для міського озеленення порід деревно-чагарникових рослин. Перевага повинна надаватися видам, які мають здатність очищувати повітря від тих чи інших забруднень. Так, біла акація та липа особливо добре поглинають оксиди азоту й сірки, каштан – важкі метали, клен гостролистий – органічні сполуки типу фенолів. Це дає можливість підбирати деревні породи так, щоб вони відповідали типу забруднення, яке характерне для певної ділянки міста, що озеленюється. У всіх рослин виражена здатність поглинати пил. Особ-

ливо ефективні щодо цього шпилькові породи. Проте завдяки тому, що вони вічнозелені, вони надто чутливі до пило- і газозабруднення і для стійкого озеленення промислових міст мало придатні. Поглинають пил і листяні породи: тополя – до 0,55 г пилу на 1 мг листової поверхні, липа – 1,32, в'яз – 3,39. У результаті за одне літо каштан кінський поглинає 16 кг пилу, ясен звичайний – 27 кг, клени – 28–33 кг. Парки та лісопарки – це «легені» міст, що поглинають пил та виробляють кисень.

Озеленення – це найбільш ефективний спосіб оптимізації міського середовища. Найбільш важливим воно є для міст, що мають підприємства гірничої та металургійної промисловості. Проведені дослідження показують, що є чимало видів рослин, здатних рости на відвалах гірських порід, а після відповідної підготовки – і на золошламових субстратах. *М.Т. Масюком (1989)* уперше у світі показано, що такі гірські породи характеризуються родючістю, використовуючи яку можна проводити рекультиваційні роботи.

Місцями відпочинку населення служать парки і приміські рекреаційні ліси, їх екологічне та естетичне значення дуже важливе. Але в багатьох містах стан парків і лісів незадовільний. При малій їхній площі та високій чисельності населення міста ці угруповання зазнають сильного витоптування, яке стимулює особливу рекреаційну сукцесію. У ході такої сукцесії, як було показано на прикладі приміських лісів м. Суми *М.Г. Баштавим (1990)*, змінюється склад травостою. За більш сильного витоптування гине поріст деревних порід. У таких лісах збіднюється фауна, зникає велика кількість видів птахів. Запобігти цим негативним явищам можна лише одним способом: площа лісопаркової території міста повинна відповідати чисельності населення міста.

Інший важливий компонент міста – газони. Звичайно їх засівають сумішшю трав: кострицею, тонконогом луговим, багаторічним райграсом. Такі газони потребують догляду, головною формою якого є часте викошування. Якщо воно не проводиться, то під впливом витоптування газон швидко заростає бур'янами, одним з яких є кульбаба. Просапуювання таких газонів стійкого ефекту не дає.

Населені пункти України мають 500 тис. га зелених насаджень. Промислові центри України (міста Донецьк, Дніпропетровськ, Луганськ, Київ) оточені «зеленими кільцями», що служать цим містам і «легенями», і рекреаційними зонами. Прикладом вдалого вирішення містобудівних проблем є м. Донецьк. Тут 30 парків та 60 скверів займають 51% забудованої частини міста.

У країнах Західної Європи почався цікавий рух за створення в містах так званих біотопів. Головна ідея їхньої організації

полягає в поліпшенні стану міського середовища. Біотоп – це парк, але парк нового типу, в якому відтворюється весь комплекс природних структур, властивий конкретній місцевості. До 1987 року у Великобританії, ФРН та Нідерландах було вже більше ста таких біотопів. У наш час до цієї ідеї приєдналася Польща, в якій розпочалася робота по створенню кількох «біотопів» у великих містах.

12.7. ЛЮДИНА В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ. МЕДИЧНА ЕКОЛОГІЯ

Здоров'я – це здатність людини до оптимального фізіологічного, психологічного та соціального функціонування. Право на здорове середовище розглядається як одне з основних прав людини. Здоров'я значною мірою визначається станом навколишнього середовища. Спеціалісти вважають, що рівень здоров'я залежить від стану довкілля на 20–40%, тоді як від спадкових факторів – тільки на 15–20%, від способу життя – на 25%, а від рівня медичного обслуговування – усього на 10%.

Ситуація в містах стосовно цього двояка. З одного боку, лише місто забезпечує людині висококваліфіковану й швидку медичну допомогу, проте в міській скупченості швидше поширюються інфекційні хвороби. Не випадково, що під час епідемій першими їх жертвами стають жителі міст. У середні віки під час багатьох епідемій чуми й холери в деяких містах смертність досягала майже 100%.

Технічний прогрес призвів до насичення міського середовища речовинами канцерогенної, мутагенної, ембріотоксичної, імунодепресантної дії. Багато з них додатково є ще й алергенами. Публіцисти недаремно називають алергію хворобою цивілізації. Провокування ракових захворювань речовинами антропогенного походження породило цілу галузь медицини – онкологію. На думку В.В. Худолія (1991), не менше 75–90% онкологічних захворювань людини пов'язані зі станом навколишнього середовища.

Специфіка проживання в місті веде до того, що люди 85–90% часу проводять у приміщеннях (жилі будинки, метро, службові приміщення, будови фабрик та заводів). Одним із показників якості життя в місті є *повітря приміщень*. Воно має бути вільним від наднормативної кількості радону, оксидів азоту й сірки, волокон азбесту та інших забруднювачів. Важливу гігієнічну роль відіграють кімнатні рослини, що здатні зв'язувати вуглекислий газ і очищати повітря від пилу та шкідливих газів.

Серед різноманітних компонентів на якість середовища суттєво впливає питна вода. Вона повинна мати сухих залишків

менш ніж 1000 мг/л, з них хлору – менше 350 мг/л, сірки – менше 500 мг/л. Вміст кисню не повинен бути меншим за 4 мг/л. Питна вода має бути повністю вільною від патогенних мікроорганізмів, адже переважна їх більшість розноситься саме водою. Перелік основних патогенів наведено в *табл. 12.2*.

Очищення питної води є важливим фактором здоров'я людини. Із 1904 року (спочатку в Англії) питна вода очищується від мікроорганізмів методом хлорування. Це досить ефективно, хоча залишкова кількість хлору надає воді неприємного запаху та присмаку. Існує й інший метод – озонування, який ґрунтується на високій окислювальній здатності озону. У Франції велика кількість води очищується озонуванням.

У більшості міст світу внаслідок забруднення повітря, води та харчових продуктів сукупний рівень забруднення навколишнього середовища вищий, ніж у сільській місцевості. Життя й виробнича діяльність у такому екологічно нестійкому середовищі почали супроводжуватися розвитком специфічних «екологічних» захворювань. Для всіх них характерні швидка втомлюваність, знижена опірність інфекціями, алергічний синдром. Такі екологічні захворювання пов'язуються перш за все з ослабленням імунної системи, яка не справляється з комплексом несприятливих впливів з боку середовища низької якості. У деяких випадках у людей проявляється особливий хворобливий стан – синдром закритого приміщення. Місто сприяє особливому мікроеволюційному процесу, генетичним аномаліям людини, вимагає додаткових витрат адаптаційної енергії.

Для жителів міст став звичним так званий третій стан, тобто проміжний стан між цілковитим здоров'ям і хворобою. Це синдром перенапруги, свого роду передхвороба. Із збільшенням загального забруднення міського середовища в містах зростає кількість випадків захворювання на артеріальну гіпертонію, атеросклероз, ішемічну хворобу серця, виразку шлунку, неврози, вегетодистонію та алергії. Щодо цього особливо небезпечні свинець, промисловий пил, нітрати та сірчистий газ. Забруднення ртуттю

Таблиця 12.2. Патогенні мікроорганізми води

Назва	Захворювання, які спричинює
Холерний вібріон	Холера
Тифозні сальмонели	Черевний тиф
Дизентерійні шигели	Дизентерія
Паратифозні сальмонели	Паратифи
Ентамеба	Амебна дизентерія
Фільтрувальні віруси	Інфекційний гепатит
Кишкова паличка <i>E. coli</i>	Кишкові захворювання

викликає захворювання Мінамати, яке проявляється в ураженні нервової системи. За даними *Е.Н. Антипенка* та ін. (1990), при забрудненні міського середовища збільшується частота самовільних абортів, діти народжуються з вадами розвитку.

Погіршує екологічну ситуацію в містах *високий рівень шуму*. Встановлено, що 40% міського населення у світі живе в умовах шуму, що на 5–20 дБ більше санітарної норми. Порівнювати здоров'я населення в містах різних країн світу дуже важко. Наприклад, офіційна статистика стверджувала, що дитяча смертність у колишньому СРСР становила 25 випадків на 1000 народжених, а в США – тільки 10. Проте в СРСР (на відміну від США) діяли й продовжують діяти досить жорсткі правила визнання народженої дитини живою: вона повинна мати вагу, більшу за 1 кг, довжину тіла, більшу за 35 см, зробити принаймні один вдих та народитися після 28-го тижня вагітності. Якщо одна з цих ознак була відсутня, то дитина вважалася мертворожденою і до дитячої смертності не зараховувалася. Таким чином, порівняння показників дитячої смертності в СРСР і в США було і залишається безглуздом. Для країн соціалістичного табору була характерною гонитва за високими показниками здоров'я населення. Є підстави вважати, що до 40% смертних випадків реєструвалися з неправильним діагнозом – і «в інтересах статистики», і щоб не підводити колеґ-лікарів.

Потребує охорони й геном людини. Природні мутації в популяціях людини складають 5×10^{-5} генів на одне покоління. У забрудненому середовищі під впливом мутагенів кількість мутацій зростає. *М.П. Дубінін* (1990) припускає, що подвоєння частоти мутацій небезпечно і неприпустиме. Необхідне введення спеціальної служби генетичного контролю.

Несприятлива ситуація зі здоров'ям населення складається в Україні. Хоча середня тривалість життя досягає 70,7 років (для чоловіків – 65,9, для жінок – 75), захворюваність залишається дуже високою. Протягом останніх 25 років народжуваність поступово знижувалася, а смертність зростала. У 1992 році смертність перевищила народжуваність.

12.8. УТИЛІЗАЦІЯ ТА ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ. ОЧИСНІ СПОРУДИ

Усі міста з їхньою високою концентрацією населення відрізняються утворенням великої кількості *промислових і побутових відходів* (табл. 12.3).

Відходи поділяються на *тверді та рідкі, промислові та побутові*. Між містами різних країн щодо цього є відмінності. Міста

Табл. 12.3. Приблизне споживання та відходність міст із населенням у 1 млн. жителів (за Стадницьким та Родіоновим, 1988)

Вода 625 тис. т на добу	Стічні води 500 тис. т на добу
Продукти харчування 2 тис. т на добу	Тверді відходи 2 тис. т на добу
Енергетичні матеріали Вугілля – 4 тис. т на добу Газ – 2700 т на добу Нафта – 2800 т на добу Бензин – 1 тис. т на добу	Газоподібні викиди Пил – 150 т на добу Оксиди сірки – 150 т на добу Оксиди азоту – 100 т на добу Вуглекислий газ – 450 т на добу Органічні речовини – 100 т на добу

Франції та Великобританії щорічно дають промислових відходів до 50 млн. т кожне, у ФРН – до 61 млн. т, в Італії – до 44 млн. т. До цього додаються ще побутові відходи, кількість яких у містах Франції, Великобританії та Італії складає 17 млн. т на рік, а у ФРН – 20 млн. т на рік. У містах Японії відходів утворюється 920–2120 г на одну людину за добу, у Франції – 620 г. Це звичайна кількість для промислово розвинених країн. Найбільшу кількість відходів у розрахунку на одну людину мають США – їх тут 0,47–0,52 т/рік або 1450 г/день. Загальний світовий обсяг відходів перевищує 300 млн. т. Загальний обсяг твердих відходів в Україні складає 10–11 млн. т на рік. Звалищами зайнято 2600 га земель. Вважається, що в середньому їх у містах утворюється приблизно 1 тонна на одну людину за рік.

Типовий склад міських відходів такий: папір та картон – 41%, сміття – 17,9%, гума, шкіра та деревина – 8,1%, харчові відходи – 7,5%, метали – 8,7%, скло – 8,2%, інші – 1,6%. Звісно, що структура відходів залежить від національних особливостей і традицій населення. У містах Індії частка харчових відходів мізерна, а в США, навпаки, досягає 21%. Для міст розвинених країн характерна велика частка у відходах пластику різних видів.

Проблема відходів стоїть досить гостро через низьку швидкість їх розкладення. Папір руйнується від 2 до 10-ти років, консервні банки – майже 100 років, поліетиленові матеріали – 200 років, пластмаса – 500 років, а скло для повного розкладу потребує 1000 років.

Особливу категорію міських відходів складають стічні води. В Україні за 1988 рік було випущено 18,7 млрд. стоків, з них 2,6 неочищених. Ступінь забруднення стічних вод оцінюють в еквівалентах побутових стоків – ЕПС. Один ЕПС дорівнює кількості

органічної забруднюючої речовини, що виробляється однією людиною за добу. Для окиснення 1 ЕПС потрібно 60 г кисню.

Звільнення від відходів ведеться в трьох напрямках:

1) *складування* або навіть захоронення таким чином, щоб вони не впливали негативно на навколишнє середовище;

2) *знищення* відходів шляхом їх спалювання;

3) *очистка* від шкідливих речовин, що є найбільш складним процесом, який здійснюється такими способами:

а) *механічне очищення* методом відстою в спеціальних відстійниках рідких стоків, фільтрування і т.п.;

б) *хімічне очищення*, при якому шкідливі компоненти відходів перетворюються в осадок або розкладаються;

в) *фізико-хімічне очищення*, переважно методом електролізу або іонообмінних смол;

г) *біологічне очищення* за допомогою бактерій або інших живих організмів, здатних розкласти шкідливі речовини в процесі життєдіяльності.

У більшості міст світу переважає вивіз відходів на звалища. На звалищах зберігається багато відходів. Складування відходів на міських звалищах є екологічно найбільш недосконалим способом порятунку від них. Стічні води звалищ токсичні й забруднюють ґрунтові води та ріки. Відбувається забруднення атмосферного повітря газоподібними речовинами, які утворюються при розкладанні звалених матеріалів.

Іншим способом знищення міських твердих відходів є *спалювання*. Найчастіше сміття спалюють на звалищах відкритим способом. Недолік спалювання полягає в накопиченні великої кількості попелу, який містить чимало токсичних речовин. Та й газоподібні викиди при спалюванні сміття небезпечні, часто виділяється діоксин. Особливо небезпечним є *відкрите спалювання* пластмас. Однак відкрите спалювання побутових і промислових відходів на міських звалищах здійснюється у великих обсягах.

Тверді міські відходи слід спалювати в спеціальних печах. Високоєфективне спалювання в шлаковому розплаві. У цьому випадку сміття без сортування надходить у розплав. Як побічний продукт від спалювання сміття отримується залізо і кольорові метали. Сучасні сміттєспалювальні установки дають тільки 0,1 кг токсичних речовин на 1 м³ газів, що виходять, і мають продуктивність до 240 тисяч тонн сміття на рік. Але до 1990 року в країнах Західної Європи працювало тільки 595 установок для спалювання пластикового сміття, у США – 157, а в Японії – 1899.

За всіх інших способів переробки відходів важливу роль відіграє сортування. Найбільш популярною є японська система під назвою «нумадзу», за якою здійснюється сортування відходів на

три фракції: такі, що можна спалити, утилізувати (пляшки, банки, ганчірки тощо) і бросові.

Існують можливості *знешкодження* рідких промислових і побутових стоків (рис. 12.1). Вони повинні проходити *хімічне і біологічне* очищення. Використовуються різні методи. Звичайно будь-який з них складається з таких етапів:

1) попереднє очищення, метою якого є звільнення стоків від крупного сміття; воно полягає в проціджуванні стоків крізь ґрати та відстоювання;

2) первинне очищення в спеціальних відстійниках до отримання мулу-сирцю;

3) вторинне очищення, при якому використовуються живі організми для остаточного очищення стоків від органічної речовини.

Високоєфективним є метод *крапельного фільтрування*, який полягає у виведенні стічних вод на шар піску завтовшки до 1,5 метра на час до 6 годин. Потім протягом 18 годин здійснюється продувка киснем або повітрям, що створює сприятливі умови для мікроорганізмів, які *знешкоджують* органічну речовину таких стоків. Модифікацією цього методу є розбризкування на шар щебеню.

Інший досить ефективний метод – це *метод активного мулу*, що застосовується з 1914 року. Для його реалізації створюється система неглибоких біологічних ставків, в яких відбувається

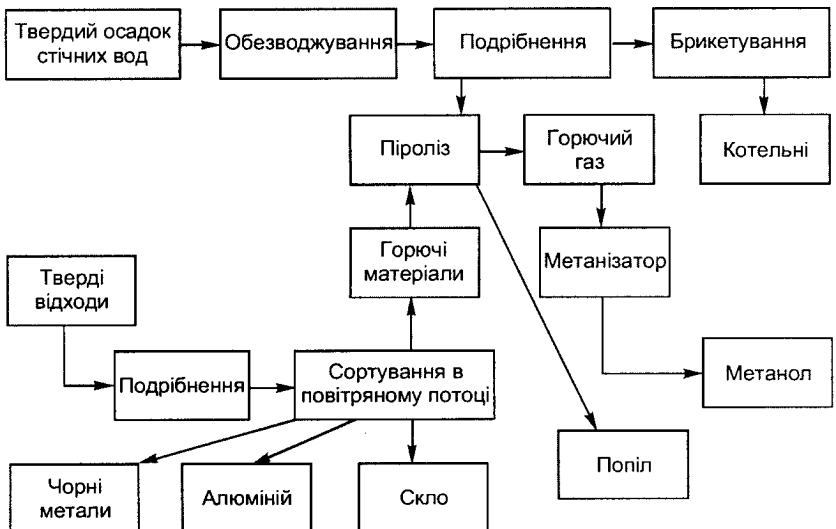


Рис. 12.1. Схема переробки міських відходів, що знижує екологічну шкоду від них

змішування стічних вод з мулом, що утворився при попередньому окисненні стічних вод. В активному мулі багато мікроорганізмів, які завершують знешкодження стоків.

Деякі види стічних вод настільки токсичні, що їх не можна зберігати в ставках-накопичувачах. У таких випадках доводиться вдаватися до глибинного захоронення, використовуючи відпрацьовані нафтові та газові свердловини. Але в таких свердловинах нерідко зберігаються ще невилучені нафта й газ. Тому була запропонована технологія створення спеціальних підземних порожнин методом камуфлетних ядерних вибухів потужністю в декілька кілотонн. Такі порожнини найбільш придатні для закачування токсичних речовин.

На полігонах твердих побутових відходів іноді намагаються вирощувати рослини, у тому числі навіть лікарські (*Н.Ю. Бойків, 1993, у Донецьку*), але це дуже небезпечний шлях. Склад побутових відходів досить строкатий, часто невідомий, їх токсичні компоненти можуть включатися до складу тканини рослин і завдавати шкоди здоров'ю людини при використанні їх як лікарських засобів чи при вживанні в їжу.

Для України прикладом ефективного вирішення проблеми боротьби зі сміттям та стічними водами може бути Франція. Майже в усіх містах країни є спеціальні сміттеспалювальні підприємства, а сміття проходить попереднє сортування. Є велика кількість компостних підприємств, що утилізують побутові відходи та виробляють компост для виноградників і біогаз. Виходить на цей рівень боротьби за чисте екологічне середовище міст і Японія.

Актуальною проблемою міст світу є запобігання утворенню великої кількості відходів. У промисловості для цього необхідно застосовувати особливі технології. У побуті в багатьох випадках достатньо змінити характер пакування товарів, щоб різко знизити кількість побутових відходів. У ряді країн Західної Європи вже відмовляються від пакування молочних продуктів у пластиково-картонні пакети і віддають перевагу тарі – скляним пляшкам та банкам. З утворенням Європейського Союзу почалася своєрідна «війна упаковок» між Німеччиною, Францією та Великобританією, оскільки знищення тари й повернення її виробнику однаково дорогі. У США розгорнулася ціла політична кампанія «пляшкових законів», тобто законів, які зобов'язують виробників товарів повернутися від одноразових упаковок до багаторазової тари, зокрема до пляшок.

12.9. МІСТА МАЙБУТНЬОГО

Гострота екологічної ситуації більшості міст світу спонукає містобудівників шукати нових шляхів у плануванні та інфраструктурі міст. У 1984 році в США *К. Лінч* видав книгу «Теорія формування благополучного міста», в якій запропонував екологічно обґрунтовані способи планування міст і містобудування. Ця книга помітно вплинула на світовий досвід, але для старих міст далеко не завжди можливе перепланування. Не розв'язано й принципове питання щодо самого типу міст майбутнього. Наприклад, на думку, *М. Рагона* (1969), це цілком індустріалізовані споруди зі штучним середовищем. Інженер *О.С. Дрязгов* у 1960-х роках пропонував проект міста на 54 млн. мешканців. *М.С. Хрущов* свого часу виношував протилежну ідею про агроміста як гармонійно інтегровані агропромислові комплекси.

Деякі футурологи містобудівництва пропонували утопічні проекти, але в багатьох із них були раціональні рішення, упровадження яких у практичну реалізацію могло б досить швидко оздоровити навколишнє середовище в містах. Принцип містобудівництва майбутнього очевидний – це гармонізація природного і соціального середовища в місті. Але реалізувати цей принцип не так просто. Тут можливі альтернативні підходи: спорудження багатоповерхових будівель або сімейних котеджів, орієнтування на міста невеликих розмірів чи на багатомільйонні мегаполіси.

Р. Нейланд, бізнесмен із Нідерландів, у 1990 році запропонував ідею та проект «Європолісу» – міста майбутнього для Європи. На думку авторів проекту, це багатоповерхове місто, в якому оптимально поєднуються виробничі та житлові блоки з ділянками лісів і луків. У проекті поєднана велика кількість найкращих ідей сучасного містобудування.

Архітектори країн Західної Європи останнім часом орієнтуються на невеликі міста з населенням у 30–60 тисяч. Тим більше що американський письменник *А. Кларк* передбачив, що в майбутньому великі міста можуть бути покинуті. У мегаполісах економічно розвинених країн цей процес, по суті, вже почався – найбільш заможні жителі воліють жити в невеликих містах, приїжджаючи в промислово-діловий блок основного міста тільки на роботу.

Так чи інакше, але, згідно до концепцією фінського архітектора *Р. Піетіля* (1974), місто майбутнього має бути екологічно чистим, зеленим, упорядкованим. Природне середовище в таких містах повинно представляти самостійну культурну цінність. Промислові й побутові будівлі в майбутніх містах будуть забезпечені плоскими сонячними колекторами, і такі пасивні способи використання сонячної енергії допоможуть місту знизити

споживання енергії від електростанцій не менш ніж на 25%. Вертикальне озеленення з використанням ліан буде виступати не лише як декоративний елемент, але й сприятиме пило- та шумозахисту приміщень. У південних містах доцільно відмовитися від асфальту, оскільки в спеку він дає багато токсичних виділень. Обов'язковим елементом міського середовища стануть біотики – ландшафтні ділянки, що імітують незаймані природні екосистеми.

Починає формуватися новий напрямок у містобудуванні – *підземна урбаністика*. Нижче рівня ґрунту планується розміщувати гаражі, комори та склади, пральні і навіть торговельні центри. Такий підхід сприяє розв'язанню екологічних проблем міст, але він складає потенційну загрозу для здоров'я тих осіб, які будуть пов'язані з виробництвами, розташованими під землею.

Серйозної трансформації вимагає транспортна мережа міст. Вона повинна залишити вулиці пішоходам, а основні транспортні артерії, безумовно, мають піти під землю, або ж, можливо, будуть прив'язані до дахів будинків. В останньому випадку, за проектом англійського міста майбутнього, на рівні п'ятого поверху всі будинки планується зв'язати суцільними транспортними стрічками.

Практично міста майбутнього вже народжуються сьогодні. Так, у 1991 році титул «екологічна столиця світу» був присуджений містам Ерланген і Нестерсхайм. У 1992 році цей титул одержало місто Фрайбург. У Німеччині триває активний пошук найбільш оптимального типу міської будівлі. Так, у Шварцвальді споруджено житловий будинок, на даху якого розміщена сонячна батарея потужністю в 1,8 кВт. Вона влітку забезпечує потреби мешканців в електроенергії на 100%, а взимку – на 90%. Завдяки сонячним батареям здійснюється й підігрів води. Є колектори для дощової води, яка використовується в туалетах. Прикладом екологічної реконструкції сучасних міст може бути японське місто Осака. Його розвиток відбувається за програмою «Міське планування в гармонії з інтересами населення та навколишнього середовища». Велика увага приділяється розвитку мальовничих зон (в європейській термінології – «біотопів»).

Порівняно зі спорудженням «міст майбутнього» реконструкція існуючих міст є більш реальною і близькою перспективою для більшості городян. Така реконструкція ведеться на підставі трьох основних моделей міського будівництва: 1) концентрична кругова з центральною діловою і промисловою частинами і прилеглими до них круговою жилою і рекреаційною частинами, 2) секторна модель, коли при округлій формі міста промислові підприємства, ділова частина і житлові райони розміщені секторами, і 3) багатоядерна модель з наявністю в місті кількох центрів.

Реконструкція сучасних міст спрямована на загальну екологізацію промисловості, енергетики і транспортних систем міст, на створення виражених зелених рекреаційних зон і підвищення санітарно-гігієнічних умов проживання в місті.

З урахуванням процесу урбанізації, що веде до поселення все більшої частини жителів планети в містах, екологізація міського життя – одне з першочергових завдань у реалізації прав людини на здорове екологічно чисте середовище.

Після для самоперевірки

1. Що таке урбанізація?
2. Назвіть основні відмінності міст і сільських населених пунктів.
3. Перерахуйте основні елементи інфраструктури міст.
4. Виділіть основні екологічні проблеми, що постають перед жителями міст України.
5. Вкажіть на екологічні переваги економії енергоносіїв в умовах міста.
6. Порівняйте переваги та недоліки проживання в місті та селі.
7. Які особливості має рослинний і тваринний світ міст?
8. Перерахуйте види екологічних збитків, що завдає автотранспорт міському середовищу.
9. Назвіть основні способи знешкодження та утилізації міських відходів.
10. Опишіть мікроклімат, властивий містам.
11. Які екологічні проблеми виникають при захороненні відходів?

Питання для обговорення

1. У чому полягає привабливість міського способу життя для людей?
2. Чому азбест і радон небезпечні для жителів міст?
3. Розгляньте проблему формування мегаполісів із погляду можливостей створення в них здорового навколишнього середовища.
4. Як ви розумієте проблему «хворих будинків»?
5. Опишіть основні види очисних споруд і розгляньте можливе підвищення якості очищення побутових та промислових стоків.
6. Висловіть своє ставлення до основних проектів майбутніх міст.

13.1. ЕКОЛОГІЧНА КОНВЕРСІЯ – АКТУАЛЬНА ПРОБЛЕМА ЦИВІЛІЗОВАНОГО ЛЮДСТВА

Екологічна криза ХХ століття засвідчує, що біосфера та її компоненти є досить ламкими структурами. Вони почали інтенсивно руйнуватися під впливом глобального антропогенезу і втрачати сприятливі для людини властивості. Оскільки якість життя людини визначається сукупністю не лише матеріальних, духовних, соціальних, демографічних, але й екологічних компонентів, то в умовах екологічної кризи вона почала знижуватися. В інтересах збереження людської цивілізації виникла необхідність у перегляді традиційно прийнятих у виробництві пріоритетів.

Усі види виробництва для пом'якшення їх несприятливої дії на навколишнє середовище необхідно екологізувати. *Екологізація* – це поширення екологічних принципів і підходів на природничі та гуманітарні науки, на виробничі процеси й соціальні явища. У сфері матеріального виробництва, на думку *М. Пура (Poore, 1982)*, екологізація природокористування складається з трьох компонентів:

- 1) максимальна ефективність користування ресурсами;
- 2) відтворення ресурсів і охорона від виснаження;
- 3) найбільш доцільні способи використання ресурсів.

Конкретних можливостей екологізації досить багато. В галузі виробництва це перехід на безвідходні технології, бережне використання невідновлюваних ресурсів, економія енергії, відновлення лісів, повне знешкодження всіх видів відходів до надходження їх у навколишнє середовище. Така зміна виробництва отримала назву екологічної конверсії. Екологічна конверсія є умовою забезпечення невід'ємного права кожної людини на використання екологічно чистого навколишнього середовища.

Але така точка зору на екологічну кризу ХХ століття та шляхи виходу з неї поки не є загальноприйнятною. Окремі тех-

нократично настроєні спеціалісти й політики вважають, що матеріальне виробництво не несе відповідальності за розвиток кризових ситуацій. Неоднозначна й думка щодо глибини екологічної конверсії.

Деякі фахівці вважають, що людство має тільки один вихід: повністю повернутися до гармонії відносин «людина – природне середовище», яка була характерною для доіндустріального етапу розвитку цивілізації. Інші вважають, що технічна потужність людства, яка викликала екологічну кризу, забезпечить і подолання її наслідків.

Засновником течії «назад до природи» є *Ж.Ж. Руссо; К. Стоун* і *А. Леопольд* розробили особливий напрямок – *енвайронменталізм* як осучаснений варіант уявлень *Ж.Ж. Руссо. П. Берг* та *Р. Дасманн* заснували течію *біорегіоналізм*, що базується на зв'язку природних та культурних факторів. Існує особлива течія *глибинна екологія* (*Б. Діволл, А. Дренгсон, В. Фокс*), яка виходить з того, що технічний прогрес неминуче зруйнує природне середовище, а збереження біосфери можливе тільки за умови відмови від технологічних досягнень і технічного прогресу. Але всі ці течії не враховують умов реального життя. Людство не може і не хоче рухатися назад. Розвиток цивілізації варто орієнтувати не на гасло назад до природи, а на рух уперед до екологічного господарювання.

Технократичні утопісти вбачають вихід із кризи в прискоренні розвитку технічних компонентів цивілізації. Так, *А.Д. Сахаров* (1974) у статті «Світ через півстоліття» пропонував розділити територію планети на робочі й заповідні зони і вважав, що робочі зони, займаючи тільки 30% суходолу, зможуть забезпечити всі потреби людства, тундра і пустелі завдяки атомній енергетиці перетворяться на квітучий сад. Прихильники технократичного способу мислення пропонують, наприклад, знизити сільськогосподарський антропогенез шляхом заміни бавовни синтетичними волокнами, промисловий антропогенез – заміною металів пластмасою. Але не підраховано, що спричинює більше забруднення навколишнього середовища – бавовництво чи промисловість, яка виробляє штучні волокна. Подібний шлях розвитку так само нереальний, як і спроба повернути людство «назад до природи».

У широкому розумінні вихід зі стану екологічної кризи можливий тільки при вирішенні комплексу соціальних, економічних і технологічних проблем на основі концепції екологічної конверсії виробництва, яка відкриває найбільш реальний шлях до загальної екологічної рівноваги. *Екологічна рівновага* – це баланс природних і антропогенних процесів, що забезпечує максимальний еколого-соціально-економічний ефект протягом необмеженого

часу. Метою екологічної конверсії є досягнення екологічної рівноваги в регіональному, а потім і в глобальному масштабі.

Підходи людського суспільства до вирішення комплексу проблем екологізації соціальних і виробничих процесів іноді називають екологічною революцією за визначенням *Л. Брауна* (1992), маючи на увазі «переведення світової економіки на екологічно стійкий шлях розвитку, що забезпечує захист економіки, більш здоровий спосіб життя й поліпшення умов існування людини на Землі».

Шлях до екологічної рівноваги в системі «природне середовище – суспільство» вимагає поєднання рішень різного типу. У випадку створення наперед відомих невірноважених систем, які мають високу відходність виробництва (це в основному промислові підприємства), необхідне повне відмежування від них сусідніх природних угруповань і агроєкосистем. Такі підприємства повинні мати тільки один «вхід» для ресурсів, що споживаються, і один «вихід» для готової продукції. Там, де це можливо, варто перетворювати нерівноважні системи в екологічно рівноважні (це здебільшого агроєкосистеми). Одночасно людству доводиться брати на себе турботу про підтримку природної екологічної рівноваги в екосистемах, які його поки зберегли (це природні екосистеми) внаслідок раціоналізації використання чи повної охорони (заповідники й національні парки).

У сучасний історичний період найбільшу актуальність має переведення виробництва на маловідходні та безвідходні технології. *Безвідходною технологією* називають такий спосіб виробництва продукції, при якому найбільш раціонально й комплексно використовуються сировина і енергія – так, щоби будь-які впливи на навколишнє середовище не порушували його нормального функціонування. У безвідходних технологіях уся сировина перетворюється в продукцію, технологічний процес не дає відходів і всі компоненти сировини знаходять собі застосування. Важкість переходу ряду підприємств на безвідходну технологію допускає як тимчасовий компроміс перехід спочатку на маловідходні технології.

Маловідходна технологія – це такий спосіб виробництва продукції, при якому шкідливий вплив на навколишнє середовище не перевищує рівень, що допускається санітарно-гігієнічними нормами, а відходи направляються на тривале збереження чи переробку.

Однією з форм екологічної конверсії є *ренатуралізація*. Цим терміном, що був запропонований *Т. Кічинським* і *А. Жбіковським* у 1986 році, називають ліквідацію негативних наслідків господарської діяльності інженерними засобами. Основними видами ренатуралізації є:

- 1) відновлення колишніх русел річок, де вони були штучно випрямлені в інтересах судноплавства;

2) ліквідація протиповеневих валів біля русел річок;

3) ліквідація зрошувальних та осушувальних меліоративних систем і т.п.

Головна мета ренатуралізації полягає у відновленні природних екосистем на деградованих і спустошених у результаті господарської діяльності територіях.

Людству потрібна стійка цивілізація, а такою вона може бути тільки у випадку відповідності законам екології, за якими існує біосфера планети. Шлях до стійкої екологічної цивілізації вимагає прийняття і реалізації глобальних рішень, які мають бути й ефективними. Так, наприклад, в Європейському Союзі та ряді інших розвинених держав розпочалося введення екологічних етикеток на товари, що мають високий і гарантований рівень «екологічної» чистоти. В Європейському Союзі таким знаком є поєднання шестерні з квіткою маргаритки. У Німеччині екологічна етикетка товарів давно має вигляд «блакитного ангела». У сучасному урбанізованому світі було б корисним замість зведень погоди, які для жителів міста несуттєві, щоденно передавати екологічні зведення, що характеризують стан навколишнього середовища.

Екологічна конверсія всіх видів виробництва є одним із найважливіших компонентів прогресивного і стійкого розвитку цивілізації. Концепція стійкого розвитку як міжнародний документ була прийнята в 1972 році на конференції ООН щодо навколишнього середовища й розвитку. За А.Д. Урсулом (1997), стійкий розвиток визначається як така форма взаємодії і коеволуції суспільства і природи, при якій зберігається біосфера планети і забезпечується невизначено тривале існування людства.

Концепція стійкого розвитку людської цивілізації – це завдання на ХХІ століття, завдання вкрай непросте і важке. Його сутність суперечить багатьом традиційним поглядам на саму ідею і суть розвитку цивілізації. Прийняття концепції стійкого розвитку вимагає зміни самого типу розвитку економіки, веде до зміни політичних і соціальних пріоритетів. Стійкий розвиток людської цивілізації є зовсім новою моделлю суспільства, в якій першорядно важливими виявляються екологічне мислення, цінності науки і мистецтва, освіта. Одночасно концепція стійкого розвитку людської цивілізації вимагає тотальної екологізації всіх промислових і сільськогосподарських технологій.

Справа в тому, що у фазу передстійкого розвитку цивілізації природа розглядалась як ресурс для одержання різноманітних благ, причому ресурс невичерпний і начебто навечно переданий людству. ХХ століття з усією ясністю показало, що це не так. Природа вразлива і може легко зазнати руйнування, та водночас природне середовище є необхідною умовою існування людської цивілізації, рівноправним партнером прогресу. Таким чином,

XXI століття виявляється періодом кардинальної зміни суспільно-економічних пріоритетів у розвитку.

У реалізації моделі стійкого розвитку за А.Д. Урсулом (1997) можна виділити три основні етапи.

Перший етап – зрощування економіки й екології, усунення всіх екологічних проблем, пов'язаних із безгосподарністю й екологічно забрудненими виробництвами, суворе виконання державного й міжнародного екологічного законодавства.

Другий етап – жорсткість екологічних нормативів і повний перехід від національних до міжнародних екологічних стандартів. Екологізація фінансової та податкової політики.

Третій етап, що припадає вже на другу половину XXI століття, має полягати в різкому зниженні всіх видів антропогенних впливів на природу, значному зростанні розміру територій, вилучених з господарського користування. На цьому етапі повинне сформуватися інформаційно-екологічне суспільство, ноосферний розум. У цей період людство цілком відмовиться від усіх технологій, що чинять руйнівний вплив на природне середовище. Екологічні закони набудуть зверхності над законами соціально-економічними.

Правові аспекти стійкого розвитку вже в даний час дуже важливі. Вони покликані забезпечити засобами національного і міжнародного права: а) пріоритет благополуччя всього людства над особистим благополуччям тієї чи іншої людини, б) право людини користуватися якісним здоровим природним середовищем, в) умови, необхідні для збереження якості природного середовища і його поліпшення, г) перехід від технократичного до ноосферного мислення і д) придушення всіх антигромадських проявів, несумісних зі стійким розвитком цивілізації — наркоманії, алкоголізму, паління, індивідуального і групового тероризму та ін. З багатьох позицій сьогодні весь цей комплекс ще нереальний, але реалізувати його необхідно, тому що він єдиний здатен запобігти повному краху людської цивілізації.

Реалізація моделі стійкого розвитку людської цивілізації вимагає не тільки рішень у сфері політики й економіки. Її здійснення можливе тільки за розумного керування демографічними процесами. Від нинішньої густоти народонаселення планети в 37,5 чол./км² суші до кінця XXI століття необхідно досягти середньої густоти населення не більше 6–7 чол./км².

13.2. ДЕМОГРАФІЧНІ ФАКТОРИ

Жива речовина планети існує 3,6–3,8 млрд. років, людина з'явилася всього тільки 3 млн. років тому. Таким чином, у загальній історії біосфери на частку антропогенного фактору припадає

всього 0,07% загального терміну її існування. Розвиток людства з його технічними можливостями виявився для біосфери подібним до вибуху, тому що біосфера адаптована до повільних і поступових впливів.

Головними факторами росту чисельності населення у ХХ столітті стало поліпшення харчування та санітарно-гігієнічних умов, що запобігає виникненню багатьох епідемій, а також заходи щодо зниження дитячої смертності. Адже під час епідемії чуми в 1348–1350 роках в Європі загинуло 25 млн. людей, тобто 1/4 тодішнього людства. У США під час громадянської війни безпосередньо від воєнних дій загинуло тільки 92 тисячі людей, а від висипного тифу – 192 тисячі. І тільки в другій світовій війні кількість убитих виявилася більшою, ніж кількість померлих від хвороб.

В історії людства був період так званої примітивної стабілізації чисельності населення, коли вона забезпечувалася поєднанням високої народжуваності з високою смертністю (головним чином, дитячої). На *рис. 13.1* цьому відповідає ліва зона (А). Метою сучасної демографічної програми є здійснення переходу (Б), коли народжуваність має бути знижена до рівня смертності (В). У розвинених країнах Європи демографічний перехід вже здійснено. Але основна частка населення світу, яка зосереджена в країнах, що розвиваються, знаходиться у фазі демографічного вибуху.

Регіональна густина заселення планети суттєво коливається. Вона складає в США 29,5 чол./км², в Іспанії – 76,8, у Китаї – 113, в Індії – 237,5, у Бангладеш – 712. Середня густина населення в Європі, включаючи Україну, дорівнює 163 чол./км².

Перед спеціалістами стоїть непроста проблема визначення граничної густоти заселення планети людьми. За підрахунками

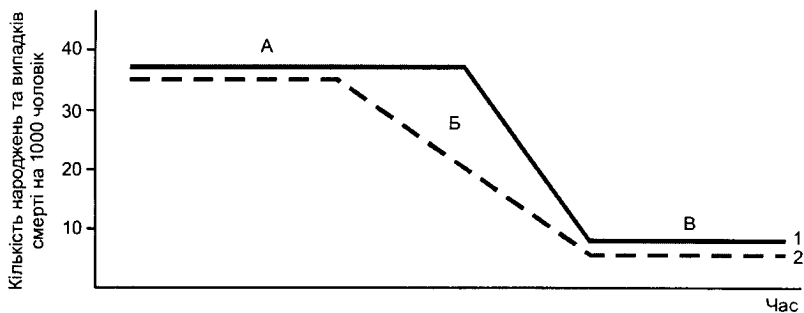


Рис. 13.1. Демографічні процеси в людському суспільстві: 1 – народжуваність, 2 – смертність, А – зона примітивної стабільності, Б – демографічний перехід, В – зона цивілізованої стабільності.

А. Єлісєєва (1991), на суходолі площею в 149 млн. км², з яких для проживання придатні тільки 100 млн. км², може жити 5,7 млрд. чоловік. Це означає, що сучасна чисельність населення є граничною. Інші автори визначають граничну ємність земної кулі в 10–12 млрд. чоловік.

Без регулювання чисельності населення неможливо забезпечити право людини на якісне життя. Адже навіть у США, за даними Х. Гевана (1989), 100 млн. людей живуть у районах, де перевищена санітарна норма концентрації озону, 29 млн. – де перевищена концентрація чадного газу та 60 млн. – важких металів. В усьому світі до 1 млрд. людей живуть в умовах постійних злиднів. Р.І. Храпко (1993) вважає, що людство стоїть перед серйозним вибором: або в сім'ях усупереч емоціям і традиціям має бути тільки 1–2 дітей, або цивілізація прийде до краху. За найбільш обґрунтованими підрахунками Л. Брауна, К. Флейвіна та С. Постела (1994), для забезпечення стійкого розвитку цивілізації населення Землі не повинно перевищувати 8 млрд. людей, але навіть і в цьому випадку потрібні глибокі зміни характеру виробництва і стилю життя.

13.3. СОЦІАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Досвід людства показує, що вирішення проблем у системі «людина – природне середовище» можливе лише на базі єдності наукового знання, виробничої діяльності та соціальних процесів, функцію інтегрування інформації про систему «людина – природне середовище» виконує соціальна екологія. Соціальна екологія стала повноправною часткою загальнолюдського знання. Вона формується як наука про закони, принципи й методи оптимізації суспільства і природи.

Основною метою соціальної екології є пошук шляхів подолання відчуження людини від природи. Теоретичних основ для вирішення цієї проблеми пропонувалося чимало. Це й безмежність розуму за М.Ф. Федоровим (1910), і концепція ноосфери В.І. Вернадського (1920–1930), яка абсолютизує можливості науки, і гуманізм, що ставить людину в центр природного середовища і характеризує світ як світ виключно людський, і сучасне богослов'я, яке трактує біблійську тезу «наповнюйте землю» як вказівку Бога на єдність природи й людства.

Витоки соціальної екології пов'язані з концепцією російського філософа М.Ф. Федорова, який розробляв філософію «спільної справи». Основними принципами цього філософського напрямку є мирний розвиток цивілізації та розумне регулювання взаємин людства й природи. Але М.Ф. Федоров віддавав пріо-

ритет моральному над соціальним («супроморалізм»), що нереалістично. Не мають серйозного обґрунтування і його міркування щодо тотальної космізації людської діяльності з підпорядкуванням усього Всесвіту людству.

На основі уявлень *М.Ф. Федорова, Е. Ціолковського, О.Л. Чижевського* та *В.І. Вернадського* склався особливий напрямок соціальної екології, який отримав назву *російський космізм*. Цей напрямок розвиває ідею про безсмертя людського роду, відповідальність людства за свою діяльність і про неминучість виходу людства в Космос. Представники російського космізму намагаються в єдиній концепції об'єднати комплекс уявлень від релігійних до природничо-наукових.

Особливе місце в розробці проблем соціальної екології посідає концепція ноосфери. Вчення *В.І. Вернадського* про перехід біосфери в ноосферу є прогностичною концепцією. Це один із варіантів того стану соціуму, який ще раніше *Дж. Леконт* та *Ч. Шухерт* (1908) називали психозойською ерою. Але *В.І. Вернадський* збагатив ці уявлення шляхом природничо-наукового і соціального синтезу та виділення природи як найвищої цінності людського буття. Дещо з інших позицій підходив до ноосфери *Тейяру де Шарден* (1987), який розглядав ноосферу як мислячий пласт, що знаходиться «поза біосферою та над нею», тоді як, за *В.І. Вернадським*, ноосфера є стадією розвитку біосфери.

Усвідомлюючи об'єктивну необхідність розробки проблем соціальної екології, варто визнати, що існування двох екологій – біоекології та соціоекології – завдає шкоди. Такий екологічний дуалізм відбиває існування двох поглядів на екологію. На думку одних, це вузькодисциплінарна наука, на думку інших – це «життєзнавство». Потрібен *природно-соціальний синтез екологічного знання*, яку б назву – екологія, біосферологія чи глобальна екологія – він не отримав. Екологічний імператив має лягти в основу національної, регіональної та світової політики. Саме екологічний імператив і концепція рівної справедливості можуть стати основою стійкого розвитку цивілізації, соціально-економічного прогресу і загальнолюдської безпеки.

13.4. РОЛЬ ГРОМАДСЬКОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РУХУ В ЕКОЛОГІЧНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Одним з осередків суспільного руху в галузі охорони природи наприкінці XIX століття виступив С'єра-Клуб, організований *Джоном М'юїром*. У подальшому такий рух поширився і став характерним майже для всіх країн світу. У розвитку громадського

екологічного руху можна виділити три основні періоди. Перший, що відбувався в 30–40-х роках ХХ століття, характеризувався орієнтацією на забезпечення екологічної чистоти підприємств і захист працюючих від професійних захворювань. Другий період припадає на 1950–70-і роки, коли у зв'язку з науково-технічною революцією розгорнувся рух за загальне оздоровлення навколишнього середовища. І, нарешті, третій, сучасний період, характеризується тим, що екологічний рух спрямований на боротьбу з глобальною кризою радіаційної безпеки.

Сучасний спектр такого руху досить широкий. Але його прихильників від енвайронменталістів і екологів до «зелених» відрізняє ряд загальних підходів. Вони, як правило, зорієнтовані на такі програмні положення:

- 1) загальне припинення індустріального промислового розвитку;
- 2) вимога припинення реалізації великих проектів промислового розвитку, особливо в країнах Латинської Америки та Азії;
- 3) проведення політики, спрямованої на обмеження росту населення приблизно на 2% на рік.

Ряд громадських екологічних неурядових організацій роблять помітний внесок в усвідомлення суспільством необхідності серйозно вирішувати проблеми, пов'язані зі станом природного середовища. Хоча в більшості випадків основні зусилля учасників екологічних організацій спрямовуються на боротьбу з наслідками екологічних порушень, а не на їх запобігання.

Сучасний екологічний рух дуже строкатий за своїми цілями, у його членів віра та емоції нерідко переважають над тверезим розрахунком. Останнім часом громадські екологічні організації почали об'єднуватися, утворюючи при цьому структури міждержавного типу. Такі асоціації та союзи працюють над створенням проектів екологізації суспільства, фінансують окремі регіональні та міжрегіональні природоохоронні програми. Величезна робота проводиться Міжнародним науковим комітетом з проблем навколишнього середовища (СКОПЕ). Він реалізує 7 великих проектів:

1. Вивчення біогеохімічних циклів.
2. Вплив людини на відновлювані природні ресурси.
3. Людські поселення та навколишнє середовище.
4. Токсикологія навколишнього середовища.
5. Моделювання.
6. Моніторинг навколишнього середовища.
7. Громадська оцінка інформації про навколишнє середовище.

Високий авторитет має Міжнародний союз охорони природи і природних ресурсів (МСОП), створений у 1948 році. Він налічує 600 членів, у тому числі 61 національний уряд і 120 урядових

агенцій. МСОП проводить активну роботу зі створення глобальних і регіональних природоохоронних стратегій.

В Україні важливу роль відіграє *Українська екологічна асоціація «Зелений світ»*, «*Національний екологічний центр України*» та «*Союз Чорнобиль*». Асоціація «Зелений світ» була заснована в 1988 році і проводить велику роботу під загальним девізом «Вживання, демократія, гуманізм». На її рахунок моніторинг кислотних дощів в Україні, акції захисту природних об'єктів, громадська екологопросвітницька діяльність. Національний екологічний центр України реалізує довгострокову програму «Зелений німб України». Велику позитивну роль у запобіганні ядерної війни та загальної демілітаризації економіки відігравали та відіграють суспільні організації. Декларація Паугоського руху, підписана 97 лауреатами Нобелівської премії, повністю заперечує будь-які види ядерної зброї. При загальній позитивній ролі екологічного руху треба відзначити, що в окремих випадках він страждає «ідеалізацією» екології, а іноді навіть і екологічним екстремізмом. Сучасному суспільству потрібні прагматичні рішення, що враховують не тільки екологічні, але й соціальні та економічні аспекти будь-якої проблеми. Фундаментальні рішення глобальних екологічних проблем можна очікувати лише на рівні національних урядів, оскільки вони потребують високої професійної кваліфікації в поєднанні з громадською моральністю та відповідальністю.

13.5. ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА І ЕКОЛОГІЧНІ ПАСПОРТИ

Відчутний глобальний вплив промислового і сільськогосподарського виробництва на природне середовище і необхідність збереження довкілля як найважливішого фактора здоров'я і благополуччя людини висунули на порядок денний необхідність здійснення у XXI столітті екологічного контролю.

Наявність фактору спільності всіх видів екологічного контролю і формування в його межах загальної поняттєвої бази дає можливість виділити питання, пов'язані з визначенням якості навколишньої природного середовища, у нову комплексну інженерну дисципліну фізико-хімічного характеру *екометрію* – науку про вимірювання для визначення й оцінки параметрів, що характеризують природне середовище в усьому різноманітті компонентів і комплексів, що його складають, з позицій корисності чи шкідливості для функціонування біоти.

Загальна *мета екологічного контролю*, або контролю якості навколишнього середовища, може бути визначена як забезпечення

дотримання дієвих природоохоронних і ресурсозберігаючих правил, вимог і норм на всіх етапах виробництва, будівництва чи іншої діяльності людини, пов'язаної з активною чи непрямую зміною стану навколишнього середовища (або ж його компонентів, включаючи саму людину). Екологічний контроль має бути різнобічним, тобто не виключати жодної сфери діяльності людини, яка так чи інакше впливає на зміну стану навколишнього середовища.

Основні завдання екологічного контролю: формування інформаційної бази стану і змін навколишнього середовища, одержання необхідної і достатньої за критеріями повноти, точності й вірогідності інформації про впливи і стан навколишнього природного середовища, виявлення випадків шкідливих впливів на окремі компоненти чи природне середовище в цілому, профілактика наднормативного екологічного збитку й ін.

Контроль за станом природного середовища за параметрами, що не потребують застосування спеціального контрольно-вимірювального і лабораторно-аналітичного устаткування, директивно може бути покладений на працівників служб виробничого контролю. Завданням таких служб є визначення якісних характеристик, екологічних змін і порушень, оперативне виявлення винуватців, а в особливих випадках – запрошення інспекторів-екологів для інструментальних вимірювань і кількісної оцінки збитку з призначенням відповідних санкцій.

Потреби підприємств промисловості та сільського господарства в екологічній конверсії визначаються на основі матеріалів екологічних експертиз. Екологічна експертиза технічних проектів вперше почала застосовуватися в 1960-ті роки у Великобританії. У ФРН закон про обов'язковість екологічних експертиз був прийнятий у 1990 році. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» передбачає проведення екологічних експертиз як діючих промислових і сільськогосподарських підприємств, так і тих, що проектуються, а також окремих територій.

Матеріали екологічної експертизи включають у себе такі розділи:

1. Опис змісту і призначення проекту (діючого підприємства або території).
2. Місце реалізації та екологічні параметри.
3. Оцінка всіх видів впливу реалізованого проекту на навколишнє середовище.
4. Вплив проекту на добробут населення.
5. Вплив проекту на флору та фауну.
6. Вплив проекту на взаємозв'язок між компонентами навколишнього середовища.
7. Вплив на пам'ятки культури.

8. Аналіз достатності заходів, передбачених проектом, щодо усунення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

9. Загальний висновок про доцільність реалізації проекту.

Завершується екологічна експертиза оформленням екологічного паспорту. Ідея екологічних паспортів уперше з'явилася в Сибірському відділенні АН СРСР при аналізі байкальської проблеми. *Сучасний екологічний паспорт* – це документ, що відображає стан даного підприємства або ділянки території з погляду їх впливу на навколишнє природне середовище. В екопаспорті дається розгорнута характеристика технології виробництва з розкриттям матеріальних та енергетичних витрат, детально характеризуються всі викиди й відходи виробництва із зазначенням їх токсичності: описується продукція, що випускається, і дається оцінка ступеню її можливої екологічної шкідливості. Екопаспорт містить пропозиції щодо оптимізації виробництва та особливостей організації поточного екологічного контролю на ньому.

Екологічний паспорт підприємства в його остаточному вигляді включає такі документи:

1. Довідка про природоохоронну діяльність.
2. Схема розташування об'єкта.
3. Баланс водоспоживання і водовідведення.
4. Характеристика використовуваної сировини.
5. Викиди шкідливих речовин в атмосферу в цілому по об'єкту.
6. Викиди в атмосферу шкідливих речовин за станом ПГУ (пило-газоуловлювачів).
7. Вміст шкідливих речовин в атмосфері.
8. Характеристика палива, що спалюється, і викидів від об'єктів теплоенергетики.
9. Показники використання води.
10. Стан очисних споруд у цілому по об'єкту.
11. Показники очищення стічних вод і вміст забруднюючих речовин у водоймі.
12. Показники утворення, накопичення і використання твердих відходів.
13. Зведення про рекультивацію.
14. Прогноз динаміки викидів в атмосферу, скидів у водойми і використання відходів по окремих виробництвах.
15. Витрати на природоохоронну діяльність по підприємству.
16. Підсумкові дані по викидах в атмосферу і скиданнях у водойми (у цілому по підприємству).
17. Додаткові зведення про природоохоронні і ресурсозберігаючі заходи.

Екологічний паспорт об'єкта чи підприємства – це нормативно-технічний документ нового типу, що містить усі дані про споживання і використання ресурсів усіх видів (природні – первинні, перероблені – вторинні та ін.), а також визначає всі прямі дії і впливи на навколишнє природне середовище.

Розробляються *екологічні паспорти й для рідкісних видів рослин і тварин*. У цьому випадку в екологічний паспорт включаються дані про ареал виду, чисельність, типові місця перебування, структуру популяцій, трофічні зв'язки, особливості розмноження, наявність ворогів і шкідників, вразливість до різних антропогенних впливів.

Необхідність розв'язання проблем навколишнього середовища та якості життя привели до появи екоіндустрії – особливої галузі промисловості, що виробляє прилади та обладнання для знешкодження шкідливих речовин і обліку їх наявності в повітрі, воді або ґрунті. У 1990 році перший міжнародний екологічний ярмарок був проведений у м. Ванкувері (Канада), у ньому взяла участь 64 країни світу. Асортимент товарів екологічного ринку стає все більш широким: пилоуловлювальне та газоочисне обладнання, устаткування доочищення димових газів і т.п. Особливий сектор таких ринків – прилади та обладнання для контактного і дистанційного контролю навколишнього середовища. Ринок екотехніки та екологічно чистих технологій у наш час дуже широкий і вихід на нього України був би економічно дуже вигідним.

13.6. ЕКОЛОГІЧНА КОНВЕРСІЯ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Розвиток екологічної кризи поставив складні завдання перед промисловим виробництвом. Виникла необхідність наукового аналізу взаємодії промислового виробництва з природним середовищем, на основі якої почала розвиватися нова галузь загальної екології – промислова екологія.

Отже, промислова екологія є розділом загальної екології, що вивчає вплив промислового виробництва на навколишнє природне середовище.

Оптимізація параметрів середовища життя вимагає перегляду стратегії розвитку промислового виробництва з відмовою від екологічно небезпечних технологій. Цей шлях розвитку отримав назву екологічної конверсії промислового виробництва. Екологічна конверсія – багатоплановий і тривалий процес. Він пов'язаний, перш за все, з оцінкою реальної необхідності продукту для суспільства, а сама продукція має відповідати високим екологічним вимогам.

Екологічної конверсії гостро потребує видобувна промисловість. Можливості для пом'якшення завдань нею екологічних збитків існують. Необхідно насамперед забезпечити повне вилучення корисних копалин. Втрати сировини при видобуванні та транспортуванні мають бути мінімальними. Усі супутні продукти видобувної промисловості слід використовувати. Сировина і кінцеві продукти видобувної промисловості повинні правильно зберігатися.

В.І. Савченко (1991) показав на прикладі Східної України повну можливість зниження екологічного ефекту від видобувної промисловості в регіоні. Для цього варто при сейсмозвідці корисних копалин перейти до невибухових методів збудження коливань, при видобуванні корисних копалин не допускати порушень природних водотоків на місцевості, зберігати родючий шар ґрунту, не допускати відкритого витікання нафти й природного газу.

Важливим елементом екологізації виступає розробка технологій виділення та знешкодження відходів. Перш за все, відходів має утворюватися якомога менше. Це досягається шляхом рециклінгу відходів. *Рециклінгом* відходів називають їх повторне використання для отримання корисних продуктів. Схема рециклінгу відходів проста: первинна сепарація в місцях утворення – сортування і неінтегрована переробка – отримання корисних продуктів або матеріалів. Так, підприємства фірми IBM у 1991 році дали 5600 тонн відходів, але 80% із них були знову залучені у виробництво на основі технологій рециклінгу. Переробка відходів на прикладі нафтопереробного підприємства показана на *рис. 13.2*. Розвивається цей напрямок поволі, однак за рециклінгом відходів велике майбутнє.

Є технологічні можливості для зниження викидів оксидів сірки та азоту в атмосферу, їх упродовження дозволить зупинити

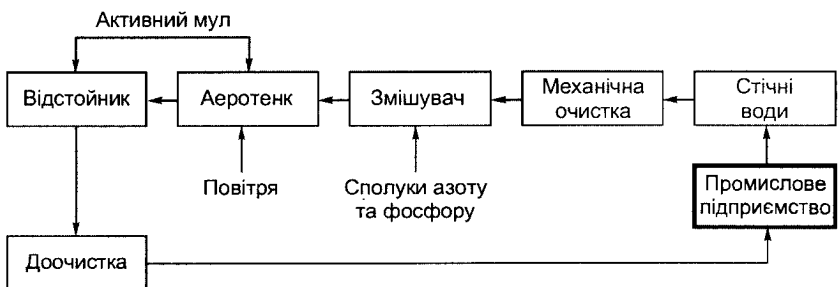


Рис. 13.2. Схема рециклінгу в біохімічному очищенні стічних вод нафтопереробного промислового підприємства

прогресуюче забруднення атмосфери цими газами і знизить частоту випадання кислотних дощів. Заходи, необхідні для цього, не складні. Слід:

- а) надавати для спалювання попередньо збагачене вугілля;
- б) здійснювати очищення нафти від сірки та азоту;
- в) на всіх стаціонарних і пересувних установках оптимізувати режим спалювання кам'яного вугілля й палива, отриманого з нафти, зокрема ефективно збагачення пального воднем;
- г) здійснювати очищення продуктів горіння від оксидів сірки та азоту до того, як вони потраплять в атмосферу.

Технологічні процеси й типи відходів у різних галузях промисловості не однакові. Тому форми їх екологізації різні. У металургійній промисловості це заміна мартенів, де виплавлення сталі триває 8–12 годин, на конвертори, які видають метал кожні півгодини. Впроваджуються установки безперервного розливу сталі, що також забезпечує зниження забруднення навколишнього середовища.

На підприємствах цукрової промисловості екологічну конверсію варто починати з очищення стічних вод, які забруднюють водойми.

Такий спосіб біологічного очищення є більш досконалим. На цукрових заводах Росії та України його почали застосовувати з другої половини ХІХ століття. Для цього створюються поля зрошення, поля фільтрації та біологічні ставки. Створення штучних біоценозів із найпростіших, мікробів і черв'яків значно прискорює розкладання осаду. Від важких металів можна позбутися шляхом осадження їх спеціальними реагентами.

Світовим лідером у галузі екологічної конверсії промисловості є Німеччина. За даними *Е. Шульца* (1992), тут значно знижене використання коксу при виробництві металу (з 850 кг до 359 кг на 1 тону гарячого металу). Упроваджується безперервне розливання, що забезпечує економію енергії. З 1966 року повністю відмовилися від бессемерівського способу отримання сталі. Впроваджені пило- та газоуловлювачі, які знизили викиди пилу до величини не більше 1,4 кг на 1 тону необробленої сталі, тоді як раніше вони перевищували 3 кг.

13.7. ЕКОЛОГІЧНА КОНВЕРСІЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Світову стратегію сільськогосподарського природокористування значною мірою визначає створена в 1945 році при ООН продовольча сільськогосподарська організація – ФАО. Спершу її діяльність оцінювалася позитивно. Але в останні роки зазнали гострої

критики її стратегічні пріоритети: загальний курс на інтенсифікацію сільського господарства, орієнтування країн, що розвиваються, на монокультури, повсюдне впровадження сортів, ігнорування методів рослинництва й тваринництва, вироблених місцевим селянством упродовж століть, тісний зв'язок із хімічною індустрією та політика заохочування поширення пестицидів і синтетичних мінеральних добрив. Саме ці пріоритети привели агроєкосистеми світу до кризової ситуації.

Люзорним виявився й прогрес, досягнутий унаслідок інтенсифікації галузі. Дійсно, за останні 10 років виробництво сільськогосподарської продукції збільшилося на 25%, але ринкові ціни на неї зросли на 100%, а реальні прибутки фермерів – лише на 15%. У зв'язку з цим з 1985 року Європейський Союз проводить нову політику розвитку сільського господарства. Прийнято рішення з 1993 року не засівати 4,2 млн. га земель. Їх можна, як виняток, використовувати лише для вирощування культур із метою переробки на біопаливо. Затверджена програма консервації на 10 років 18,2 млн. га сільськогосподарських земель у США. На резервних землях навіть не дозволяється заготовлювати сіно. Це можна робити тільки в окремі роки, у терміни, коли повністю завершується гніздування птахів, і щоразу з особливого дозволу департаменту землеробства США. Компенсація також виплачується за залуження берегів річок і ставків та за відмову від осушення. Більш того, фермери, які відмовляються від отримання компенсації та не здійснюють цих заходів, втрачають можливість пільгових кредитів і пільгової оплати при продажу продукції. Епоху інтенсифікації сільськогосподарського використання заступає епоха екологічної конверсії землеробства й тваринництва.

Науковий пошук у галузі теорії систем землеробства і відкриття законів землеробства в поєднанні з емпіричними виробничими дослідженнями дозволили виділити цілу групу раціональних засобів, які екологізують агрономію та ведуть до формування концепції екологічно безпечних, безвідходних і ресурсозберігаючих технологій. Як головні напрямки тут визначились:

- 1) турбота про збереження родючості ґрунту;
- 2) використання органічних добрив, сидератів і посівів багаторічних трав;
- 3) застосування мінеральних добрив і хімічна меліорація на суворій науковій основі;
- 4) збільшення частки методів боротьби з бур'янами, шкідниками і хворобами рослин;
- 5) комплекс заходів щодо запобігання ерозії ґрунту, включаючи контурно-меліоративне землеробство, полезахисне лісорозведення, безвідвальний і мінімальний обробіток ґрунту;
- 6) обмеження щодо використання важкої техніки.

У галузі обробітку ґрунту екологічна конверсія має бути застосована, перш за все, до оранки. Звичайним агрегатом, що застосовується для цієї мети, є плуг. Він з'явився ще в Давньому Римі, поступово набув розповсюдження в усьому світі і став своєрідним символом інтенсифікації. Першим проти орного землеробства виступив у Києві в 1899 році *І.Є. Овсінський*. Пізніше американський учений *Е. Фолкнер* (1943) надрукував книгу «Безумство хлібороба-орача», в якій проілюстрував збитки природного середовища, які завдаються оранкою в землеробстві. За наполяганням *Т.С. Мальцева* ця книга була перекладена російською мовою, а *Т.С. Мальцев* (1960–1970) розробив власну систему обробітку ґрунту, яка полягає в періодичному безвідвальному обробітку на глибину до 40 см і регулярних спущуваннях на глибину до 7–8 см.

Подібна система була розроблена і в Україні. Полтавський досвід щодо впровадження регіональної системи ґрунтозахисного безплужного землеробства проводився з 1973 року. Система передбачала відмову від відвальної оранки та заміну плуга плоскорізами та іншим знаряддям. Досвід полтавських землеробів, якими керував *Н.К. Шичула* та *Ф.Г. Моргун*, був оцінений позитивно, і в 1980 році було прийнято рішення про переведення рослинництва Полтавської області на цю систему. До 1984 року система була впроваджена повністю й почала давати непогані економічні показники в поєднанні з екологічною ефективністю. На ланах зменшилася ерозія, почало зменшуватися внесення гербіцидів, стійко падав вміст нітратів у продукції. Але потім, не давши об'єктивної оцінки системі, Південне відділення ВАСГНІЛ відмовилося від продовження спостережень, і почалася оранка ланів. Однак, на доповнення до даних полтавського експерименту, досліді *В.А. Бистрого* та *Л.Л. Поповича* (1992) показали, що безвідвальний обробіток чорноземів лісостепу України підвищує їх екологічну стійкість.

Відповідно до аналізу *А.Г. Терарико* (1991), для України значну перспективу має ґрунто-охоронна система землеробства, в якій до 40–50% ріллі зайнято багаторічними травами, проводиться внесення тільки високоякісних органічних добрив і сидератів, у господарствах витримується оптимальне поголів'я худоби і ретельно контролюється баланс поживних речовин у ґрунті. Але така система на 40–50% знижує продуктивність рослинництва.

Для України розробляється нова система водної меліорації (*П.Н. Коваленко, А.А. Собко* та ін., 1991), яка потребує реконструкції зрошувальних систем. Вона вже розпочата. Наприклад, зрошувальна система «Чорний мочар» після такої реконструкції різко підвищила економічні та екологічні показники. Концепція передбачає перехід до системи малого зрошення, зрошування при-

родних кормових угідь у заплавах, екологізації норм, засобів і термінів поливу, контролю якості води і, зокрема, використання для поливу води з мінералізацією не більше 0,5–1 г/л. Більшою складністю, ніж у рослинництві, відрізняються проблеми екологічної конверсії у тваринництві. Однією з центральних і найбільш складних є проблема встановлення рівноваги між рослинницькою і тваринницькою галузями господарства. Для повної переробки залишків рослин за нормами на 1 га орних земель має припадати в середньому або 2–3 корови, або 5 телиць, або 25 свиней, або 2500 курей. Але поки що в сільському господарстві України це співвідношення різко порушене.

Важливим елементом екологізації тваринництва є знешкодження твердих і рідких відходів та зменшення газоподібних викидів. У наш час гній використовується головним чином як добриво і при цьому погано готується для вивезення на поля. Це спричинює надходження у ґрунт паразитичної мікрофлори, яєць гельмінтів, великої кількості насіння бур'яну. Можливостей для знешкодження такого гною багато. Але найбільш екологічно чистою та економічно вигідною є переробка тваринницьких відходів на біогаз.

Біогаз – це суміш горючих газів, в яких переважає метан, а також присутні сірководень і водень. Розроблена технологія його виробництва з тваринницьких і рослинницьких відходів у так званих метантенках. При дотриманні технології (температура в 35–40°C або 50–55°C, рН – 6,5–8,0 та відсутність у сировині токсичних речовин і антибіотиків) вихід біогазу високий.

Загальна схема установки для одержання біогазу з сільськогосподарських відходів приведена на *рис. 13.3*.

Існуючі в даний час установки по переробці відходів на біогаз є досить компактними. Одна така установка, що займає площу близько 70 м², за добу переробляє 1 т різноманітних сільськогосподарських відходів. При цьому утворюється 40 м³ біогазу, що на 60% складається з метану. Цієї кількості вистачає для того, щоб забезпечити електрикою 10 фермерських родин (з 5–6 чоловік кожна).

Істотне значення має правильне розміщення сільськогосподарських об'єктів. Вони мають споруджуватися на достатній відстані від жилих зон і мати санітарно-захисні зони. Рекомендований розмір санітарно-захисних зон наведено в *табл. 13.1*.

Земельне законодавство України встановлює також і превентивні заходи захисту та охорони земель. Система заходів щодо охорони передбачає:

- раціональну організацію території;
- збереження і підвищення родючості ґрунтів і поліпшення інших корисних властивостей землі;

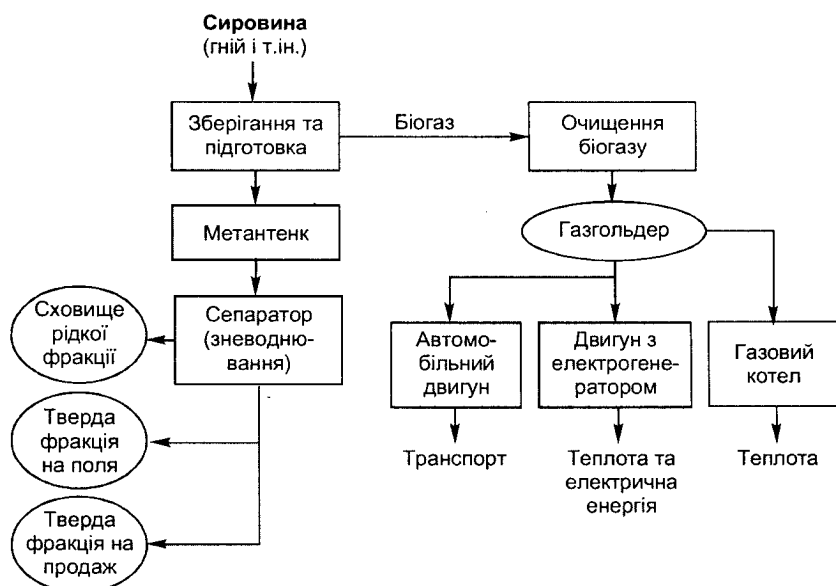


Рис. 13.3. Схема можливих технологічних процесів анаеробного зброджування біомаси

- захист земель від водної та вітрової ерозії, селів, підтоплення, заболочування, вторинного засолення, висушування, ущільнення, забруднення відходами виробництва, хімічними і радіоактивними речовинами та від інших процесів руйнування;
- захист від заростання сільськогосподарських угідь чагарниками і дрібноліссям, інших процесів погіршення культурно-технічного стану земель;
- рекультивацію порушених земель, заходи щодо підвищення їх родючості та поліпшення інших корисних властивостей землі;
- знімання, використання і збереження родючого шару ґрунту при проведенні робіт, пов'язаних із порушенням земель;
- тимчасову консервацію деградованих сільськогосподарських угідь, якщо іншими способами неможливо відновити родючість ґрунтів. Консервація земель передбачає виведення з господарського обороту (сільськогосподарського або промислового) земель на певний термін для здійснення заходів щодо відновлення родючості та екологічно задовільного стану ґрунтів, а також для встановлення або повернення (відновлення) втраченої екологічної рівноваги в конкретному регіоні. Консервація земель рекомендується в тому випадку, якщо здійснення природоохоронних заходів є економічно недоцільним (коли витрати перевищують половину грошової оцінки земельних ресурсів).

Таблиця 13.1. Санітарно-захисні зони для сільськогосподарських підприємств

Сільськогосподарські підприємства і об'єкти	Розмір санітарно-захисної зони, м
Ферми:	
а) конярські і кролівницькі	100
б) великої рогатої худоби, вівчарські, звірівницькі	300
в) птахівницькі	300
г) свинарські	500
Птахофабрики	1000
Ветеринарні лікарні	200
Теплиці і парники:	
а) при біологічному обігріві (гній)	100
б) при біологічному обігріві (сміття)	300
в) при обігріві електрикою, парюю чи водою	не нормується
Цехи з виготовлення кормів:	
а) без використання харчових відходів	не нормується
б) з використанням харчових відходів	100
Підприємства чи цехи з первинної обробки і переробки молока, фруктів і овочів	не нормується
Гаражі і парки з ремонту, технічного обслуговування і зберігання автомобільної і сільськогосподарської техніки (не більше 200 од.)	100
Сховища фруктів, овочів, картоплі, зерна та іншої сільськогосподарської продукції, матеріальні склади	50
Будівлі приватного використання для утримання тварин, птиці, фермерські господарства при квартальній забудові	50
Склади:	
а) для зберігання мінеральних добрив	200
б) для зберігання мінеральних добрив і ядохімікатів до 20 т	200
в) для зберігання ядохімікатів, т:	
від 20 до 50	300
--- 50 --- 100	400
--- 100 --- 300	500
--- 300 --- 500	700
більше 500	1000

Головне в екологічній конверсії – це перехід від інтенсивного сільського господарства до стійкого, екологічно бережливого в усьому різноманітті його форм (табл. 13.2). Екологізація сільського господарства стала привертати до себе увагу ще у 80-ті роки ХХ століття. Чіткий курс на екологічну конверсію сільського господарства взяли країни Європейського Союзу. У США розпочато розробку системи LISA – низьковитратне, стійке сільське господарство, засноване на ресурсах, які відновлюються в межах фермерського господарства і не руйнують природне

Таблиця 13.2. Основні напрямки екологічної конверсії сільськогосподарського виробництва

Стратегічний напрямок	Тактичні завдання
Збереження генетичного і біоценотичного різноманіття	Екологічна експертиза меліоративних систем. Контроль вилучення орних земель під промислові об'єкти, дороги та населені пункти. Перехід до біологічних методів контролю бур'янів і шкідників.
Створення лісолуго-пасовищної рівноваги	Підвищення біологічного різноманіття ландшафтів. Зниження масштабів вітрової і водної ерозії. Лісонасадження в ерозійно небезпечних місцях. Залужування.
Відновлення природних біогеохімічних циклів	Контроль за надходженням органічних речовин до ґрунту. Перехід до оптимальних пасовищних навантажень. Децентралізація тваринництва.
Оздоровлення ґрунтів	Перехід до безлужного землеробства і мінімального обробітку землі. Збереження гумусу в ґрунті шляхом використання органічних добрив, сидератів і живого мульчування. Мінімізація використання пестицидів.
Підвищення коефіцієнту енергетичної ефективності агроєкосистем	Використання енерго- та ресурсозберігаючих технологій. Створення сортів з підвищеним коефіцієнтом використання ФАР.
Підвищення стійкості агроєкосистем	Перехід від інтенсивних систем землеробства до адаптивних і тих, що підтримуються. Створення сортів, пристосованих до полікультур.
Забезпечення екологічної чистоти усіх видів сільсько-господарської продукції	Екологічна експертиза якості продовольства і кормів. Широке застосування біометоду для боротьби з бур'яном та шкідниками.

середовище. У цій країні створений спеціальний комітет сприяння альтернативному сільському господарству. Стійке, екологічно нешкідливе сільське господарство важливе не лише тому, що зберігає базу сільськогосподарського виробництва для майбутніх поколінь людей. У ньому закладений соціальний, гуманітарний і культурний зміст. Це той тип виробництва, що відповідає рівню загальної цивілізованості людини.

13.8. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Традиційно людство для отримання енергії користувалося лише двома джерелами. Спочатку це було спалювання деревини, пізніше – викопного палива. Їх лише частково доповнювало використання енергії текучої води. Отримання енергії за рахунок спалювання викопного палива супроводжується значним забрудненням природного середовища. Тому наприкінці ХХ століття було висунуто на порядок денний пошук альтернативних способів отримання енергії – перш за все, електрики і

тепла. Але як традиційні, так і альтернативні енергоджерела мають свої плюси й мінуси з точки зору екології.

Атомна енергетика. Атомні електростанції (АЕС) мають чимало уявних переваг: займають мало площі, низьковідходні, у них немає безпосередніх викидів пилу, вуглекислого газу, оксидів сірки та азоту і т.ін. Паливо, на якому вони працюють, має високу теплотворну здатність, властивість до бридінгу, тобто відтворюється в процесі роботи АЕС. За станом на 1990 рік у світі працювало 430 атомних реакторів, які виробляли приблизно 400 МВт енергії.

Але атомна енергетика має чимало й вразливих місць. ККД сучасних АЕС щодо випалювання палива всього 30–40%. АЕС потужністю в 1 тисячу МВт на рік споживає 30 т урану й дає у вигляді відходів 300 кг плутонію і 1100 кг інших речовин, що розкладаються. До цього часу не розроблені способи їх знешкодження. При роботі АЕС вилучається досить багато води. Здійснюються також експлуатаційні радіоактивні викиди. Відходи від АЕС, по суті, становлять велику небезпеку для людства, більше, ніж навіть окремі аварії на них.

Гідроенергетика. ГЕС виводить з ладу великі площі землі, цінної для сільського господарства. Наприклад, будівництво греблі на Дніпрі призвело до втрати величезних територій заплавних високородючих земель. Але екологічно ГЕС чисті та мало відходні.

Теплові електростанції. ТЕС працюють на викопному паливі. Виробництво енергії на ТЕС є екологічно найбруднішим: спалювання 1 т кам'яного вугілля приводить до утворення 1,5 кг оксидів азоту, 9 кг оксиду вуглецю і 13 кг оксидів сірки. Великі ТЕЦ скидають до 90 м³/с теплої води. Хоча можливості зниження екологічних збитків від них більші, оскільки паливо можна готувати до спалювання, збагачувати, очищати від сірки. У майбутньому, безумовно, доведеться відмовитися від прямого спалювання кам'яного вугілля. Його доцільно попередньо газифікувати, що робить нешкідливими продукти згорання й дозволяє отримувати корисні матеріали: смолу, масло, аміак, сірку.

Вітрові електростанції. ВЕС – екологічно чисті і дають дешеву енергію. Але ідея не нова. Перший проект промислової ВЕС на 12 МВт був розроблений *Ю.В. Кондратюком* ще в 1932 році. Перша вітрова електростанція потужністю на 100 кВт була запущена в Криму в 1931 році. Вона працювала до 1942 року. На сучасних ВЕС в Данії вартість одного кіловата енергії можна порівняти з електростанцією, що працює на вугіллі, і нижча, ніж на ЕС, що працює на нафті. Великі ВЕС займають велику площу, досить шумні, створюють радіоперешкоди і небезпечні для птахів.

Таблиця 13.3. Виробництво електроенергії на вітрових електростанціях у різних країнах

Країна	Виробництво електроенергії, МВт
Німеччина	4445
Данія	1742
Іспанія	1530
Нідерланди	410
Великобританія	356
Швеція	220
Італія	211
Греція	87
Португалія	60
Австрія	42
Фінляндія	38
Франція	23
Норвегія	13
Туреччина	9
Україна	8
Польща	7
Росія	5
Швейцарія	3
Румунія	1

Таблиця 13.4. Загальна площа сонячних колекторів, які використовуються для одержання гарячої води в деяких країнах світу у 1999 році

Країна	Загальна площа колекторів (м ²)
Китай	5 000 000
Німеччина	420 000
Греція	160 000
Австрія	141 000
Італія	22 000
Великобританія	9 000

Тим не менше при правильному їх розміщенні ВЕС є серйозною альтернативою тепловим електростанціям і АЕС. На сьогодні вони прогресивно розвиваються (табл. 13.3), і на 2000 рік на ВЕС вироблялося вже близько 10 тисяч МВт енергії.

Сонячні електростанції. СЕС, які користуються невичерпним джерелом енергії – сонячною радіацією, мають значну перспективу. Хоча вони займають великі площі (для електростанції в 1 млн. кВт необхідна була б площа у 35 км²) і матеріалоемні, але процес їх експлуатації найбільш екологічно чистий. СЕС не мають рухомих частин, довговічні, не створюють небезпечних відходів. Зараз в одній лише Європі для нагрівання води і одержання електроенергії використовуються сонячні колектори загальною площею 10 млн. м². Лідирують у цьому відношенні Китай, Німеччина, Греція (табл. 13.4). Високий потенціал сонячної енергії має Україна (рис. 13.4), але використовує його поки не повною мірою.

У ряді районів екологічно та економічно вигідними можуть бути:

а) геотермальні електростанції, що працюють за рахунок теплового градієнту;

б) електростанції, що використовують глибинний градієнт температури морської води;

в) електростанції, які працюють за рахунок енергії припливів та відпливів.

Але геотермальні електростанції збільшують сейсмічну активність району, можуть викликати

локальні осідання ґрунту, а їх робота супроводжується тією чи іншою кількістю токсичних газів, що викидаються в атмосферу. Собівартість геотермальної енергії зростає через швидку корозію обладнання, оскільки геотермальні води звичайно мають високий вміст сірки.

Визначаючи стратегічні шляхи розвитку енергетики, доводиться зважати на те, що отримання енергії з невідновлюваних джерел обмежене наявністю сировини. Екологічна конверсія потребує широкого впровадження біоенергетичних технологій. Деревина та інші види біомаси є непоганим джерелом енергії, її можна:

- а) спалювати;
- б) переробляти на біогаз;
- в) переробляти на спирт, який придатний для спалювання у двигунах внутрішнього згорання.

Як енергетична сировина дуже вигідний етанол. Він найменше забруднює навколишнє середовище продуктами згорання, енергоємний, але дорогий у виробництві.

Серйозно вивчаються можливості водневої енергетики. Водень можна отримувати гідролізом води з використанням сонячних електростанцій, а потім транспортувати у місця споживання. Спалювання водню практично не дає шкідливих викидів. Вивчається можливість отримання водню й біотехнологічним способом, за рахунок життєдіяльності фотосинтезуючих бактерій.

На думку *В.А. Осадчука* та *Ю.А. Юхнова* (1991), проблеми енергетики України можуть бути досить успішно вирішені вже до 2015 року шляхом:

- а) реконструкції всіх гідровузлів;
- б) збереження великих ГЕС для задоволення потреб в енергії у години пікових навантажень;
- в) переходу на отримання енергії, головним чином, у системі малих і середніх ГЕС, які відповідають гідроресурсам України.

І, звісно, будь-які види енергії мають витрачатися дуже бережливо.

13.9. ПРОГРАМА ЕКОЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

З набуттям державної незалежності розпочався процес соціально-економічного розвитку України. Він тісно пов'язаний з екологічною конверсією всіх галузей народного господарства. Необхідність екологічної конверсії витікає з особливостей економіки України, яка перенасичена ресурсоемними та енергоємними виробництвами.

Специфічною проблемою України є повернення в господарське використання земель, що постраждали від Чорнобильської аварії. У цьому напрямку ведеться велика робота. Так, розроблюються способи знезараження м'яса (І.І. Довгий, 1991; Уебб, 1991 та ін.). Встановлено, що при мокрому засолюванні за спеціальною технологією вдається вивести до 70–80% цезію. При годуванні овець особливим препаратом є ферогексаціаноферат амонію, молекули якого зв'язують цезій-137 ще в шлунку тварин, а самі не засвоюються і в кров'яне русло не надходять. Цей препарат вводиться в спресованому стані й зберігає свою активність в організмі протягом двох місяців.

Для України в умовах приватизації актуальним є розв'язання екологічних проблем на малих підприємствах. Тут необхідне, особливо на перших етапах, цільове державне субсидування, допомога з боку місцевого бюджету, а також система безпроцентних кредитів і позик для впровадження та використання екологічно безвідходних технологій. В Україні як в одній з держав, що мають високий природний потенціал для виробництва сільськогосподарської продукції, на думку Н.Н. Якубовського (1993), актуальною є розробка екологічно обґрунтованої стратегії та концепції хімізації сільського господарства.

Міністерством екобезпеки України розроблена Концепція національної програми охорони природного середовища в Україні. Вона проголошує пріоритет екологічних імперативів у структурній трансформації економіки країни, висуває програму глибокої реформи існуючої практики природокористування. Основними напрямками екологізації економіки є:

- 1) відмова від розширення діючих і спорудження нових екологічно небезпечних підприємств на території України;
- 2) планомірна екологізація сільськогосподарського виробництва;
- 3) обов'язковість екологічної експертизи всіх підприємств і виробництв, що відкриваються;
- 4) створення правової та нормативної бази для екологічного контролю промисловості й сільського господарства;
- 5) введення адміністративної та економічної відповідальності за забруднення навколишнього середовища.

Основними пріоритетами в національній політиці України в галузі охорони навколишнього середовища є:

- 1) підтримка екологічних процесів у природних системах території держави;
- 2) збереження біологічного різноманіття в біоценозах;
- 3) оптимізація користування природними ресурсами;
- 4) забезпечення майбутніх поколінь громадян України сприятливим навколишнім середовищем.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення понять «екологічна конверсія», «екологічна рівновага» та «екологізація».
2. Назвіть фактори, які в аграрних країнах, що розвиваються, сприяють виникненню багатодітних сімей.
3. Якими проблемами займається соціальна екологія?
4. Що таке «екологічний паспорт», які матеріали він містить?
5. Назвіть способи використання сонячної енергії.
6. Дайте порівняльну характеристику альтернативним способам отримання енергії з погляду збереження якості природного середовища.
7. Виділіть основні компоненти процесу екологічної конверсії промислового виробництва.
8. Охарактеризуйте основні положення Концепції національної програми України з охорони навколишнього природного середовища.

Питання для обговорення

1. Чи бажана і необхідна, на вашу думку, екологічна революція?
2. Чи можна застосувати в екології «класовий» підхід?
3. Як ви гадаєте, чи може сприяти стійкому розвитку цивілізації дотримання законів і принципів екології?
4. Яка ваша думка щодо можливості здолання споживацьких пріоритетів у розвитку суспільства?
5. Яка роль релігії в поліпшенні екологічної ситуації в Україні?
6. Розгляньте екологічні переваги безвідходних і маловідходних технологій.
7. Розгляньте економічні та екологічні переваги і недоліки ядерної енергетики. Як ви оцінюєте її перспективність для України?
8. Назвіть альтернативні способи отримання енергії та оцініть їх перспективність для енергетики XXI століття.

14 | Принципи раціонального природокористування та охорони природи

14.1. ЕКОЛОГІЯ І МОРАЛЬНІСТЬ. ЦИВІЛІЗОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ УГІДЬ

Ще на початку XVII століття англійський філософ *Ф. Бекон* у «Новій Атлантиді» писав, що головним завданням науки є забезпечення панування людини над природою. Технократична стратегія розвитку цивілізації протягом XVII–XX століть посилила уявлення про те, що людина начебто «мірило всіх речей» і центр всесвіту. Проблема формування екологічної культури постала, по суті, ще наприкінці XX століття, коли в 1992 році конференція ООН визначила формування екологічної культури населення планети як головне пріоритетне завдання людства.

Екологічна культура – це внутрішня суть людини і людського суспільства, що знаходиться «всередині нас» і проявляється в певних діях щодо природи. На відміну від цього існує немовби «зовнішня культура» як сукупність цінностей, створених протягом розвитку людської цивілізації. Наша епоха – час великої дисгармонії між зовнішньою культурою, що проявляється в здатності людини створювати видатні твори мистецтва, і внутрішньою культурою, дефіцит якої викликав глобальну екологічну кризу.

Існує чимало й інших підходів до розуміння поняття «екологічна культура». Відомий філософ *Л.М. Гумільов* (1992) вважав, що екологічна криза є результатом етногенезу, який у своїх фінальних фазах характеризується зниженням рівня етносоціальної пасіонарності й веде до хижачького знищення живої природи. Концепція ексцентричної екологічної етики *А. Леопольда* (1933–1943) заснована на наступному принципі: дії, пов'язані з впливом на навколишнє середовище, тільки тоді вірні, коли в результаті їх реалізації зростає інтегрованість і стабільність біологічних угруповань. *Роджер Ладен* (1992) формулює ідею біоцентризму, відповідно до якої існує два центри моральної відповідальності – відповідальність за людину та відповідальність

за природу. А неоантро-поморфічна етика розглядає природу як самостійну «річ у собі» з власною моральною значущістю.

Виходячи з категоричного імперативу *Е. Канта* як сукупності правил, завдяки яким випадковий вчинок робиться закономірним, слід ввести поняття екологічного імперативу як загального обов'язкового морального закону, якому повинні підкорятися люди у взаєминах із живою та неживою природою.

У наш час багато екологічних принципів і вимог не діють, оскільки вони чужі технократичному суспільству, а в людей не вироблено звички до дій, що впливають з екологічного імперативу. Дефіцит екологічних знань і екологічної культури проявляє себе в тому, що екологічна інформація не включається в споживацьку сферу особистості. Люди розуміють, що промислове і сільськогосподарське виробництво забруднює середовище життя, але не хочуть відмовитися від екологічно небезпечних виробництв та їхньої продукції. Хоча ще в 1913 році *Л.М. Толстой* писав: «Питання полягає в тому, що визначити добробутом – або покращання шляхів сполучення, поширення книгодрукування, освітлення вулиць газом, розмноження будинків притулку для бідних і т.д., або первісне багатство природи – ліс, дичина, риба, сильний фізичний розвиток, чистоту звичаїв і т.п.».

Моральне ставлення до природи включає три взаємопов'язані аспекти:

1) релігійний, що спирається у своїх рекомендаціях про бажаний тип взаємовідносин людини з природою на принципи тієї чи іншої релігії;

2) гуманістичний, що має у своїй основі розуміння того, що шкода, заподіяна навколишньому середовищу, рівноцінна шкоді, заподіяній майбутнім поколінням людей;

3) моральний, що допускає рівноцінність усього живого.

Ключовим моментом є їх функціонування в одному напрямку, до цього докладаються певні зусилля. У 1986 році була надрукована спільна Декларація п'яти світових релігій про духовну відповідальність віруючих за стан природного середовища. У 1988 році в спільній заяві Папи Римського і Далай Лами знову була підтверджена орієнтація християнства і буддизму на розв'язання та вирішення природоохоронних проблем. У цілому, сучасна церква чітко визначила свою позицію у сфері охорони природи, визнавши, що Бог створив людину як частину природи, і запропонувала віруючим керуватися заповіддю: «Борони й оберегай Землю і все на Землі».

Екологічна криза має не тільки техногенні причини, вона впливає з низької екологічної культури населення. Забезпечити екологізацію суспільної свідомості може тільки система екологічної освіти і виховання. Особливу небезпеку становить розрив між

екологічними знаннями і можливістю керівників приймати управлінські рішення. До початку 1990-х років цій сфері приділялося мало уваги. У наш час навчальні екологічні програми розробляються багатьма міжнародними організаціями. Вони є в Австралії, Канаді, США, Японії. Серйозну орієнтацію на створення системи сучасної екологічної освіти прийняла Україна. У країнах Європейської Ради до останнього часу існувало 776 навчальних екологічних програм, розрахованих на термін від 2 до 72 годин.

Однак логічно чіткої та ефективної системи екологічної освіти і виховання немає, по суті, у жодній країні світу. Для забезпечення результативності екологічної освіти, як підкреслювали *К.М. Хайлов* і *А.Є. Зоренко* (1991), необхідний міждисциплінарний синтез і вивчення екології разом з іншими науками про природу, потрібна опора екологічних знань на закони природи і закони розвитку соціуму.

Біосфера Землі і частина прилеглого до неї космічного простору є не тільки цариною реалізації технічних можливостей людини. Це ще й об'єкт застосування певних етичних ідей.

Досвід свідчить, що моральна зрілість громадського суспільства багато в чому визначається рівнем освіти. У примітивних людських суспільствах екологічна освіта здійснювалася шляхом прямої передачі способу життя і поведінки від батьків до дітей. Епікур учив, що «не слід силувати природу, варто коритися їй». У сучасному суспільстві, відчуженому від природного середовища, ці заповіді забуті. Екологічна освіта втратила ефективність. Потрібен докорінний перегляд принципів екологічної освіти від дошкільної сімейної до вищої професійної. Вона має дієво працювати на одну мету формування біосферної етики. І «зелені класи» на зразок школи *В.О. Сухомлинського*, і природоохоронне краєзнавство, і екскурсії, і туризм, і дієва участь у різних екологічних громадських рухах – усе має знайти в ньому своє розумне місце. Зокрема, в Україні з 1947 року працює Українське суспільство охорони природи, з 1987 року функціонує асоціація «Зелений світ».

Проте формування біосферної етики не можна звести до самої лише екологічної освіти. Тут необхідне поєднання раціональних і емоційних впливів. Без формування соціально-екологічного ідеалу як загальнолюдської цінності не можна розв'язати проблеми біосферної етики.

Безумовно, наші предки вели своє господарство більш екологічними методами порівняно з технологіями ХХ століття. Незримі нитки, що зв'язують людину з природним середовищем були більш чисельними і міцними. Народні звичаї всіх націй були націлені на збереження живої природи і її багатств. І тепер, як ніколи

раніше, стають актуальними слова *Жана-Жака Руссо*, сказані їм ще два сторіччя тому: «Найменша зміна звичаїв, нехай навіть вигідна в певному відношенні, завжди на шкоду моралі, тому що звичаї є мораллю народу, і, як тільки він припиняє дотримуватись їх, у нього залишається лише одне правило – його власні пристрасті, лише одне гальмо – закони. Утім, як тільки філософія навчить народ нехтувати звичаї, він невдовзі відкриє секрет, як обходити закони. Тому я кажу, що традиції народу – це його честь, це скарб, який треба берегти і який, втративши один раз, уже більше не знайдеш». Сучасне суспільство вже чимало втратило з екологічних звичаїв і традицій. Залишається зберегти те, що поки зберігається, і відродити екологічну мораль наших предків, що надійно служила їм упродовж багатьох сторіч.

14.2. ПРИРОДООХОРОННІ КОНЦЕПЦІЇ

Ідею охорони природи висловив уперше *Ж.Ж. Руссо*, але загальне визнання вона отримала після 1-го Міжнародного з'їзду з охорони природи, який відбувся в 1913 році у Швейцарії. У 1980 році була проголошена Всесвітня стратегія охорони природи та природних ресурсів. У 1982 році на пленарному засіданні ООН було прийнято Світову хартію охорони природи, яка стала документом світового значення. У наш час під охороною природи розуміють систему наукових знань і практичних підходів до раціонального використання природних ресурсів, захисту природного середовища від антропогенної деградації та збереження видів флори і фауни від знищення. Охорона всіх природних систем і об'єктів стала особливою актуальною у 80–90-х роках ХХ століття.

Стратегія охорони природи включає в себе: а) збереження біологічного різноманіття в природних біомах, б) вирощування рослин і розведення тварин у ботанічних садах і зоопарках, в) реінтродукцію рослин і тварин у місцях їх попереднього проживання, г) тривале збереження генетичної інформації у формі кріобанків – глибоко заморожених статевих або соматичних клітин.

Швидка антропогенна зміна природного середовища привела до необхідності збереження його еталонів, які по можливості ще не зазнали таких впливів. Основи теорії еталонів природи заклав *В.В. Докучаєв* у книзі «Російський чорнозем», що вийшла друком у 1883 році. На основі цієї теорії сформувалася система створення заповідних територій різних рангів. Новим підходом в охороні природи є створення так званих місць проживання видів. Це раціональний метод, оскільки в багатьох випадках види вимирають не в результаті прямого знищення людиною, а в результаті руйнування їх місць проживання.

Території, що охороняються, мають бути досить великими, їх розчленування, так звана інсуляризація, веде до втрати потрібних живим організмам місць існування. У дрібних резерватах природне середовище швидко погіршується, тут мало екотонів, неможлива міграція тварин. Розробка теорії охорони природи привела до висновку, що на локальному рівні неможлива охорона місць проживання або окремих видів живих організмів від забруднення глобального характеру. Заповідники та інші території, що охороняються, так само, як і ті, що не охороняються, чутливі до впливу кислотних дощів, забруднення ґрунту і ґрунтових вод.

Природно-заповідна мережа України є основною ланкою охорони біорізноманіття і ландшафтного різноманіття нашої держави. За роки утворення і становлення української держави кількість природно-заповідних територій невпинно зростає. Цей показник уже наближається до відповідного співвідношення в центральноевропейських країнах.

Особливого значення набуває природно-заповідна мережа України як основа екологічної мережі держави. Закон України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки» передбачає відповідно до рекомендацій Всеєвропейської стратегії збереження біологічної і ландшафтного різноманіття (1995 р.) формування екологічної мережі як частини єдиної просторової системи території країн Європи з природним або частково зміненим станом ландшафту. Території та об'єкти природно-заповідного фонду є основними природними елементами екологічної мережі і складають її природні ядра, входять до інших елементів цієї мережі.

Нині спостерігається значне поживлення міжнародних зв'язків у питаннях заповідної справи. Україна приєдналася до ряду важливих міжнародних конвенцій і взяла певні зобов'язання, для виконання яких була прийнята низка урядових документів – про концепцію збереження біологічного різноманіття, про водно-болотні угіддя загальнодержавного значення тощо. Посилився обмін міжнародним досвідом, звичними стали проведення спільних досліджень, у тому числі й зі створення транскордонних природоохоронних об'єктів, приєднання до міжнародних природоохоронних акцій.

Значення природно-заповідних територій нині зростає у всьому світі. В п'ятнадцяти країнах Європейського Союзу прийнята програма «NATURA 2000». Рада міністрів Євросоюзу в межах цієї програми надає великого значення створенню мережі територій, що охороняються, на території країн, які входять до складу Союзу. Ця мережа має відігравати ключову роль в охороні природних комплексів країн Союзу в ХХІ столітті, а в поєднанні

з екологічною мережею (Emerald) буде знаряддям для охорони біорізноманіття всієї Європи. Кожна держава може вибрати методи, способи та механізми, які буде застосовувати для охорони природи на своїй території з розв'язанням наукових, економічних, суспільних, культурних проблем. Формування мережі природно-заповідних територій є інтегральною частиною раціонального використання землі, вона повинна функціонувати в рівновазі з багатьма напрямками господарства і соціального життя. Основними напрямками формування природоохоронної мережі «NATURA 2000» є охорона місцезнаходжень (біотопів) рідкісних рослин і тварин, рідкісних рослинних угруповань, насамперед, характерних для регіонів Європи альпійських, атлантичних тощо – усього близько 200 типів біотопів. Особливої охорони в Європі потребують місця поселення птахів, із яких 181 вид в Європі знаходиться під загрозою і потребує спеціальної охорони.

14.3. ОХОРОНА ГЕНОФОНДУ. ЧЕРВОНА КНИГА УКРАЇНИ

Одним із найбільш важливих завдань охорони природи є збереження біологічного різноманіття. У прийнятті концепції охорони біологічного різноманіття велику роль відіграла Конвенція про біологічне різноманіття, схвалена на Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку в 1992 році. До кінця 1993 року Конвенцію про біологічне різноманіття підписали 167 держав світу.

Починається охорона біологічного різноманіття зі збереження генофонду живих організмів планети. Збереження має стосуватися всіх живих істот планети. Кількість їх видів, до речі, ще точно не визначена і лежить між 5 і 80 мільйонами, що пов'язано з різним трактуванням спеціалістами обсягу видів вірусів і бактерій. На території України проживає 45 тисяч видів тварин, у тому числі 17 видів земноводних, 20 – плазунів, близько 400 видів птахів, 200 – риб. Флора вищих рослин налічує 4997 видів. В охороні загального біологічного різноманіття, за справедливим зауваженням *В.М. Тихомирова (1990)*, ключову роль відіграє збереження рослинного покриву, який здійснює первинний синтез органічних речовин та є їжею для тварин. Без збереження рослин і рослинності неможливо зберегти види тварин.

Види живих організмів, що потребують охорони, звичайно поділяються на п'ять категорій: зникаючі, ті, що знаходяться під загрозою знищення, рідкісні, повністю зниклі та з невизначеним ще статусом.

Міжнародний Союз охорони природи запропонував близький, але більш детальний поділ видів на вісім категорій:

1) вимерлий (EX);

2) вимерлий у дикому стані (EW), зберігається тільки в культурі (рослини) або одомашненому вигляді (тварини);

3) зазнає критичної небезпеки (CR); вид знаходиться в стані надзвичайного ризику повного вимирання через скорочення кожного місцеперебування до площі менше 10 км² при фрагментації популяції, а також популяції, що складаються менш ніж з 50–250 особин;

4) зазнає небезпеки (EN); вид не знаходиться в критичному стані, але його популяція за останні десять років має тенденцію до зменшення на 50%, а також види з кожним місцеперебуванням не більше 500 км²;

5) вразливий (VU); чисельність виду скорочується за останні 10 років приблизно на 20%;

6) таксон низького ризику (LR); поділяється на три підкатегорії:

а) залежний від збереження (cd); вид, що активно охороняється і при знятті режиму охорони переходить в одну з вищих категорій;

б) знаходиться в стані, близькому до загрозливого (nt);

в) викликає найменше занепокоєння (lc);

7) недостатньо даних (DD);

8) неоцінений (NE).

Анахронізмом, не сумісним із сучасними екологічними знаннями, є поділ живих організмів на корисні та шкідливі. У трофічних мережах і екосистемах усі вони «корисні», а, головне, незамінні, виконують кожен свою специфічну біосферну функцію.

Перелік видів рослин і тварин, що потребують охорони, наводять у так званих Червоних книгах. Перша Червона книга була видана в 1966 році з ініціативи Міжнародного союзу охорони природи і природних ресурсів (МСОП). Червоні книги видають у багатьох державах. У Червоній книзі України знаходиться 429 видів судинних рослин, 28 видів мохів, 30 видів грибів, 27 видів лишайників і 17 видів водоростей та 382 види тварин. Створення Червоних книг є одним із методів зниження темпів антропогенного вимирання живих організмів. Але не можна допустити, як писав А. Яблоков ще в 1989 році, щоб вони перетворилися в «надмогильні плити» зниченим видам рослин і тварин.

Види живих істот можуть охоронятися методом біотехнологій. Тут існує два основні прийоми.

1. Збереження сперми, ембріонів або ДНК у стані глибокого охолодження. У рослин може зберігатися насіння. Така технологія глибокого заморожування сперми, яйцеклітин та ембріонів в

рідкому азоті була розроблена ще в 1960-ті роки. Ембріони можна потім імплантувати в матку особин близьких видів і отримати потрібні особини в бажаній кількості. Так, на Кубанській станції Інституту рослинництва ім. Н.І. Вавилова під землею за постійної температури + 4,5°C зберігається більше 400 зразків насіння. У ФРН із 1985 року створюється банк зразків навколишнього середовища, що зберігаються при температурі рідкого азоту.

2. Трансплантація ембріонів рідкісних тварин, популяції яких стали такими малими, що в них не вистачає самиць для виношування потомства.

Спеціальною формою охорони природи є переселення рослин, птахів і ссавців. Використовують два способи: акліматизацію та реакліматизацію. Акліматизація – це процес переселення рослин і тварин у нові умови існування. Реакліматизація – переселення видів на ті території, де вони жили раніше, але потім були знищені. Прикладом успішної реакліматизації є відновлення популяцій бобрів на території України. У період із 1973 року в США, Австралії та Канаді було проведено переселення 93 видів тварин у нові місця.

14.4. ОХОРОНА ЦЕНОФОНДУ. ЗЕЛЕНА КНИГА УКРАЇНИ

Зниження біологічного різноманіття на планеті пов'язане з деградацією біомів і, у першу чергу, угруповань рослин – фітоценозів. Деградація природних систем – це загальне явище, і тому ценози потребують охорони не менше, ніж окремі види. Більш того, така охорона більш актуальна, оскільки поза ценозами види існувати не можуть.

Відповідно до концепції, висунутої В.А. Кордюмом (1982), елементарними одиницями еволюції виступають не окремі види, а вся біосфера в цілому, невід'ємною частиною якої є рослинні угруповання. З уявлень В.А. Кордюма випливає, що зникнення і спрощення рослинних угруповань знижує загальну інформаційну ємність біосфери, знищує центри створення нової інформації і в кінцевому результаті робить усю біосферу менш здатною до адаптаційної мінливості. Очевидний і ресурсо-економічний аспект зниження ценотичного різноманіття.

Проблема охорони рослинних угруповань пройшла три етапи. На першому етапі відбувалося вивчення особливостей рідкісних ценозів. На другому етапі почалась їх пасивна охорона шляхом включення в території заповідників або національних парків. І тільки на третьому етапі, етапі активної охорони, постав-

лено завдання зберегти фітоценофонд планети як сукупність фітоценотичних таксонів. Українські ботаніки першими у світі поставили питання про необхідність охорони рослинних угруповань і розробили методологічну основу їх реєстрації у вигляді продромусів і Зеленої книги. Перший список рідкісних рослинних угруповань Карпат, які потребують охорони, був надрукований у 1977 році *С.М. Стойко*, а перша Зелена книга України була видана в 1987 році.

Зелена книга України виділяє як рідкісні та зникаючі ценози (усього – 127), що потребують охорони, так і типові ценози різного рангу. Серед них лісових угруповань – 51, степових – 26, лугових – 16, водних – 16, болотних – 12 і чагарникових – 5. Охорона рідкісних ценозів може здійснюватися тільки як частин відповідних екосистем і ділянок біосфери.

14.5. ОХОРОНА ЕКОСИСТЕМ. НАЦІОНАЛЬНІ ПАРКИ, ЗАПОВІДНИКИ, ЗАКАЗНИКИ, ПАМ'ЯТНИКИ ПРИРОДИ, ЕКОЛОГІЧНІ СТЕЖКИ

Охорону екосистем, включаючи всі їхні живі компоненти, покликані здійснювати так звані охоронні території. За даними *Дж. Раулі*, на 1992 рік у світі під різного виду охороною знаходилося приблизно 5% площі суходолу. У ХХІ столітті передбачається довести цю величину до 10–12%, тобто подвоїти. Це не просте завдання, оскільки його розв'язання потребує вилучення з використання частини земель сільськогосподарського та лісового фонду.

Чітка класифікація категорій охоронних природних об'єктів у світі відсутня. Так, у Канаді під національним парком розуміють територію, що достатньо велика для підтримки існування цілих екосистем; там заборонений рух будь-яких видів транспорту і є зони, повністю закриті для відвідування. А у Великобританії національний парк визначають як ландшафт, що охороняється і виділяється своєю красою та має охоронні об'єкти природи або історичні архітектурні пам'ятники; він вільний для відвідування населенням і частково використовується для сільськогосподарських потреб.

Розподіл за категоріями охоронних природних об'єктів і територій розроблений у Законі України «Про природно-заповідний фонд». Ці об'єкти поділяються на природні та біосферні заповідники, національні природні парки, заказники, заповідні урочища, пам'ятники природи та ін.

Природний заповідник – це територія, яка виділяється для охорони в природному стані типових або унікальних для даної

ландшафтної зони природних комплексів з усіма її компонентами. Статус природного заповідника передбачає повну заборону на його території господарської діяльності. У світі є понад 2 тисячі природних заповідників.

Біосферний заповідник – це територія міжнародного значення, що виділяється для збереження в природному стані ділянок біосфери, проведення фонових моніторингу і вивчення природного навколишнього середовища. Господарська діяльність у біосферних заповідниках не дозволяється. За станом на 1990 рік у 76 країнах світу було близько 300 біосферних заповідників. Площа кожного з них коливається від 300 га до 2 млн. га.

Національні природні парки створюються з природоохороною, рекреаційною, культурно-просвітницькою та науково-дослідницькою метою для охорони й вивчення природних комплексів особливого значення в місцях, які мають природну, оздоровчу, культурну або естетичну цінність. У них виключена господарська діяльність. Концепція національного парку була вперше сформульована в 1872 році при організації в США Йеллоустонського національного парку.

Національний парк – це завжди велика територія, на якій охороняються ландшафти або їх ділянки разом з усіма природними компонентами. У природних національних парках поєднується охорона природи із завданням відпочинку людей та їх екологічного виховання. Для цього в них створюються системи спеціальних доріг і стежок. До початку ХХ століття в шести країнах світу вже було 19 національних парків загальною площею 4,6 млн. га.

Регіональні ландшафтні парки створюються з природоохороною та рекреаційною метою в місцях з унікальним або типовим ландшафтом. При організації таких парків господарська діяльність у межах їх кордонів не припиняється, їхнє завдання – зберегти ландшафт як комплекс екосистем. У світі налічується зараз близько 300 ландшафтних парків.

Заказник – це природна територія або акваторія, що виділена для збереження окремого природного комплексу або навіть окремого його компоненту. У них дозволяється господарська діяльність, що не завдає шкоди об'єкту, який охороняється. Заказники служать для охорони й відновлення чисельності окремих видів рослин або тварин. Залежно від об'єкту охорони, заказники поділяють на ландшафтні, геологічні, гідрологічні, ботанічні, зоологічні, палеонтологічні.

Пам'ятки природи – це окремі унікальні природні ділянки, які мають особливе наукове, естетичне або пізнавальне значення. Пам'ятниками природи можуть бути об'єкти живої або неживої природи: окремі водойми, скелі, печери, дерева і т.п.

Заповідні урочища – це ділянки лісу, болота, луків, степу та іншої рослинності, які мають наукове або естетичне значення та охороняються для збереження їх природного стану.

Ботанічні сади організують для вирощування, акліматизації та вивчення рослин у спеціально створених умовах. В Європі налічується 540 ботанічних садів, а у світі 1600.

Дендрологічні парки служать для охорони і вивчення в спеціально створених умовах деревно-чагарникової рослинності з метою використання їх композиції для наукового, господарського та естетичного використання.

Зоологічний парк – це місце, де утримуються рідкісні, іноземні та місцеві види фауни з метою охорони їх генофонду та для організації наукової і просвітницької діяльності.

Пам'ятники садово-паркового мистецтва являють собою ділянки, що мають природну, естетичну або історичну цінність. В Україні прикладами пам'ятників садово-паркового мистецтва є «Софіївка» в м. Умань та «Олександрія» в м. Біла Церква.

Сучасна класифікація природно-заповідного фонду України відповідає міжнародним концепціям організації заповідної справи. За класифікацією МСОП виділяється 6 категорій захищених територій: I – природний резерват, що суворо охороняється; II – національний парк; III – пам'ятка природи; IV – резерват збереження природи; V – захищений ландшафт або захищена морська акваторія; VI – захищена територія як територія збалансованого використання природних екосистем (захищені території для менеджменту природних ресурсів з метою забезпечення сталого розвитку використання природних екосистем).

Із зазначених вище міжнародних категорій МСОП за функціональним значенням відповідають територіям і об'єктам природно-заповідного фонду України I–V категорії.

I категорія – природні резервати. До неї належать 16 заповідників, заповідні зони 4-х біосферних заповідників.

II категорія – національні парки. Сюди належать 11 національних природних парків, понад 30 регіональних ландшафтних парків.

III категорія – пам'ятки природи. Сюди належать пам'ятки природи загальнодержавного та місцевого значення.

IV категорія – об'єкти охорони біотопів і видів. Їй відповідають дві категорії – заказники і заповідні урочища.

V категорія – об'єкти охорони ландшафтів. Сюди можуть бути віднесені ландшафтні заказники – одна з груп заказників України. В Україні немає такої категорії, як область охоронного ландшафту, екологічний коридор та ін.

Згідно з *Ю.М. Грищенко (2000)*, оцінку значущості мережі природно-заповідного фонду можна проводити за допомогою визначення комплексу критеріїв, серед яких можуть бути:

1. Загальна кількість природно-заповідних територій і об'єктів певної території ($N_{\text{заз}}$) (адміністративних, фізико-географічних, геоботанічних областей, районів та інших одиниць адміністративного і природного районування).

2. Загальна площа природно-заповідного фонду певної території, ($S_{\text{заз}}$), га.

3. Відсоток заповідності території, тобто відношення площі природно-заповідного фонду певної території ($S_{\text{нзф}}$) до її загальної площі ($S_{\text{заз}}$):

$$S_{\text{нзф}} = \frac{S_{\text{нзф}} \cdot 100}{S_{\text{заз}}}.$$

4. Відсоток суворості заповідності ($s_{\text{с.з}}$), тобто відношення площі природно-заповідного фонду певної території з суворим режимом першої категорії Міжнародного союзу охорони природи і природних ресурсів (МСОП) (S_1) до загальної площі регіону ($S_{\text{заз}}$):

$$S_{\text{с.з}} = \frac{S_1 \cdot 100}{S_{\text{заз}}}$$

або площі природно-заповідних територій регіону ($S_{\text{нзф}}$):

$$S_{\text{с.з}} = \frac{S_1 \cdot 100}{S_{\text{нзф}}}.$$

5. Ступінь розчленованості (інсуляризованості) природно-заповідних територій (I), який складається з двох компонентів (I_T і I_N). Компонент I_T визначається як відношення площі (S_1) відносно нестійких природно-заповідних територій (площа яких менша 50 га) до загальної площі природно-заповідного фонду певної території (S):

$$I_T = \frac{S_1}{S}.$$

Значення I_T лежать у межах від 0 (інсуляризованість повністю відсутня) до 1 (інсуляризованість максимальна, і загальна територія під охороною складається з найдрібніших ділянок).

Компонент I_N визначається як відношення кількості нестійких природно-заповідних об'єктів (N_1) до загальної кількості природно-заповідних об'єктів у даному регіоні (N)

$$I_N = \frac{N_1}{N}$$

У цілому індекс інсуляризованості території (I) буде дорівнювати

$$I = \frac{\frac{S_1}{S} + \frac{N_1}{N}}{2}.$$

Чим вищим є значення I , тим більш значну роль у загальній території, що охороняється, відіграють дрібні ділянки, які не мають екологічної стабільності; їх роль у збереженні генофонду незначна.

6. *Рівномірність розподілу природно-заповідного фонду по певній території.* Вона оцінюється за бальною шкалою: 1 бал – нерівномірний розподіл; 2 бали – відносно рівномірний розподіл; 3 бали – рівномірний розподіл.

7. *Ландшафтна репрезентативність*, тобто представленість у мережі природно-заповідних територій основних елементів ландшафту певної території. Оцінюється за п'ятибальною шкалою: 1 бал – низька, 2 бали – задовільна, 3 бали – достатня, 4 бали – висока, 5 балів – дуже висока.

8. *Характеристика якісного складу* природно-заповідного фонду певної території проводиться за шкалою, визначеною в Україні, і за шкалою МСОП.

9. *Ботанічна значущість* території оцінюється за такими критеріями:

а) *флористична репрезентативність (типовість) та унікальність* оцінюється охопленням мережею природно-заповідних територій флори регіону в цілому та рідкісних видів флори зокрема, а саме: 1) кількістю видів, занесених до Міжнародних червоних списків; 2) кількістю видів, занесених до Червоної книги України; 3) кількістю видів, охоплених місцевою охороною; 4) кількістю ендемічних і реліктових видів; 5) кількістю видів, що знаходяться на межі ареалу. Оцінюється за п'ятибальною шкалою (низька, задовільна, достатня, висока, дуже висока);

б) *генетична репрезентативність та унікальність* оцінюється представленістю в регіональній мережі типових і рідкісних рослинних угруповань (за Зеленою книгою України). Оцінюється за п'ятибальною шкалою (низька, задовільна, достатня, висока, дуже висока).

10. *Фауністична репрезентативність та унікальність території* може оцінюватись за: а) кількістю видів, занесених до Червоної книги України; б) кількістю регіонально рідкісних видів фауни. Оцінюється за п'ятибальною шкалою.

Крім того, фауністична цінність природно-заповідної території визначається: а) біорізноманіттям її тваринного світу; б) як місце гніздування та розмноження птахів; в) як місце нересту цінних порід риб тощо.

11. *Гідрологічна цінність території* оцінюється за такими критеріями:

- а) *водоресурсність*, яка визначається такими параметрами:
- об'ємом водних ресурсів високоякісного складу;
 - водоохоронним значенням території;
 - водорегулюючим значенням території;

б) *типовістю (репрезентативністю)* гідрологічних об'єктів, яка визначається такими параметрами:

- часткою площі гідрологічно-заповідних об'єктів до однотипної площі даного регіону або області:

$$k_1 = \frac{S_1}{S_2} \cdot 100, \%,$$

де S_1 – площа гідрологічно-заповідної території (болота, озера), га;
 S_2 – площа однотипної території (боліт, озер) регіону або області, га.

- часткою об'єму водних ресурсів, які охороняються на гідрологічно-заповідній території:

$$k_2 = \frac{V_{гз}}{V} \cdot 100, \%,$$

де $V_{гз}$ – об'єм водних ресурсів гідрологічно-заповідної території м³;
 V – об'єм водних ресурсів у даному регіоні або області, м³;

в) *рідкісністю та унікальністю гідрологічних явищ*, які пов'язані з їх походженням, азональністю, наявністю джерел води з високими смаковими або лікувальними властивостями, водоспадів, виходу ґрунтових вод на поверхню тощо.

г) наявністю водно-болотних угідь загальнодержавного і міжнародного значення.

12. *Народногосподарська цінність території* визначається запасами високоякісної питної води, лікарських рослин, ділової деревини, харчових продуктів, мінеральної води, лікувальної ропи і мулу, а також рекреаційними ресурсами. Згодом ці основні параметри оцінки природно-заповідних мереж можуть бути доповнені іншими показниками, наприклад, охопленістю охороною основних типів ґрунтів, ландшафтів тощо.

На планеті зараз налічується близько 20 тисяч різноманітних охоронних природних територій, у тому числі 1200 великих заповідних територій. Одним із найбільших у світі є національний парк Етоша, що знаходиться в Африці на території Намібії. Його площа становить 22 тис. м². Парк розташований у зоні напівпустель, у ньому багато антилоп, слонів, жирафів, багата там і орнітофауна. В Африці, крім Етоша є Центральнокалахарський резерват у Ботсвані. Гренландський національний парк займає площу у 7 млн. га.

З метою зниження антропогенного впливу на охоронні території та ділянки природних екосистем для ознайомлення з ними населення створюються екологічні стежки. Ці стежки являють собою системи пішохідних доріжок, прокладених таким чином, щоб вони надавали можливість гарного огляду місцевості та цікавих природних об'єктів і знижували б неспокій, що завдають туристи. Екологічні стежки різко знижують витоштування та інше пошкодження рослинності. Прикладом добре продуманої екологічної стежки може служити стежка у Клавдієвському лісі (Київська область), яка розроблена *Т.Л. Андрієнко, О.І. Прядко та Л.А. Якушиною* в 1993 році.

З 1990 року розпочалася розробка стратегії заповідної справи в незалежній Україні. Суттєвий внесок у справу охорони природи в Україні був зроблений учасниками семінару, що відбувся в 1992 році. На ньому був прийнятий важливий документ «Соціально-екологічні та економічно-правові аспекти розвитку заповідної справи в Україні». З ініціативи уряду України здійснюється розширення її заповідного фонду: за останні роки він зріс на 42%. Створені нові заповідники та національні парки, розширена площа вже існуючих заповідників. До 1992 року заповідний фонд України включав 5602 території та об'єкти і мав загальну площу в 1 млн. 255 тис. га.

До кінця 2001 року він складався вже з 6939 об'єктів із загальною площею в 2 млн. 500 тис. га. Частка природних охоронних територій становить уже 4,16%, що наближається до європейських стандартів (*табл. 14.1*).

Таблиця 14.1. Структура природно-заповідного фонду України за станом на 2001 рік

Категорія	Кількість	Площа, тис. га	Процент від території України
Заповідники	20	387419,8	0,64
Національні природні парки	11	599509,0	0,93
Заказники	2372	991719,2	1,64
Пам'ятники природи	2963	20558,2	0,03
Ботанічні сади	22	2020,1	0,0033
Зоопарки	12	432,1	0,0
Дендрологічні парки	34	1415,6	0,0023
Парки – пам'ятники садово-паркового мистецтва	514	12159,6	0,02
Регіональні ландшафтні парки	27	410760,1	0,68
Заповідні урочища	746	78578,7	0,13
Разом	6939	2504572,2	4,16

Ряд охоронних територій України має високе наукове та екологічне значення. До них у першу чергу належать:

Сіверськодонецький національний природний парк, що має площу у 25 тис. га. Він розташований у межах заплави і борової тераси р. Сіверський Донець. Важливу роль в охороні природи відіграють національні парки Карпатський (площа 50,3 тис. га) і Шацький (площа 32 тис. га).

Поліський заповідник розташований на північному заході Житомирської області. Він заснований у 1968 році й зараз має площу у 20,1 тис. га.

Чорноморський природний біосферний заповідник покликаний зберегти унікальні причорноморські ландшафти та біоми. У ньому зареєстровано 22 види птахів, що занесені до Червоної книги України.

Степові угруповання охороняються в системі Українського природного степового заповідника. Він складається з чотирьох відділів: Хомутовський степ, Кам'яні могили, Михайлівський степ, Крейдяна флора (заснований у 1988 році). Загальна площа цього комплексу складає 2756,1 га. У Хомутовському степу налічується 588 видів рослин 73 родин.

Практика виділення охоронних територій недосконала, найчастіше під заповідники і заказники вилучаються ділянки, непридатні для господарського використання. Науковий підхід виділення охоронних територій був витриманий тільки в країнах Західної та Центральної Європи, що входять до складу Європейського співтовариства. Тут за ініціативою ЮНЕСКО було виділено 11 біомів і складена карта їх територіального розміщення. Лише потім створювалися біосферні заповідники або національні парки з урахуванням того, щоб кожен біом охоронявся б принаймні в одному заповіднику.

14.6. МОНІТОРИНГ. МЕТОДИ ТА ФОРМИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЕКОСИСТЕМ

Забруднення природного середовища і потреби охорони природи привели до необхідності організації обліку розмірів антропогенних змін у природному середовищі та їх проявів в окремих регіонах. Це завдання вирішується за допомогою моніторингу. *Моніторинг* – це науково-інформаційна система спостережень, оцінок і прогнозів стану навколишнього середовища та живих організмів. Виділяють три види моніторингу: фоновий, біологічний (біосферний) і господарський. Фоновий моніторинг передбачає систематичні стаціонарні заміри, які проводяться за єдиною

програмою, стану атмосфери, ґрунту, природних вод і особливостей земної поверхні. Біологічний моніторинг зорієнтований на систематичне оцінювання стану видів рослин і тварин. Він включає реєстрацію зміни чисельності, структури їхніх популяцій, характер міграцій та розмноження. Господарський моніторинг проводиться з метою оцінки діяльності окремих сільськогосподарських або промислових підприємств. Проведення глобального моніторингу розпочато на основі рішення Міжнародної наради 1974 року, до якої приєднався колишній СРСР, а зараз обов'язки з моніторингу виконує Україна. Моніторинг дозволяє вирішувати широке коло проблем і завдань:

1) виявлення взаємозв'язку джерел забруднювання природного середовища з об'єктами, на які вони діють;

2) виявлення каналів поширення забруднюючих речовин у природному середовищі;

3) вибір індикаторів, які б найкраще показували стан навколишнього середовища.

Залежно від розмірів охопленої моніторингом території розрізняють три його основні види: 1) глобальний моніторинг, який оцінює стан біосфери й параметри атмосфери, гідросфери і геосфери в цілому, 2) регіональний моніторинг, який має за мету виявлення джерел забруднення природного середовища і встановлення шляхів міграції забруднюючих речовин у межах великих регіонів, 3) локальний моніторинг, який передбачає аналіз стану окремого природного об'єкта.

Ще більш численними є *об'єктні види моніторингу*, самостійні або взаємозалежні між собою і з просторовими видами. Серед об'єктних видів можна виділити моніторинг атмосферного повітря, гідросфери (у сукупності – гідрометеорологічний), ґрунтовий, біологічний, сейсмічний, іоносферний, Сонця, гравіметричний, магнітометричний та ін. Усі ці види можуть і далі у свою чергу поділятися на підвиди, що й відбувається на практиці.

Біологічний моніторинг включає зоологічний (у ньому також безліч підвидів по рибах, птахах і т.д.), ботанічний і антропологічний. В останньому почали виділяти не тільки медико-біологічні напрями, але й соціальні.

З розвитком науки й техніки ставиться питання про необхідність *геологічного моніторингу*, що розвивається не тільки вшир (у літосфері), але й вглиб – до мантиї. Уже проводиться локальний моніторинг підземних вод, кріолітозони, глибоких (до 15 км) шарів геологічної будови Землі. Це стало потрібно не тільки для спостережень за сьогодишньою динамікою стану об'єктів моніторингу і прогнозу змін, але й, що дуже важливо, для цілей ретроспективних оцінок стану природного середовища. У зв'язку з цим у пресі з'явилася безліч різних оцінок

«нульового» фоновому стану природного середовища, від яких починається відлік антропогенних, а потім і техногенних впливів на природне середовище.

Сам термін «моніторинг» уперше з'явився в рекомендаціях спеціальної комісії СКОПЕ (Науковий комітет з проблем навколишнього середовища) при ЮНЕСКО в 1971 р., а в 1972 р. вже були сформульовані перші пропозиції по *Глобальній системі моніторингу навколишнього середовища* (Стокгольмська конференція ООН з навколишнього середовища).

Екологічний моніторинг (його нормативно-правова база поки що не стандартизована і часто трактується досить довільно) ставити своєю метою дати відповіді на такі питання:

- *яким є стан* природного середовища в розглянутий проміжок часу порівнянно зі станом, що передувє техногенезу (у відносній або абсолютній формі), і які зміни (позитивні, негативні) очікуються в природному середовищі в прогнозований проміжок часу;
- *у чому причини* змін, що вже сталися і можуть статися в майбутньому (у тому числі небажаних, згубних, критичних), і що було, є або буде джерелом цих змін (як правило, шкідливих техногенних впливів);

- *які впливи* на дане локальне природне середовище, що визначаються на основі виробленої для даного випадку критеріальної основи оцінок функції «корисності – шкідливості», є шкідливими (небажаними або неприпустимими);

- *який рівень* техногенних впливів, у тому числі в сукупності з природними або стихійними процесами і впливами, що відбуваються в розглянутому природному середовищі, є припустимим для природного середовища й окремих його компонентів або комплексів (ценозів) і які резерви має природне середовище для саморегенерації стану, адекватного вихідному, прийнятому за стан екологічного балансу;

- *який рівень* техногенних впливів на природне середовище, окремі його компоненти і комплекси є неприпустимим або критичним, що після нього відновлення природного середовища до рівня екологічного балансу є нездійсненним.

У процесі моніторингу реєструються:

- а) екосистеми, що існують на даній території;
- б) тип господарського використання території;
- в) ступінь і форми деградації природного середовища – зміна рельєфу, ерозія, і т.п.;
- г) фізичний і хімічний стан повітря, води й ґрунту;
- д) біологічне різноманіття і стан видів-індикаторів, якщо такі виділені;
- е) радіоактивне забруднення;
- є) санітарний стан.

Нерідко результати моніторингу оформлюють у вигляді екологічних карт.

Особливим різновидом моніторингу є біоіндикація, або біомоніторинг, – урахування стану природного середовища з особливою увагою до живих організмів. Біоіндикація – це особливий напрям екології, що вивчає стан навколишнього середовища на основі змін, які спостерігаються в особин, популяцій видів живих організмів. Перша програма «Біоіндикатори» була прийнята ще в 1982 році на XXI Асамблеї Міжнародного союзу біологічних наук.

Для оцінки стану природних систем біомоніторинг дає більше інформації, ніж реєстрація фізичних і хімічних параметрів стану навколишнього середовища. Це визначається здатністю живих організмів концентрувати велику кількість сторонніх речовин у своєму тілі (рис. 14.1). Інформація фонового моніторингу інколи може показувати незначне забруднення середовища ксенобіотиками, а біомоніторинг засвідчує, що відбувається процес акумуляції даного ксенобіотика в живих організмах, і вказує на необхідні заходи щодо очищення середовища від нього.

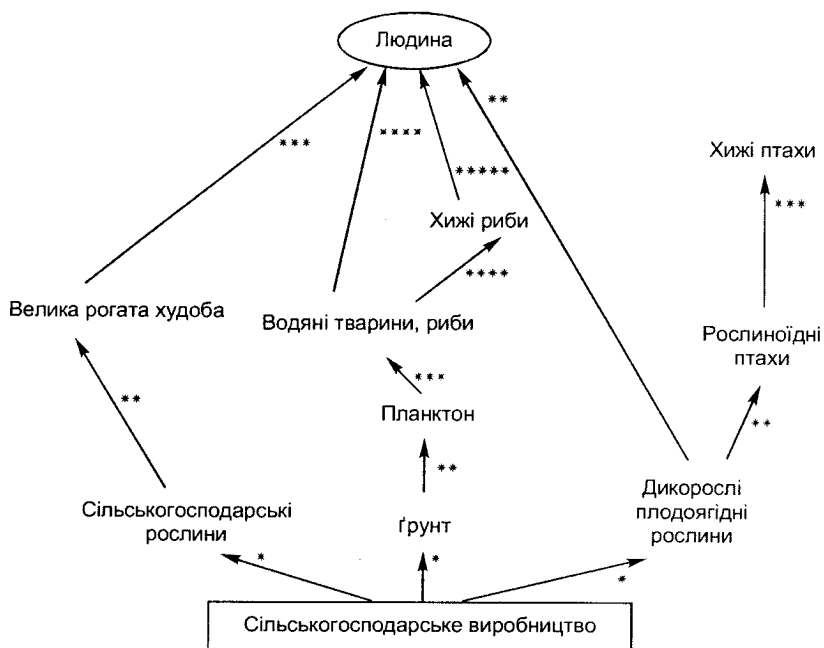


Рис. 14.1. Ланки трофічного ланцюгу та шляхи міграції пестицидів в ньому. Кількість зірочок вказує на рівень концентрування пестицидів: чим більше, тим концентрування вище

Найбільш важливу інформацію надає фітомоніторинг, який враховує зміни самих рослин. Так, у роботі *Л. Мортенсена* (1993) було виявлено 19 видів трав, в яких змінюється галузнення, розвивається хлорозом і на 28–99% знижується біомаса при дії озону в концентраціях усього у 12–53 нмоля/моль.

У цілому моніторинг дає фактичні дані, необхідні для розробки математичних моделей, які дозволяють на основі комп'ютерної техніки робити узагальнення і порівняння, розробляти прогнози й оперативно використовувати заходи запобігання деградаційним процесам, що намітилися. На глобальному рівні ці прогнози виконують такі організації, як «Римський клуб», створений у 1968 році *А. Печчеї*, та «Всесвітня вахта», що існує з 1984 року і очолюється *Л. Брауном*.

14.7. ЕКОЛОГІЧНЕ НОРМУВАННЯ АНТРОПОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Формою нормування антропогенних впливів на навколишнє середовище є екологічне нормування, яке являє собою комплекс заходів для встановлення лімітів, у межах яких допускається зміна природного середовища. Екологічне нормування проводиться щодо всіх небезпечних речовин. Небезпечними називають речовини, що надходять до навколишнього середовища як продукти або супутні утворення людської діяльності, які являють пряму або опосередковану загрозу людині чи навколишньому середовищу і знешкодження яких у поточний момент часу може бути здійснене тільки завдяки значним техніко-економічним і організаційним витратам.

Для оцінки рівня забруднення середовища та його якості використовують показник, який називають гранично допустимою концентрацією. *Гранично допустима концентрація (ГДК)* – це максимальна концентрація речовини в навколишньому середовищі, за якої не спостерігається прямий або опосередкований шкідливий вплив цієї речовини на організм людини.

Для зменшення шкоди здоров'ю населення ГДК поділяють на максимально разові та середньодобові. Максимально разові ГДК (ГДК_{м.р.}) застосовують для працюючих у забруднених приміщеннях, а середньодобові ГДК (ГДК_{с.д.}) – для зон житлової забудови. Ця відмінність пов'язана з тим, що на підприємствах до роботи допускають здорових людей, які пройшли медичний огляд і мають більш стійкий до дії шкідливих речовин організм. Таким чином, ГДК_{м.р.} більші ніж ГДК_{с.д.}. На основі ГДК інженерні служби розраховують розміри гранично допустимих

викидів (ГДВ) речовин в атмосферу та гранично допустимий скид (ГДС) шкідливих речовин у водойми. При оцінці забруднення води промисловими та іншими стоками використовують поняття «гранично допустиме навантаження на дану водойму».

Разом із ГДК іноді встановлюють норми на гранично допустимі максимальні концентрації (МАК) шкідливих речовин для працюючих з ними. В Європі в системі екологічного нормування прийнята спеціальна одиниця *еквітокс* – одиниця токсичності, що дорівнює дії 120 г біхромату натрію на дафній. Але здебільшого в державах світу використовують два показники – ГДК і гранично допустиме екологічне навантаження (ГДЕН) на природні об'єкти.

Особливо важливим є витримування гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у двох основних середовищах, з яким постійно стикається людина, – у повітрі й у питній воді. Гранично допустимі концентрації основних забрудників питної води за розробками Всесвітньої Організації Охорони здоров'я (ВООЗ) наведені в *табл. 14.2*.

Переліки ГДК постійно розширюються, що пов'язано з появою нових технологій, матеріалів, а також з новими даними медико-біологічних досліджень, які розкривають невідомі шкідливі впливи на живі організми речовин, що раніше вважалися нешкідливими. У ґрунтах навколишньої зони паспортизованого об'єкту мають контролюватися ті самі шкідливі речовини, що визначаються у викидах і стоках, оскільки вони з водойм, куди надходять після очищення стічної води, а також осідаючи з атмосфери з опадами, потрапляють у ґрунти, а з них – у рослини і тварин.

У тих випадках (а вони є найбільш типовими), коли в навколишнє середовище – воду або повітря – потрапляють різні забруднюючі речовини, використовують відношення фактичної концентрації C до ГДК для відповідної речовини:

$$\frac{C}{ГДК}.$$

Ці відношення обчислюють для всіх забруднюючих речовин і підсумовують. Сума не повинна перевищувати 1,0.

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1,0.$$

Концепція ГДК не гарантує захисту людини, тим більше дикорослих рослин і тварин від антропогенного забруднення середовища. Дійсно, у концепції ГДК чимало вразливих місць. Основні з них такі.

1. Організм реагує не на конкретний забруднювач окремо, а на всю сукупність забруднюючих речовин у цілому. Але таких

Таблиця 14.2. Пропозиція Всесвітньої організації охорони здоров'я щодо контролю за забрудненням питної води

Показники	Рекомендації ВООЗ щодо безпечної для людини концентрації речовин у питній воді	Допустимі надходження хімічних речовин в організм людини
Кадмій	0,005мг/л	–
Хром	0,05 мг загального хрому/л	–
Ціаніди	0,1 мг/л	4,7 мг/добу
Фтор	0,5 мг/л	–
Свинець	0,05 мг/л	Орієнтовно допустиме щотижневе споживання 3 мг/чол.
Ртуть	0,001 мг/л	–
Нітрати	Рекомендовано для азоту нітратів 10 мг/л	–
Селен	0,01 мг/л	–
1,2-Дихлоретан	10 мкг/л	–
Тетрахлорид вуглецю	3 мкг/л	–
1,1-Дихлоретилен	0,3 мкг/л	–
Тетрахлоретилен	10 мкг/л	–
ДДТ	–	Умовна величина ДСП – 0,005 мг/кг маси тіла
Альдрин і дильдрин	–	0,0001 мг/кг маси тіла
Хлордан	–	0,001 мг/кг маси тіла
Гексахлорбензол	Орієнтовна величина 0,01мкг/л	
Бензол	10 мкг/л	
Хлороформ	30 мкг/л	
Аніонні детергенти ПАВ	0,2 мг/л	
Алюміній	0,2 мг/л	
Хлориди	250 мг/л	
Феноли і хлорфеноли	В питній воді їх концентрація не має перевищувати 0,1 мкг/л	
Мідь	Рекомендацію видано на 1 мкг/л	
Жорсткість (за карбонатом кальцію)	500 мкг/л	
Сірководень	Рекомендації не надаються, будь-який рівень легко виявляється споживачем	
Залізо	0,3 мг/л	
Марганець	0,1 мг/л	
pH	Від 6,5 до 8,5	

комплексних нормативів немає й бути не може, оскільки кількість комбінацій забруднюючих речовин дуже велика.

2. Оцінки кількості забруднюючих речовин отримують звичайно при одноразових обліках, безперервний контроль досить дорогий. Добова і сезонна динаміка при обліках не вивчаються. Невипадково ряд підприємств роблять викиди шкідливих речовин пізно вночі.

3. ГДК устанавлюють на основі дослідів над тваринами і часто вони недостатньо обґрунтовані. Невипадково в різних країнах ГДК сильно відрізняються. До того ж ГДК мало диференційовані та не враховують віку і стану здоров'я людини.

14.8. СОЦІАЛЬНО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ПРАВОВІ ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРИРОДИ

Оскільки виробнича діяльність викликає порушення природного середовища, суспільству випадає взяти на себе турботу про відновлення її властивостей та охорони від подальшої деградації. Соціально-правові важелі охорони природи досить різноманітні. Вони включають в себе:

а) введення екологічних норм та стандартів, обов'язкових як для підприємств, так і для окремих осіб;

б) проведення обов'язкових екологічних експертиз;

в) створення юридичних можливостей для кооперування підприємств із метою виконання екологічних програм на взаємно довірчій основі;

г) поширення безвідходних і чистих технологій через систему виставок і ярмарків;

д) адміністративні обмеження на види робіт і технологій, що шкодять природному середовищу.

Важливим елементом концепції екологічної безпеки є її правове забезпечення, зокрема визначення поняття екологічного злочину. У міжнародному праві під *екологічним злочином* розуміють соціально небезпечні дії, спрямовані на знищення життя чи середовища. За такі злочини передбачені жорсткі санкції, іноді навіть довічне ув'язнення.

Правовий метод охорони довкілля ґрунтується на здатності права визначати міру можливого (власне право громадянина), міру належного (обов'язки громадянина) і міру відповідальності (відповідальність громадянина) у поведінці людей, підприємств або держав. Норми екологічного права є обов'язковими, якщо вони формально встановлені та закріплені законом і підтримуються методами державного примусу.

Право у сфері довкілля зародилося ще в сиву давнину. Спочатку закони охороняли об'єкти природи як одну з форм приватної власності. Такого роду закони були в Судебнику Хаммурапі (XVIII століття до н.е.), у законах Ману (II століття до н.е.), у «Руській правді» (X-XI століття н.е.). У нашому регіоні прийняття перших таких законів у часи Київської Русі пов'язано з ім'ям Ярослава Мудрого. Наприкінці XI – початку XII століть у «Руську правду» було включено статтю про покарання штрафом за розорення бджолиних вуликів. У Росії вже в XVII столітті діяло близько 20 законів, спрямованих на охорону природних об'єктів. У 1640 році був прийнятий перший закон про охорону якості міського середовища.

Зараз природоохоронне законодавство є практично в усіх країнах світу. Провідною державою у сфері державного регулювання проблем екології є Німеччина. З кінця 1970-х років тут прийнято більше 600 різноманітних законодавчих актів у галузі охорони навколишнього середовища.

Велика робота зі створення законодавчої бази природоохоронної діяльності та якісного стану природного середовища була проведена в Україні після здобуття державної незалежності. Найбільш важливі державні акти, що регулюють природоохоронну діяльність, наведені в *табл. 14.3*. Вони у своїй основі базуються на прийнятому в 1991 році Законі України «Про охорону навколишнього середовища».

У міжнародному екологічному праві провідне місце займає принцип запобігання, відповідно до якого основною метою цивільних дій є попередження порушень природного середовища, а не ліквідація наслідків таких порушень. Коли навколишнє середо-

Таблиця 14.3. Основні законодавчі акти України в галузі екології і охорони природи

Закон України "Про охорону навколишнього середовища"	1991 р.
Закон України "Про природнозаповідний фонд"	1992 р.
Закон України "Про охорону атмосферного повітря"	1992 р.
Закон України "Про тваринний світ"	1993 р.
Лісовий кодекс України	1994 р.
Закон про ратифікацію Конвенції про біологічне різноманіття	1994 р.
Закон України "Про екологічну експертизу"	1995 р.
Водний кодекс України	1995 р.
Конституція України	1996 р.
Закон про рослинний світ	1999 р.
Закон про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки	2000 р.

вище розглядається як різновид товару, постає питання про отримання платних ліцензій на користування цим видом товару.

Однак екологічне право все ще потрібно оцінювати як мало розроблене. Прогресові в галузі вироблення єдиного міжнародного законодавства в галузі охорони природи перешкоджають принципові розбіжності між розвиненими країнами і тими, що розвиваються. Позиція країн, що розвиваються, формулюється так: «Не ми створили проблему забруднення природного середовища, не нам за неї платити». Особливо активно дотримується такої позиції Китай. Тим більш, що внесок країн, що розвиваються (Азія, Африка та Латинська Америка), у забруднення не перевищує 1/3 від загального обсягу забруднення, хоча в них проживає 3/4 усього населення планети, та й це забруднення пов'язане в багатьох випадках з тим, що промислово розвинені країни мали і мають тенденцію розгортати екологічно брудні підприємства не на своїй території, а на території країн, що розвиваються, де не треба платити за забруднення і є дешева робоча сила.

14.9. ЕКОНОМІЧНІ КРИТЕРІЇ В ЕКОЛОГІЇ

Використання економічних критеріїв в екології має бути спрямоване на реалізацію головного принципу: не максимізація прибутків підприємств або держави, а досягнення стійкого розвитку шляхом збалансованого природокористування, щоб розвиток матеріального виробництва в будь-якому регіоні забезпечував стійкість екосистем. Економічне забезпечення збереження здорового природного середовища різноманітне і включає в себе:

- а) державне фінансування заходів з охорони природи;
- б) ліцензування;
- в) нормування;
- г) створення екологічних фондів;
- д) систему плати за користування природними ресурсами та додатково за ресурси, що вилучаються;
- е) економічні санкції (платежі і штрафи) за забруднення природного середовища;
- є) економічне стимулювання зниження забруднення, пільгові кредити для реалізації екологічних робіт і впровадження екологічно чистих технологій;
- ж) пільгове оподаткування підприємств, що впроваджують безвідходні технології та отримують чисту продукцію, у тому числі й сільськогосподарську продукцію;
- з) право на продаж екологічно чистої продукції за підвищеними цінами.

На сучасному рівні розвитку суспільства на перший план висувається система екологічних чинників. У багатьох країнах вона полягає в оплаті збитків, завданих природному середовищу даним підприємством, і карного штрафу. Ця система ефективно працює в багатьох країнах світу. З 1991 року в Україні введено плату за забруднення навколишнього середовища.

Нормативи плати встановлюються за викид в атмосферу забруднюючих речовин, скидання у водні об'єкти забруднюючих речовин, розміщення твердих відходів. За викиди забруднюючих речовин у природне середовище і розміщення відходів устанавлюються два види нормативів плати:

- за припустимі (у межах установлених лімітів) обсяги викидів забруднюючих речовин і розміщення твердих відходів;
- за перевищення припустимих (щодо встановлених лімітів) обсягів викидів забруднюючих речовин і розміщення твердих відходів.

Нормативи плати служать вихідною базою для визначення розмірів плати за забруднення природного середовища для підприємств. Нормативи плати за розміщення відходів встановлюються залежно від їх значення як сировинного ресурсу для задоволення потреби галузі, наявності напрямків і технологій використання, витрат на поховання і знешкодження відходів з урахуванням їх відносної небезпеки, характеру облаштуваності і місця розташування відвалів, кар'єрів і т.п.

На основі отриманих від підприємств зведень за всіма видами розміщуваних відходів визначається склад відходів, за які буде стягуватися плата, залежно від екологічної ситуації в регіоні, а також значення відходів як сировинних ресурсів розробляються регіональні ліміти розміщення відходів і економічні нормативи плати. *Лімітом розміщення відходів* є різниця між планованими обсягами утворення відходів і планованими обсягами їх використання. Річний розмір плати підприємства за викид усіх забруднюючих речовин в атмосферу і водні джерела, за розміщення відходів визначається як підсумок відповідних плат по всіх видах забруднення природного середовища.

Плата за забруднення навколишнього природного середовища стягується беззаперечно з підприємств, установ, організацій та інших юридичних осіб незалежно від організаційно-правових форм і форм власності, на яких вони засновані, включаючи спільні підприємства за участю іноземних юридичних осіб і громадян, яким надано право ведення виробничо-господарської діяльності.

Внесення плати за забруднення не звільняє природокористувачів від виконання заходів щодо охорони навколишнього середовища, а також сплати штрафних санкцій за екологічні правопорушення і відшкодування збитків, заподіяних забрудненням

навколишнього природного середовища народному господарству, здоров'ю і майну громадян.

Коли підрозділи і філії підприємств, розташовані на відокремлених від головних підприємств територіях, не є юридичними особами, не мають розрахункових рахунків, плату за забруднення цими підрозділами і філіями вносять підприємства. Платежі надходять в екологічні фонди тих територій, де розташовані зазначені підрозділи, і використовуються на природоохоронні цілі. У разі потреби розмір платежів коректується вбік зниження з урахуванням екологічних умов і економічних можливостей підприємств.

При аварійному забрудненні природного середовища встановлюються штрафи (до десятикратного розміру тарифу) до нормативних плат за викиди (скидання, розміщення відходів) забруднюючих речовин.

Дана система платежів по мірі переходу до ринкової економіки і створення необхідної правової бази для її застосування має вдосконалюватися. При цьому необхідно виходити з того, що платежі за забруднення природного середовища є найважливішими елементами загальної системи регулювання стану навколишнього середовища. Вони повинні мати суворо цільове призначення і бути тісно ув'язані з екологічними обмеженнями і регламентаціями режимів природокористування та виступати як економічні важелі реалізації цілей екологічних програм.

Складовою економічного механізму природокористування є плата за користування природними ресурсами. Значення цієї складової визначається й тим, що вона має відігравати все більшу роль у формуванні стабільної державної фінансово-економічної системи. У даний час питання плати за користування природними ресурсами регулюється законодавчими актами з окремих видів, що не забезпечує єдиної методологічної бази формування і стягнення плати за природні ресурси.

Плата за забруднення являє собою форму відшкодування економічних збитків від викидів і скидів забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище, а також за розміщення відходів на території Росії. Ця плата відшкодовує витрати на компенсацію впливу викидів і скидів забруднюючих речовин і стимулювання зменшення або підтримання викидів і скидів у межах нормативів, утилізацію відходів, а також витрати на проектування і будівництво природоохоронних об'єктів.

Установлюються два види базових нормативів плати: за викиди, скиди забруднюючих речовин, інші види шкідливого впливу в межах припустимих нормативів; за викиди, скиди забруднюючих речовин, розміщення відходів, інші види шкідливого впливу в межах установлених лімітів (тимчасово погоджених нормативів).

Поряд з економічною відповідальністю при штатному забрудненні навколишнього середовища природокористувачі несуть юридичну відповідальність, що настає при здійсненні екологічних правопорушень, і однією з її форм є відшкодування збитку, завданого елементами навколишнього середовища в результаті аварій.

Тринадцять країн Європи, США і Канади ввели також споживчу плату – це плата за те, що за дорученням державних органів певні підприємства збирають, зберігають і знешкоджують відходи тих виробництв, які не налагодили таку систему самі.

Відомо три основні підходи до економічної компенсації екологічних збитків:

- 1) рентний;
- 2) витратний;
- 3) оптимізаційний.

У багатьох країнах світу прийнятий витратний принцип екологічних платежів, відповідно до якого розміри плати за забруднення виводяться з розмірів витрат, необхідних для уникнення забруднення або ліквідації його наслідків.

Поки що у світі відсутній цілісний механізм розв'язання екологічних проблем. Це пов'язано з неготовністю урядів і населення до прийняття ідеї колективної відповідальності людства за збереження біосфери. Пріоритет має інша ідея – ідея поступового розвитку суспільства, хоча екологічна криза ХХ століття з повною ясністю засвідчує її хибність.

Проте розвиток економічних аспектів екології здійснюється активно. Насамперед відбулася диференціація цієї галузі науки і виникли: а) економіка природокористування, заснована на класичних економічних критеріях і орієнтована на аналіз вартості природних ресурсів і оцінку збитків від забруднення і порушення природного середовища, б) екологічна економіка, що ставить за мети на основі некласичного підходу знайти критерії економічного оцінювання природних благ і природи як таких. В обох випадках доводиться певним чином виміряти, оцінити в грошовому вираженні, чого потребує ринкова економіка, весь спектр відносин людини і природи.

Деякі види непрямого економічного збитку від антиекологічних технологій наведені в *табл. 14.4*. Їх включення в економічні розрахунки дозволяє більш точно оцінювати вартість тих чи інших виробничих проектів.

Екологічна економіка – це найбільш перспективний напрямок. Справа в тому, що стосовно багатьох природних цінностей не сформований ринок, попит і пропозиція. Щодо цього природні блага є неначе неконкурентоспроможними порівняно з іншими ринковими цінностями і можуть бути втрачені, оскільки технологічні проекти або ігнорують, або різко занижують вартість

природних благ. У підсумку це веде до втрати біорізноманіття і до багатьох інших деградаційних процесів у природних екосистемах і біосфері в цілому.

Найбільш прогресивною частиною екологічної економіки є концепція загальної економічної цінності. Стосовно природних благ вона оперує з двома видами вартості: а) вартістю використання (споживчою вартістю) і б) вартістю невикористання, яка й містить у собі неринкові природні цінності – естетичні, етичні та інші. Вартість невикористання також може піддаватися ринковому оцінюванню на основі застосування так званих сурогатних ринків або оцінки експертів, що спираються на «готовність платити» за природні цінності. У цьому випадку неодержані вигоди прирівнюються до витрат, і на шляху антиекологічних технічних і сільськогосподарських проектів виникає досить міцний економічний бар'єр.

Дуже важливо, що в останні роки ХХ сторіччя екологічний фактор почали включати в національні статистики.

Виявилось, що екологічні параметри економіки досить суттєві. За підрахунками *Н.Ф. Реймерса* (1992) у Росії збитки від забруднення природного середовища складають не менше 10–20% вартості валового національного продукту. Не нижчий він і в інших країнах СНД. Невеликими є й витрати на підтримання якості природного середовища. За міжнародними критеріями

Таблиця 14.4. Деякі види непрямого економічного збитку, викликані порушеннями природного середовища

Впливи	Непрямий економічний збиток
1. Забруднення повітря, води, ґрунту, а також шумові, електромагнітні, радіоактивні та інші види забруднень	<ul style="list-style-type: none"> – Втрата працездатності, витрати на лікування і виплати пенсій по непрацездатності – Загальне зниження врожаїв – Загальне зниження продуктивності сільськогосподарських тварин – Перенесення населених пунктів – Зниження доходів від туризму – Естетична деградація територій і житлових приміщень, що веде до зниження їх вартості
2. Деградація екосистем	<ul style="list-style-type: none"> – Погіршення якості води, повітря і ґрунту – Повені – Осідання ґрунтів, руйнування споруд – Зниження доходів від туризму – Скорочення ареалів тварин і рослин – Втрата біорізноманіття, що веде до зниження чисельності корисних живих організмів і потребує застосування хімічних засобів в агроекосистемах

розмір витрат на охорону природного середовища має складати не менше 2% видаткової частини бюджету, але не всі держави поки що на таку витрату спроможні. Проте вона необхідна і не залежить від соціальних пріоритетів тих чи інших держав. *Е. фон Вайцзекер* справедливо писав, що «бюрократичний соціалізм звалився, тому що не дозволяв цінам говорити економічну правду. Ринкова економіка може погубити навколишнє середовище і себе, якщо не дозволить цінам говорити екологічну правду». На початку ХХІ століття людству необхідна екологізація ціноутворення, розвиток екологічного підприємництва і шляхом застосування тих же ринкових механізмів зміна структури споживання від розкоші до розумної достатності. Не слід забувати, що видиме сучасне благополуччя в природному середовищі провідних розвинених країн досягнуто внаслідок перенесення більшості екологічно брудних виробництв і видобутку природних ресурсів у країни відсталі, з дешевою робочою силою. Коли б не цей фактор, то розвинені країни мали б витратити на підтримку якості природного середовища не менше 99% свого національного продукту і рівень життя в них був би таким же, як у країнах, що розвиваються.

14.10. ЕКОЛОГІЧНА ПОЛІТИКА. ОХОРОНА ПРИРОДИ НА ДЕРЖАВНОМУ І МІЖДЕРЖАВНОМУ РІВНЯХ

Екологія в другій половині ХХ століття поставила перед політикою такі гострі проблеми, як регулювання чисельності населення, екологічну конверсію виробництва, екологічну безпеку населення. Природа екологічних проблем загальнопланетарна, і їх неможливо вирішити окремо в тій чи іншій державі. Виникло нове явище в розвитку цивілізації – екологічна політика. У сучасному суспільстві екологічна політика стала самостійною сферою в політичній діяльності держав. Формування екологічної політики розпочалося з 1970-х років, коли проявилася швидка деградація природного середовища в різних країнах світу. Вона призвела до того, що зараз у більш ніж 100 країнах світу створені міністерства або відомства, що спеціально займаються охороною навколишнього середовища. Практично одночасно в усіх країнах світу почалася розробка нормативів якості середовища життя, право людини на користування природним середовищем стало включатися до конституцій держав, розвивається природоохоронне законодавство. Поняття екологічного суверенітету почали вважати одним з державних пріоритетів. Світова громадськість усвідомила, що людство має загаль-

ні глобальні інтереси, без вирішення яких неможливий стійкий розвиток жодної держави.

Способи політичного забезпечення охорони навколишнього середовища в різних країнах неоднакові. Лідером у формуванні принципів екологічної політики та її проведення, безумовно, є країни Західної Європи. У сучасній Європі, за французьким вченим *Т. Лаво* (1991), виділяються чотири великі регіони, що відрізняються екологічною політикою, яку вони проводять. Перший регіон – країни півдня Європи, найменш екологічно розвинені, з аграрною спрямованістю виробництва. Вони мають багато складних екологічних проблем і покладаються в їх вирішенні на фінансову допомогу з боку Європейського співтовариства. Другий регіон – північна Європа, держави якої відрізняються найбільш гармонійним розвитком і раціональним використанням природних ресурсів. Вони успішно розв'язують екологічні проблеми, спираючись на традиційно екологізований світогляд широких верств населення. Третій регіон – країни північно-західної Європи, що відрізняються високим промисловим потенціалом і сильно забрудненим природним середовищем. Країни цього регіону мають достатньо засобів та коштів і з кінця 1980-х років почали проводити енергійну екологічну політику. Четверта група – країни східної Європи, які відрізняються дуже високим рівнем забруднення середовища й не мають економічних і фінансових засобів для оперативного і стратегічного вирішення екологічних проблем.

Після утворення Європейського Економічного Співтовариства в 1987 року набула поширення ініціатива Франції в галузі спільної міждержавної охорони природи. Вона стала поштовхом для створення багатьох видів міждержавних структур. ЄЕС, а потім Європейська Рада (ЄР) з 1973 року послідовно розробили і реалізували чотири програми з охорони довкілля. Прийнята практика підготовки в цій галузі спеціальних директив, обов'язкових для країн ЄР. Зараз у галузі екології діють 120 таких директив.

У 1993 році ЄР прийняла новий стандарт (BS 7750) щодо широкого кола продуктів промислового і сільськогосподарського виробництва та діяльності підприємств, відповідно до якого більш жорстко регламентуються забруднення навколишнього середовища, витрати енергії на виробництво і створення шумового забруднення. Продукція, яка витримує цей стандарт, отримує знак «Зеленого голуба», який дає переваги на ринку товарів.

Україна як європейська держава приєдналася до процесу державного і правового регулювання збереження якості природного середовища. У 1991 році було створене Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. За його ініціативою в 1991 році було прийнято Закон «Про охорону

навколишнього природного середовища» і розпочато розробку пакету законів і законодавчих актів з екологічних проблем, включаючи охорону атмосфери, води, рослинного й тваринного світу.

У 2001 році набув чинності Кримінальний кодекс України, який в розділі VIII містить ряд статей, що передбачають систему достатньо жорстких покарань за порушення правил екологічної безпеки, приховування чи викривлення інформації про стан природного середовища, за забруднення ґрунтів, води й атмосфери, за свідоме завдання шкоди природним охоронним територіям та ін.

Суверенна Україна як учасниця Конференції 1992 року в Ріо-де-Жанейро внесла пропозицію про екологічну конверсію виробництв, взяла на себе зобов'язання забезпечувати екологізацію економіки і розв'язання екологічних проблем як першочергове завдання господарської та державної політики. Україна бере участь в роботі програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП). Тільки за період з 1980 року до 1991 року Україна взяла участь у 10 міжнародних актах з охорони природи.

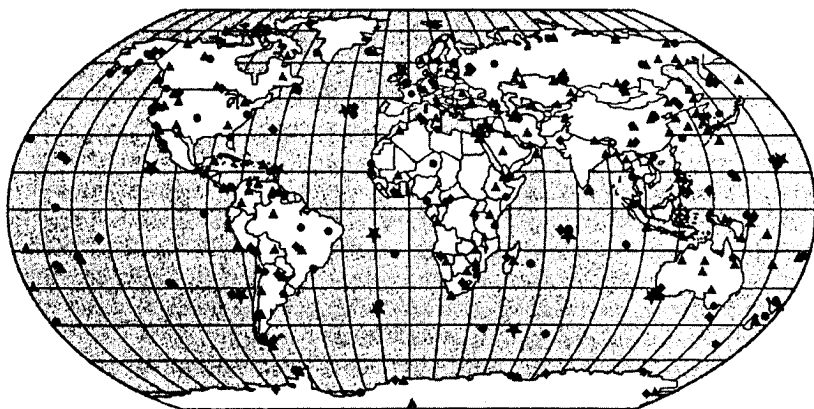
Протягом останніх десятиріч намітилася чітка тенденція вирішення багатьох питань екологічної безпеки на міждержавному рівні. Стимулюючим поштовхом до міжнародного співробітництва на рівні держав з питань екології та охорони природи стала Стокгольмська конференція 1972 року. Стокгольмська декларація закріпила фундаментальне право людей не тільки на свободу і рівність, але й на адекватні умови життя в навколишньому середовищі тієї якості, яке забезпечує їх гідність і добробут. Але саме по собі міжнародне співробітництво в галузі охорони навколишнього середовища розпочалося ще наприкінці XIX століття, воно здійснювалося каналами громадських організацій – Міжнародного союзу охорони природи і природних ресурсів (МСОП), Всесвітнього фонду дикої природи і Наукового комітету з проблем навколишнього середовища (СКОПЕ). Об'єктивна необхідність міжнародного співробітництва в галузі охорони природи на міждержавному рівні впливає з глобального характеру екологічної кризи й неможливості іншими засобами забезпечити охорону популяцій мігруючих тварин.

Ідеї Стокгольмської конференції набули розвитку в рішеннях Віденської конференції захисту озонового шару (1985), у Женевській конвенції про трансграничне забруднення повітря (1979–1983 рр.), Монреальському протоколі про обмеження використання хлорфторвуглеводнів (1987) із поправками 1990 року (у цих документах виробництво фреонів планується скоротити на першому етапі на 20% і до 2000 року повністю припинити їх виробництво). У 1982 році ООН прийняла «Всесвітню хартію природи», в якій уперше на міжнародному рівні була проголошена відповідальність людства за стан природи. Велику роль

зіграли Форум із міжнародного права в галузі охорони довкілля, проведений в Італії у 1990 році, доповідь комісії Брутланда, Московська декларація Глобального форуму з навколишнього середовища 1990 року, яку ухвалили 83 держави світу, Конференція 1992 року в Ріо-де-Жанейро, в якій взяли участь 100 держав і представники від 50 держав, та ряд інших ініціатив. На конференції в Ріо-де-Жанейро був прийнятий програмний документ «Порядок денний на ХХІ століття», який містить план міжнародних дій щодо навколишнього середовища на межі ХХ та ХХІ століть. Реалізується програма «Людство і глобальні зміни», метою якої є вивчення взаємозв'язку в системі «людина – середовище життя».

З екологічної точки зору як позитивні слід оцінити міжнародні угоди, що обмежують як звичайне, так і ядерне озброєння. Особливо важливу роль відіграли й відіграють надалі Договір про нерозповсюдження ядерної зброї 1970 року і Договір про заборону ядерних випробувань. Відповідно до останнього договору була створена глобальна система моніторингу, яка ефективно відстежує можливі порушення цього договору (рис. 14.2).

Важливу роль покликані зіграти міжнародні угоди в галузі запобігання потепління клімату. Перша міжнародна комісія в цій галузі була створена ще в 1988 році на базі Програми ООН по природному середовищу і Всесвітньої метеорологічної організації. У 1992 році була розроблена Рамкова конвенція ООН «Про зміну клімату». Її підписали 154 держави, а тепер її дотримуються вже 186 держав. В основу Рамкової конвенції



▲ Сейсмологічний ● Радіонуклідний ★ Гідроакустичний ◆ Інфразвуковий

Рис. 14.2. Глобальна система моніторингу в рамках договору про заборону ядерних випробувань

покладені принципи справедливості, необхідності вживання запобіжних заходів, економічної ефективності й стійкого розвитку світової цивілізації. У 1997 році ці заходи доповнив Кіотський Протокол про зміни клімату, що ввів цілу серію кількісних параметрів і право міжнародної торгівлі викидами парникових газів в атмосферу. Згідно з прийнятими зобов'язаннями порівняно з рівнем 1990 року повинні знизити викиди парникових газів до 2008–2012 років: країни Європейського Союзу на 8%, США – на 7%, Канада – на 6%. Україна і Росія мають не перевищити за цей термін розмір викидів, визначених на 1990 рік.

У 2000 році в Канаді представники 130 держав світу підписали так званий Картагенський протокол з біобезпеки, покликаний захистити суспільство від довільного створення трансгенних сортів і порід тварин, у геном яких штучно вбудовані фрагменти ДНК інших видів. Картагенський протокол набуде сили після його ратифікації 50 державами. Він передбачає попереднє міждержавне обґрунтування і попередження про створення нових трансгенних живих організмів і процедуру продажу споживачам продуктів із трансгенних живих організмів, яка включає їх особливе етикетування. Згідно з Картагенським Протоколом передбачається широке інформування громадськості та її участь у прийнятті рішень усередині кожної держави з питань трансгенних живих організмів.

На міждержавному рівні розпочався процес формування нової системи цінностей соціального, економічного та етичного характеру, що включає в себе екологічний імператив. Запропоновано оцінювати успіхи держав у цьому напрямку системою індексів:

а) індекс гуманітарного розвитку, який включає в себе досягнуту в державі тривалість життя його громадян, рівень освіти, рівень опанування ресурсами;

б) індекс стійкого економічного добробуту Далі-Кобба (1987) з поправками на екологічні витрати.

П. Ньюман (1989) виступив з концепцією стійкого розвитку, суть якої полягає в поповненні природних ресурсів, що витрачаються.

Кінець ХХ століття ознаменувався усвідомленням взаємної відповідальності держав за стан навколишнього середовища. Стали нормою міжнародного спілкування співробітництво в галузі вирішення екологічних проблем, взаємні консультації та обмін інформацією. Головною метою є вироблення системи світової екологічної безпеки.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняттю «охорона природи» і назвіть, з яких компонентів складаються дії з охорони природи.

2. Назвіть закон України, який регламентує природоохоронні заходи.
3. Визначте, що таке рідкісні, зникаючі види рослин і тварин і ті, що потребують охорони.
4. Назвіть основні категорії охоронних територій і об'єктів природи, вкажіть принципові відмінності між ними.
5. Поясніть, що таке Червона і Зелена книги.
6. Розкрийте, які можливості надають біотехнології в охороні природи.
7. Що таке моніторинг, які його основні види?
8. Дайте визначення поняття «екологічне нормування».
9. Назвіть основні категорії охоронних природних об'єктів в Україні.
10. Покажіть суть сучасної міждержавної екологічної політики і виділіть її пріоритети.
11. Дайте визначення екологічного права.
12. Проаналізуйте проблему екологічної освіти й виховання і покажіть позитивні й негативні моменти екологічної освіти в школах та вищих навчальних закладах України.
13. Вкажіть на складні проблеми розвитку міжнародного співробітництва держав у галузі охорони природи й боротьби за чисте природне середовище.

Питання для обговорення

1. У чому полягають відмінності в процесі вимирання видів у доантропогенну та антропогенну епохи?
2. Чому для охорони видів рослин і тварин необхідно охороняти екосистеми?
3. Розгляньте проблему необхідності екологічних знань для охорони природи.
4. Розгляньте суть концепції ГДК та з'ясуйте позитивні й негативні моменти.
5. У чому переваги біоіндикації?
6. Якими способами можна зберегти біологічне різноманіття?
7. Які ви знаєте міжнародні документи з проблем екологічної безпеки та охорони природи?
8. Які форми економічного регулювання застосовуються для забезпечення екологічної чистоти навколишнього середовища?
9. У чому суть витратного принципу екологічних платежів?
10. У чому полягає зміст поліфункціональної парадигми охорони природи?
11. Розгляньте досвід держав Західної Європи в розв'язанні проблем екологічної безпеки і його значення для України як європейської держави.

15 | Моделювання і прогнозування в екології

15.1. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Термін «*природокористування*» був уведений у науку наприкінці 1950-х років, коли група авторів висунула ідею створення нової синтетичної галузі знань – природокористування як «науки про загальні принципи практичної діяльності, пов'язаної або з безпосереднім використанням природи, або з впливом на неї». Найчастіше термін «природокористування» вживається щодо діяльності, спрямованої на забезпечення потреб суспільства в природних ресурсах (ресурсокористування), збереження необхідної для виробництва і життєдіяльності людини якості навколишнього природного середовища і стану земної природи в цілому. При такому підході природокористування сприймається як діяльність, спрямована на використання предметів і ресурсів природи, природних умов як засобів праці й умов життєдіяльності суспільства.

Природокористування може бути визначене як процес застосування людиною природних цінностей для досягнення своїх цілей (соціальних, господарських, рекреаційних, наукових, естетичних та ін.). Поняття природних цінностей дуже широке: це будь-які матеріальні об'єкти, властивості природних об'єктів, закони природи.

З ростом наукових знань про процеси взаємодії природи й суспільства змінилось і уявлення про природокористування. Ця обставина, а також інтерес окремих наук до дослідження природокористування привели до того, що в наш час намітилося кілька підходів до визначення самого поняття «природокористування».

Неправильно зводити природокористування до ресурсокористування, бо ресурсами не вичерпується все, що дає нам природа. Такий підхід істотно звужує і збіднює зміст самого поняття природокористування.

Помилковим також є ототожнення природокористування з охороною природи. Охорона природи – це певний соціальний інститут, що спирається на різні державні, правові і громадські організації. В охорону природи входять охорона тваринного і рослинного світу, ландшафтів, пам'ятників природи тощо, тобто таких природних об'єктів, які можуть і не бути безпосереднім об'єктом виробничого процесу, але, будучи включені в природне середовище, зазнають впливу змінених природних умов і тому потребують охорони. Таким чином, природокористування може містити в собі охорону природи, але не зводиться до неї.

Видів природокористування досить багато. Одним з основних є *ресурсне природокористування* (іноді його називають галузевим), спрямоване на освоєння якого-небудь ресурсу природи – водокористування, лісокористування і т.ін., і комплексно-територіальне, що включає глобальне, регіональне або місцево-локальне використання територіальних ресурсів, властивостей та інших якостей природи.

Виділення *соціально-економічного* аспекту природокористування обумовлене тим, що природокористування є моментом суспільного виробництва. Саме через процеси природокористування здійснюється взаємодія між соціумом і природою. Соціально-економічний аспект природокористування нерозривно пов'язаний з екологічними, медико-гігієнічними і технологічними аспектами.

При *екологічному* аспекті розгляду процесів природокористування вивчається вплив суспільного виробництва на природне середовище і вплив природного середовища на суспільне виробництво.

У безпосередньому зв'язку з екологічним знаходиться *медико-гігієнічний* аспект природокористування. Необхідність введення даного аспекту пояснюється тим, що природне середовище, змінене в процесі людської діяльності, впливає перш за все на саму людину, її здоров'я і здатність займатися суспільно корисною працею.

Технологічний аспект вивчення процесів природокористування передбачає пошук екологічно припустимих способів перетворення природи з метою її подальшого використання, а також пошук таких технологічних рішень, які б забезпечували радикальне поліпшення використання природних ресурсів, сировини, матеріалів, палива й енергії.

Важливим прийомом дослідження природокористування є математичне моделювання, оскільки математика, завдяки властивим їй методам абстракції, дає можливість об'єднати різноманітні якісні дослідження одного об'єкта, проведені різними науками, привести їх до однорідного кількісного опису. Метод математичного

моделювання як один із засобів математизації наукового знання також надає можливість поєднувати несхожі математичні методи і моделі різних наук.

Майже в будь-якій математичній моделі природокористування присутні і складають певну єдність різні демографічні, соціальні, економічні, виробничі, природні, екологічні й інші елементи, об'єднані у відповідні модельні блоки. Таку можливість надають сучасні комп'ютерні технології.

Важливою причиною переважного використання математичних моделей в екології і природокористуванні є особливості об'єктів, з яким мають справу фахівці цього профілю. Природні системи не тільки надзвичайно складні, вони часто унікальні і неповторні. Тому звичайний у науці спосіб їх вивчення – експеримент – із ними неможливий. У дослідника немає ніякої впевненості, що після досліду, проведеного з тією чи іншою природною системою, вона зможе повернутися в первісний стан. Крім того, звичайний експериментальний метод вимагає проведення досвіду з повтореннями, а в екології і природокористуванні такі повторення здебільшого неможливі.

На відміну від експериментального методу метод комп'ютерного моделювання і прогнозування дозволяє досліджувати будь-які природні системи і технології їх використання, не порушуючи їх. Однак у зв'язку з тим, що дослідникові поки що не відомі всі особливості структури і функціонування природних екосистем, метод математичного моделювання є більш корисним не для проведення на основі моделі якихось окремих розрахунків, а для дослідження можливої поведінки об'єкта і прогнозування його можливих станів.

Прикладом математичної моделі складного природного об'єкта може бути класична модель *В. Вольтерри*, яка була створена у 20-х роках ХХ століття і поклала початок математичній екології. У цій моделі розглядалися базові аспекти боротьби за існування живих організмів. Але відразу слід зазначити, що спроби використати цю модель для обчислення, зокрема, продуктивності рибних зграй і промислових тварин, виявилися невдалими через загальний характер моделі, в яку від початку не були включені важливі параметри.

У ході подальшого розвитку методів моделювання і прогнозування корисними виявилися ідеї кібернетики – науки, що розглядає поведінку складних систем і способи керування ними. Але й при цьому основними труднощами математичного моделювання і прогнозування навіть при використанні комп'ютерної техніки є створення такої моделі, параметри якої були б адекватні складній природній чи соціоприродній системі й не були б упущені важливі структури або важливі зв'язки таких систем. Справа в тому, що

екосистеми – це системи відкриті, які постійно обмінюються з навколишнім середовищем речовиною й енергією. Включення всіх таких зв'язків у модель екосистеми робить неможливим розв'язання моделі навіть на найпотужніших із сучасних комп'ютерів, а відсікання частини зв'язків і невключення їх у модель потребує від дослідника дуже великих знань і навіть інтуїції.

У процесі технократичного природокористування зміни природних екосистем поки що дуже часто супроводжуються неприємними і непередбаченими побічними наслідками через неповноту й однобічність «моделі» того чи іншого проекту. Так, при спорудженні великих гідроелектростанцій не були передбачені зміни гідрологічного режиму великих територій, що погіршують умови ведення сільського господарства. Подібним чином були ігноровані й побічні наслідки будівництва АЕС.

Отже, завданням математичного моделювання є виявлення і включення в модель найбільш суттєвих ознак, явищ, законів і тенденцій розвитку модельованої природної системи.

15.2. МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГІЇ

У зв'язку зі складністю екологічних систем для їх вивчення часто використовують моделювання. Як модель може виступати матеріальна копія об'єкта екології, звичайно, до певної міри спрощена. Наприклад, акваріум можна розглядати як модель ставка. На таких моделях отримують достатньо корисної інформації, але в цілому їх значення в екології порівняно обмежене. Реальні екосистеми – це багатовидові, комплексні об'єкти, у той час як їх моделі мають досить багато спрощень і часто виявляються досить дорогими. Отримання за допомогою матеріальних моделей інформації про стійкість, особливості розвитку екосистем і т.ін. потребує багато часу, оскільки тривалість будь-якого процесу в матеріальній моделі й реальному об'єкті має відношення 1:1.

Інший клас матеріальних моделей складають реальні об'єкти природи, спеціально виділені для вивчення в природному середовищі. У цьому випадку йдеться про «модель особини», «модель популяції» тощо.

Більш широко в екології використовують абстрактні моделі. У даному випадку моделлю називають деякі абстрактні описи того чи іншого об'єкта або явища реального світу, що дозволяє аналізувати його властивості. Переваги абстрактних моделей полягають у тому, що вони дозволяють порівняно простими й недорогими засобами аналізувати поведінку екологічних систем і передбачати характер їх змін при внесенні в систему тих чи інших змін.

Головна вимога до абстрактних екологічних моделей – це точність і достатня узагальненість. Точність абстрактних моделей у багатьох випадках залежить від кількості вибраних для її конструювання елементів і параметрів системи. Включення до моделі досить великої кількості компонентів ускладнює її аналіз, створює «шум». Навпаки, редукція кількості елементів до занадто малого їх числа робить модель далекою від реальності.

Моделювання екологічних об'єктів на основі абстрактних моделей базується на ряді спільних рис. Спершу визначається об'єкт моделювання – популяція, екосистема тощо. Потім визначаються межі об'єкта, мета моделювання, і на цій основі складається перелік компонентів і зв'язків, що включаються до моделі. Наступний важливий етап моделювання – це з'ясування співвідношення між компонентами моделі. Результати цього етапу моделювання показані на прикладі спрощеної моделі екосистеми лісу (рис. 15.1)

Вони можуть мати вигляд стрілок, як це зроблено в схематичній моделі. Досить важливим етапом моделювання є кількісна оцінка всіх параметрів, що беруть участь у функціонуванні об'єкта. Це можуть бути, як на рис. 15.1, оцінки ємності ґрунту

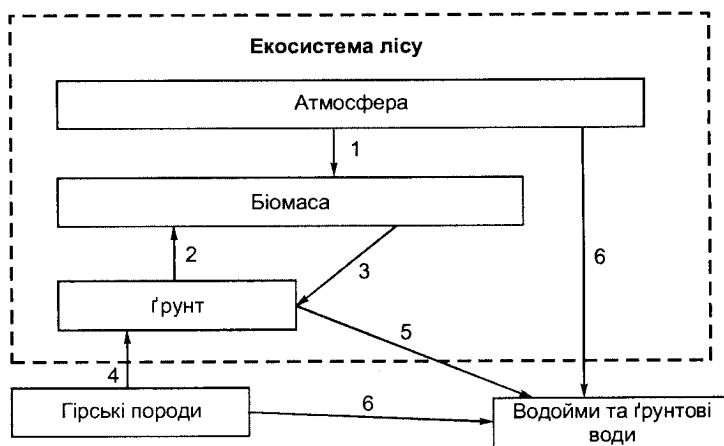


Рис. 15.1. Спрощена графічна модель екосистеми лісу, що показує міграцію елементів мінерального живлення.

- 1 – надходження мінеральних речовин з опадами; 2 – надходження мінеральних речовин із ґрунту; 3 – мінералізація органічних речовин і повернення мінеральних речовин до ґрунту; 4 – вивітрювання гірської породи із збагаченням ґрунту мінеральними елементами; 5 – вимивання мінеральних речовин із ґрунту й гірських порід; 6 – надходження мінеральних речовин у водойми з опадами.

щодо кількості мінеральних речовин, швидкість мінералізації речовин, величина біомаси рослин, тварин і мікроорганізмів тощо.

На кінцевому етапі співвідношення між компонентами і процесами можуть бути подані у вигляді математичного виразу. Усі розрахунки, пов'язані зі змінами кількісних параметрів моделі, сьогодні виконуються за допомогою ЕОМ.

Під час конструювання й дослідження моделі перевіряється її відповідність реальному об'єкту. Модель може ускладнюватися шляхом додавання суттєвих, але спочатку пропущених компонентів і зв'язків або спрощуватися за рахунок виключення несуттєвих для її функціонування компонентів і процесів.

Залежно від апарату дослідження абстрактні моделі поділяють на ряд видів (рис. 15.2). Основними видами абстрактних моделей є:

1) *вербальні моделі* – суто словесні описи елементів і процесів екосистем. Вони непридатні для дослідження й прогнозування систем, але в самому процесі моделювання вербальні моделі відіграють досить важливу роль. Чим ближче вербальна модель до реальності і чим точніше вона відображає суть екологічної системи, тим більш правильними виявляються створені на її основі матеріальні та інші моделі. Успіх конструювання вербальних моделей безпосередньо залежить від екологічної освіти дослідника й точного використання ним термінів і понять екології;

2) *графічні моделі* становлять собою схематичні зображення компонентів системи і зв'язків між ними, подібно до того, як це показано на рис. 15.2;

3) *математичні моделі* описують екологічну систему у вигляді одного чи кількох математичних виразів. Так, вираз

$$y = y_0 e^{rt}$$

є звичайною математичною моделлю росту популяції. У цьому виразі y – густина популяції; y_0 – початкова густина популяції; r – константа, що показує здатність до збільшення чисельності популяції даного виду; t – час; e – основа натурального логарифму.

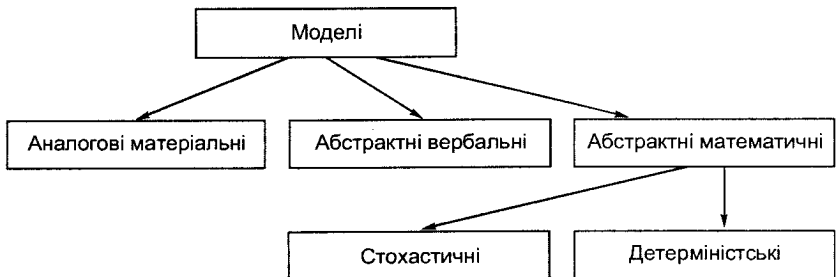


Рис. 15.2. Основні види моделей, що застосовуються

У цій моделі ріст популяції повністю визначається параметрами y_0 , r і t . Тому модель, що тут представлена, називається *детерміністською*. Але біологоекологічні процеси рідко коли мають жорстку визначеність. Частіше вони залежать від випадкових, стохастичних коливань значення якогось одного або кількох параметрів даної системи. Так, стохастичний характер може мати освітленість протягом доби через непередбаченість руху хмар, зовсім випадковим є відвідання комахою-запилювачем певної квітки і т.ін. Введення стохастичного компонента до математичних моделей, як з'ясувалося, посилює їх відповідність реальності й підвищує вірогідність прогнозів. Моделі такого роду називаються стохастичними. Для їх реалізації в математичні вирази включають змінні величини, значення яких мають випадковий характер і лежать у межах певної амплітуди.

Використання математичних моделей вимагає від еколога досить вільного володіння математичним апаратом. Розрахункова сторона в наш час вирішується шляхом залучення ЕОМ і професійних програмістів.

Математичні моделі є потужним інструментом сучасної екології. Але метод абстрактного моделювання має й свої недоліки. Екологічна інтерпретація математичних виразів, отриманих після перетворення вихідних рівнянь, часто досить непроста. Складні математичні моделі вкрай важко розв'язуються, а прості надто спрощують реалії природи і дають тривіальні результати. Досвід роботи за Міжнародною біологічною програмою показує недоцільність моделювання цілих екосистем. Метод моделювання цілих екосистем потребує великих затрат і багато часу. Так, розробка моделі низькотравних прерій у США зайняла 8 років, над нею працювали 200 вчених із США та ряду зарубіжних країн, і загальні витрати склали 10 млн. доларів. Більш доцільно моделювати окремі підсистеми. До того ж досить великі системи, такі, як біосфера, практично не моделюються через велику кількість зв'язків, що є в них, та високу значущість випадкових факторів.

15.3 ОПИСОВА І ПРОГНОСТИЧНА ЦІННІСТЬ ЕКОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Екологічні моделі можуть бути необхідними й корисними для точного кількісного опису будівлі і функціонування екосистем або їх окремих блоків і для прогнозування змін у екосистемах. Різні типи й класи моделей у цьому відношенні не однакові. Багато типів моделей, що використовувалися і використовуються в екології, не мають високої точності опису й прогнозування. Це пов'язано з рядом причин.

Низька вірогідність прогнозів нерідко буває викликана недостатньою вивченістю структури екосистеми і всіх зв'язків у ній. Екосистеми – об'єкти, що мають багато ознак, а вибір ознак для включення в модель залишається значною мірою інтуїтивним і базується на суб'єктивних судженнях. Ця проблема в моделюванні розроблена найслабше. Іншою важливою причиною низької прогностичної спроможності багатьох екологічних моделей є ігнорування того факту, що модельовані екосистеми є динамічними й знаходяться в процесі саморозвитку. Виявлення трендів цієї динаміки потребує особливих методів і підходів, тоді як звичайні моделі являють собою немов моментальний зліпок з екосистеми зі спрощеною лінійною інтерпретацією її динаміки. Знижується прогностична спроможність екологічних моделей також унаслідок повного або часткового ігнорування відкритого характеру екосистем, що постійно обмінюються з навколишнім середовищем матерією й енергією, зазнають збоку цього середовища різні впливи. Тому точне прогнозування стану екосистеми припускає й прогнозування всіх зовнішніх впливів на неї, тоді як цілий ряд таких впливів можуть мати випадковий характер або взагалі на певному етапі розвитку біосфери і людської цивілізації з'явитися вперше, що особливо складно передбачати.

Розглянуті труднощі моделювання ведуть до того, що фахівці намагаються використовувати для моделювання все нові й нові методи, що підвищують описову й прогностичну цінність моделювання.

Одним із таких методів є *імітаційне моделювання*. В імітаційному моделюванні використовують широкий набір вихідних параметрів. Це закономірні зв'язки між структурними частинами модельованого об'єкта, великі статистичні дані, а також якісні уявлення, що ґрунтуються на інтуїції дослідника. Особливістю імітаційного моделювання є зіставлення параметрів моделі з даними подальших спостережень чи експериментів, на основі чого уточнюється структура моделі. Прикладом імітаційних моделей є моделі глобального розвитку Римського клубу *Дж. Форрестера*. У цих моделях розглядався можливий стан біосфери планети під впливом сильних антропогенних забруднень і з урахуванням обмеженості природних ресурсів. Основні прогнози, зроблені на підставі моделей Римського клубу, підтвердилися наприкінці ХХ сторіччя, хоча ряд окремих процесів передбачити не вдалося. Це було пов'язане з тим, що імітаційні моделі Римського клубу не враховували істотних змін у характері природокористування, а також ігнорували фактичний перебіг глибоких змін у соціальній структурі людської цивілізації (крах соціалістичної системи в СРСР, поглиблення протистояння між західною та ісламською цивілізаціями й ін.).

Більшу точність виявляють імітаційні моделі при описі і прогнозуванні не в глобальному, а регіональному масштабі, де простіше виділити основні блоки моделі і більш повно врахувати взаємозв'язки об'єктів та можливі зовнішні впливи на них. Проте такі моделі, як правило, не можна застосувати до інших об'єктів. Імітаційні моделі дають результати, правильні в певних часових межах і доти, поки не відбудуться якісні зміни чи об'єкта моделювання, чи його зв'язків з навколишнім середовищем. У цілому, *Р. Шеннон* (1979:27) справедливо відзначив, що «розробка і застосування імітаційних моделей усе ще більшою мірою мистецтво ніж наука».

Інший тип моделей, використовуваних для опису і прогнозування екосистем, це так званий патерн-аналіз, що одержав свою назву від англійського слова *pattern*, що означає «структура», «склад» або «образ». У звичайному регресійному аналізі по необхідності всі складові моделі доводиться поділяти на залежні і незалежні змінні. При патерн-аналізі об'єкт моделювання розглядають як «патерн» з численними взаємозв'язками, характер яких попередньо не постулюється. У цьому перевага патерн-аналізу, але цим же обумовлені і його недоліки. Патерн-моделі розкривають, що відбувається в досліджуваній екосистемі, яка динаміка зміни її структури і зв'язків між структурними компонентами, але завдання прогнозування в таких моделях є начебто вторинним. Прогнози на основі патерн-аналізу є невизначеними, неоднозначними і виражені в такій формі, що їх важко верифікувати. Тому патерн-аналіз як метод моделювання найбільше придатний при дослідженні слабо вивчених природних об'єктів.

Ще один цікавий і новий метод, який застосовується в екологічному моделюванні й заснований на дедуктивно-теоретичному підході, – це метод сценаріїв. Сценарій являє собою гіпотезу, імовірний варіант можливого розвитку тієї чи іншої екосистеми або біосфери в цілому. З математичної точки зору метод сценаріїв є комплексним, він містить у собі формальні й неформальні підходи, дозволяє враховувати соціальні і політичні компоненти. Сценарій – це бажаний шлях розвитку модельованого об'єкта із з'ясуванням умов, які дозволяють реалізувати саме цей шлях. Реалізація сценарію таким чином передається в руки людини, у сферу її свідомого розуму. Як в імітаційних моделях, так і в методі сценаріїв дуже великою є роль інтуїції дослідника. Це визначає як силу таких методів (у випадку неупередженої і потужної інтуїції дослідника), так і їх слабкість (що залежить від суб'єктивності наших суджень і бажань).

Останнім часом, наприклад, у роботах, виконаних під керівництвом *Н.Н. Моїсєєва*, для підвищення вірогідності моделювання поєднують підходи імітаційного моделювання й методи

сценаріїв. Саме таким чином було отримано прогноз про можливість «ядерної зими» і повної загибелі людської цивілізації у випадку ядерної війни з використанням більшої частини ядерної зброї, що є на планеті.

У цілому, досвід екологічного моделювання в регіональному і глобальному масштабі показав, що для його якісного здійснення необхідно більш ретельно вивчати біологічні й екологічні закони життя природи, а також роль соціального компонента в природних процесах.

15.4. ОСНОВНІ ЕТАПИ ПОБУДОВИ ЕКОЛОГІЧНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Процес побудови математичної моделі є творчим завданням, яке розв'язується щоразу конкретно стосовно об'єкта моделювання і мети побудови моделі. Проте в побудові будь-яких математичних моделей є спільні риси, що дозволяє певною мірою формалізувати процес моделювання.

Варто врахувати, що екосистеми й інші екологічні об'єкти є багатомодельними, що, за визначенням *В.С. Флейшмана (1982)*, означає можливість розробки для того самого об'єкта декількох рівноправних моделей. Багатомодельність визначається тим, що, по-перше, цілі моделювання можуть бути різними, тоді моделі спираються на різні структури і функції модельованого об'єкта, а, по-друге, для досягнення заданої точності моделювання також доводиться спиратися на різні параметри об'єкта, враховувати більше або менше таких параметрів. Оптимальність моделі при цьому сприймається не як універсальна властивість, а як відповідність моделі поставленому конкретному завданню.

У процесі моделювання можуть бути послідовно виділені шість основних етапів.

Перший етап полягає в чіткому формулюванні завдання моделювання з визначенням сфери використання розроблюваної моделі.

Другий етап передбачає ретельне вивчення об'єкта екологічного моделювання. На цьому концептуальному етапі визначається положення екологічного об'єкта в загальній ієрархії об'єктів екології і формулюються загальні теоретичні уявлення про нього. У ході цього процесу виділяються істотні і неістотні блоки (структурні складові об'єкта моделювання) і функції (взаємозв'язки між блоками). На цьому ж етапі підсумовується вся інформація про об'єкт моделювання, одержана при його вивченні під час експериментів. Ця інформація звичайно подається як

певна база даних про об'єкт моделювання. При включенні такої інформації в модель вона звичайно тією чи іншою мірою «ідеалізується», тобто враховуються найбільш важливі особливості й властивості структур і функцій та ігноруються несуттєві для даної моделі. Так, наприклад, при моделюванні ланцюга живлення можуть враховуватись якнайповніше всі харчові зв'язки кожного з організмів, але ігнорується добова ритміка харчування як неістотна для даної моделі.

Розробка математичної моделі на першому її етапі по суті є побудовою концептуальної моделі об'єкта в якісній або в приблизній кількісній формі. Таким чином, цей етап уже сам по собі збагачує екологію, оскільки піднімає знання про об'єкт моделювання на новий рівень, сприяє більш повному і правильному розумінню екологічних явищ і процесів.

Третій етап побудови математичної моделі – це підбір типу моделі, який найбільше відповідає поставленому завданню і з найбільшою повнотою і точністю відбиває виділені структурні компоненти об'єкта моделювання і відносини між ними. Власне, на цьому етапі визначається конкретний математичний апарат моделювання. Нерідко при первинному моделюванні екологічних систем доводиться запозичати математичний апарат із суміжних дисциплін або навіть створювати новий. При моделюванні екологічних систем і типів природокористування ця ситуація зустрічається найчастіше.

На четвертому етапі здійснюється безпосередньо переклад моделі на одну з комп'ютерних мов. Вибір мови програмування також є змістовною задачею. У деяких випадках програмістам доводиться створювати для нового класу моделей нову мову програмування. Визначається послідовність математичних і логічних операцій, реалізація яких веде до одержання очікуваного результату.

На п'ятому етапі моделювання здійснюється перевірка моделі на її відповідність природі об'єкта. Для цього використовуються апарат формальної логіки, а також інші засоби.

На шостому етапі проводиться «прогін» моделі на комп'ютері при різних комбінаціях вихідних даних, виробляються найбільш наочні способи подання результатів і їх змістовної екологічної інтерпретації.

15.5. АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ARIMA І НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯК НОВИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ

Часто найбільш важливою частиною моделювання в екології є прогнозування стану тих чи інших екологічних систем – від біосфери в цілому до конкретних ланцюгів живлення. Такі

прогнози можна розробляти на основі індуктивно-емпіричних або дедуктивно-теоретичних моделей. Перші з них базуються на конкретних даних про стан модельованого об'єкта, а другі будуються на основі загальних наукових уявлень (теорій і гіпотез) про об'єкт.

Прогноз – це науково обґрунтоване імовірнісне судження про можливий стан якого-небудь об'єкта, процесу або явища до певного моменту в майбутньому.

Базовим поняттям в екологічному прогнозуванні є поняття про часовий ряд. *Часовий ряд* – це сукупність послідовних значень перемінної (процесу), зроблених через певні, найчастіше рівні, інтервали значень параметра (звичайно часу). Якщо вимірювані значення є багатомірними, то часовий ряд теж називається багатомірним. Аналізом одержуваних вимірів статистичних даних займається напрям статистики, що називається *аналізом часових рядів*. Аналіз часових рядів використовується, зокрема, для розв'язання таких завдань:

1) для побудови математичної моделі процесу, представленою часовим рядом;

2) для дослідження структури часового ряду, наприклад, для виявлення зміни середнього рівня значень (тренда) і виявлення періодичних коливань;

3) для прогнозування майбутнього розвитку процесу, представленого часовим рядом;

4) для дослідження взаємодій між різними часовими рядами.

Для розв'язання цих і інших завдань аналізу часових існує велика кількість різних методів. Серед них найбільш важливими є:

1. Методи *кореляційного аналізу*, що дозволяють виявити найбільш істотні періодичні залежності і їх лаги (затримки) в одному процесі (автокореляція) або між кількома процесами (кроскореляція).

2. Різні модифікації *регресійного аналізу*, що виявляють основну тенденцію в змінах часового ряду й різні фактори, що на цій тенденції позначаються – контролюють її.

3. Методи спектрального аналізу дозволяють знаходити періодичні й квазіперіодичні залежності в даних.

4. Методи *згладжування і фільтрації* призначені для перетворення часових рядів з метою видалення з них високочастотних або сезонних коливань.

5. Методи *авторегресії і проінтегрованого ковзного середнього (ARIMA)* виявляються особливо корисними для опису і прогнозування процесів, що виявляють однорідні коливання навколо середнього значення.

Метод ARIMA був розроблений Г. Боксом і Г. Дженкінсом, і в даний час існує велика кількість його модифікацій.

6. *Метод нейронних мереж*, який отримав свою назву від спеціальних нервових кліток нейронів, здатних сприймати, перетворювати й поширювати сигнали. Особливістю нейронних мереж є їх здатність сприймати сигнали (інформацію) з кількох вхідних каналів і перетворювати їх в один вихідний сигнал. Комп'ютерна реалізація методу дозволяє передавати сигнали від одного нейрона до інших, що складають у цілому нейронну мережу. Даний метод почав широко використовуватися для цілей прогнозування, тому що дозволяє опрацьовувати нелінійні функціональні зв'язки, а також унаслідок здатності створеної нейронної мережі до навчання.

У цілому в моделюванні екологічних процесів і явищ вирішальними є дві обставини: а) якість і повнота вихідних даних і б) адекватність моделі модельованому об'єктові. Тут корисно пам'ятати слова *Т. Хакслі* про те, що «математика наче жорнов, перемелює те, що під нього засипають, і, як засипавши лободу, ви не одержите пшеничного борошна, так, списавши цілі сторінки формулами, ви не одержите істини з помилкових передумов». Проте при правильному підході до справи математичне моделювання в екології є найбільш потужним сучасним інструментом пізнання і прогнозування в екологічній науці.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняття «природокористування».
2. Дайте визначення поняття «охорона природи».
3. Назвіть основні види моделей, що використовуються в екології.
4. Розкрийте цінність екологічних моделей для екології.
5. Назвіть основні етапи побудови екологічної моделі й охарактеризуйте їх зміст.
6. Що таке імітаційне моделювання?
7. Що таке моделювання на основі патерн-аналізу?
8. Що таке моделювання на основі сценаріїв?
9. Що таке часовий ряд?

Питання для обговорення

1. Виділіть основні види природокористування й оцініть ступінь їхнього впливу на природне середовище.
2. Виявіть відмінність математичних моделей природокористування від екологічних моделей.
3. Складіть графічні моделі лісу, луку й агроєкосистеми, визначивши основні блоки і зв'язки між ними.

ПІСЛЯМОВА

Початок ХХІ століття – це час усвідомлення кризи цивілізації, заснованої на індивідуалізмі, споживанні та підкоренні природи. Це час усвідомлення того, що природа має абсолютну цінність не тому, що вона приносить користь, а тому, що без неї неможливе існування людства. Настала епоха науки екології, яка взяла на себе функцію інтегрування людських знань і роль лоцмана людської історії.

Сучасна екологія – це наукова база для розробки стратегії і тактики поведінки людства. Закони екології вчать, що людство є частиною природи і його існування залежить від функціонування природних систем. Один із головних висновків, до якого веде вивчення екології, полягає в усвідомленні того, що при всіх видах виробництва треба орієнтуватися не на боротьбу з наслідками, що руйнують природу, а на усунення самих причин деградації біосфери.

Закони екології лежать в основі не лише біологічного, а й соціального буття. Екологічні прогнози майбутнього з розвитком екологічної кризи стають усе більш актуальними. Уже один із перших таких прогнозів, складений *О. Тоффлером* у 1971 році, показав небезпеку сліпого руху до суперіндустріального суспільства. Серія прогнозів, зроблених Римським клубом, і в першу чергу прогнози *Д. Медоуза*, *М. Месоровича*, *Е. Пестеля*, *Я. Тінбергена* та ін, досить об'єктивно засвідчують, що кризові ситуації в сировинній, продовольчій і власне екологічній сферах не є тимчасовими, вони зростають і ставлять перед людством серйозні завдання.

Наприкінці ХХ століття суспільство стало перед найважливішим моментом свого розвитку. Протягом усієї історії існування людина спиралася на природоруйнівну структуру господарювання.

Техногенна цивілізація здійснила руйнівний вплив на біосферу планети і стала загрожувати здоров'ю людей і самому існуванню людства. З'ясувалося, що природні багатства мають обмежені обсяги, швидко вичерпуються, а здатність багатьох екосистем до самовідновлення наблизилася до межі, а в багатьох випадках виявилася вичерпаною. Виникла загроза майбутнім поколінням людства.

Напередодні ХХІ століття людство ступило на поріг нової складної епохи – екологізації всіх сфер виробничої діяльності. Її успішному здійсненню заважають *соціально-політичні умови*, які є

наслідком того, що уряди й народи ще не зрозуміли необхідності віднесення проблем збереження довкілля до пріоритетів розвитку нації, *економічно-технічні умови*, які полягають у тому, що екологічно чисті технології відсутні або дорого коштують, та *передумови морально-психологічного характеру*, що зводяться до неусвідомлення згубних наслідків, антиекологічних дій.

Інакше кажучи, людству незалежно від його волі та бажання доводиться вступати в ноосферний період розвитку та розв'язувати такі глобальні проблеми, до яких воно ще не готове. Створення ноосфери, як це уявляв *В.І. Вернадський*, потребує виконання кількох важливих умов:

- а) об'єднання всього людства навколо єдиних цілей і завдань;
- б) створення єдиної інформаційної мережі;
- в) свобода виконання прийнятих рішень перетворення навколишнього середовища внаслідок необмеженого доступу до ресурсів та енергії;
- г) рівність і високий добробут усіх членів суспільства;
- д) недопущення війни як засобу розв'язання соціальних конфліктів.

У сучасному суспільстві ці умови не виконуються. Людська цивілізація продовжує знаходитися у фазі нестійкого розвитку, коли внутрішні конфлікти перешкоджають вирішенню глобальних проблем.

Складність і трагізм сучасного історичного періоду полягає в тому, що біосфера вже не може саморегулюватися за рахунок природних механізмів, тоді як ноосфера, яка управлятиметься загальнолюдським розумом, ще не існує. Світовому співтовариству необхідна єдина концепція виживання. Людство на роздоріжжі – треба зробити відповідний вибір: або екологічне усвідомлення, або продовження стихійного розвитку з виходом за межу ризику і можливим крахом цивілізації.

Можливі лише три варіанти подальшого розвитку людської цивілізації.

Перший – технократичний: продовження максимального споживання ресурсів, виснаження ґрунту, накопичення негативних впливів на середовище, урбанізація, зростання чисельності населення. По суті, це шлях до катастрофи, оскільки для створення штучної біосфери у людства немає достатньої кількості ресурсів та енергії.

Другий варіант – докорінна зміна стратегії розвитку суспільства, перехід на екологічно чисті технології, альтернативне сільське господарство, скорочення споживання ресурсів, самообмеження потреб, регулювання народжуваності, повне роззброєння. Цей варіант досить складний через кардинальність соціальної та виробничої перебудови.

Третій варіант, який сьогодні вважається найбільш придатним, проміжний. Це поступова заміна технократичного розвитку суспільства розвитком екологічним.

Щодо подальшої долі людства існують і песимістичні погляди, й оптимістичні. Видатний англійський поет Байрон писав, що «людина позначає Землю руїнами». *М.Ф. Реймерс* стверджує: «У людства повинно бути майбутнє. І воно може бути світлим. Нерозв'язних проблем немає. Пройти небезпечну ділянку шляху в майбутнє допоможе світло екологічних знань, активність, праця й високий професіоналізм». Але це шлях жорстких самообмежень, шлях розуму, а не шлях самоствердження і самозадоволення окремих осіб і окремих націй. Від принципу соціалізму й комунізму «кожному за потребами» доведеться відмовитися. Потреби егоїстичні та безмежні. Справжня людська цивілізація починається тоді, коли суспільство стабілізує своє середовище життя на основі гармонії соціальних і природних процесів.

Людська цивілізація вступила в таку фазу розвитку, коли її доля вирішується не науково-технічним прогресом, а глибиною екологічних знань і вмінням діяти відповідно до цих знань. Людство у ХХІ столітті вперше має стати єдиним суб'єктом творчості, тоді як раніше такими суб'єктами були тільки окремі особи або групи осіб.

СЛОВНИК ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ І ТЕРМІНІВ ЕКОЛОГІЇ

Автотрофне харчування – харчування живих організмів, при якому вони самостійно синтезують органічні речовини з неорганічних.

Агроекологія – розділ загальної екології, що вивчає сільськогосподарські екосистеми.

Агроландшафт – ландшафт, в якому основну його частину складають посіви, пасовища і косовиці.

Агросфера – частина біосфери планети, перетворена в результаті сільськогосподарської діяльності людини.

Агрофітоценоз – сукупність культурних рослин та інших живих організмів на тому чи іншому полі сівозміни.

Адаптація – пристосування живих організмів до середовища існування.

Алелопатія – вплив живих організмів один на одного за посередництвом хімічних речовин, які вони виділяють у навколишнє середовище.

Ареал – область поширення того чи іншого виду живих організмів.

Бентос – сукупність живих організмів у придонній частині водойми.

Біогаз – сукупність газів, в якій переважає метан і яка одержується при переробці в анаеробних умовах сільськогосподарських відходів (гною, соломи і т.п.). Використовується для виробництва тепла або електроенергії.

Біоконверсія – переведення органічної речовини рослин в органічну речовину тварин.

Біом – сукупність живих організмів на тій чи іншій території, пов'язана зі своєрідністю її природно-кліматичних умов.

Біомаса – сукупність біомаси живих організмів у тій чи іншій екосистемі або на тій чи іншій території.

Біосфера – сукупність усіх екосистем земної кулі. Являє собою особливу оболонку планети, заселену живими організмами.

Викиди – разові або постійні надходження в природне середовище будь-яких забруднюючих речовин.

Випромінювання іонізуюче – випромінювання з високою енергією, здатне відривати електрони від їхніх атомів з утворенням позитивних і негативних іонів, що мають підвищену біологічну активність.

Відходи – речовини, що утворюються як побічний продукт виробничої діяльності людини.

Вітроенергетика – одержання електричної енергії за рахунок дії сили вітру.

Гази парникові – деякі гази (вуглекислий газ, метан та ін.), прозорі для світлової енергії, але непроникні для теплового інфрачервоного випромінювання від нагрітої сонцем поверхні. У великій кількості ведуть до підвищення температури біля поверхні планети.

ГДВ – гранично допустимий викид – розмір викиду забруднюючої речовини, за якого її концентрація в природному середовищі не перевищить ГДК.

ГДК – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини у воді або повітрі, визначена відповідними інструкціями.

Геліоенергетика – одержання тепла або електроенергії за рахунок використання сонячної енергії, яка поглинається особливими екранами.

Генна інженерія – одержання нових сортів рослин і порід тварин шляхом спрямованої зміни їх генома.

Гербіциди – хімічні препарати, використовувані для придушення бур'янистої рослинності.

Гетеротрофне харчування – харчування живих організмів з використанням готової органічної речовини.

Гідроенергетика – одержання енергії за рахунок використання енергії води.

Гідросфера – сукупність усіх вод на Землі.

Гумус – сукупність органічних речовин ґрунту. У чорноземних ґрунтах його може бути більше 10%.

Детрит – мертва органічна речовина.

Детритофаги – живі організми, що харчуються детритом. Наприклад, дощові хробаки.

Діра озонова – область в озоновому шарі атмосфери, де вміст озону знижений більш ніж на 50%, що не забезпечує затримання жорсткого космічного випромінювання.

Дощ кислотний – будь-які опади (дощ, сніг) із рН менше 5,6.

Евтрифікація водойм – підвищення вмісту у воді водойми поживних речовин, яке супроводжується посиленням розвитком деяких груп організмів і веде в остаточному підсумку до зниження кількості кисню у воді і зменшення у водоймі біорізноманіття.

Екосистема – сукупність взаємопов'язаних за типом живлення живих організмів і умов природного середовища.

Експертиза екологічна – оцінка змін природного середовища, які виникли під впливом тієї чи іншої виробничої діяльності людини з визначенням її відповідності вимогам екологічного законодавства.

Енергія антропогенна – енергія, що вводиться людиною в ту чи іншу екосистему в ході певного виробництва.

Забруднення – наявність у природному середовищі не властивих йому речовин, випромінювання або біологічних організмів.

Забруднення антропогенне – забруднення природного середовища внаслідок діяльності людини.

Заказник – охоронна природна територія, створена для відновлення і підтримання популяції того чи іншого виду живих організмів або групи видів.

Законодавство природоохоронне – сукупність законів тієї чи іншої країни, спрямованих на збереження природного середовища.

Запас біомаси – кількість біомаси в екосистемі в той чи інший період часу.

Заповідник – природна територія, повністю виведена з господарського користування.

Зелена книга – спеціальне видання, що містить перелік фітоценозів, яким загрожує зникнення.

Імператив екологічний – система заборон на форми господарської діяльності людини, що ведуть до погіршення якості природного середовища і втрати біорізноманіття.

Інсектициди – хімічні речовини, що використовуються для контролю чисельності комах.

Кадастр – систематизований звід даних про ті чи інші компоненти природного середовища. Наприклад, земельний кадастр містить опис ґрунтів з їх економічною оцінкою.

Канцерогени – речовини, що сприяють виникненню ракових захворювань.

Конверсія екологічна – зміна характеру промислового і сільськогосподарського виробництва відповідно до екологічного імперативу.

Консументи – живі організми, що живляться готовими органічними речовинами – як живими (траводіні тварини, хижакі), так і мертвими (детритофаги).

Криза екологічна – стан природного середовища на планеті в цілому чи в окремому районі, за якого втрачається його здатність до самопідтримання або воно містить неприпустимо велику кількість тих чи інших забруднюючих речовин.

Ксенобіотик – речовина, отримана в результаті штучного синтезу. При надходженні в екосистему ксенобіотики порушують природні кругообіги речовин.

Ландшафт – природна територія, однорідна за географічними, кліматичними та іншими особливостями.

Ланцюг живлення – сукупність живих організмів, які зв'язані одне з одним за способом живлення і складають певну послідовність.

Меганполіс – велика міська агломерація, що поєднує велике місто з його пригородами або кілька просторово і функціонально зв'язаних великих міст.

Метантенк – емність для одержання біогазу.

Моніторинг – комплексна система спостережень, оцінок і прогнозу стану природного середовища, спрямована на його поліпшення.

Національний природний парк – охоронна природна територія, на якій не дозволена господарська діяльність, але допускається відпочинок населення і проводяться заходи щодо екологічної освіти й виховання населення.

Ноосфера – стан біосфери планети, при якому відносини людини з природою свідомо керуються людським розумом і орієнтовані на стійке збереження біосфери і людської цивілізації.

Охорона природи – система заходів щодо збереження природного середовища, екосистем і біорізноманіття на планеті.

Парниковий ефект – підвищення середньої температури біля поверхні Землі внаслідок наявності парникових газів.

Пестициди – речовини, синтезовані і використовувани для контролю чисельності небажаних живих організмів в агроекосистемах.

Піраміда біомас – співвідношення між організмами з різним типом живлення, виражене в одиницях біомаси.

Піраміда енергетична – співвідношення між організмами з різним типом живлення, виражене у кількості зв'язаної ними енергії.

Піраміда чисельності – співвідношення між організмами з різним типом живлення, виражене в кількості їх особин.

Популяція – сукупність організмів одного виду, пов'язана певними відносинами.

Потенціал природно-ресурсний – частина природних ресурсів, залучена в господарську діяльність.

Природокористування – усі форми використання природного середовища для задоволення потреб людини.

Природокористування раціональне – промислове і сільськогосподарське виробництво, яке забезпечує ощадливе використання природних ресурсів, мінімізує кількість відходів і підтримує режим відновлення відтворюваних природних ресурсів.

Прогноз екологічний – пророкування майбутніх змін у природному середовищі.

Продуценти – живі організми з автотрофним типом живлення.

Радіонукліди – ізотопи хімічних елементів, що створюють радіоактивне випромінювання.

Редуценти – живі організми, що живляться живою органічною речовиною і здійснюють її кінцеву мінералізацію. Основними редуцентами є бактерії і гриби.

Рекреація – відпочинок населення в природному середовищі.

Ресурси відновні – сукупність природних ресурсів, що можуть поповнюватися внаслідок природних процесів (наприклад, деревина).

Ресурси невідновні – сукупність природних ресурсів, запас яких на планеті обмежений і в даний час не поповнюється. Наприклад, мінеральна сировина, природний газ та ін.

Розмаїтість біологічна – розмаїтість видів рослин, тварин та інших організмів у тій чи іншій екосистемі або на тій чи іншій території.

Стійкість екосистеми – здатність протистояти антропогенним впливам без втрати основних властивостей.

Техногенез – процес зміни природного середовища під впливом технічної (головним чином промислової) діяльності людини.

Технологія безвідхідна – промислова або сільськогосподарська технологія, яка цілком виключає утворення відходів, що надходять у природне середовище. Передбачає мінімальні втрати природних ресурсів при виробництві.

Технологія ресурсозберігаюча – виробництво тих чи інших продуктів при найбільш раціональному використанні всіх видів ресурсів і енергії.

Техносфера – частина біосфери планети, змінена за рахунок технологічної діяльності людства.

Толерантність – здатність живих організмів витримувати ті чи інші впливи.

Трофічний рівень – група живих організмів в екосистемі, яка має однаковий тип живлення.

Урбанізація – процес збільшення кількості міст, їх розміру або зростання чисельності населення, що проживає в містах.

Фактор антропогенний – будь-які впливи людини на природне середовище і живі організми.

Фактор лімітуючий – той чи інший екологічний фактор, що обмежує біопродукційний процес або чисельність популяції.

Фактори абіотичні – сукупність умов і ресурсів неорганічного середовища, що впливають на живі організми.

Фактори біотичні – сукупність впливів на живий організм з боку інших живих організмів.

Фітофаги – живі організми, що живляться рослинною їжею.

Фотосинтез – процес світлового живлення зелених рослин, у ході якого за рахунок сонячної енергії неорганічні речовини перетворюються в органічні.

Фунгіцид – хімічна речовина, яка використовується для придушення розвитку шкідливих грибів.

Цикл замкнений – технологічний процес, що передбачає повторне використання того чи іншого ресурсу, наприклад, води.

Червона книга – особливе видання, що містить перелік видів живих організмів, яким загрожує знищення.

Шар озоновий – частина атмосфери планети, що містить підвищену кількість озону, здатного затримувати жорстке космічне випромінювання.

Якість природного середовища – ступінь відповідності природного середовища потребам людини та інших живих організмів.

ДОДАТКОВА НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА

Боков В.А., Луцик А.В. Основы экологической безопасности. – Симферополь: Сонат, 1998. – 224 с.

Грищенко Ю.М. Основы заповідної справи. – Рівне: РДТУ, 2000. – 239 с.

Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. – Казань: КГУ, 1989. – 146 с.

Злобин Ю.А. Основы екології. – К.: Лібра, 1998. – 248 с.

Каракаша И.И. Экологическое право Украины. – Одесса: Латстар, 2001. – 478 с.

Крисаченко В.С. Екологічна культура: теорія і практика. – К.: Заповіт, 1996. – 108 с.

Кучерявий В.П. Екологія. – Львів: Світ, 2000. – 500 с.

Мазур И.И., Молдованов О.И. Курс инженерной экологии. – М.: Высшая школа, 1999. – 447 с.

Масюк Н.Т. Введение в сельскохозяйственную экологию. – Днепропетровск, 1989. – 192 с.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Экология. – Уфа: Восточный университет, 1998. – 256 с.

Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек. – М.: ФАИР, 1998. – 320 с.

Розанов С.И. Общая экология. – СПб.: Лань, 2001. – 288 с.

Степановских А.С. Экология. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 703 с.

Монографії з проблем екології

Андрієнко Т.Л. и др. Социально-экологическая значимость природно-заповедных территорий Украины. – К.: Наукова думка, 1991. – 160 с.

Будыко М.И. Эволюция биосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 488 с.

Вайнер (Уинер) Д. Экология в Советской России. – М.: Прогресс, 1991. – 96 с.

Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Политиздат, 1979. – 358 с.

Глазко В.И. Агроекологический аспект биосферы: проблема генетического разнообразия. – К.: Норапринт, 1998.

Голубец М.А. Актуальные вопросы экологии. – К.: Наукова думка, 1987. – 157 с.

Гродзінський О.М. Основы хімічної взаємодії рослин. – К.: Наукова думка, 1973. – 205 с.

Диксон Д., Скура Л., Карпенгер Р., Шерман П. Экономический анализ воздействий на окружающую среду. – М.: ВИТА, 2000. – 272 с.

- Жученко А.А.* Адаптивное растениеводство: эколого-генетические основы. – Кишинев: Штиинца, 1998. – 432 с.
- Заповідники і національні природні парки України / Ред. В. Шевчук та ін. – К.: Вища школа, 1999. – 232 с.
- Злобин Ю.А.* Агрофитоценология. – Харьков, 1986. – 74 с.
- Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шипов В.Н.* Инженерная экология: В 2 т. – М.: Высшая школа, 1996. – Т. 1. – 193 с.; Т. 2. – 205 с.
- Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й.* За пределами роста. – М.: Прогресс, 1994. – 304 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Популярный экологический словарь. – Уфа: Китап, 1997. – 302 с.
- Нобел Б.* Наука об окружающей среде: В 2 т. – М.: Мир, 1993. – Т. 1 – 420 с.; Т. 2 – 330 с.
- Одум Ю.* Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
- Програма дій «Порядок денний на XXI». – К.: Інтелсфера, 2000. – 360 с.
- Природно-заповідний фонд України загальнодержавного значення / Ред. В.Б. Леоненко та ін. – К., 1999. – 240 с.
- Природно-ресурсний аспект розвитку України / Кер. розд. І.Д. Андрієвський, Ю.Р. Шеляг-Сосонко. – К.: КМ Academia, 2001. – 112 с.
- Реймерс Н.Ф.* Экология. Теории, законы, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
- Рифкин Д.* Приближение биосферного века. – К.: Эхо-Восток, 1995. – 61 с.
- Розбудова екомережі України / Ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонко. – К., 1999. – 127 с.
- Ткаченко В.С.* Український природний степовий заповідник. – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – 280 с.
- Тооминг Х.Г.* Экологические принципы максимальной продуктивности растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 263 с.
- Эйхлер В.* Яды в нашей пище. – М.: Мир, 1993. – 189 с.
- Экология сельскохозяйственных экосистем. – М.: Агропромиздат, 1987. – 223 с.
- Яблоков А.В.* Ядовитая приправа. – М.: Мысль, 1990. – 125 с.

Навчальне видання

Злобін Юліан Андрійович
Кочубей Наталія Василівна

Загальна екологія

Навчальний посібник

Директор видавництва Р.В. Кочубей
Головний редактор В.І. Кочубей
Технічний редактор Н.Ю. Курносова
Дизайн обкладинки і макет В.Б. Гайдабрус
Комп'ютерна верстка В.Б. Гайдабрус, Д.І. Іовенко

ТОВ «ВТД «Університетська книга»
40030, м. Суми, вул. Кірова, 27, 5-й пов.
Тел.: (0542) 27-51-43
E-mail: publish@book.sumy.ua

Відділ реалізації
Тел./факс: (0542) 21-26-12, 21-11-25
E-mail: info@book.sumy.ua

Підписано до друку 20.01.05.
Формат 60x90 ¹/₁₆. Папір офсетний. Гарнітура Скулбук.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 26,5. Обл.-вид. арк. 25,8.

Наклад 700 прим. Зам. № 657.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 489 від 18.06.2001

Надруковано відповідно до якості наданих діапозитивів
у ТОВ «Фактор-Друк»

Україна, 61030, м. Харків, вул. Саратовська, 51.
Тел. (057) 7-175-185, 7-175-355.



Курс фізіології і біохімії рослин

Підручник

Злобін Ю.А.

2004. 464 с. Палітурка

30,00 грн.

Рекомендовано МОН України

ISBN 966-680-130-2

Пропонований «Курс фізіології і біохімії рослин» містить сучасні наукові дані про фізіологічні і біохімічні процеси, що лежать в основі життєдіяльності і продуктивності рослин. Розглянуто основні функції рослин від молекулярного і клітинного рівнів до рівня цілісних організмів. Дано теоретичне обґрунтування фізіології і біохімії рослин як наукової основи рослинництва і землеробства, як бази для оптимізації продукційного процесу в рослин і одержання екологічно чистої продукції високої якості.

Значну увагу приділено практичним аспектам використання наукових знань про життєдіяльність рослин у практичному сільському господарстві.

Призначений для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів III і IV рівнів акредитації. Може використовуватися студентами педагогічних вузів.

Розділ 1. Вступ. Загальні закономірності життєдіяльності рослин

Розділ 2. Фізіологія і біохімія рослинної клітини

Клітина – елементарна жива одиниця тіла рослини. Біохімічний склад клітин рослин. Склад, структура і функції компонентів клітини. Клітина в ієрархії систем рослинного світу. Мембранні системи клітини. Енергетика рослинної клітини. Структурна в'язкість цитоплазми. Рух цитоплазми (циклоз). Окисно-відновний потенціал. Хемілюмінесценція. Поглинання і виділення речовин клітиною

Розділ 3. Фотосинтез – основний тип автотрофного живлення рослин

Історія формування наукових уявлень про повітряне живлення рослин. Наукове визначення фотосинтезу. Поширення фотосинтезу в природі. Значення фотосинтезу. Лист – орган фотосинтезу. Пігменти. Енергетика фотосинтезу. Хімізм фотосинтезу. Продукти фотосинтезу. Методи вивчення фотосинтезу. Екологія фотосинтезу. Фотосинтез і врожай

Розділ 4. Обмін органічних речовин у рослин

Загальні закономірності метаболізму. Ферменти – каталізатори і регулятори метаболізму. Властивості ферментів. Кінетика ферментів. Класифікація ферментів. Обмін вуглеводів. Органічні кислоти. Обмін ліпідів. Обмін білків. Вітаміни. Вторинні метаболіти. Транспорт органічних речовин рослиною

Розділ 5. Дихання рослин

Розділ 6. Мінеральне живлення рослин

Розділ 7. Водний режим рослин

Розділ 8. Ріст і розвиток рослин

Розділ 9. Фізіологія і біохімія виділення речовин рослинами

Розділ 10. Рухи рослин

Розділ 11. Фізіологічні механізми адаптації рослин до несприятливих умов