

ЕКОЛОГІЯ

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів

Харків
«Фоліо»
2014

УДК 504
ББК 28.081
Е45

Затверджено Міністерством освіти і науки
України як підручник для студентів
вищих навчальних закладів
(Лист № 1/11—11406 від 12.07.2013)

Громадська рада:

*В. С. Бакіров, Ю. Я. Бобало, А. Г. Величко, В. В. Грабко,
Л. В. Губерський, І. М. Коваль, М. О. Крижанівський,
П. М. Куліков, А. А. Мазаракі, О. А. Мінаєв, М. В. Поляков,
Д. В. Табачник (голова), В. Я. Тацій, Ю. В. Холін (відповідальний
секретар), С. М. Шкарлет*

Рекомендовано до друку:

Рішенням Вченої ради

Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара
(протокол № 11 від 24 травня 2013 р.)

Рецензенти:

І. Г. Ємельянов,

чл.-кор. НАН України, д-р біол. наук, професор;

М. Ю. Євтушенко,

чл.-кор. НАН України, д-р біол. наук, професор;

В. І. Парпан,

д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри біоекології

Прикарпатського національного університету гірського лісівництва
ім. П. С. Пастернака

Авторський колектив:

*Ю. П. Бобильов, В. В. Бригадиренко, В. Л. Булахов,
В. А. Гайченко, В. Я. Гассо, Я. П. Дідух, А. В. Івашов,
В. П. Кучерявий, М. С. Мальований, Л. П. Мицик,
О. Є. Пахомов, Й. В. Царик, Д. А. Шабанов*

За загальною редакцією

О. Є. Пахомова

Художник-оформлювач

Г. В. Кісель

ISBN 978-966-03-6619-0

© Колектив авторів, 2014
© Г. В. Кісель, художнє оформлення,
2014

ЗМІСТ

Вступ	10
-------------	----

Частина перша КЛАСИЧНА ЕКОЛОГІЯ

<i>Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ</i>	17
1.1. Визначення екології та її основні поняття	17
1.2. Предмет і об'єкт дослідження, структура екології ...	19
1.3. Методи екологічних досліджень	24
1.4. Основні проблеми та наукові напрямки сучасної екології	27
<i>Розділ 2. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЇ</i>	32
2.1. Основні етапи становлення екології як науки	32
2.2. Передумови формування екології як науки	35
2.2.1. Доісторичний етап	35
2.2.2. Античний етап	39
2.2.3. Відродження	43
2.3. Напрямки розвитку екології	46
2.3.1. Редукціоністський напрямок	46
2.3.2. Холістичний напрямок	55
2.3.3. Функціональний напрямок	59
<i>Розділ 3. АУТЕКОЛОГІЯ</i>	67
3.1. Організм і середовище	68
3.1.1. Екологічні чинники	68
3.1.2. Адаптації	69
3.1.3. Закономірності впливу екологічних чинників	71
3.2. Екологічна ніша	74
3.2.1. Історичний розвиток поняття екологічної ніші	74
3.2.2. Розмірність ніш і оцінка їх перекриття	77
3.2.3. Спеціалізація ніш	79
3.2.4. Структуризація еконіш	81
3.3. Загальні принципи адаптації	83
3.3.1. Типи пристосування	83
3.3.2. Правило оптимуму	84
3.3.3. Комплексний вплив чинників	85
3.3.4. Лімітуючі фактори. Правило мінімуму	88
3.3.5. Правило двох рівнів адаптації	89
3.3.6. Принципи екологічної класифікації організмів	91
3.3.7. Активна життєдіяльність і спокій	93
3.4. Найважливіші абіотичні фактори та адаптації до них	95

3.4.1.	Тепло	95
3.4.2.	Світло	108
3.4.3.	Водне середовище	118
3.4.4.	Наземно-повітряне середовище життя	126
3.4.5.	Ґрунт і рельєф	128
3.4.6.	Погодні та кліматичні особливості наземно-повітряного середовища	136
<i>Розділ 4.</i>	<i>ДЕМЕКОЛОГІЯ (ЕКОЛОГІЯ ПОПУЛЯЦІЙ)</i>	144
4.1.	Поняття популяції	145
4.2.	Структура популяцій	148
4.2.1.	Популяційний ареал	148
4.2.2.	Кількість особин	149
4.2.3.	Щільність популяції	150
4.2.4.	Вікова структура	150
4.2.5.	Статева структура	151
4.2.6.	Просторова структура	152
4.2.7.	Віталітетна структура	155
4.2.8.	Етологічна структура	155
4.3.	Динаміка популяцій	156
4.3.1.	Динаміка чисельності	156
4.3.2.	Експоненційне та логістичне зростання чисельності популяції	156
4.3.3.	Виживання популяції	158
4.3.4.	Швидкість відновлення популяції	160
4.3.5.	Обмежувальні чинники зростання популяції	160
4.3.6.	Причини вимирання популяцій	161
4.3.7.	Уявлення про стратегію популяцій	163
4.4.	Керування популяціями та їх життєздатність	166
4.4.1.	Життєздатність популяцій	166
4.4.2.	Керування популяціями	167
4.4.3.	Охорона популяцій	168
4.4.4.	Експлуатація промислових популяцій	170
4.4.5.	Моніторинг популяцій	172
4.5.	Типи взаємодії між популяціями	174
4.5.1.	Модель Лотки—Вольтерра	174
4.5.2.	Класифікація відносин між популяціями	175
4.5.3.	Мутуалізм	179
4.5.4.	Протокооперація	181
4.5.5.	Коменсалізм	182
4.5.6.	Різноманітність форм експлуатації	183
4.5.7.	Хижацтво	185
4.5.8.	Паразитизм	191
4.5.9.	Конкуренція і правило Гаузе	194
4.5.10.	Аменсалізм і нейтралізм	197
<i>Розділ 5.</i>	<i>ЕКОСИСТЕМОЛОГІЯ</i>	202
5.1.	Системний підхід в екології	203
5.1.1.	Система. Загальні визначення	203
5.1.2.	Складна система	204
5.1.3.	Екосистема — основний об'єкт екології	206

5.2.	Різноманіття живих систем	207
5.2.1.	Роль живої речовини в утворенні середовища існування	207
5.2.2.	Біосфера як цілісна система	210
5.2.3.	Різноманітність форм життя та біогенний кругообіг	211
5.2.4.	Рівні організації живої матерії	215
5.3.	Екологія угруповань (синекологія) та екосистемологія	219
5.3.1.	Регуляція біосистем	219
5.3.2.	Екосистеми та біогеоценози	221
5.3.3.	Компоненти екосистем	222
5.3.4.	Природа та характеристики угруповань	223
5.3.5.	Екологічний баланс	225
5.4.	Консорції як елементарні екосистеми	227
5.4.1.	Історія виникнення і розвитку вчення про консорції	227
5.4.2.	Індивідуальна консорція як елементарна екологічна система та загальнобіологічне явище	232
5.4.3.	Роль генетичного фактора в консорційних зв'язках	234
5.4.4.	Гетеротрофні консорції	238
Розділ 6. ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ		246
6.1.	Роль кліматопу у функціонуванні екосистем	247
6.1.1.	Загальні особливості кліматопу	247
6.1.2.	Сонячна радіація	248
6.1.3.	Газовий склад атмосфери та роль її складових у біосфері	250
6.1.4.	Вологість атмосфери	251
6.1.5.	Рух атмосфери	252
6.1.6.	Атмосферні опади	252
6.2.	Функціональна роль ґрунту та підстилки	253
6.3.	Функціональна роль гідросфери	257
6.4.	Роль фітоценозу в екосистемах	263
6.4.1.	Роль фітоценозу у наземних екосистемах	263
6.4.2.	Роль фітоценозу у водних екосистемах	266
6.5.	Роль мікробоценозу в екосистемах	269
6.5.1.	Роль бактерій у наземних екосистемах	269
6.5.2.	Роль бактерій у водних екосистемах	279
6.6.	Функціональна роль зооценозу в екосистемах	283
6.6.1.	Продукційна роль тварин	283
Розділ 7. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ		303
7.1.	Класифікація екосистем	304
7.2.	Класифікація біомів	309
7.2.1.	Визначення біома	309
7.2.2.	Наземні біоми	309
7.2.3.	Прісноводні біоми	311
7.2.4.	Морські біоми	312

7.3.	Лісові екосистеми	312
7.3.1.	Загальні риси лісів	312
7.3.2.	Вічнозелені дощові тропічні ліси	313
7.3.3.	Неморальні ліси	317
7.3.4.	Хвойні ліси	322
7.4.	Трав'яні типи екосистем	325
7.4.1.	Степи, прерії	325
7.4.2.	Лучні екосистеми	330
7.5.	Болотні екосистеми	333

Частина друга ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ

<i>Розділ 8.</i>	ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛЮДИНИ	341
8.1.	Людина та тварини	341
8.2.	Унікальні екологічні особливості людини	346
8.2.1.	Глобальність (обмін ресурсами між популяціями)	346
8.2.2.	Використання викопної первинної продукції	347
8.2.3.	Використання атомної енергії	347
8.2.4.	Залежність від вичерпних невідновних ресурсів	349
8.2.5.	Створення техносфери як головного споживача ресурсів	350
8.2.6.	Штучні біогеоценози — агросистеми, що субсидуються енергією з невідновних джерел	352
8.3.	Біологічні особливості людини	354
8.4.	Культурне успадкування	356
8.5.	Екологічна криза сучасності	361
8.6.	Демографічний вибух	364
8.7.	Демографічний перехід	368
8.8.	Чи можна обмежити чисельність населення Землі?	374
8.9.	Екоконверсія	378
<i>Розділ 9.</i>	АГРОЕКОЛОГІЯ	382
9.1.	Агроекологія як окремий розділ екології	382
9.2.	Основні екологічні проблеми сучасного землеробства	383
9.3.	Шляхи вирішення екологічних проблем сільського господарства	388
9.4.	Боротьба зі шкідниками	393
<i>Розділ 10.</i>	ВПЛИВ ПРОМИСЛОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА СЕРЕДОВИЩЕ	400
10.1.	Головні типи промислових виробництв, їхня характеристика	400
10.1.1.	Теплові (ТЕС) та атомні (АЕС) електростанції	400
10.1.2.	Гірничодобувна промисловість	404
10.1.3.	Хімічна промисловість	407

10.1.4.	Металургійна промисловість	411
10.1.5.	Машинобудівний комплекс	414
10.1.6.	Транспорт і довкілля	417
10.2.	Забруднення біосфери та екосистем	420
10.2.1.	Забруднення атмосфери	421
10.2.2.	Забруднення гідросфери	424
10.2.3.	Забруднення ґрунту	427
10.2.4.	Біозабруднення екосистем	429
10.3.	Міграція інгредієнтів забруднення в екосистемах і організмах	432
10.4.	Вплив забруднення довкілля на популяції та екосистеми	435
10.4.1.	Вплив забруднення довкілля на природні популяції	435
10.4.2.	Вплив забруднення довкілля на біогеоценози	443
10.5.	Головні заходи убезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми (загальна оптимізація довкілля в індустріальних регіонах) . . .	446
10.5.1.	Екологізація виробництва	446
10.5.2.	Очищення промислових викидів в атмосферу	449
10.5.3.	Очищення промислових стоків	451
10.5.4.	Екологічні заходи з оптимізації відпрацьованих земель і трансформованих екосистем	453
10.6.	Засоби зберігаючої технології у виробництві	456
10.6.1.	Агрономічні засоби зберігаючого обробітку земель	456
10.6.2.	Зоотехнічні засоби попередження забруднення середовища	458
10.6.3.	Технологічні засоби у промисловому виробництві — запорука збереження природного середовища (екологічно чисте виробництво)	460
Розділ 11. УРБОЕКОЛОГІЯ		466
11.1.	Об'єкт і предмет урбоекологічних досліджень	466
11.2.	Природно-просторові ресурси міста	467
11.3.	Місто як соціально-екологічна система	478
11.4.	Міські біогеоценози	486
11.5.	Градiєнтна ординація біогеоценотичного покриву міста	491
11.6.	Місто як гетеротрофна екосистема	510
11.7.	«Здоров'я» міської екосистеми	518
11.8.	Криптоіндикаційна оцінка середовища (оцінка із застосуванням криптофітів)	530
Розділ 12. ОПТИМАЛЬНЕ КОРИСТУВАННЯ ЕКОСИСТЕМАМИ ТА ЇХНІМИ КОМПОНЕНТАМИ . . .		540
12.1.	Природокористування як наука	540
12.1.1.	Визначення природокористування	540
12.1.2.	Види природокористування	542

12.1.3.	Природні ресурси та природні умови	546
12.1.4.	Економічна оцінка природоресурсного потенціалу	548
12.1.5.	Оцінка паливно-енергетичного ресурсу України	550
12.1.6.	Нестача природних ресурсів	553
12.1.7.	Забезпечення екологічно збалансованого природокористування в Україні	555
12.2.	Рациональне використання природних ресурсів	556
12.2.1.	Рослинні природні ресурси, їх використання, відтворення та збереження	557
12.2.2.	Тваринні природні ресурси, їх використання, відтворення та збереження	560
12.2.3.	Поняття про обсяги та порядок вилучення живих природних об'єктів	564
12.2.4.	Охорона ґрунтів і заходи боротьби з ерозією	565
12.2.5.	Рациональне використання надр землі	568
12.3.	Експертна оцінка впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля	571
12.3.1.	Правові та нормативні основи експертної оцінки впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля	572
12.3.2.	Оцінка впливу проектованої (ОВНС) та здійснюваної (НЕЕО) антропогенної діяльності на компоненти довкілля	574
12.3.3.	Оцінка впливу на довкілля за допомогою екологічного ризику	578
12.3.4.	Особливості розробки та передачі на експертизу ОВНС та НЕЕО	581
12.3.5.	Порядок і послідовність проведення екологічної експертизи впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля	583
12.4.	Економічні аспекти природокористування	585
12.4.1.	Оцінка природних ресурсів	586
12.4.2.	Економічна оцінка екологічних збитків від забруднення	588
12.4.3.	Еколого-економічна оцінка інвестицій	589
12.4.4.	Економічні механізми охорони навколишнього середовища	591
12.5.	Правові аспекти впливу діяльності людини на середовище	593
12.5.1.	Екологічна стандартизація	594
12.5.2.	Екологічна сертифікація	595
12.5.3.	Екологічне нормування	597
12.5.4.	Ліцензування екологічно значимої діяльності	599
12.5.5.	Екологічний контроль і моніторинг	601
12.5.6.	Екологічний аудит	602

12.5.7. Управління в галузі охорони навколишнього середовища	604
12.5.8. Державне управління	606
<i>Розділ 13. ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА . .</i>	<i>614</i>
13.1. Головні напрямки збереження природного середовища	614
13.1.1. Сучасний стан біологічного та ландшафтного різноманіття України	615
13.1.2. Охорона біорізноманіття як основа для збереження функцій екосистеми	616
13.1.3. Система заповідних об'єктів як засіб збереження природи	619
13.1.4. Рекultyвація, ремедіація та заповідання відпрацьованих земель	622
13.1.5. Території та об'єкти природно-заповідного фонду як елементи національної екомережі	625
13.2. Глобальні екологічні проблеми і стан навколишнього середовища в Україні	629
13.2.1. Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища	629
13.2.2. Стан глобального навколишнього середовища	629
13.2.3. Антропогенне та техногенне навантаження на навколишнє середовище в Україні	642
13.3. Міжнародні та державні програми і законодавчі акти в галузі збереження середовища та раціонального використання природних ресурсів	645
13.3.1. Міжнародні програми та постанови про збереження природних ресурсів	646
13.3.2. Законодавчі акти України про збереження природи	650
13.3.3. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2020 року	654
13.4. Сталий розвиток і його забезпечення	657
13.4.1. Концепція сталого розвитку, цілі та завдання	657
13.4.2. Забезпечення умов переходу України на засади сталого розвитку	660

ВСТУП

Сьогодні багато екосистем, які підтримують життєдіяльність людства, знаходяться у критичному стані і продовжують деградувати під дією антропогенного преса. Біологічні та інші ресурси виснажені, й існує реальна загроза, що в найближчому майбутньому ми можемо залишитися без води і їжі.

Люди, об'єднаймося ж у наших думках, словах і, головне, в діях перед грізними глобальними викликами нашого часу, щоб вижити і процвітати разом із природою!

Нині з екологією як наукою в пострадянських країнах склалася неоднозначна ситуація. Як, мабуть, у жодній із відомих наук, її зміст викликає найбільші суперечки та розбіжності, причому як серед учених найрізноманітніших напрямків, так і серед широкої громадськості.

Сьогодні «екологія» — одне з найпопулярніших слів, яке «у всіх на вустах». Про неї говорять вчені й політики, домогосподарки й підприємці. Часто доводиться чути про «погану» та «добру» екологію міста, району і навіть хімічного підприємства або якогось транспорту. У державному устрої України є навіть міністерство з назвою цієї науки. Таке використання слова «екологія» неправильне. *Екологія — перш за все наука про живе та взаємодію його з навколишнім середовищем.* Ставити ж навколишнє середовище на чільне місце абсолютно неправильно, бо розгляд одного лише середовища без живих організмів, популяцій, угруповань і екосистем, і без людини у тому числі, просто втрачає будь-який сенс. Тому правильно говорити не про погану чи добру екологію, а про сприятливе чи несприятливе для людини або інших живих організмів навколишнє середовище. Або, на крайній випадок, застосовувати словосполучення «несприятлива екологічна ситуація» у тому чи іншому регіоні, області тощо. Хоча і таке тлумачення не використовується у більшості країн світу, у тому числі й у країнах Європейської спільноти, до якої ми прагнемо приєднатися.

Отже, чому?

Ще у 1866 році німецький вчений, зоолог Ернст Геккель уперше дав визначення *екології як науки, що вивчає взаємини організму з навколишнім середовищем*. Надалі, вже на початку XX століття, у відомому підручнику російського вченого Д. М. Кашкарова (1933) йдеться про екологію як про науку, що вивчає не тільки організми окремих видів, *а й взаємини різних видів у угрупованнях*. Таким чином, екологія отримала перше розширення свого змісту.

Одночасно дослідники багатьох груп організмів дійшли висновку про те, що *екологічна наука повинна вивчати не тільки окремі організми, а й їх сукупності, що відносяться до одного виду*. Інтерес до таких досліджень підігрівався уявленнями еволюціоністів про те, що нові види виникають у «надрах» популяцій, під дією природного добору, а отже, екологічні фактори та їхній вплив на організми — центральний момент у цьому вивченні. Таким чином, до екології додалася нова галузь: *екологія популяцій, або демекоекологія*. Приблизно в 1970-ті роки до неї увійшов остаточно сформований розділ «*Екологія угруповань*», що знайшов своє місце у фундаментальній праці з екології, написаній Ю. Одумом (1971, у перекладі російською — 1975). У ній автор також виклав основи останнього розділу класичної екології — вчення про екосистеми, яке пізніше отримало назву «*Екосистемологія*» (Голубець, 2000). Слід зазначити, що, як і інші розділи, екосистемологія має набагато більш ранні витоки. Ще у 1935 році англійський ботанік А. Тенслі, а в 1940 році радянський геоботанік та еколог В. М. Сукачов прийшли до розуміння єдності, що виникає внаслідок взаємодії угруповання живих організмів і неживих тіл навколишнього середовища. А. Тенслі назвав таку єдність екосистемою, а В. М. Сукачов — біогеоценозом. Доповнення вчення про екосистеми як останньої та найвищої ланки у «вертикальному сходженні» екології деякі вчені трактують як те, що екосистема і є той самий специфічний і не порушений ніякою іншою наукою об'єкт, який належить лише екології. У відомому підручнику «*Экология*» (1980) В. Д. Федорова та Т. Г. Гільманова — викладачів Московського державного університету ім. М. Ломоносова — прямо вказується на це, у той час як інші, більш ранні розділи екології віднесені до другорядних.

Деякі підсумки щодо структури екології, яка вималювалася до кінця минулого століття, відображено у вигляді узагальненої ієрархічної пірамідальної структури на рис. 1.

На цьому рисунку видно, що в основі такої піраміди лежать організми різних видів, які належать до їх головних груп:

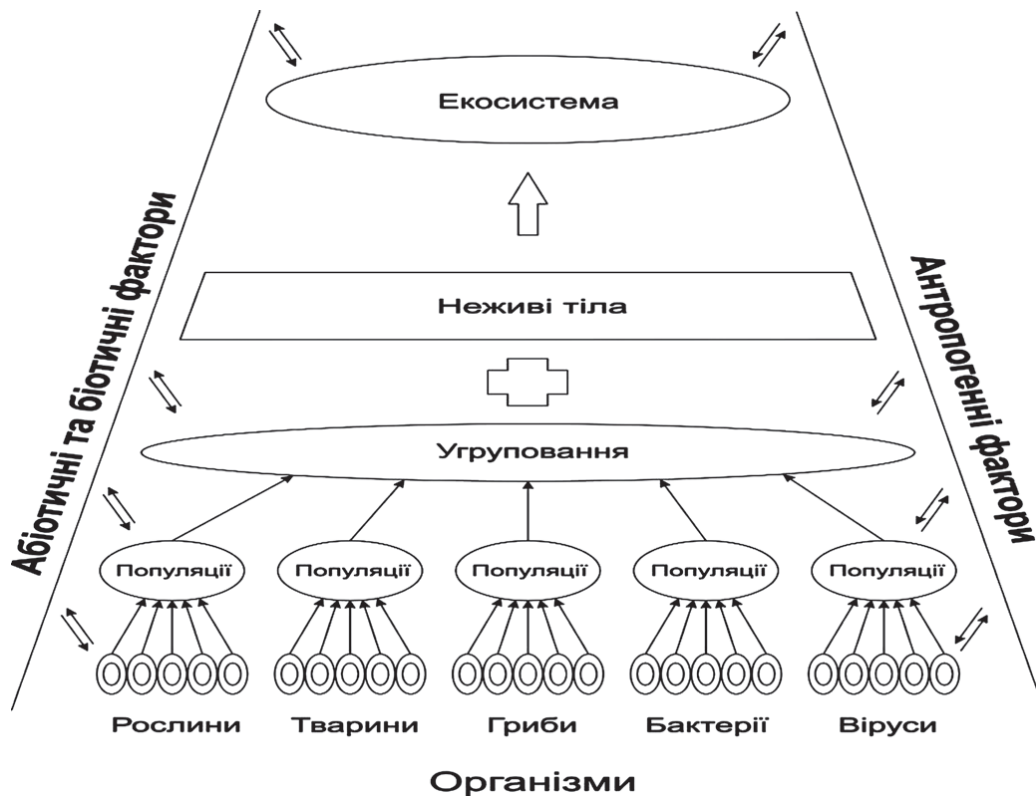


Рис. 1. Загальна схема ієрархічної піраміди біологічних систем над-організмного рівня інтеграції та фактори навколишнього середовища (Івашов, 2011)

рослин, тварин, грибів, бактерій з архебактеріями і вірусів. Також можна бачити, що *взаємодії організмів одного виду між собою (по горизонталі) формують нову структуру по вертикалі — популяції, а взаємодії між популяціями різних видів (по горизонталі) формують нову структуру по вертикалі — угруповання (біоценоз). І останній рівень по вертикалі — екосистемний — виникає як результат взаємодії угруповання з неживими тілами, які разом знаходяться на певній території.*

Таким чином, чотири типи біологічних систем, що відносяться до чотирьох найвищих рівнів інтеграції життя на планеті, і є основними об'єктами екології. Предметом же вивчення цих об'єктів можуть бути їх структура, механізми функціонування та підтримання стійкості (адаптації) за дії широкого спектра факторів навколишнього середовища, від локального типу (діють на організми) до глобального (діють на великі екосистеми та біосферу).

Усе вищевикладене дозволяє дати коротке визначення екології як *науки про взаємодію біологічних систем надорганізмного рівня із навколишнім середовищем.*

Отже, приблизно до 1970-х років сформувалася перша частина екології з усіма її структурними рівнями та відповідними розділами. Не важко здогадатися, що всю її можна розглядати як одну з галузей біології, оскільки вона стосується біологічних процесів.

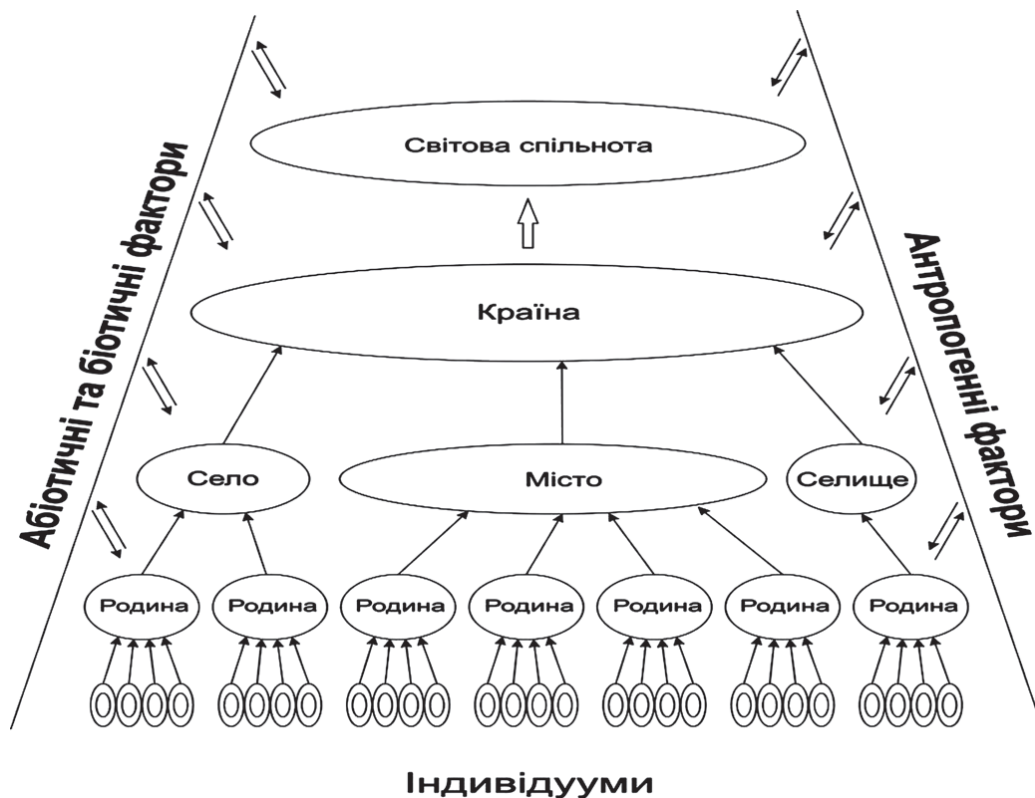


Рис. 2. Загальна схема ієрархічної піраміди людського соціуму та фактори навколишнього середовища (Івашов, 2011)

Однак разом з описаним вище процесом розширення «по вертикалі» відбувався й інший процес — розширення «по горизонталі». Він був пов'язаний зі стрімким зростанням чисельності населення на нашій планеті в останні кілька десятиліть, з колосальним зростанням середовищевірного впливу тільки одного виду — *Homo sapiens*. На жаль, зростання чисельності людства і його господарської діяльності супроводжується руйнуванням природних екосистем і забрудненням навколишнього середовища в глобальних масштабах. **Чинники людської діяльності, або антропогенні фактори**, стали головними на нашій планеті. Характерним є те, що вони діють як на природні системи, так і на саму людину і людство в цілому, що схематично відображено на рис. 2.

Таким чином, формування другої частини екології пов'язано з тим, що *Homo sapiens*, як найактивніший компонент у біосфері Землі, є наразі основним і найбільш потужним фактором, що впливає на біосистеми всіх рівнів інтеграції. Водночас руйнування і забруднення природного середовища внаслідок господарської діяльності стало однією з найважливіших проблем, а **гармонізація взаємовідносин природи і людства фігурує як основне завдання цієї частини екології**.

Вже у 1970-ті роки кількість публікацій за цією тематикою зростала за експонентою. Добре відомо, що визнані

«галузі» науки завжди повинні мати хоча б у загальних рисах і визнані межі. Щодо екології ці межі з часом стали практично не визначеними. І це, мабуть, тому, що будь-яка діяльність людини тією чи іншою мірою стосується місця існування самої людини. Таке безмежне розширення екології викликало природну негативну реакцію деяких екологів і, як наслідок, спробу зупинити безрозмірне розростання предмета екології. Компромісу було досягнуто 1972 року, коли після *Стокгольмської конференції ООН з охорони довкілля* відбулося фактичне розмежування екології як біологічної науки з охороною навколишнього середовища, яка в закордонному (англомовному) варіанті отримала назву «інвайронментологія». Українським аналогом цього слова є «середовищезнавство». Тоді ж започатковано міжнародне екологічне право та виникла нова галузь — *соціоекологія*.

Зазначимо, що у нашій країні такого поділу не відбулося, і екологія розуміється як наука про будь-яку діяльність людини, яка впливає на навколишнє середовище як позитивно, так і негативно. Як було показано вище, **таке антропоцентричне трактування екології** є вторинним і зумовлене певною мірою історично сформованими умовами, коли в 1970-ті роки СРСР був ще відокремленим «залізною завісою» від решти країн світу.

Таким чином, з урахуванням ситуації, що склалася, сучасну екологію можна представити у двох частинах.

1. «Класична екологія», або «Біоекологія» (в іншому варіанті).
2. «Екологія людини», або «Охорона навколишнього середовища» (в іншому варіанті).

Цим частинам відповідають дві частини цього підручника.

Відповідні «екології» вже увійшли як у цілому, так і своїми розширеними підрозділами в різні освітні програми вищих навчальних закладів, за якими готують бакалаврів і магістрів в Україні. При цьому **«Класична екологія» була і залишається науковою базою охорони навколишнього середовища чи охорони природи.**

Охорону навколишнього середовища можна визначити як галузь знань, що розробляє комплекс заходів, спрямованих на підтримання гармонії між соціумом і трьома середовищами (природним, штучним, соціальним), в яких він знаходиться і які він формує (як кажуть у західних країнах, «створює дружнє (friendly) середовище»).

Територія нашої планети характеризується надзвичайною мозаїчністю штучних і природних систем, так що в мозаїці того чи іншого масштабу представленість і їх співвідношення можуть сильно варіювати. Наприклад,

в оточенні родини, яка проживає в квартирі багатопверхового будинку, превалює штучно створене. Особняк з присадибною ділянкою, на якому знаходяться елементи природного ландшафту з комплексом рослин і тварин, з більшою відкритістю для природних факторів створює більш комфортні умови проживання та забезпечує більшу доступність до природних ресурсів (свіже повітря, чиста вода, сонячне світло, природне магнітне поле Землі і т. п.). Якщо ж він знаходиться в невеличкому містечку з парком, річкою чи озером, тоді можна говорити про деякий баланс і гармонію всіх трьох середовищ. Цього, очевидно, не скажеш про величезний мегаполіс, в якому присутність природного середовища зведена до мінімуму. На такій території практично відсутні кругообіг речовин і трансформація сонячної енергії за участю продуцентів, пов'язаних з ними консументів і редуцентів. Його не може бути хоча б тому, що ґрунтовий блок, що інтегрує живі та неживі компоненти екосистеми, буквально замуrowаний в асфальт і бетон. На противагу цьому в природних комплексах заповідних територій ці процеси протікають природно, а штучне середовище представлено мінімально. Плямисту неоднорідність (мозаїчність) територій з різним співвідношенням середовищ дуже добре видно на космічних знімках, особливо зроблених у нічний час. Нічне освітлення в мозаїках різного рівня досить чітко корелює з щільністю населення, споживанням енергії і матеріальних ресурсів у них і вказує на домінування соціального й штучного середовищ.

Вище, на рис. 1, видно, що верхівка ієрархічної піраміди біосистем, що їх вивчає екологія як біологічна наука, представлена екосистемами, які можуть бути різного масштабу — від індивідуальних консорцій до ландшафтних і материкових екосистем і біосфери. Важко уявити собі сучасну людину, що живе на дереві (в індивідуальній консорції), легше — у певному біогеоценозі, наприклад у сосновому лісі, де цілком може розміститися й існувати ціла родина або рід, як це спостерігалось на певному історичному етапі розвитку людства. Нині в ландшафтних екосистемах розміщуються не тільки великі міста, а й цілі країни, а на території материкових екосистем — десятки країн. Наразі, чим більша територія екосистеми, тим потенційно більші обсяги соціального та штучного середовищ можуть в ній знаходитись. На рівні найбільшої екосистеми — *біосфери* — *інтеграція біогеосоціосистем досягає свого кінцевого завершення, біологічні і соціальні процеси тісно переплітаються, створюючи систему абсолютно нової якості, в якій регуляція й управління переходять до соціуму.*

Звідси випливає абсолютно очевидний висновок про те, що **вся відповідальність за стан нашої планети лежить на людстві, і цей стан залежить тепер рівною мірою як від нашого інтегрального інтелекту, так і нашої доброї волі.**

Який порядок встановить світова спільнота, за яким розпорядком буде підтримуватися життя в квартирі, будинку, місті, країні, співдружності країн і в цілому на планеті — від цього залежить наразі наше існування і його комфортність. Чи зуміємо ми всі разом побудувати наше життя в гармонії з Природою, чи стане наша Земля планетою з ноосферою в розумінні В. І. Вернадського — це залежить від нас.

Молоді люди, серйозно вивчайте екологію, вона дасть вам не тільки знання, але й змінить систему ваших цінностей!

ЧАСТИНА ПЕРША

КЛАСИЧНА ЕКОЛОГІЯ

Розділ 1

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ

Основна ідея. Екологія — комплексна наукова галузь про структуру, організацію, функціонування надорганізмених біосистем, взаємозв'язки їх компонентів, динаміку та розвиток. Екологія — наукова основа формування сталого розвитку в ХХІ столітті.

Смислові зв'язки. Поняття — методологія — предмет — об'єкт — рівні організації живої матерії — структура — закономірності — застосування отриманих знань — основна екологічна проблема — наукові напрямки сучасної екології.

Ключові терміни. Екологія, класична екологія, аутекологія, синекологія, екосистемологія, біогеоценологія, біосфера, глобальна екологія, прикладна екологія, екологізація, концепція стійкого розвитку.

Мета — усвідомити особливості предмета, об'єкта досліджень екології, основні напрямки її розвитку, методи досліджень, ознайомитись із основними завданнями та проблемами, що стоять перед людством.

1.1. Визначення екології та її основні поняття

Екологія — відносно молода наука, яка сформувалася як самостійна галузь знань до середини ХХ століття. Її вік — лише 6—8 поколінь. Вона виникла у процесі розвитку природничих наук і передусім біологічних, і в даний час вона знаходиться у стані інтенсивного росту та розвитку.

Термін «екологія» (від грецьк. *oikos* — будинок, житло, місцеперебування, *logos* — наука) вперше введений німецьким зоологом і філософом Ернстом Геккелем у 1866 р. у праці «Загальна морфологія організмів» для позначення біологічної науки, що вивчає взаємини організмів із середовищем їх життя. У другій половині ХІХ століття екологи відносили організм до найскладнішого рівня організації існування, але у процесі подальшого розвитку екології було встановлено, що існують системи більш високого рівня інтеграції — над-

організмені біологічні системи (популяція, біоценоз, екосистема, біосфера), тому уявлення про зміст екології значно розширилося. У даний час існує багато визначень екології як науки. Ось деякі з них.

Екологія — наука про взаємодію організмів і біологічних систем надорганізменого рівня (популяції, біоценози, екосистеми, біосфера) з умовами середовища проживання (Сергейчик, 2009).

Екологія — наука, що досліджує закономірності життєдіяльності організмів на всіх рівнях інтеграції в їх природному середовищі існування з урахуванням змін, внесених у середовище діяльністю людини (Радкевич, 1998).

Екологія належить до фундаментальних підрозділів біології та досліджує фундаментальні властивості життя — системи надорганізменого рівня організації. Вона вивчає сукупність живих організмів, що взаємодіють один з одним і утворюють із навколишнім середовищем єдність (систему), у межах якої здійснюється трансформація енергії та органічної речовини (Федоров, Гільманов, 1980).

Екологія — наука про закономірності формування, розвитку та сталого функціонування біологічних систем різного рангу в їх взаєминах з умовами навколишнього середовища (Шилов, 2000).

Екологія — це наука про взаємозв'язки, що забезпечують існування організмів (включаючи людину) і надорганізмених біосистем: популяцій, екосистем і біосфери (Шабанов, Кравченко, 2009).

Екологія — міждисциплінарна галузь знань про будову та функціонування багаторівневих систем у природі та суспільстві в їх взаємозв'язках (Одум, 1986).

Основними формами існування видів тварин, рослин і мікроорганізмів у природному середовищі існування є внутрішньовидові угруповання (популяції) та багатовидові комплекси (біоценози, екосистеми). Тому сучасна екологія вивчає взаємини організмів і середовища на популяційно-видовому, біоценотичному та екосистемному рівнях.

Перше визначення цієї науки дав її засновник Е. Геккель: «Під екологією ми розуміємо суму знань, що відносяться до економіки природи: вивчення всієї сукупності взаємовідносин тварини з навколишнім середовищем, як органічним, так і неорганічним, і насамперед — її дружні або ворожі відносини з тими тваринами та рослинами, з якими вона прямо чи опосередковано вступає в контакт. Одне слово, екологія — вивчення всіх складних взаємин, які Дарвін назвав умовами, що породжують боротьбу за існування». Один із вітчизняних екологів А. С. Данилевський давав таке визначення: «Еко-

логія — наука про структуру та функції екологічних систем і про механізми, що забезпечують їх гомеостазис».

Екологія як наука має два аспекти:

1) пізнання та пояснення сутності законів і закономірностей розвитку природи;

2) застосування отриманих знань для вирішення проблем раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища.

Практичне значення екології полягає насамперед у вирішенні питань природокористування, оскільки екологія створює наукову основу експлуатації природних ресурсів. Протягом індустріальної епохи Модерну (у період розвитку індустріального суспільства або індустріального типу природокористування) людина нещадно грабувала природу, і тепер грабувати нічого. Розпочато крутий поворот цивілізації на коеволюцію із природним середовищем (Мойсеєв, 1990).

1.2. Предмет і об'єкт дослідження, структура екології

В чому суть екології? Чим вона визначається:

- завданнями практики: екологія народилася у період стрімкого прогресу, між двома науково-технічними революціями після промислового перевороту (що почався в останній третині XVIII століття в Англії і незабаром охопив інші країни Західної цивілізації) та перед науково-технічною революцією середини XX століття;

- відповідністю устрою світу: ідеї В. І. Вернадського про біосферу, про всекосмічність життя, розвиток у XX столітті загальної теорії відносності Ейнштейна та фізики елементарних часток;

- історичною долею науки: у екології щаслива доля, вона привертала й привертає увагу видатних фізиків, геологів, хіміків, філософів, математиків, політологів і представників багатьох інших фундаментальних та прикладних наук;

- психологією свідомості: екологія — справжнє торжество історичної, європейської свідомості, за М. Блоком (1986).

Об'єкти дослідження екології — відношення організмів (частково), популяцій, біоценозів між собою та з навколишнім середовищем, що формує екосистеми. Існує підпорядкованість (ієрархія) між біологічними системами різних рівнів організації життя. Деякі системи входять як основні елементи до систем більш високого рівня. Однак на кожному вищому рівні організації життя у систем з'являються нові властивості та закономірності функціонування, яких не було на попередньому рівні (прояв принципу емерджентності: властивості цілої системи відрізняються від суми властивостей складових її елементів і не зводяться до них).

Предметом екології є різноманітність і структура зв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та середовищем існування, а також склад і закономірності функціонування угруповань організмів: популяцій, біогеоценозів, біосфери в цілому.

Головне теоретичне та практичне завдання екології полягає в тому, щоб розкрити закономірності цих процесів і навчитися управляти ними в умовах переходу до постіндустріального, інформаційного суспільства.

У рамках основного завдання вивчаються:

- закони та закономірності взаємодії організмів і надорганізмених біологічних систем між собою та з навколишнім середовищем;
- особливості структури, функціонування, формування, розвитку, стійкості, динаміки популяцій, біоценозів та екосистем;
- продукційні, енергетичні та регуляторні функції популяцій, екосистем і біосфери;
- сутність механізмів адаптації організмів, популяцій, екосистем до біотичних, абіотичних і антропогенних факторів навколишнього середовища.

Також вирішуються **конкретні екологічні завдання**:

- оцінка та аналіз глобальних, регіональних і локальних екологічних проблем;
- розробка способів і методів управління екосистемними та біосферними процесами.

Результати екологічних досліджень мають велике практичне значення для розробки шляхів переходу на стійкий розвиток міжнародного співтовариства, окремих держав і регіонів.

Проблеми прикладної екології та практика охорони навколишнього середовища тісно пов'язані між собою загальною метою — збереженням усієї природи Землі та найближчого оточення людини заради здоров'я та життя людей.

Охорона природи — прикладна галузь знань про збереження систем життєзабезпечення Землі — аналізує біосферні процеси, природні ресурси, їх збереження для розвитку людства.

Наука про навколишнє середовище — інвайронментологія (середовищезнавство) — концентрує свою увагу на дослідженні стану середовища (природного, соціального та техногенного) та засобах його поліпшення.

Сучасна екологія включає п'ять основних розділів. Розділи екології склалися з неоднаковою повнотою, за об'ємом вони дуже різноманітні. Виникають все нові її галузі. Деякі автори налічують аж до 50 галузей екології (Реймерс, 1994; Акімова, Кузьмін, Хаскін, 2001):

1. **Біоекологія**, або загальна екологія — «класична» екологія, що сформувалася в рамках біології. Вона вивчає взаємодії організмів і надорганізмених систем усіх рівнів між собою та з навколишнім середовищем. У біоекології виділяють **чотири розділи: аутекологія** (екологія організмів), **демекологія** (екологія популяцій), **синекологія** (екологія біоценозів, біогеоценозів, екосистем), **глобальна екологія** (біосферологія, вчення про біосферу). У теперішній час в окремий розділ екології виділяють **екосистемологію**, яка вивчає екосистеми в усій їхній різноманітності, у тому числі й біогеоценози. У цьому випадку синекологію вважають такою, що вивчає угруповання видів (біоценози).

2. **Спеціальна екологія**, або екологія окремих груп організмів (наприклад, екологія рослин, тварин тощо).

3. **Геоєкологія** — географічна екологія.

4. **Екологія людини**.

5. **Прикладна екологія**: інженерна та промислова екологія; сільськогосподарська екологія; біоресурсна та промислова екологія; комунальна екологія, або екологія поселень; медична екологія.

Залежно від конкретного предмета вивчення розрізняють також **ряд галузей екології**:

- **за видами діяльності** (промислова екологія, сільськогосподарська екологія, екологія міста, радіоекологія тощо);

- **за типами екосистем** (екологія суходолу, екологія лісу, екологія прісних вод, екологія океану тощо);

- **за об'єктами дослідження** (екологія рослин, екологія тварин, екологія мікроорганізмів тощо);

- **за методами вивчення** (хімічна екологія, географічна екологія, фізіологічна екологія, математична екологія тощо).

Тематика екології тісно пов'язана зі змістом інших галузей біології (фізіології, біохімії, біофізики, ботаніки, мікробіології, генетики, цитології, токсикології, теорії еволюції). Це визначає формування багатьох **нових екологічних наук: екологічної фізіології, цитоекології, продукційно-енергетичної екології, еволюційної екології, біохімічної екології, космічної екології** тощо. Екологія як наука переплітається також із небіологічними науками (фізикою, хімією, математикою, геологією, географією, палеонтологією тощо).

Екологія — фундаментальна наука, а також теоретична основа для низки прикладних дисциплін (землеробства, рослинництва, рибництва, селекції, агрохімії, захисту рослин тощо), природокористування та охорони навколишнього середовища.

Специфіка **предмета екології** — аналіз сукупності зв'язків складних живих систем різного рівня (організм, популяція, біоценоз, екосистема, біосфера).

Аутекологія — екологія особин. Вона вивчає дію екологічних факторів на структуру, функції і розвиток організмів тварин, рослин і мікроорганізмів.

Демекологія — екологія популяцій як природних угруповань особин одного виду. Вивчає чисельність і щільність, народжуваність і смертність в популяціях, динаміку їх розвитку у просторі та часі, взаємодію із середовищем існування.

Синекологія — екологія біогеоценозів або екосистем. Вивчає взаємодію біоценозів (сукупність взаємопов'язаних популяцій рослин, тварин і мікроорганізмів) один з одним і з неорганічним середовищем проживання — біотопом (умови проживання біоценозу).

Компоненти біоценозу та їх абіотичне оточення так тісно пов'язані між собою, що утворюють єдність, для якої англійський еколог А. Г. Тенслі у 1935 р. запропонував термін «екосистема». У сучасній екології відповідний розділ називається вченням про екосистеми. У вітчизняній і німецькій літературі поширене уявлення про біогеоценоз, уведене в науку видатним вченим, академіком В. М. Сукачовим, і розглядається створене ним вчення про біогеоценоз. **Біогеоценоз** — єдність біоценозу та біотопу, приуроченого до певної ділянки земної поверхні, тоді як екосистема — ширше поняття. Вивчення біоценозів (біогеоценозів) включає шість аспектів досліджень (Бродський, 2001):

- **структурний**: домінування, різноманіття, видова насиченість, співвідношення пристосувальних екотипів тощо;
- **хорологічний**: просторове поширення біоценозів, їх структура залежно від загальних кліматичних, зонально-поясних, ландшафтних і регіональних особливостей середовища;
- **суцесійно-динамічний**: циклічні та незворотні процеси, зумовлені змінами середовища як у результаті взаємин всередині біоценозу, так і під впливом зовнішніх, зокрема антропогенних, чинників;
- **функціонально-ценотичний**: трофічні, симбіотичні, конкурентні та інші відносини, середовищевірна активність;
- **енергетичний**: трофічні рівні, потік енергії, формування біологічної продуктивності;
- **біогеохімічний**: механізми кругообігу речовин у біогеоценозах.

Ці аспекти досліджень повинні бути підпорядковані розкриттю механізмів функціонування природних комплексів для прогнозування їх змін і розробки принципів управління ними.

Специфічне завдання екології полягає у вивченні живої природи на рівні екологічних систем.

Глобальна екологія — вчення про біосферу (глобальну екологічну систему) — вивчає закономірності формування та розвитку біосфери як області існування живої речовини на планеті; глобальні процеси, що відбуваються в літосфері, атмосфері та гідросфері, а також вплив антропогенного чинника на ці процеси.

Загальна екологія об'єднує різноманітні екологічні знання на єдиному науковому фундаменті. Її ядро — **теоретична екологія**, що вивчає загальні закономірності функціонування екологічних систем.

Геоєкологія (географічна екологія) вивчає екологію природно-кліматичних зон (екологія тундри, тайги, степів, пустель, гірських масивів, тропічних лісів) і типів ландшафтів (екологія річкових долин, морських берегів, боліт, островів, коралових рифів тощо).

Екологія людини — комплекс дисциплін, які вивчають взаємодію людини як індивіда (біологічної особини) та особистості (соціального суб'єкта) з навколишнім середовищем. Важлива особливість екології людини — *соціобіологічний підхід* — оптимальне поєднання біологічних і соціальних аспектів. **Соціальна екологія** (або, за М. А. Голубцем, **геосоціосистемологія**) є частиною екології людини — об'єднання наукових галузей, що вивчають зв'язок суспільних структур із природним і соціальним середовищем їх оточення. До соціальної екології відносять також екологію народонаселення — екологічну демографію та екологію людських популяцій. При цьому вивчаються питання впливу навколишнього середовища на суспільство та вплив суспільства на середовище.

Прикладна екологія — комплекс дисциплін, пов'язаних із різними галузями людської діяльності та взаємовідносинами між суспільством і природою. Вона формує екологічні критерії економіки; досліджує механізми антропогенних впливів на природу та навколишнє середовище людини, стежить за її якістю; обґрунтовує нормативи раціонального використання природних ресурсів та допустимого техногенного навантаження на території; регламентує екологічно безпечне виробниче освоєння територій, розміщення та будівництво господарських об'єктів; оптимізує галузеву структуру виробництва; здійснює екологічну регламентацію господарської діяльності; контролює екологічну відповідність різних планів і проектів; розробляє технічні засоби охорони навколишнього середовища та відновлення порушених людиною природних екосистем; вивчає екологічні умови виникнення, поширення та розвитку хвороб людини й шляхи запобігання їм (Акімова, Кузьмін, Хаскін, 2001).

Процес проникнення ідей і проблем екології в інші галузі знання отримав назву екологізації. **Екологізація** відображає

потребу суспільства в об'єднанні науки та практики для запобігання екологічній катастрофі. Запобігання виникненню глобальної екологічній катастрофі передбачає вивчення взаємозв'язків між зростанням населення, економіки, споживання, забруднення та загостренням екологічних проблем на рівні планети Земля в цілому.

1.3. Методи екологічних досліджень

Специфіка екологічних досліджень — аналіз біологічних систем різного рівня організації (організм, популяція, біоценоз, екосистема, біосфера), їх відношення до навколишнього середовища.

Методичну основу сучасної екології складає поєднання системного підходу, натурних спостережень, експерименту та моделювання.

Система — сукупність взаємопов'язаних елементів, що утворюють єдність. **Системний підхід** — головний методичний принцип в екології. Він передбачає вивчення елементів системи та взаємозв'язків між ними. Для дослідження біологічних систем можуть застосовуватися методи різних наук: біохімії, генетики, ботаніки, мікробіології, анатомії, фізіології, зоології, фізики, математики тощо. Екологія давно вже перестала бути чисто описовою дисципліною. У сучасній екології переважають кількісні методи: вимірювання, розрахунки та статистичний аналіз, моделювання.

Методи екології можна поділити на п'ять груп (Акімова, Кузьмін, Хаскін, 2001).

1. Методи реєстрації параметрів і оцінки стану навколишнього середовища — необхідна частина будь-якого екологічного дослідження. До цих методів належать метеорологічні спостереження, вимірювання вологості, температури, освітленості, хімічного складу повітря, води та ґрунту, оцінка техногенного забруднення навколишнього середовища, рослинних і тваринних організмів, реєстрація показників прозорості та солоності води, фізико-хімічних показників ґрунтів, вимірювання радіаційного фону, напруженості фізичних полів, бактеріальної забрудненості, часу настання фенологічних фаз розвитку рослин та інших чинників.

До першої групи методів належать також **моніторинг** (періодичне або безперервне стеження за станом екологічних об'єктів та якістю навколишнього середовища) і **біоіндикація** (використання для контролю якості середовища особливо

чутливих до чинників екологічного середовища організмів та угруповань).

2. Методи кількісного обліку організмів, оцінки біомаси та продуктивності рослин і тварин. Ці методи лежать в основі вивчення природних угруповань — біоценозів. Для цього застосовуються підрахунки кількості особин на контрольних ділянках, в об'ємах води, повітря та ґрунту; маршрутні обліки; вилов та мічення тварин; спостереження за їх переміщеннями; аерокосмічна реєстрація чисельності стад, скупчень риби, густоти деревостанів, стану посівів, урожайності полів. Дана інформація необхідна для управління екосистемами, запобігання загибелі видів і зменшення біологічного різноманіття. Визначення біомаси та продуктивності екосистем дозволяє оцінити біопродукційний потенціал окремих територій і акваторій, а також глобальний природний фон органічної речовини та межі її використання.

3. Методи дослідження впливу факторів середовища на життєдіяльність організмів — найрізноманітніша група екологічних методів. Вони здійснюються за допомогою спостереження у природі та проведення експериментів у лабораторних умовах. **Спостереження** — вивчення біологічної системи у природних умовах шляхом фіксації певних її ознак. **Експеримент** — дослідження, коли об'єкт ставлять в умови, за яких можна вивчати дію певного фактора або групи факторів на систему. Експеримент носить активний аналітичний характер, оскільки може виявити причинно-наслідкові зв'язки в аналізі розвитку біосистем (наприклад, вплив техногенного забруднення на рослини, дія меліорації на рослинність і тваринний світ, пестицидів на організми, радіації на ліси). Експеримент передбачає дослід, відтворення об'єкта пізнання, перевірку гіпотез про закономірності зв'язку явищ. Методом експерименту встановлюються оптимальні та граничні умови існування, критичні та летальні дози хімічних забруднювачів, гранично допустимі концентрації шкідливих речовин, що лежать в основі екологічного нормування. Цей метод важливий при оцінці порівняльної стійкості видів рослин і екосистем до дії екстремальних екологічних факторів (морозостійкості, посухостійкості, газостійкості, солестійкості тощо), а також при вивченні адаптацій (пристосувань організмів до різних умов середовища). Еколог використовує при здійсненні експерименту спеціальну експериментальну техніку.

4. Методи вивчення взаємин між організмами у багатовидових угрупованнях складають важливу частину дослідження екосистем. Вони передбачають натурні спостереження та

лабораторні дослідження трофічних відносин, проведення дослідів із переносом «міток» радіоактивних ізотопів, що дозволяє визначити кількість органічної речовини, яка переходить від однієї ланки ланцюга живлення до іншої (від рослин до травоядних тварин, а від травоядних до хижаків). Особливе значення має експериментальна методика створення та дослідження штучних угруповань і екосистем (лабораторне моделювання природних взаємодій організмів між собою і навколишнім середовищем).

5. Методи математичного та імітаційного моделювання. Головна мета побудови та використання моделей в екології — можливість прогнозування динаміки розвитку біосистем. Це особливо важливо, якщо екосистема піддається зовнішнім, антропогенним впливам. Прогноз віддалених екологічних наслідків техногенезу дозволяє передбачити та зменшити негативні ефекти, вносити корективи у прийняті рішення. Прийоми глобального моделювання, доведені до моделей, заснованих на проблемно-прогнозному підході, дозволяють розглядати варіанти сценаріїв і будувати обґрунтовані прогнози глобального розвитку.

Методи прикладної екології:

- створення банків даних екологічної інформації та геоінформаційних систем (ГІС-технологій);
- комплексний еколого-економічний аналіз стану територій для екологічної оцінки та поліпшення екологічної обстановки;
- методи інженерно-екологічних пошуків для оптимального проектування, розміщення, будівництва та реконструкції цивільних і господарських об'єктів;
- методи екологічно орієнтованого проектування об'єктів на принципах і розрахунках екологічної відповідності;
- технологічні методи зниження токсичних відходів підприємств і виробничих комплексів, шкідливого впливу пристроїв і виробів на навколишнє середовище та здоров'я людей;
- методи екологічної регламентації господарської діяльності: екологічний моніторинг; екологічна атестація та паспортизація господарських об'єктів і територіальних природно-виробничих комплексів; екологічна експертиза; прогноз негативного впливу проєктованих і споруджуваних об'єктів на навколишнє середовище (Акімова, Кузьмін, Хаскін, 2001).

В Україні, як і в інших країнах колишнього СРСР, особливе значення для системних екологічних досліджень мало створення та розвиток науки біогеоценології, основні методичні підходи якої розроблені В. М. Сукачовим, М. В. Дилісом, С. В. Зонном, М. С. Гіляровим та багатьма іншими видатними вченими.

1.4. Основні проблеми та наукові напрямки сучасної екології

Людство вступило в ХХІ століття у стані екологічної кризи. Порушення екологічної рівноваги біосфери як наслідок виробничої діяльності людини та світових масштабів техногенне забруднення навколишнього середовища набули характеру локальних та регіональних екологічних катастроф і поставили перед людською цивілізацією проблему її подальшого існування.

Нестримне економічне зростання та техногенний тип світового господарства призвели до виникнення глобальних екологічних проблем: хімічного та радіоактивного забруднення Світового океану, прісних вод, повітря та ґрунтів, кислотних дощів, деградації та скорочення площі лісів, виснаження природних ресурсів, опустелювання, руйнування озонового шару, парникового ефекту, дефіциту прісної води та продовольства, зменшення родючості ґрунтів, ерозії земель, зниження стійкості екосистем, збіднення їх видового та популяційного різноманіття, зростання захворюваності населення.

У біосферу Землі з техногенних джерел щорічно надходить понад 400 тис. шкідливих сполук, а сумарна їх кількість становить понад 160 млрд т. Отруйний смог над містами та кислотні дощі стали невід'ємними атрибутами окремих регіонів. Антропогенне перетворення ландшафтів суходолу досягло 80—90 % його площі, у тому числі 40 % суходолу перетворено на антропогенні пустелі. Площа лісів нашої планети щорічно скорочується на 10—14 млн га. За останні 100 років біомаса рослин на поверхні континентів знизилася на 7 %, а продуктивність живого покриву Землі — на 20 %. Під загрозою зникнення знаходиться 25 тис. видів рослин (5 % усієї кількості видів вищих рослин-продуцентів). Отже, екологічні проблеми людини стали найважливішими проблемами всієї природи планети (Акімова, Кузьмін, Хаскін, 2001).

1. Обсяг антропогенних впливів на природу у ХХ—ХХІ ст. став занадто великим: він наблизився до межі стійкості біосфери, а за рядом параметрів перевершив його (Білявський, Бутченко, 2004; Холіна, 2005). Про це свідчать факти:

- деградація та різке скорочення площі непорушених екологічних систем;
- зменшення біологічного різноманіття та зниження стійкості екосистем;
- досягнення критичної швидкості використання (перевищення темпів обсягів споживання та вилучення відновлюваних природних ресурсів щодо швидкості природного

відтворення): прісної води, ґрунтового гумусу, біомаси, первинної продуктивності рослинного покриву;

- виснаження запасів невідновних природних ресурсів (нафта, газ, кам'яне вугілля);

- глобальне техногенне забруднення навколишнього середовища, що призводить до несприятливих кліматичних змін: парникового ефекту, зменшення щільності захисного озонового екрана Землі, погіршення здоров'я, зниження якості життя людей, розімкнення кругообігу речовин, порушення біосферної рівноваги, послаблення середовищевірних і середовищерегулювальних функцій біосфери.

2. Екосистеми часто відповідають на зростаючий антропогенний вплив непередбачуваними змінами, що створюють екологічну небезпеку (Реймерс, 1994). Це підтверджують дані:

- погіршення стану здоров'я людської популяції;
- прискорення темпів мутагенезу під впливом хімічного та радіаційного забруднення навколишнього середовища;
- поява нових форм із трансформованою стійкістю та адаптивністю, а також із небезпечними для організму людини властивостями;

- виключення окремих видів із природних угруповань (біоценозів) веде до порушення стійкості екосистем і неконтрольованих ланцюгових реакцій у біосфері;

- техногенне перетворення ландшафтів, забруднення навколишнього середовища, порушення міграції хімічних елементів у біосфері, що призводять до підвищення екологічного ризику, екологічних і економічних втрат.

3. У XX—XXI ст. людство створило цивілізацію споживання, що спричинило надлишкове техногенне навантаження на природу та навколишнє середовище.

Головне завдання сучасної екології людини— об'єднання всіх її розділів і величезного фактичного матеріалу на єдиній теоретичній платформі, розвиток теоретичних і прикладних основ екології; створення системи, що відбиває всі сторони взаємовідносин природи та суспільства.

Основні напрямки сучасної екології людини:

1. Всеосяжна діагностика стану біосфери та її ресурсів, визначення порога витривалості біосфери відносно антропогенних навантажень (Джигирей, 2002; Кучерявий, 2000).

2. Розробка локальних, регіональних і глобальних прогнозів зміни стійкості та продукційного потенціалу найважливіших природних комплексів планети та біосфери в цілому (Голубець, 2000; Мойсєєв, 2000).

3. Відмова від природопідкорювальної ідеології его- (антропо-) центризму та формування ідеології та методології екоцентризму, спрямованих на екологізацію економіки, ви-

робництва, техніки, освіти та політики (Білявський, Бутченко, 2004; Холіна, 2005).

4. Вироблення критеріїв оптимізації — обрання найбільш узгодженого з екологічним імперативом і екологічно зорієнтованого соціально-економічного розвитку суспільства (Голубець, 2000; 2010).

5. Формування екологічного світогляду, передових стратегій поведінки людського суспільства, економіки та технологій, які приведуть масштаби та характер людської діяльності у відповідність до екологічної витривалості природи і запобігатимуть екологічній кризі (Акімова, Кузьмін, Хаскін, 2001).

Фахівець, який мислить екологічно, повинен розуміти причинно-наслідкові зв'язки у природних явищах, уміти простежити, в яких взаємозв'язках з іншими явищами більш складної системи вони знаходяться. Фахівцям необхідні інтегральні знання про навколишнє природне середовище в цілому. Вони повинні бачити не тільки найближчі, а й віддалені наслідки змін у природі. Екологічні цілі стають найважливішими знаннями людства, що демонструють міжнародні форуми останніх років.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Акімова Т. А., Кузьмін А. П., Хаскін В. В. Экология. Природа — Человек — Техника. — М.: Юнити-Дана, 2001. — 343 с.

Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології. — К.: Лібра, 2004. — 367 с.

Блок М. Апология истории или ремесло историка. — М.: Наука, 1986. — 254 с.

Бродский А. К. Общая экология. — М.: Академия, 2009. — 256 с.

Гиляров А. М. Популяционная экология. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 192 с.

Голубець М. А. Екосистемологія. — Львів: Поллі, 2000. — 316 с.

Голубець М. А. Середовищезнавство (інвайронментологія). — Львів: Манускрипт, 2010. — 176 с.

Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. — К.: Знання, 2002. — 203 с.

Кучерявий В. П. Загальна екологія. — Львів: Світ, 2010. — 520 с.

Мальтус Т. Опыт о законе народонаселения. — М., 1998.

Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й. За пределами роста. — М.: Прогресс, 1994.

Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990. — 352 с.

Одум Ю. Екологія. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с.

Пестель Э. За пределами роста. — М.: Прогресс, 1988.

Програма и методика біогеоценологічних досліджень / под ред. Н. В. Дыліса. — М.: Наука, 1974. — 404 с.

Программа действий: Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро. — Женева: Центр за наше общее будущее, 1993.

Радкевич В. А. Екологія. — Мн.: Виш. шк., 1998. — 159 с.

Реймерс Н. Ф. Природопользование (словарь-справочник). — М.: Мысль, 1990. — 637 с.

Реймерс Н. Ф. Екологія. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. — М.: Россия молодая, 1994. — 366 с.

Риклефс Р. Основы общей экологии. — М.: Мир, 1979. — 424 с.

Сергейчик С. А. Екологія. — Мн.: БГЭУ, 2009. — 505 с.

Федоров В. Д., Гильманов Т. Г. Екологія. — М.: Изд-во МГУ, 1980. — 464 с.

Холина В. Н. Основы экономики природопользования. — СПб.: Питер, 2005. — 672 с.

Шилов И. А. Екологія. — М.: Высшая школа, 2000. — 512 с.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Програма ООН з навколишнього середовища UNEP. net (United Nations Environment Program) (<http://www.unep.net>).

Всесвітня метеорологічна організація WMO (<http://www.wmo.ch>).

Комітет з основних систем (КОС) (<http://www.wmo.ch/index-en.html>).

Міжнародна Рада наукових союзів ICSU (<http://www.icsu.org>).

Всесвітня продовольча організація FAO (<http://www.fao.org>).

Система Світових центрів даних МСНС (<http://www.ngdc.noaa.gov/wdc/wdcmain.html>).

Інформаційна система програми ЮНЕП GRID (<http://www.grid.org>).

Глобальна система спостережень за кліматом GCOS (<http://www.wmo.ch/web/gcos/gcoshome.html>).

Глобальна система спостережень за океаном GOOS (<http://ioc.unesco.org/goos>).

Глобальна система спостережень за поверхнею Землі GTOS (<http://www.wmo.ch/web/gcos/gcoshome.html>).

Міжнародна програма геосферно-біосферних досліджень IGBP (<http://www.igbp.kva.se/cgi-bin/php/frameset.php>).

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Які напрямки включає сучасна екологія?
2. Які методи досліджень використовує сучасна екологія?
3. Які визначення екології відповідають її сучасним завданням, на вашу думку?

4. Чи існує прямий зв'язок між технологічним прогресом і вирішенням екологічних проблем?
5. Чи можна розглядати природу як «ріг достатку»? Вплив на довкілля виробництва агломерату.
6. Що необхідно змінити людству для вирішення екологічних проблем, з точки зору А. Печчеї?
7. Чи можливе «нульове зростання» світової економіки при збільшенні чисельності світового населення?
8. У чому полягає сенс концепції «сталого розвитку»?
9. Які екологічні наслідки забруднення ґрунту важкими металами?
10. У чому відмінність визначення екології Е. Геккеля від сучасного підходу?

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Розвиток екології в Україні.
2. Перспективи розвитку екосистемології в Україні.
3. Сучасні напрямки та методи досліджень в аутоекології.
4. Сучасні напрямки та методи досліджень у синекології.
5. Сучасні напрямки та методи досліджень у біогеоценології.
6. Сучасні напрямки та методи досліджень у ноосферології.
7. Глобальні проблеми та завдання сучасної екології.
8. Від Ріо-де-Жанейро-1992 до сучасності.
9. Наше спільне майбутнє: програма дій в Україні.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Кількість напрямків досліджень сучасної екології людини:
а) 2; б) 3; в) 4; г) 5.
2. Розділ екології, який вивчає взаємовідносини окремої особини (популяції, виду) з навколишнім їй (їх) середовищем, — це:
а) синекологія; б) аутоекологія; в) демекологія; г) біоекологія.
3. Головним об'єктом вивчення екології як науки є: а) організми; б) популяції; в) біоценози; г) біогеоценози.
4. Основні розділи екології: а) загальна екологія; б) біо- та гео-екологія; в) екологія людини; г) а + б + в.
5. У складі загальної екології виділяють такі розділи: а) аутоекологія; б) популяційна екологія; в) синекологія; г) а + б + в.
6. Екологія не досліджує закономірності відношення рослин і тварин до умов середовища у просторі та часі на таких рівнях: а) молекулярному; б) екосистемному; в) організменому; г) популяційно-видовому.
7. Концепція сталого розвитку передбачає: а) повне використання всіх доступних природних ресурсів; б) використання тільки частини доступних природних ресурсів; в) максимальне скорочення використання природних ресурсів; г) збереження частини ресурсів для майбутніх поколінь.

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питання	Відповідь	№ питання	Відповідь
1	d	5	d
2	b	6	a
3	d	7	d
4	d		

Розділ 2 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЇ

Основна ідея. Історія розвитку екології яскраво демонструє процес становлення наукової свідомості, перетворення біологічної науки на фундаментальну комплексну наукову галузь.

Смислові зв'язки. Доісторичний — античний — відродження та сучасний етап розвитку. Редукціоністський — холістичний та функціональний напрямки.

Ключові терміни. Історія природи, античні ідеї, опис рослин і тварин, систематика, класична екологія, життєва форма, дарвінізм, природний добір, біоценоз, сукцесії, екобіоморфи, екосистема, біогеоценоз, біологічна продуктивність, біологічний кругообіг, енергетичний баланс, функціональна роль, біосфера.

Мета — оцінити причини, тенденції, історичні етапи та напрямки становлення екології.

2.1. Основні етапи становлення екології як науки

Екологічні знання поступово накопичувалися стільки, скільки існувало людство. Дослідити ці процеси важливо тому, що без розуміння минулих набутків неможлива вірна інтерпретація сучасних явищ, а звідси проблематична й побудова коректного прогнозу розвитку довкілля та його взаємин з людиною. Попередній досвід необхідно знати не тільки для позитивного впровадження цих стосунків, а і для подальшого удосконалення життя у широкому розумінні: від виробничої, матеріальної сфери до морального стану суспільства. Ось чому вірне уявлення про історію знань екологічного характеру — один із головних показників інтелектуального, культурного рівня як окремої людини, так і населення будь-якої країни.

Екологія як наука виникла у процесі розвитку біологічних наук і передусім у результаті ботанічних і зоологічних досліджень і сформувалася в самостійний науковий напрямок на основі інтеграції біології, географії, хімії, фізики, математики, економіки, правознавства та інших наукових і господарських аспектів у діяльності людини. Вона, як і інші науки, має свої витoki і довгий історичний період розвитку та становлення. Формально як наука екологія сформувалася лише з середини ХІХ ст., після того як були накопичені різноманітні дані про багате різноманіття організмів на Землі, особливості їх будови та розвитку, способ життя. Поступово виникло поняття про взаємовідносини їх із середовищем.

Уперше узагальнення цих питань зроблене Ернстом Геккелем (1866, 1869), який у своїх працях «Загальна морфологія організмів» (1866), «Природна історія світотворення» (1868) спробував дати визначення суті нової науки, якій дав назву «екологія». Він визначав її сутність як «загальну науку про відношення організмів до навколишнього середовища, куди ми відносимо в широкому розумінні поняття всі умови існування. Вони частково органічної, частково неорганічної природи, але як ті, так і інші мають велике значення для всіх форм організмів, бо примушують пристосовуватися до себе». Були й інші спроби визначити її назву, наприклад «економіка природи». Ця назва суттєво підкреслювала проблему природного балансу, що наразі є одним з найважливіших питань сучасної екології. Назва «екологія» отримала широке визнання і стала поширеною в науковому та загальному вжитку.

Відомий еколог О. М. Гіляров (1989) зазначав: «Коли в 1866 р. Е. Геккель уперше застосував слово «екологія», розглядаючи як біологічну науку, яка вивчає взаємовідносини організмів і навколишнього середовища, він, напевне, не підозрював того, що через сто з гаком років це слово, багаторазово повторене газетами та журналами всього світу, стане своєрідним символом свого часу». І дійсно, немає зараз жодної людини (починаючи з учнів), жодного фахівця будь-якої професії, який би не вживав це слово, розуміючи під ним майже все, й у більшості випадків кожен взаємодію людини та природи або погіршення природного середовища, яке викликається її господарською діяльністю. Навіть фірми, які вивозять різне сміття, беруть собі бренд «екологія», з відповідними позначками на сміттєзбиральних машинах. Можна сперечатися з таким підходом до екології, але не можна не визнати, що незалежно від популярності або непопулярності

слова «екологія», яке вживається всіма верствами населення та засобами масової інформації, екологія як наука існує, розвивається, має власні цілі, об'єкти, методологію та методи дослідження.

Ще до визначення екології Е. Геккелем вона мала свою тривалу передісторію, а у сучасний період набула досить складної структури та участі у вирішенні безлічі питань у життєдіяльності людини, особливо в напрямку сталого розвитку суспільства. На своєму шляху від доісторичних часів до наших днів вона пройшла декілька етапів, серед яких можна виділити такі.

I етап — доісторичний. Етап спонтанного вивчення довкілля, передусім рослин і тварин, які обумовлювали життя первісної людини у задоволенні продуктами харчування, виготовлення одягу та різного знаряддя, уникнення загрози життю.

II етап — античний. Етап інтенсивного накопичення даних про життя різних організмів і взаємовідносини рослин і тварин із середовищем. Поява перших творів зоологічного та ботанічного напрямку.

III етап — відродження. Розвиток понять про загальнобіологічні особливості тварин і рослин, їх зовнішню та внутрішню будову, різноманіття форм у період становлення біології в епоху Відродження.

IV етап — редукціоністський (у позитивному значенні цього слова). Етап детального дослідження окремих організмів, популяцій, угруповань і узагальнення їх засновником екології — Е. Геккелем. Формування понять про пристосування організмів до різних чинників середовища.

V етап — холістичний. Етап формування екології на основі синтезу, інтегрованості, системності. Розробка понять про біоценоз, екосистему А. Тенслі та біогеоценоз В. М. Сукачова.

VI етап — функціональний. Етап розробки функціональної екології. Визначення ролі різних біотичних елементів у різних функціях екосистем та біосфери.

Зазначені етапи не мають між собою чітко обумовлених меж і поступово переходять із попереднього до наступного. Деякі положення формувалися і розвивалися протягом ряду етапів. Разом з тим, кожен етап має певні особливості. Три перші етапи можна розглядати як розвиток екологічних уявлень, які стали передумовою формування екології як наукової дисципліни, а три останні знаменують собою розвиток власне екології.

2.2. Передумови формування екології як науки

2.2.1. Доісторичний етап

Широко представлені в різних місцях земної кулі печерні малюнки стародавньої людини свідчать про обізнаність її про навколишнє середовище, його мешканців, місця їх перебування, способи збирання рослин, полювання на тварин і споживання. Можна зробити висновок, що знання, які у сучасному розумінні є екологічними, були найдавнішими знаннями людини. При перших проявах свідомості первісна людина почала стихійно вивчати й накопичувати відомості про те, де ростуть рослини і де водяться тварини, як їх здобути, як зберегти життя в умовах суворого оточення дикої природи. Постійно спілкуючись із природою, її рослинним світом і тваринним населенням, які представляли матеріальну базу для існування людини, вона розуміла, що все, що її оточує, є не лише джерелом існування, а й невід'ємною частиною природи. Спостерігаючи та визначаючи окремі природні об'єкти, необхідні для повсякденного життя, їхню придатність для різного використання або загрозливості, людина постійно вивчала їх. Поступово у людини формувався погляд на розвиток власних особливостей взаємовідносин із природою, що стало можливим при виникненні та розвитку перших кроків землеробства і тваринництва.

Надзвичайно важливим кроком уперед стало оволодіння вогнем. Підтримувати вогонь навчилися ще наші далекі предки, що жили більше мільйона років тому. Добувати та підтримувати вогонь, переносити його з місця на місце люди навчились принаймні 150 тис. років тому. Позитивним наслідком оволодіння вогнем стала можливість підтримувати бажаний мікроклімат поблизу вогнища, різноманітніше та якісніше харчування, можливість просуватись далі у холодніші райони. З'явилися, проте, й перші негативні наслідки: пожежі, суттєве порушення природного кругообігу речовин в екосистемах за рахунок знищення (спалювання) на вогнищі рослинного сухостою та опаду (багаття переважно діяло постійно, для його підтримання навколо збиралось все, що могло горіти).

Випадкові й спонтанні спостереження умов зростання та розвитку рослин, місцеперебувань та способів життя тварин і вплив їх на середовище поступово привели людину до висновку про тісний взаємозв'язок їх спільного існування та взаємного впливу, спрямованого на взаємну підтримку. Так, ще у стародавні часи людина помічала, що в місцях впливу тварин на ґрунт (риття) та надходження посліду у ґрунт

краще ростуть рослини. А в місцях масового розвитку мишей і пацюків їх знищують різні хижі птахи та звірі і тим полегшують життя самої людини. Поступово людина набувала досвіду про складну будову природного оточення, його складові, які зараз визначаються як структурні компоненти чи елементи екосистем.

Палеолітичні суспільства існували значною мірою завдяки полюванню. Знищення великої дичини призвело до масштабної екологічної кризи (Воронцов, 1999), що значно скоротила чисельність людства. Але при переході від палеоліту до мезоліту і далі до неоліту, у ході неолітичної революції, людство освоїло тваринництво та землеробство.

Формування таких угідь, де людина вперше вирощувала необхідні об'єкти для забезпечення свого існування, дало змогу не витрачати зусиль на збір їх у природних умовах, а штучно забезпечувати себе необхідним. Це сприяло ще більшому розширенню обсягів пізнання самої природи. Підбір рослин для культивування, а тварин для вирощування ще більше спонукав людину до виявлення тих умов, що забезпечують успіх. Таким чином, крок за кроком людина оволодівала необхідними знаннями про різні рослини та тварин, їх умови розвитку, характер і об'єкти живлення, їх складні взаємовідносини. Зі створенням умов для вирощування рослин і утримання та розведення тварин людина прагнула хоча б у деяких моментах копіювати (моделювати) найважливіші процеси, які вона спостерігала у природі, та впроваджувати у своє первісне господарство. Спостерігаючи за об'єктами свого первісного господарства, вона поступово оволодівала відомостями про тих рослин і тварин (паразитів і шкідників), які часто перешкоджали одержанню успішних результатів. Це ще більше допомагало усвідомлювати тісні й складні взаємовідносини між різними організмами та спонукало людину до всебічного їх вивчення, напрацювання різних прийомів, щоб позбутися негативного впливу небажаних організмів. Треба зазначити, що в цих прийомах переважали механічні (відлов) та біологічні (використання різних тварин, які значно зменшують кількість шкідливих елементів) методи боротьби з небажаними організмами. Корисних для вирішення цих завдань тварин людина часто оголошувала священними, охороняла їх. Первісне суспільство пізнавало навколишнє природне оточення в усьому різноманітті стосунків із рослинами, тваринами, абіогенними чинниками. Такі відомості накопичувались унаслідок зусиль, здійснюваних у двох головних напрямках: а) добування їжі, б) захист від зовнішніх негативних чинників живого та неживого походження.

У первісному суспільстві стали зароджуватись і поступово розвиватись уявлення про себе та про зовнішнє середовище. Втілювались вони у різних повір'ях, обрядах, переказах. За одним із вірувань, у кожную живу істоту «вкладалась» людська душа. Поступово таке ставлення з'явилося і по відношенню до неживих об'єктів — окремої скелі, пагорба, річки, болота, джерела, сонця, місяця тощо. Сукупність таких уявлень тепер зветься анімізмом (від латинського *anima* — душа).

Саме анімізм, крім іншого, був головною складовою язичницьких вірувань. Тогочасні люди згідно з таким світоглядом уважали, що всі природні істоти, що їх оточували, жили в «людський» спосіб: народжувались, відчували своє оточення, розуміли, спілкувались, мали певні бажання, відчували біль, сум, радість тощо. Отже, в основі світосприйняття первісного суспільства лежав культ Природи як найвищий сенс існування людини, найсильніший дух довілля, найголовніший суддя та істина. Звідси — й бережливе, точніше сказати, раціонально-дбайливе ставлення до природного оточення. Під впливом такого світогляду з'явилися різні табу — безкомпромісні заборони якоїсь дії чи бездіяльності та навіть висловлювання стосовно певних тварин, рослин чи інших об'єктів. На порушників чекала жорстока кара — смерть або, як уважали, найжахливіша хвороба. Таке ставлення до живого середовища не могло не змінюватись упродовж багатьох тисячоліть, але, частково втілене у художні образи народної творчості, збереглося в деяких деталях і до сьогодні.

Набутий досвід переконував людей у тому, що коли, наприклад, у певний ліс ніколи не заходити та ніяк не турбувати його природних мешканців, то полювання навколо нього буде багатшим і стабільнішим. Накладаючи табу на такі території, оголошуючи їх «святими» та недоторканими, люди підсвідомо перетворювали їх на місця, які за своєю сутністю наближались до сучасних заповідників. Такі «народні заповідники», або «святі урочища», подекуди збереглися аж до ХХ століття. Деякі з них були настільки вдало розташовані, що виявилось цілком доречним і розумним збереження їх і в наш час як офіційних, науково обґрунтованих заповідників.

Але не слід вважати, що відносини доісторичних людей з довкіллям були безхмарними. Землеробство та тваринництво сприяли росту чисельності людства, призводили до витіснення, знищення від проривних компонентів екосистем. Наслідком надмірного випасу худоби неолітичних скотарів стало утворення таких пустель, як Сахара. Надмірне застосування деревини призвело до загибелі лісів, а з ними — й цивілізації

на острові Пасхи. Але у той час людство не було глобальним, і подібні екологічні катастрофи були локальними.

Досвід попередніх тисячоліть вивів людство на той рівень, коли воно змогло реалізувати свої знання у землеробстві, обумовив принципowo нову поведінку людей у природному середовищі. Вирощування врожаю вимагало значно більших знань про вплив чинників довкілля на рослини на всіх фазах їх розвитку. Саме ця специфіка нової для того часу праці змусила людину цілком свідомо здобувати, накопичувати та передавати наступним поколінням знання екологічного змісту.

Найперші спроби вирощування рослин (початком вважають 10—12 тис. років до нашої ери) називають примітивним, або паличним, землеробством. Останньою назвою воно завдячує найпершому хліборобському знаряддю — палиці, що мала довжину 1,2—1,6 м і була загострена з одного кінця. Певна річ, таким пристосуванням можна було пушити лише ґрунт, що не був задернений (міцно скріплений коренями різних, переважно багаторічних злаків). Такі умови склались по берегах великих річок, де під час повені відкладався намул, що легко піддавався обробці палицею. Ця обставина, а також наявність води та тепла обумовили місця найдавнішого землеробства: стародавній Єгипет, Месопотамія, Індія, Південно-Східна Азія, Китай.

Після винаходу знарядь, що дозволяли рубати деревину, землеробство просунулось північніше — у лісову зону. Чи не найперше у світі це сталося у розташуванні Трипільської культури (на захід від приблизної лінії Переяслав-Хмельницький — Кіровоград, у теперішніх межах України, Молдови, частково Румунії, крім Карпат і болотистого Полісся). Система землеробства, що тут склалась, зветься тепер підсічно-вогневою. На певній площі корчували ліс (рубали, або «підсікали», розриті корені, поки дерево не впаде). Коли дерева висихали, їх спалювали, попіл розсипали по звільненій території. На цій площі висівали переважно зернові культури. Після двох-трьох років вирощування рослин урожайність на цьому місці падала через виснаженість ґрунту та забур'яненість. Тому переходили на нове поле, яке тим часом готували у зазначений вище спосіб.

З опануванням степу, на відміну від підсічно-вогневої, поширилась переложна система землеробства. Степову цілину розорювали, вирощували культурні рослини протягом 10—12 років, а потім, коли ґрунт виснажувався та долали бур'яни, переходили на іншу ділянку. Згодом повертались на попередні поля, ті, що «відпочили». Такий тип землеробства зберігався у деяких районах Євразії аж до XX століття.

Своєрідний і тривалий вплив на природу степу пов'язаний з улаштуванням могил-курганів у скіфські та інші часи. Їх не насипали, а вимощували дерном на зразок єгипетських пірамід. Для видобування необхідної кількості дерну для однієї могили його знімали на площі до 100—150 га. Якщо припустити, що товщина кусків дерну була 10 см, то для того, щоб відновився такий шар чорнозему, потрібно 1—2 (3) тис. років, а коли зважити на втрати від ерозії — ще більше.

2.2.2. Античний етап

Накопичені первісною людиною відомості в процесі становлення суспільства і здобуті нею початкові знання про взаємовідносини між людиною та природою послужили основою для виникнення й розвитку природничих наук, які відображувалися у творах натурфілософів античного періоду. Перш за все виникли й успішно розвивалися зоологія і ботаніка, які стали фундаментальною основою для подальшого формування біологічної науки, на теренах якої народжувалися фрагменти екологічних знань. Накопичені первісні знання та завойовницька політика різних країн сприяли розширенню знань про нові території та одержані людиною на них певні здобутки у господарюванні, обумовили подальший розвиток знань про нові численні види організмів. У період рабовласницького ладу використання дешевої праці рабів певною мірою вивільнило частину населення, передусім заможного, від важкої фізичної праці, що сприяло поштовху до розуміння будови природи, визначенню самого поняття про життя. Все це було б неможливим, якби перші натурфілософи античного періоду та ще раніше перші вчені Індії та Китаю не вивчали безпосередньо світ рослин і тварин як головних джерел самого життя. Таким чином були одержані більш розширені відомості про спосіб життя живих організмів, залежність їх від навколишніх природних умов і кліматичних чинників, про деякі взаємовідносини між організмами. Серед античних натурфілософів, які стали засновниками цілих розділів біологічної науки та сприяли у подальшому розвитку екології, були Арістотель (384—322 рр. до н. е.) — засновник зоології та його учень і послідовник — Теофраст (372—287 до н. е.) — засновник ботаніки. Арістотель описує понад 500 видів відомих йому на той час тварин. Він склав першу класифікацію тварин, яка ґрунтувалася на найважливіших морфологічних ознаках, що відображали пристосування до конкретних умов середовища. Теофраст дав загальну характеристику їх поведінки, сповіщав про перельоти птахів та їх причини, міграцію та зимівлю риб, будівельну активність

тварин, паразитизм зозулі, різні арсенали захисту тварин від ворогів, головні місця мешкання та інші відомості. Цікаво навести його вислів, що близько відображує боротьбу за існування. Наприклад, він говорить про те, що «тварини, які населяють одну і ту саму місцевість і споживають одну і ту ж їжу, борються одна з одною, і якщо їжі недостатньо, ця боротьба одного і того ж виду набуває гострого характеру». Усіх відомих тварин він розмістив за рівнем їх організації, що відображало їх поступовий еволюційний розвиток. Теофраст наводить свідчення про понад 400 видів рослин, різноманіття рослин у різних умовах існування, залежність їх форм і особливостей росту від ґрунту і кліматичних умов. У творі «Про причини рослин» він також характеризує взаємовідносини між різними рослинами, про користь і шкоду, що спричиняють одні рослини іншим, описує зміни, які відбуваються у рослин в умовах, створених людиною. В інших творах Теофраст описує геліотропізм і «сон» деяких рослин, розповсюдження насіння вітром і тваринами. У творах цих, а також багатьох інших античних натурфілософів, китайських та індійських давніх вчених тварини та рослини розглядалися у зв'язку з конкретними умовами життя. Наводилося багато прикладів взаємовідносин між тваринами та рослинами. В їх будові відзначалися деякі природні чинники, які викликали пристосування безпосередньо до них.

Треба зазначити, що ще до появи творів основоположників фундаментальних біологічних дисциплін античними натурфілософами наводилися, між іншим, думки про наявність (у нашому сучасному розумінні) «біотичного кругообігу речовин». Наприклад, Анаксагор (500—428 рр. до н. е.) говорив: «Жодна річ (у тому числі організм) не виникає, жодна не зникає, а існують у різних формах, народжуючись і вмираючи, перетворюючись з однієї на іншу, сприяючи відродженню інших форм шляхом роз'єднання післяіснуючих форм, у подальшому за допомогою змішування (очевидно, споживаючи як поживні речовини) відроджуються знову».

Подальший розвиток екологічних уявлень ми спостерігаємо у так званій римській період античного етапу. Тут передусім найяскравіше показано зв'язок між організмами та конкретними умовами їх існування. В енциклопедичному 37-томному творі Плінія Старшого (23—79 рр. н. е.) 8—11-й томи присвячені життю тварин, а 12—27-й — рослинам. Він показує біологічні особливості тварин, зокрема живлення, розмноження, місця мешкання. Особливу увагу привертає його ідея про розподіл тварин не за морфологічними ознаками, а за типом середовища їх мешкання — наземних

і повітряних (літаючих). Хоча такий розподіл у класифікації тварин не мав нічого спільного з морфологічною класифікацією (відомо всім, що в одному і тому самому середовищі мешкають тварини від найпростіших до ссавців), але все ж таки ця робота відіграла значну роль у розвитку уявлень про найтісніший зв'язок тварин безпосередньо із середовищем (із конкретними умовами існування — ґрунтом, водоймами, повітрям тощо). При цьому він наводить приклади утворення споріднених морфологічних ознак, характерних для того чи іншого середовища: однакова структура плавців як первинно водних таксонів, так і ссавців у водному середовищі, різні крила комах, птахів і ссавців тощо. Наведені численні приклади послужили основою ідей про зв'язок живих організмів із відповідним середовищем, його роль у формуванні особливої їх будови, що пізніше лягло в основу поняття «життєві форми». Він описує також інстинкти, симбіотичні зв'язки, які згодом — на сучасному етапі — розглядаються як одна з форм розповсюджених консортивних зв'язків у екосистемах.

У розповідях про рослини Пліній Старший багато місця приділяє конкуренції між деревами, дає оцінку впливу метеорологічних і ґрунтових умов на рослини, визначає роль невеличкої «мушки», пов'язаної з долею плодоутворення у фігового дерева, говорить про вплив різних фізичних чинників на загальний обрис і врожайність рослин, наводить приклади хвороб, що спричиняють рослинам деякі комахи та «черв'яки», і під кінець дає рекомендації щодо застосування рослин у лікуванні різних хвороб.

Закінчуючи характеризувати античний етап у розвитку екологічних ідей, треба відзначити увагу римських натуралістів до прикладних аспектів ботаніки та зоології. Так, римський вчений-енциклопедист і натураліст Варрон (116—27 рр. до н. е.) у творі «Про справи сільські» пропонує рекомендації щодо покращення ґрунту, землеробства, догляду і вирощування домашніх тварин. Усі рекомендації він пропонував, не спираючись на аристотелівські праці. Цікаво також зазначити, що Варрон був не позбавлений дару наукового передбачення, стверджуючи, що в повітрі носяться цілі хмари невидимих «найдрібніших» тварин, які викликають хвороби, беруть активну участь у житті рослин і тварин. Минуло майже півтори тисячі років, поки були відкриті мікроорганізми — на сучасному етапі вони, розкладаючи органічні речовини на мінеральні, складають редуцентний блок екосистем, який завершує біотичний кругообіг. Не буде зайвим згадати натураліста-поета Вергілія (70—19 рр. до н. е.). У своїй віршованій праці «Георгіки» у піснях він як знавець сільськогос-

подарського виробництва викладає агрономічні рекомендації про пар і про добрива, дає поради з садівництва, бджільництва тощо. Зрозуміло, що без знань про взаємозв'язки рослин і тварин, умови їх успішного розвитку неможливо давати ті поради, які приводять до практичного успіху. Завершальним акордом давньоримських натурфілософських поглядів на саму суть природи, складність її структури та загальну обумовленість усіх процесів є поема Лукреція Кара (приблизно 99—55 рр. до н. е.) «Про природу речей». В ній підкреслюється ідея про природні причини — закономірності всього, що відбувається у природі, про множинність причин, що викликають подібні явища. Ці ідеї вплинули на формування загальнобіологічних уявлень, у тому числі екологічних.

Антична епоха в історії екології пов'язана з іменами вчених Стародавньої Греції, а потім і Риму. Демокріт (близько 460—370 рр. до н. е.) та Арістотель (384—322 рр. до н. е.), коли вирішували головні питання філософії (відношення свідомості до буття, мислення — до матерії), спиралися передусім на тлумачення того, що вони бачили у природі. Складові середовища, що їх оточувало (тварини, рослини, мінерали тощо), були для них тими «цеглинками», з яких вони і будували «дім» натурфілософського світогляду. Ось чому Арістотель («батько філософії») описав понад 500 видів тварин, виклавши відомості про їх життєдіяльність, у тому числі й пов'язану з реакцією організмів на вплив зовнішнього середовища. Він досліджував міграцію риб і птахів, будівельну активність деяких тварин, оригінальність поведінки зозулі відносно своїх пташенят, захисні реакції каракатиці тощо. Цей вчений дійшов висновку, що навіть зародження письма та мистецтва (у тому числі й поезії) — наслідок намагання людини наслідувати природі, прагнення ввійти з нею в гармонійні стосунки.

Гіпократ (460—370 рр. до н. е.) вивчав проблеми медицини, землеробства, мореплавання. Описуючи лікарські рослини, він подавав не тільки їх лікувальні, а й екологічні властивості. У працях «батька ботаніки» Теофраста (372—287 рр. до н. е.) йшлося про розповсюдження рослин залежно від умов середовища, зв'язок їх форми та особливостей росту з ґрунтом та кліматом. Він розробив першу класифікацію життєвих форм рослин, виділивши дерева, кущі, напівкущі, трави, наводив чимало практичних порад із вирощування винограду, маслин тощо.

Ідея гармонійного співіснування людини та природи втілювалась у заснуванні осередків декоративних рослин, або, як тепер сказали б, парків. Сприяло цьому зародження нової

філософії, що закликала до відмови від державної діяльності та до «насолоти радощами буття» у квітучих садах. Саме тому сади Античної епохи, крім іншого, мали ретельно підібрані композиції дерев, кущів, різнобарвних квітникових рослин.

Один із парків Стародавньої Греції, розташований на околиці Афін, був відданий вченим (де працювала «школа Платона»), бо вважалось, що найвищий злет наукової думки можливий в оточенні, найближчому до природи. Цей парк носив ім'я міфічного героя Академа. Тому й заклад стали називати академією.

У ті часи декоративні парки були й у інших країнах: Персії, Індії, Китаї. Оригінальним був той, що у місті Александрія (Єгипет, на той час — колонія Греції). «Чудовий», як вважають, парк мав вигляд кола. У середині — пагорб із назвою «Панейон», даною йому на честь міфічного бога Пана (заступник лісів, луків, ланів, тварин). Вважалося, що коли живим істотам завдавали шкоди, Пан раптово вистрибував із засідки й наганяв страху на порушників, викликав серед них «паніку», «панічний жах».

В Античну епоху з'явилась ще одна нагода поповнити знання екологічного змісту. Обумовлена вона переселенням рослин з одних місць в інші. У наші часи сукупність відповідних заходів називають інтродукцією. Приклад позитивних наслідків такої роботи — одне із семи чудес античних часів — висячі сади Семираміди, які вирощували у Стародавньому Вавилоні (зона пустелі). У цих садах переважали рослини, перевезені з Мідії, країни прохолодного гірського клімату, батьківщини Семираміди (тепер — східна частина Туреччини). Успішне їх вирощування у нових умовах, про що у захваті писали свідки, напевно давало чимало нових відомостей екологічного характеру.

Отримані знання про рослинний світ мали і практичні наслідки. Наприклад, уже могли за наявності та станом рослин визначати якість ґрунту і залягання підземних вод. Такі вказівки були у працях римських вчених I ст. н. е. Ю. Колумели та Вітрувія Поліона. Пліній Старший давав рекомендації щодо необхідності враховувати при вирощуванні рослин якість ґрунту, характер місцевості, особливості клімату. Цей вчений назвав сукупність знань екологічного змісту «природною історією».

2.2.3. Відродження

Уявлення про живу природу, її різноманіття, взаємовідносини живих організмів із середовищем, вплив середовища на будову організмів стали основою наукових поглядів на

цілі сторіччя (аж до знаменної епохи Відродження). Після застійного періоду у розвитку майже всіх наук на початку формування феодального суспільства у середньовіччі (III—XIII ст.) панували теологічні погляди на природу та життя. Лише з поверненням античних ідей, які були збережені в арабських країнах під час їх експансії, знову почався інтенсивний розвиток їх у Європі. Повернення натурфілософських ідей у Європу збіглося з початком епохи Відродження, тому, поряд із підйомом загальної культури, мистецтва, натуралістичні напрацювання одержали добре підґрунтя для свого розвитку, а екологічні ідеї на основі успіхів у вивченні анатомії, морфології, сільського господарства почали знову інтенсивно розвиватися. Особливо слід підкреслити значну роль видатного художника, скульптора, архітектора та натураліста Леонардо да Вінчі (1452—1519). Його біограф Вазарі так писав про нього: «Природа була вірною вчителькою інтелектів. Тому він поринув у вивчення потаємних властивостей рослин, співвідношення між різними групами живих організмів». Сам да Вінчі писав про себе: «Віддаючись незгасній жадобі знань, я мрію досягнути походження численних створінь природи... стати всебічним майстром для пізнання її, для наслідування їй». Вивчення важливих органів хребетних і співставлення їх будови з безпосередньою дією конкретних фізичних чинників середовища дозволили йому мріяти про крило майбутнього літака, що нагадувало крила птахів. Також детальне вивчення органів зору як пов'язаного зі сприйняттям променів світла дозволило дати на той час доволі детальну схему роботи ока. А про рослини він писав: «Рослинний світ, багатство та різноманіття форм його представників, їх тонка структура підпорядковані як усій природі, так і закону “чудової необхідності”». Опис будови рослин він обов'язково пов'язував із впливом світла, повітря, води та мінеральних речовин.

Наукові здобутки в епоху Відродження заклали фундамент для інтенсивного розвитку як біології в цілому, так і майбутньої екології. Раннє середньовіччя в Європі (з V ст. н. е.) — часи занепаду наукової, у тому числі й природознавчої, думки. Якщо для людини античності природа — це дійсність, то в ранньому середньовіччі природа — лише символ надприродних сил. У ті часи думка була скута страхом перед ортодоксальною, містичною вірою в такі догмати. Лише під тиском реального досвіду, що мав факти повсякденного буття, почали пробиватись відносно прогресивні думки й виступи проти схоластики та догматизму. Таку позицію зайняв, наприклад, Р. Бекон (близько 1214—1292) — англійський мислитель, провідник дослідницької діяльності. Він прагнув

розкрити практичні можливості науки для удосконалення механізмів, методів вирощування рослин, розведення тварин, збереження здоров'я людини. Альберт фон Больштедт (1193—1280) — німецький натураліст-філософ (відомий як Альберт Великий) — у своїх творах уже вміщував відомості екологічного характеру. Він намагався пояснити залежність росту та розмноження рослин і тварин від живлення та температури зовнішнього середовища, вивчав їх зимовий спокій тощо. Його книга «Фізіолог» була перекладена на чимало інших мов. Її читали й у Києві. Діяльність учених тих часів стала тим, що нині називають предтечею епохи Відродження.

Ідеї та дух Відродження (французькою мовою — Ренесанс), зародившись наприкінці XIII ст. у північній Італії, згодом розповсюдились по всій Європі. Вони передусім мали культурницький зміст, але такий, що набув далекосяжних наукових наслідків. Особливість природознавчих праць того часу полягала в тому, що вони мали описовий характер. Екологічні дані наводились в обмеженому обсязі, але вони були необхідні для подальшого розвитку знань про взаємини організмів та чинників довкілля. Такі відомості були у працях зоолога К. Геснера та у «батьків ботаніки» епохи Відродження А. Чезальпіно (Цезальпін), М. Лобелія, П. Маттіолі, Л. Фукса та інших. Вдячні нащадки увічнили їх імена у назвах рослин. Саме тому й зараз говорять «фуксія», «лобелія» тощо, а про матіолу (левкой) українці навіть співають пісні.

Надбання цієї епохи, її гуманістичні, світоглядні, культурні засади відчувались і втілювались у наукові зрушення у XVII столітті. Нові знання екологічного характеру були представлені насамперед у двох фундаментальних монографіях Р. Морісона та Дж. Рея, присвячених переважно рослинному світу. Ці книги видані відповідно у 1672-му та 1686 р. Останній автор чимало уваги приділив екологічній складовій, тваринному світу. Такі ж за сутністю відомості наводив і французький вчений Ж. Турнефор. Еколого-фізіологічний напрямок розробляли Р. Бойль (1661), М. Мальпігі (1679), Н. Грю (1682), Д. Вудворд (1699). Вони розкривали механізми впливу на життєдіяльність організмів води, ґрунту, світла, повітря.

Суттєвим джерелом у здобутті необхідного матеріалу для розвитку екологічних ідей були географічні відкриття, знайомство з новими країнами, їх природою, рослинним і тваринним світом. З'явилися роботи з описом рослин і тварин, їх зовнішньої та внутрішньої будови, різноманіття форм. Перші систематики (А. Чезальпіно (1519—1603), Дж. Рей (1627—1705), Ж. Турнефор (1656—1708) та інші) наводили свідчення про залежність рослин від умов зростання

та вирощування, вплив місць мешкання на формоутворення, повідомляли про поведінку тварин, спосіб життя, пов'язані з їх будовою та середовищем.

2.3. Напрямки розвитку екології

У розвитку власне екології як наукової дисципліни виділяються три історичні етапи, що у значній мірі перекриваються між собою у часових інтервалах, тому можуть трактуватися як відповідні напрямки. Перший умовно названий редукаціоністським (у позитивному значенні цього слова, який передбачає дослідження відношення окремих організмів, популяцій, видів, угруповань до навколишнього середовища). Другий напрямок, холістичний, формується на основі синтезу, інтегрованості. Третій — функціональний. Ці напрямки взаємопов'язані. Їх єдність забезпечує успіхи та високий рівень розвитку сучасної екології.

Перший напрямок відображає класичні уявлення про екологію як біологічну дисципліну, що розвивалася в рамках ботаніки, зоології та інших природничих наук, коли у XVIII—XIX ст. під час масштабних біолого-географічних досліджень вивчалися поширення, розвиток та поведінка організмів залежно від факторів зовнішнього середовища.

Другий напрямок почав інтенсивно розвиватися лише з 30—40-х років XX ст., тобто в часі значно пізніше, на основі уявлень про екосистеми А. Тенслі та біогеоценоз В. М. Сукачова. Тому буде справедливим (без урахування напрацювань до кінця XVII ст.) редукаціоністський напрямок вважати етапом, який передує холістичному.

Третій, функціонально-екологічний напрямок пов'язаний з оцінкою динамічних аспектів, які відбуваються в екосистемах, кругообігом речовин та трансформацією енергії, проблемами стійкості екосистем.

2.3.1. Редукаціоністський напрямок

Цей напрямок бере початок з XVIII ст. В цей період екологічні дослідження часто складали досить значну частину праць натуралістів, присвячених окремим групам живих організмів. Наприклад, А. Реомюр написав «Мемуар з історії комах» у 6 томах (1734—1742). Л. Трамбле досліджував гідр та моховаток (1744), вивчав флору та фауну у різноманітних експедиціях і подорожах. Проблема впливу зовнішніх умов на будову тварин висвітлена у працях французького природознавця Ж. Бюффона (1707—1788). Він вважав, що основна причина перетворення видів полягає у впливі таких

зовнішніх чинників, як «температура, клімат, якість їжі, тиск одомашнення».

Особливо результативними були подорожі по безкрайніх просторах Росії, в яких брали участь С. П. Крашенинников, І. І. Лепьохін, П. С. Паллас та ін. В їхніх творах вказувалося на взаємопов'язані зміни клімату, рослинності та тварин у різних природних зонах. П. С. Паллас у своїй фундаментальній праці «Зоогеографія» дав детальний опис підвидів ссавців та 425 видів птахів, описав такі біологічні явища, як міграція, сплячка, взаємовідносини видів.

XVIII століття стало вирішальним у своєрідній інвентаризації рослинного та тваринного світу завдяки, передусім, працям К. Ліннея (1707—1778). У 1735 р. він опублікував книгу «Система природи», у якій виклав створену ним класифікацію рослинного та тваринного світу. Іншу свою наукову працю він назвав «Економія природи» (1749). У поняття «економія» він вкладав екологічну сутність: взаємини всіх тіл, на яких базується рівновага в природі. І. Кант у лекціях з фізичної географії вказував на необхідність такого цілісного опису природи, який враховував би зв'язки живих організмів з факторами середовища.

XIX століття ознаменувалось тим, що прийшло розуміння необхідності певного синтезу наук при вивченні живих організмів та їх взаємин із чинниками довкілля. У цей час розвиток екологічної за сутністю наукової думки обумовлювався переважно еволюційним і біогеографічним напрямками досліджень. На початку XIX ст. найпослідовніше доводив принципи еволюції живого світу Ж. Б. Ламарк (1744—1829), який свою систему поглядів розвинув у працях «Природна історія рослин» (1803) та «Філософія зоології» (1809). Він відстоював принцип еволюції, який базується на нерозривному зв'язку організмів із зовнішнім середовищем. У його вченні чинники оточення — найпотужніший імпульс розвитку органічного світу, одна з найголовніших причин пристосувальної реакції організмів і, отже, їх еволюції.

У цей період залежність рослин і тварин від факторів зовнішнього середовища досліджувалася досить ретельно. Були розроблені класифікації життєвих форм рослин, основою яких були відомості про їх морфологічну будову, яка тісно пов'язана з умовами існування.

Особливе місце в розвитку екології належить О. Гумбольдту (1805) — основоположнику біогеографії та кліматології. У книзі «Ідеї про географію рослин» (1806), а потім і в інших публікаціях він підмітив основні зональні закономірності розподілу рослин на земній кулі й пов'язав це зі зміною клімату. Він перший виявив закономірності поєднання видів рослин

в угруповання, сформулював уявлення про цілісність рослинного покриву, розробив класифікацію життєвих форм рослин. Отже, головне в його праці — прагнення бачити цілісний обрис природи у взаємній пристосованості її складових. Ці зусилля стали поштовхом для формування у майбутньому поняття про цілісність надорганізмених природних систем із живих і неживих компонентів. Значна частина дослідників вважає засновником екології саме О. Гумбольдта.

Ці ідеї логічно доповнювались О. Декандолем (1778—1841) у книгах «Нариси початкової географії рослин» та «Фізіологія рослин». Так, О. Декандоль (1832) зробив висновок, що на розвиток рослин впливають не окремі фактори, а їх сукупність, а також конкуренція між видами за ресурси. Він вважав, що такими проблемами повинна займатися наука «епіреологія», що має вивчати взаємовпливи рослинних особин і зовнішнього середовища. Це той класичний напрямок, який зараз називають аутекологією (екологією особин).

Певною подією цього періоду було видання книги А. Декандоля (1806—1893), сина О. Декандоля, «Географія рослин» (1855). У ній дається класифікація місцезростань, заснована на сукупності показників тепла, світла, вологи, ґрунту; уперше показано вищу екологічну пластичність рослин порівняно з тваринами через їх неспроможність швидко покинути несприятливе місце. Цього вченого вважають одним із засновників екології рослин.

З'явилися перші спеціальні праці, присвячені впливу кліматичних чинників на розповсюдження та біологію тварин. Це передусім праці німецького зоолога К. Глогера про зміни птахів під впливом клімату (1853), датчанина Т. Фабера про особливості біології північних птахів (1826), К. Бергмана про географічні закономірності зміни розмірів гомойотермних (теплокровних) тварин (1848). Професор Московського університету К. Ф. Рульє розробив широку систему вивчення тварин, у тому числі і в екологічному аспекті. Він звернув увагу не тільки на вивчення у цьому сенсі особин, а й угруповань тварин у їх відношенні до рослин, ґрунту, фізичних умов зовнішнього середовища. Він підкреслював, що у зоології поряд із класифікацією необхідно проводити «розбір явищ способу життя», де слід відрізняти явища життя особини та «явища життя загальні», відношення батьків і потомства, закони кількісного розмноження тварин, взаємовідношення внутрішньовидові та міжвидові, структури угруповань, відношення тварин до рослин, ґрунту, фізичних умов середовища. Таким чином, К. Ф. Рульє розробив широку програму екологічних досліджень тварин — «зообіології» в його розумінні.

Французький вчений Е. Жоффруа Сент-Ілер у декількох публікаціях (1854, 1859, 1861) обґрунтував поняття «етологія». У його розумінні, це наука про взаємини організмів у будь-якому угрупованні. У наш час цим терміном означають науку, яка вивчає особливості поведінки організмів у всіх її проявах, а також розділ зоології, що досліджує поведження тварин у природних умовах.

Отримані загальні уявлення залежності організмів від факторів навколишнього середовища підкріплювалися експериментальними даними. Так, Ж. Б. Буссенго, фундатор агрохімії, показав, що рослини у своєму розвитку потребують Нітрогену, який вони засвоюють із ґрунту, а також стверджував, що цей процес визначається певною кількістю тепла, яке можна оцінити за сумою температур. Дослідження Ю. Лібіха (1841) довели, що різні хімічні елементи, необхідні рослинам, не можуть бути замінені, а мінімальний вміст певного елементу обмежує зростання тих чи інших видів. Сьогодні «закон мінімуму Лібіха» — один із найвідоміших в екології, має важливе значення для сільського господарства.

Екологічні ідеї торкнулись ще однієї галузі знань — палеонтології, науки, що вивчає рослинний і тваринний світ минулих геологічних епох. Екологічне тлумачення результатів таких досліджень уперше дав наш співвітчизник В. О. Ковалевський (1856, 1860). Саме тому він вважається одним із засновників екологічної палеонтології.

Екологічні проблеми під впливом досліджень французького мікробіолога Л. Пастера (1822—1895) постали в новому ракурсі. Основні думки він висловив у 1857 р., але пізніше писав: «Коли б мікроскопічні істоти зникли з поверхні Землі, вона швидко захарастилася б мертвими органічними відходами та всілякого роду трупами тварин і рештками рослин... Без їх (мікробів) участі життя припинилося б, бо робота смерті лишилася б незавершеною» (1862). Це були перші кроки у заснуванні галузі, що стала зватись екологічною мікробіологією, або екологією мікроорганізмів.

Ґрунтовний синтез біогеографічних досліджень здійснив Ч. Дарвін (1859) в книзі «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження обраних порід у боротьбі за життя», який максимально проаналізував багато чинників, що впливають на еволюцію. Тріумф дарвінізму якраз і пояснюється тим, що він розкрив закономірності еволюції через популяційні процеси та взаємозалежність організмів від середовища. Вчення Дарвіна про природний добір, спадковість і мінливість ґрунтується на висновках і фактах популяційної екології, на синтезі екологічних і еволюційних ідей. Саме через невідповідність між можливістю росту популяції та об-

межувальним впливом зовнішніх факторів, ресурсів, Дарвін дійшов висновку, що боротьба за існування між організмами — універсальне явище природи.

Початок вивченню ролі тварин в екосистемах було покладено роботами Ч. Дарвіна про роль дощових черв'яків у ґрунті. У 1837 р. у доповіді «Про утворення рослинного шару», зробленій на засіданні Лондонського геологічного товариства, Дарвін висловив думку про утворення гумусу дощовими черв'яками. Пізніше, у роботі про дощових черв'яків (1881), він виклав результати своїх спостережень і показав, що ці організми прискорюють руйнування рослинних решток. Пропускаючи їх через органи травлення, вони переробляють органічну речовину не лише механічно, а й хімічно, створюють особливі гумусові речовини. Встановивши сапрогенний характер лучних і лісових ґрунтів в Англії, Ч. Дарвін прийшов до висновку, що поверхневий шар ґрунту за багато років декілька разів пройшов через кишковий відділ черв'яків. Ж. Харпер (1967) назвав Ч. Дарвіна найвидатнішим екологом. Дарвінізм відіграв велику роль у подальших екологічних дослідженнях.

Ще до Ч. Дарвіна були висловлені думки про роль тварин у природних процесах. Перші свідчення про роль комах у перехресному запиленні рослин викладені російським агрономом А. Т. Болотовим (1738—1833) у журналі «Економічний магазин» (1768). Вагомі докази про участь комах у запиленні рослин одержані німецьким вчителем К. Шпренгелем (1750—1816) і викладені в роботі «Розкрита таїна природи» (1793). Але лише через 100 років ці відкриття були оцінені науковим світом. Наш співвітчизник І. Леваківський (1871) вказав на роль рийних ссавців у формуванні чорноземів, а відомий зоолог і мікробіолог І. І. Мечников (1845—1916) у 1880 р. писав, що у наших степах личинки жука-кузки та інших комах відіграють важливу роль у ґрунтоутворенні. В. В. Докучаєв (1883) та П. А. Костичев (1888), а за ними Н. Шаллер (1892) обґрунтовано показали роль різних тваринних організмів у ґрунтових процесах. Розпочалися дослідження ролі птахів як корисних об'єктів у сільському та лісовому господарстві, садівництві. Ще у 1859 р. К. Глогер описав тварин, корисних у збереженні врожаю у сільському господарстві та у збереженні лісів. Перелигін (1836), О. Ф. Рудзський (1871, 1878) сповіщали про роль дятлів у лісах. К. Г. Гібкель (1870) дав оцінку птахам як корисним тваринам у землеробстві, лісівництві та садівництві. Ф. Теплоухов (1873) охарактеризував корисну дію комахоїдних птахів. Тривали дослідження ролі птахів у природі — І. Я. Шевирьов (1892), А. М. Соболев (1898), Д. В. Померанцев (1910, 1914).

На середину XIX ст. критична маса знань із взаємин організмів і чинників довкілля вже дозріла до стану переходу на якісно вищий рівень. Бракувало тільки влучного узагальнюючого терміна для означення цієї науки. З античних часів до XIX століття було чимало спроб дати відповідну назву («природна історія», «економія природи», «епірреологія», «етологія», «біологія у вузькому розумінні» тощо), проте наймісткішим і загальноновизнаним став термін «екологія». Запропонував його німецький зоолог Е. Геккель (1834—1919) у своїй книзі «Загальна морфологія організмів» (1866). Проте головна заслуга цього вченого полягала не в термінологічному напрямку. Він дав таке чітке і ясне визначення цієї науки, що, незважаючи на десятки варіацій розуміння інших авторів, основна її сутність зберігається й досі. Він писав: «Під екологією ми розуміємо загальну науку про відносини організму до навколишнього середовища, куди ми відносимо всі умови існування в широкому розумінні цього слова». У цій книзі та інших публікаціях він деталізував свої положення, пояснюючи, що існують умови існування неорганічні (світло, тепло, волога, електричні властивості атмосфери, склад води, ґрунту тощо) та органічні (живі організми, з якими досліджувана особина вступає в контакт, від тих, що сприяють її розвитку, до тих, що шкодять, — конкуренти, паразити тощо). Е. Геккель зазначав: взаємини організмів — вкрай складне й переважно невідоме явище, проте має першочергове значення для розуміння життя природи та подальшого його дослідження. Екологія, пише він, досі навіть не згадувалась у підручниках, але вона «обіцяє блискучі та найнесподіваніші плоди».

Уведене у 1866 р. Е. Геккелем поняття екології залишилося ніби непоміченим тодішніми біологами. Доказом цього можуть бути роботи відомого вченого, одного із засновників вітчизняної геоботаніки Й. К. Пачоського, який ще на початку XX ст. свідомо називав кліматичні та едафічні фактори географічними, уникаючи терміна «екологічний», наслідуючи класиків-учених XIX ст.

Лише через 30 років Й. Вармінг (1896) почав використовувати цей термін у ботаніці, хоча за інерцією він займав скромне місце в тогочасній науці і вживався тоді, коли йшлося про фізіологічні аспекти, біоморфи організму чи виду (Гребнер, 1919; Рюбель, 1930). Тобто якщо географія відображала едафічно-територіальні закономірності розподілу біоти, то екологія — функціональні, фізіологічні залежності. Ці два наукових напрямки хоча і розвивалися паралельно, але тісно перепліталися.

Тим не менше, дослідження в цьому напрямку інтенсивно розвивалися. Якщо на початку ХІХ ст. і раніше вчені більше уваги звертали на значення клімату (температури, опадів) у розподілі рослинності, то в міру поглиблення досліджень, розвитку ґрунтознавства приділяли увагу впливу таких факторів, як засолення, аерація, вологість, багатство ґрунту.

У ХХ ст. ставлення до екології різко змінюється. Нестримний її розвиток витісняє зі сфери біології географію, предмет якої звужується, і за географією залишаються позиції, що характеризують лише територіальні аспекти поширення біотичних об'єктів. Можливо, це пояснюється «модою» терміна «екологія» та «втомою» географії, а можливо, тим, що у цей період ботаніка та зоологія все більше відходять від описових методів і використовують експерименти; розвиваються фізіологія та біохімія, чому сприяли досягнення фізики, хімії, математики, тісно пов'язані з класичною біологією. Методи досліджень суттєво впливають на розуміння обсягу та визначення поняття, а в результаті — на формування нових ідей, концепцій.

Паралельно розвивалися популяційні підходи, основою яких спочатку слугували статистичні та демографічні дослідження населення, згодом екстрапольовані на інші біологічні об'єкти. Так, У. Дірхем (1713) перший зазначив, що популяції рослин чи тварин можуть збільшуватися у геометричній прогресії за сприятливих умов, але це неможливо через обмеженість простору, ліміт трофічних ресурсів і вплив хижаків або хвороб. А. Кетле (1835), проаналізувавши криві експоненційного росту, показав, що зі збільшенням чисельності та щільності популяції спрацьовують внутрішні механізми, які гальмують таке зростання. Таке обмеження описується логістичною кривою, що має S—подібну форму, яку математично вивів П. Фельхурст (1838), учень А. Кетле.

Продовжували розробку класифікації рослинних форм Р. Хульт (1881), О. Друде (1887), які акцентували увагу на ідеях пристосування організмів до зовнішнього середовища в процесі їх еволюції. У 1895 р. датський вчений Й. Вармінг видав підручник з екологічної географії рослин і увів термін «життєва форма», в «якій вегетативне тіло рослин знаходиться в гармонії із зовнішнім середовищем протягом усього життя від насінини до смерті». Він розробив детальну класифікацію життєвих форм на основі біоморфологічних ознак і ключ для їх визначення. Ця система відрізняється від попередніх тим, що замість географічних тут використано еколого-біологічні підходи. У цьому ж плані А. М. Бекетов (1825—1902) виявив зв'язок особливостей анатомічної та морфологічної будови рослин з їх географічним розповсюдженням. А. Ф. Мідден-

дорф (1815—1894), вивчаючи загальні риси будови та життя арктичних тварин, поклав початок застосуванню вчення Гумбольдта до зоологічних об'єктів. Д. Аллен (1877) обґрунтував ряд закономірностей зміни пропорцій тіла та його виступаючих частин, забарвлення ссавців і птахів залежно від географічних змін клімату. Тривала розробка класифікації життєвих форм відносно різних екологічних факторів, теорії та принципів таких класифікацій. В основному такі класифікації розроблялися в Німеччині та у СРСР. Значним кроком була проста й логічна система Х. Раункієра, в основу якої покладено розташування бруньок відновлення протягом зимового періоду відносно поверхні ґрунту. Хоча систему Раункієра багато критикували за «кліматизм», однак і сьогодні вона широко використовується в Європі завдяки ефективності при порівнянні різних типів флори.

Це знайшло відображення у тому, що було запропоновано термін «екобіоморфа», яку Є. М. Лавренко (1961) трактує як певний тип пристосування структури рослин і пов'язаних із нею фізіологічних особливостей, що характеризують групу таксонів, які звичайно зростають в однакових умовах середовища. Біоморфологи СРСР (Шварц, Серебряков, Добринський, Данилов, Голубєв, Хохряков, Гатцук та ін.) розглядали екобіоморфи як зовнішній габітус організмів, що складається в процесі онтогенезу та детермінований філогенезом.

Екологічні підходи суттєво вплинули на розуміння основного поняття біології — виду. У ХІХ ст. використовували морфологічні критерії трактування видів, які відрізнялися за морфологічними ознаками: хоча ще О. Гумбольдтом встановлено, що морфологічні ознаки тісно пов'язані з умовами існування. У другій половині ХІХ ст. морфологічні критерії виду доповнено географічними підходами і сформовано морфолого-географічний критерій їх виділення. Ще А. Кернер (1869) визначав вид як сукупність особин у межах певного ареалу. В. Л. Комаров (1927) писав, що вид — морфологічна система, помножена на географічну визначеність (специфічність ареалу), яку трактували широко. У процесі інтенсивного розвитку екології екологічні критерії зайняли відповідне місце у розумінні виду. Так, Є. М. Лавренко (1964) трактував вид як біологічну систему, «життєву форму», «екобіоморфу», пов'язану з навколишніми умовами, що визначають ареал (територію поширення), який слід розглядати не лише як статичну характеристику, визначену часом, історичними причинами, а і як наслідок реалізації видом своїх можливостей, екологічної ніші, що проявляється в часі та просторі. Іншими словами, ареал — не тільки історичне та географічне, а й екологічне явище, оскільки умови росту та межі поши-

рення будь-якого виду визначаються певними екологічними факторами чи їх сукупністю.

Намагання дати оцінку місця виду відносно екологічних факторів знайшло відображення в понятті «екологічна ніша», яке розроблялося зоологами англо-американської екологічної школи, а тепер є одним із ключових у сучасній екології.

Одночасно з розвитком поняття про еконіші розроблялися підходи до оцінки видів відносно екологічних факторів. Основоположник такого підходу в США — Г. Глізон, який сформулював «індивідуалістичну концепцію» зміни видів. У СРСР геоботанік Л. Г. Раменський ілюстрував поступову індивідуальну зміну видів рослин щодо зміни показників певних екологічних факторів. На основі цього ним сформульовано принцип безперервності (континуальності) зміни рослинного покриву. Якщо в США це відразу знайшло подальший розвиток, то в СРСР такі положення піддавалися гострій критиці. На основі проведених досліджень і обробки величезного масиву даних Л. Г. Раменський перший розробив екологічні шкали видів відносно зміни провідних екологічних факторів. Це означало, що фітоіндикація з видового (якісного) підходу перейшла на кількісний рівень. Це дало можливість застосувати різні математичні способи обробки даних. На сьогодні відомі в Європі екологічні шкали Зойомі, Ландорльта, Зажицького, а найпопулярніша — Елленберга. На території колишнього СРСР їх розробляли Цаценкін, Циганов та Дідух. Остання шкала містить інформацію про відношення 3800 видів флори України до показників 12 провідних едафічних і екологічних факторів. Ці дані знаходять відображення у випусках багатотомного видання «Екофлора України». Відповідна система методів обробки даних і оцінки екологічних факторів розглядається як синфітоіндикаційний аналіз.

Уявлення про популяції почали інтенсивно розробляти після того, як оформилася популяційна генетика. Значний вклад у розвиток популяційної екології внесли С. О. Северцов, С. С. Шварц, М. П. Наумов, Г. А. Вікторов. Слід зазначити, що початок вивчення популяцій у рослин покладено працями О. М. Синської (1948), яка багато зробила у виявленні екологічного та географічного поліморфізму. Успішно розробляються питання популяційної екології рослин Т. О. Работновим і А. А. Урановим.

У розвиток морфологічної та еволюційної екології тварин значний вклад зробив М. С. Гіляров, який висунув положення, що ґрунт послужив перехідним середовищем у завоюванні членистоногими суходолу (1949). Проблеми еволюційної

екології хребетних тварин розроблені у працях С. С. Шварца (1969, 1973) та М. П. Наумова (1973).

Розгортаються теоретичні та експериментальні дослідження популяцій із використанням математичних методів. У 1920 р. Р. Перл обґрунтував логістичну модель росту популяції, згідно з якою в міру збільшення показника щільності швидкість росту знижується і нарешті припиняється. Р. Чепмен увів поняття біотичного потенціалу, що характеризує швидкість росту популяцій. А. Ніколсон (1933) описав динаміку чисельності популяцій як процес, що саморегулюється. Г. Ф. Гаузе на основі експериментів із найпростішими сформулював принцип конкурентного виключення видів, згідно з яким види з однаковою еконішею співіснувати не можуть. А. Лотка (1925), В. Вольтерра (1926) розробили математичну модель росту та динаміки популяцій в умовах їх конкуренції. Циклічні коливання чисельності популяцій встановив Ч. Ельтон (1927).

Значний внесок у розвиток екології на цьому етапі зробив цілий ряд наукових зведень і підручників. Крім уже вказаних, слід зазначити «Короткий курс екології рослин» Г. І. Поплавської (1937, 1941), «Екологію рослин» О. П. Шенникова (1950), «Еколого-фізіологічні особливості тварин в умовах середовища» М. І. Калабухова (1950), «Екологію тварин» Н. П. Наумова (1955, 1963), «Екологію тварин» М. П. Акімова (1953), «Фактори еволюції» І. І. Шмальгаузена (1968), «Основи екології» Б. Г. Іоганзена (1959), «Основи загальної екології та охорони природи» Г. О. Новикова (1979), «Екологію» Н. М. Чернової, А. М. Билової (1981). У той же час з'явилося багато робіт, у яких порушено питання екології сільського господарства (В. Тишлер, 1971), екології тварин (насамперед праці С. О. Зернова, В. І. Жадіна, Н. С. Гаєвської, Г. С. Корзинкіна, в яких висвітлено екологію водних організмів, М. С. Гілярова і Н. А. Дімо з екології ґрунтової фауни, І. В. Кожевникова, І. А. Рубцова з екології комах, Г. В. Нікольського — з екології риб, О. М. Гельцова-Бебутова — з екології птахів, І. Т. Сокура — з екології ссавців та інші). У багатьох наукових розробках у тому чи іншому сенсі розглянуто питання системної та функціональної екології.

2.3.2. Холістичний напрямок

Цей напрямок розвитку екології базується на уявленні про структурованість, функціонування та розвиток екосистем як складних, відкритих, динамічних, ієрархічних систем, у яких елементи пов'язані між собою прямими та зворотними зв'язками. Його формування почалося наприкінці 1870-х ро-

ків, коли науковці вже близько підійшли до системних утворень як у рослин, так і у тварин — їх угруповань або комплексів. Поглиблюються й розширюються дослідження закономірностей розподілу рослинних угруповань та окремих видів рослин і тварин залежно від умов середовища.

А. Грізебах (1872) вперше наводить опис основних рослинних угруповань земної кулі. Численні детальні дані про залежність рослин від різних факторів середовища наводить Ф. Шимпер (1898). Так, у 1877 р. німецький гідробіолог К. Мебіус (1825—1908) на основі вивчення устричних банок Північного моря обґрунтував положення про біоценоз як закономірне поєднання організмів у певних умовах середовища. За К. Мебіусом, біоценози, або природні угруповання, обумовлені тривалою історією пристосування видів один до одного та до висхідної екологічної обстановки. Таке ж значення мала і пропозиція американського вченого С. Форбса, який дивився на природні комплекси організмів та їх абіогенне оточення як на цілісні системи, називаючи їх «мікрокосмами» (1887). Датський учений Й. Вармінг (1895) видав книгу, що вже й назву мала суто «екологічного» зразка: «Ойкологічна географія рослин». То була видатна наукова праця екологічного змісту у сучасному розумінні, чимало положень якої не втратили свого значення й сьогодні. На сторінках цієї книги термін «екологія» був уперше введений у ботанічну науку, а також, як уже вказано, було вперше запропоновано та обґрунтовано поняття про життєві форми рослин. Швейцарський ботанік К. Шрьотер запропонував (1896) розрізняти аутекологію (екологію особин), а згодом (1902) — синекологію (екологію угруповань організмів). У 1910 р. на III Міжнародному ботанічному конгресі, що відбувся у Брюсселі, вже офіційно визнано поділ загальної екології на аутекологію та синекологію, а також на екологію рослин і екологію тварин.

У наступні роки з'явилися перші літературні зведення з екології наземних тварин (Адамс, 1913; Шелфорд, 1913) та рослин (Друде, 1913). У 1920—1930-ті роки сформувалися основні теоретичні уявлення про обсяг біоценозів, їх межі, структуру, продуктивність, саморегуляцію, стійкість, міжвидові стосунки тощо. Вчення про рослинні угруповання відокремилася в окрему галузь ботанічної екології. Провідну роль у цьому відіграли російські вчені С. І. Коржинський (1861—1900) і Й. К. Пачоський (1864—1940). Цей новий напрямок вони назвали «фітосоціологією», пізніше перейменованою у «фітоценологію», а потім — у «геоботаніку». Головні положення цієї науки розроблені Г. Ф. Морозовим (1867—1920) та В. М. Сукачовим (1880—1967).

На цей період припадає розвиток і широке використання поняття «біосфера». Цей термін уперше застосував австрійський геолог Е. Зюсс (1875) без чіткого його визначення. Перший президент і організатор Української академії наук В. І. Вернадський (1863—1945) у своїх лекціях, прочитаних у Сорбонні (Паризький університет) у 1924 р., та у книгах із назвами «Жива речовина» (1922) і «Біосфера» (1926) виклав сучасне розуміння біосфери. У його уявленні це не проста сума організмів, а єдина термодинамічна оболонка Землі, де під впливом сонячної енергії утворюється біокосна система (найщільніше динамічне поєднання організмів та абіогенних чинників довкілля) у своєму нескінченному різноманітті.

В. І. Вернадський тим часом підійшов до нового осмислення біосфери, звернувши увагу на той її стан, який він назвав «ноосферою». Цей термін уже застосовували французькі філософи Е. Леруа (1927) і П. Тейяр де Шарден (1940). Перший із них ноосферою називав оболонку Землі, що обіймає людське суспільство з індустрією, мовою та іншою розумовою діяльністю. Інший — цим терміном означав «мислячий пласт», що розгортається над світом рослин і тварин поза біосферою та над нею. В. І. Вернадський (1944) розумів ноосферу як новий стан розвитку біосфери, коли з'являється розумне регулювання відносин людини та природи. За автором, «людство... стає потужною геологічною силою. І перед ним, перед його думкою та працею постає питання про перебудову біосфери в інтересах вільно мислячого людства як єдиного цілого. Цей новий стан біосфери, до якого ми, не помічаючи цього, наближаємось, і є ноосфера».

У 1930—1940-ві роки з'явилися нові праці з екології тварин із викладенням теоретичних проблем загальної екології К. Фридерікса (1930), Ф. Боденгеймера (1938) та ін. Велика роль у розвитку досліджень екології тваринних угруповань належить Д. М. Кашкарову, який опублікував (1933) роботу «Середовище та угруповання» і пізніше (1938) — перший підручник на теренах СРСР з екології тварин. Почалася активна розробка біоценотичних основ у паразитології (В. В. Догель, Є. Н. Павловський, В. М. Беклемішев, О. П. Маркевич та ін.).

У 1933 р. В. В. Станчинський за результатами своїх наукових праць в Асканії-Новій передбачив і обґрунтував концепцію екосистеми (біогеоценозу), хоча саме ці терміни не застосовував. Уперше запропонував термін «екосистема» і дав відповідне визначення англійський ботанік А. Тенслі (1935). «Екосистема, — писав він, — це сукупність комплексів організмів із комплексом фізичних факторів, що їх оточують, тобто факторів місця проживання у широкому розумінні».

Термін і поняття «біогеоценоз» запропонував В. М. Сукачов (1942). Це — на обмеженій площі земної поверхні сукупність однорідних природних явищ (рослинність, тварини, мікроорганізми, повітря, вода, гірські породи, ґрунт, метеорологічні чинники тощо), що мають найщільніші специфічні взаємини, певний типобмін речовин і енергії між собою та з іншими складовими природи. Згодом цей автор зазначив, що межі біогеоценозу відповідають межам фітоценозу. Отже поняття біогеоценозу В. М. Сукачова близьке до екосистеми А. Тенслі, але відрізняється чіткішою локалізацією у просторі.

На основі біосферної концепції В. І. Вернадського, понять екосистеми А. Тенслі, біогеоценозу В. М. Сукачова, біома В. Шелфолда ґрунтуються уявлення про трансформацію енергії А. Лотки, теорія холізму (цілісності) та еволюції екосистем Ж. Сметса. Усі ці дослідження, як і дослідження в галузі редукаціоністського підходу, вивели екологію за рамки власне біологічних напрямків (ботаніки, зоології та інших природничих наук) у самостійну дисципліну. Перший усвідомив і обґрунтував це у другій половині ХХ ст. Ю. Одум у капітальній праці «Основи екології», який трактував цю науку як екологію екосистем. Тобто об'єктом дослідження виступала екосистема, що відображає інтегрування, синтез складових елементів у якісно нові структури вищого ієрархічного рівня. Екологія Ю. Одума ґрунтується на принципах системного підходу Л. Берталанфі, уявленнях про еконішу Ч. Ельтона і Дж. Хатчинсона, теорії Клементса, термодинамічних законах перетворення енергії та багатьох інших здобутках сучасної науки. Особливе місце у його праці займає дослідження енергетичних процесів, бо «енергія — це екологічна валюта», — писав він. Саме на цій основі він розкрив суть багатьох процесів, пов'язаних з організацією, функціонуванням і еволюцією екосистем. В основі одумівської екології лежать підходи біоцентризму — уявлення того, що ключове місце в екосистемі займає біотична складова, а всі біологічні види рівноцінні відносно необхідності їх збереження.

Таким чином, підхід Ю. Одума до екології суттєво відрізняється від теорій його попередників. По-перше, мало кому вдалося зібрати та інтегрувати таку величезну кількість інформації. По-друге, він виклав новітню систему ієрархічної організації екосистем. «Екосистема більша, ніж сума її складових», — писав він. Поклавши в основу екології екосистему та відкинувши традиційний редукаціонізм, учений здійснив справжню революцію у розумінні єдності компонентів довкілля. Успіх цієї роботи полягає в тому, що його теоретичні концепції були чітко ув'язані з практичними потребами. На його думку, теорія екосистем — спільний знаменник для

людей і природи. «Без здорових природних екосистем, які підтримують індустріальну, урбаністичну та сільськогосподарську активність, не може бути ані здорової економіки, ані високого рівня життя» (Odum, 1971). Отже, холістичний, інтегративний підхід Ю. Одума залишив значний слід у розвитку екології (Олексик та ін., 2003).

Реалізація цього узагальненого та інтегрованого підходу реалізована у працях «Precis D'Ecologie» R. Dayos (1972), «The Economy of Nature (A Textbook in Basic Ecology)», R. E. Ricklefs (1976), «Evolutionary Ecology» M. Begon, I. Harper, C. Townsend (1986), «Эволюционная экология животных» С. С. Шварца (1969, 1973), «Популяционная экология» М. П. Наумова (1973).

В ХХ ст. інтенсивно розробляються класифікації рослинних угруповань. Виходячи із закладених принципів, формуються чотири геоботанічні школи: англо-американська, франко-швейцарська (Ж. Браун-Бланке), скандинавська (Л. Пост) та радянська (В. М. Сукачов, В. В. Альохін, Є. М. Лаврененко, О. П. Шенніков та ін.), які відіграли велику роль у розвитку екології.

На основі методики, теоретичних підходів та конкретних напрацювань цих шкіл в кінці ХХ ст. були запропоновані принципи класифікації екосистем (CORINE, Palearctic Habitats, EUNIS), що важливо для оцінки різноманіття екосистем.

2.3.3. Функціональний напрямок

У процесі історичного розвитку екологічної науки постійно поставали питання про роль різних організмів у природних процесах, або у сучасному розумінні — у прояві функцій екосистем, їх складових компонентів. Ще відомий зоолог Ж. Б. Ламарк, основоположник теорії впливу екологічних факторів на еволюцію організмів, у «Гідрогеології» виклав основи концепції кругообігу речовин у біосфері, де провідна роль відводилася життєдіяльності організмів. Він вважав, що в результаті такої життєдіяльності формувалися стійкі хімічні сполуки, які протидіяли процесам розкладу мінеральних речовин. Він писав: *«...у природі існує особлива сила, могутня та постійно діюча, яка володіє здатністю утворювати поєднання, примножувати, урізноманітнювати їх, впливаючи на речовини, які знаходяться на поверхні земної кулі й утворюють її зовнішню кору. Цю силу становлять істоти, безкінечно різноманітні та численні, що безупинними поколіннями покривають своїми скупченнями всі ділянки земної кулі»*. Його співвітчизник Ж. Кюв'є (1769—1832) у своїх

багатьох працях повідомляв, що живі організми можуть існувати лише шляхом обміну речовин із навколишнім середовищем.

Функціонування екосистем — інтегральна дія всіх їх компонентів. Головні узагальнення про роль фітоценозу в основному визначені К. А. Тимірязєвим, який у цілому ряді праць (1868—1875) розробляв проблеми фотосинтезу у рослин. Він першим встановив, що фотосинтез здійснюється у суворій відповідності до законів збереження енергії: енергія сонячного світла поглинається хлорофілом і використовується для утворення органічних речовин із вуглекислого газу, води та мінеральних речовин. Ці дослідження стали підтвердженням вчення про єдність і зв'язки живої та неживої матерії у кругообігу речовин і енергії у природі.

Формування функціонального напрямку пов'язане із вченням про біосферу В. І. Вернадського (1926), яке ґрунтується на уявленні про геологічне значення живої речовини, біогеохімічні процеси, фіксацію та перетворення сонячної енергії, еволюцію планети й відображає глобальні закони екології. Він писав, що *«жива речовина може розглядатися як речовина, яка перебуває у дієвому стані, як акумулятор сонячної енергії. Вона перетворює сонячну енергію — променеву та термічну — на хімічну енергію, на молекулярний рух, на механічну енергію величезної сили»*. Перехоплюючи променеву енергію Сонця та переводячи її за допомогою хлорофілу на складні комбінації дієвої енергії, біосфера є важливою ланкою глобального «механізму», який забезпечує організованість планети. Енергія відіграє величезну роль в еволюції видів, і це якнайтісніше пов'язано з нарощуванням геохімічних процесів. *Нарощування енергії планети — «розтікання» життя по ній за рахунок розмноження*. Таким чином, жива речовина стає регулятором дієвої енергії біосфери. У цих висновках В. І. Вернадського сконцентрована суть сучасної екології.

Іншим підґрунтям у розвитку функціональної екології стали вчення про екосистеми (Тенслі, 1935) та біогеоценози (Сукачов, 1942), де викладені структура та роль різних компонентів у функціонуванні екологічних систем, в яких питання про біологічну продуктивність, біологічний кругообіг і енергетичний баланс є основними.

Із кінця XIX ст. і особливо із середини XX ст. інтенсивно досліджувався редуційний блок екосистем. Основоположником цього напрямку став С. М. Виноградський. У його працях, присвячених ґрунтовій мікробіології, уперше доведено існування мікроорганізмів, які одержують енергію, окислюючи неорганічні речовини (1889). Він уперше виділив із ґрунту анаеробну бактерію (1894) і вказав на участь мікроорганізмів

у кругообігу речовин у природі. Всі ці питання він узагальнив у своїй фундаментальній праці «Микробиология почв» (1952). Роботи С. М. Виноградського стали базою подальших досліджень ролі редукційного блока в мінералізаційних процесах, ролі мікробоценозу в екосистемах (А. А. Імшецький, Л. Н. Васильєва, Н. А. Красильников, Т. В. Аристовська, Д. Г. Звягінцев, Є. Н. Мишустін, В. П. Стефурак та ін.).

Особливе місце у дослідженнях займали паразитичні організми. Одні з них вивчалися як біологічні об'єкти, що сприяють розвитку стійкості різних природних систем, як важливі елементи у створенні біологічних методів захисту рослин. Інші — як ті, що являють суттєву загрозу, викликаючи паразитарні захворювання. Ще в 1937 році, вивчаючи паразитів, Є. Н. Павловський вказав на те, що паразити утворюють особливі паразитоценози, а О. П. Маркевич розвинув новий паразитофункціональний напрямок у паразитології.

Починаючи з 1950-х років почали інтенсивно вивчатися консортивні зв'язки, які визначають «стратегію життя в екосистемах». Першим у 1951 р. виявив наявність консорцій зоолог В. М. Беклемішев у роботі «О классификации биогеоценологических (симфизиологических связей)» і дав цим зв'язкам визначення. Із того часу дослідження консорцій як особливих функціональних зв'язків у екосистемах одержало у працях зоологів значний розвиток (В. В. Мазінг, А. Г. Воронов, П. М. Рафес, В. Л. Булахов, В. І. Гаранін, А. В. Івашов, Б. Н. Вернуцький, О. Л. Пономаренко та ін.).

У подальшому велике значення у встановленні функціональної ролі рослин мали вже згадані роботи А. Тенслі та В. Сукачова, якими дано поштовх у розвитку досліджень фітоценозу як функціонального компонента екосистем. З'явилося багато робіт, які визначали межі біогеоценозів, їх функціональну структуру, вплив на формування фітоклімату, водного режиму мікроорганізмів, тваринного населення, матеріально-енергетичний баланс в екосистемах.

Разом із тим велика увага приділялася середовищотвірній ролі фітоценозу. Ще у 1938 р. Г. М. Висоцький вказав на гідрологічний і метеорологічний вплив лісів, а також дав загальну характеристику впливу лісу на зміни середовища та довкілля (1950). Ці та інші положення одержали подальший розвиток у роботах А. О. Молчанова (1950, 1952, 1973, 1975), де особливе місце посідають питання про роль лісів у формуванні продуктивності, гідрологічних процесах, температурному режимі, енергетичному балансі, впливі на формування тваринних організмів тощо.

Значним поштовхом у розвитку функціональної екології стали події другої половини ХХ століття, що проявилось,

зокрема, у міжнародному природоохоронному співробітництві. У 1948 р. засновано Міжнародну спілку охорони природи (МСОП, або IUSN). У багатьох країнах з'явилися природоохоронні громадські організації під загальною назвою «Зелений світ» («Грінпіс») і політичні партії «зелених». Під егідою МАБ ЮНЕСКО у 1964 р. розпочато Міжнародну біологічну програму (МБП), яка об'єднала зусилля вчених більшості країн світу для вивчення біопродукційних та інших природних процесів.

Дослідження ролі тварин у створенні вторинної продукції та їх участі у збереженні й формуванні первинної почалися з кінця 1950-х — початку 1960-х років. Окрім виконання МБП, цього вимагало і господарське освоєння природних ресурсів. Перш за все визначалися обсяги вторинної продукції водних ресурсів.

Нині значна увага в екології приділяється застосуванню математичних методів і моделюванню. Розроблено методики градієнтного, ординаційного аналізу, методи головних компонент тощо. Експериментальні дослідження із лабораторій перенесено у польові умови. Зокрема, Р. Макартур розробив методику оцінки перекриття екологічних ніш співіснуючих видів, зв'язок видової ємності угруповань та їх внутрішньої структури, що вивело дослідження на проблеми механізму витіснення одного виду іншим. Р. Макартур і Уїлсон в 1960-х роках розробили рівноважну теорію острівної біогеографії, що моделює залежність стану популяції від розміру та віддаленості островів.

В останні 20 років розроблено нові напрямки, спрямовані на вивчення ролі тварин та рослин у створенні захисного буферного блока у стресових екологічних ситуаціях, викликаних техногенним тиском на природні процеси.

Одна з найважливіших подій цього періоду — Конференція ООН із питань довкілля та розвитку в Ріо-де-Жанейро (Бразилія) у 1992 році, а згодом, у 2002 р., — Всесвітній саміт зі стійкого розвитку в Йоганнесбурзі (Південно-Африканська Республіка). Важливими подіями для природоохоронного орієнтиру та практичних заходів України стали міжнародні Конвенції про захист Чорного моря від забруднення, про збереження його біорізноманіття та ландшафтів (1992), а також про охорону та сталий розвиток Карпат (1993). У 1998 р. Верховна Рада України затвердила «Основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки». У 2003 році у Києві відбувся міжнародний екологічний форум «Довкілля для Європи».

Отже, оглянувши екологічні набутки в історичному ракурсі, у тому числі в Україні, можна стверджувати, що в ХХІ століття суспільство вступило, попри відомі колізії, досить підготовленим для подальшого прогресу в ставленні до природного довкілля. Необхідні тільки зусилля для цивілізованого прискорення реалізації наявних надбань і впровадження новітніх методів і підходів.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- Кучерявий В. П.* Загальна екологія. — Львів: Світ, 2010. — 520 с.
- Мустафин А. Г., Лагнуев Ф. К., Быстренина Н. Г.* Биология: пособие для поступающих в вузы. — М.: Высшая школа, 2008. — 492 с.
- Биология: справ. студента / А. А. Каменский, А. И. Ким, Л. Л. Великанов и др. — М.: Физиол. о-во «Слово», изд-во АСТ, 2006. — 640 с.
- Брем З., Мейнке И.* Биология: справ. школьника и студента. — М.: Дрофа, 2009. — 400 с.
- Вахненко Д. В., Гарнизоненко Т. С., Колесников С. И.* Биология с основами экологии: учебник для вузов. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. — 448 с.
- Воронцов Н. Н.* Экологические кризисы в истории человечества // Соросовский образовательный журнал. — 1999. — № 10. — С. 2—10. http://bib.convdocs.org/docs/21/20760/conv_1/file1.pdf
- Горбачев В. В.* Концепции современного естествознания. — М.: Изд. дом «Оникс 21 век», изд-во «Мир и образование», 2009. — 592 с.
- Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.* Биология. — М.: Мир, 2007. — Т. 1. — 368 с.
- Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.* Биология. — М.: Мир, 2009. — Т. 2. — 325 с.
- Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.* Биология. — М.: Мир, 2006. — Т. 3. — 325 с.
- Грушевицкая Т. Г., Садохин А. П.* Концепции современного естествознания. — М.: Юнити-Дана, 2009. — 670 с.
- Дубнищева Т. Я.* Концепции современного естествознания. — М.: Академия, 2006. — 608 с.
- Кемп П., Армс К.* Введение в биологию. — М.: Мир, 2008. — 671 с.
- Концепции современного естествознания /под ред. В. Н. Лавриненко, В. П. Ратникова. — 3-е изд. — М.: Юнити-Дана, 2006. — 317 с.
- Лысов П. К., Акифьев А. П., Добротина Н. А.* Биология с основами экологии. — М.: Высшая школа, 2007. — 655 с.
- Пехов А. П.* Биология с основами экологии. — СПб.: Лань, 2007. — 672 с.
- Работнов Т. А.* Фитоценология. — М.: МГУ, 2006. — 292 с.
- Свиридов В. В.* Концепции современного естествознания. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2008. — 349 с.

Соломина С. Н. Взаимодействие природы и общества: философские проблемы. — М.: Мысль, 1983. — 252 с.

Федоров Е. К. Взаимодействие общества и природы. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 88 с.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Національна екологічна політика України: оцінка і стратегія розвитку (http://www.un.org.ua/files/national_ecology.pdf).

Одум Ю. Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с. (<http://www.yugzone.ru/x/osnovy-ekologii>).

Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с. (<http://www.yugzone.ru/x/ekologiya>).

Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера (<http://philos.omsk.edu/libery/index/m.htm>).

Каттон У. Р. Конец техноутопии (<http://biospace.nw.ru/books/overshoot.pdf>).

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Яким показником характеризується еконіша у Хатчинсона?
2. Екологічні проблеми у працях античних натурфілософів.
3. Екологічні проблеми в епоху Відродження.
4. Розвитку яких досліджень в екосистемах сприяла розпочата у 1964 р. під егідою ЮНЕСКО Міжнародна біологічна програма (МБП) ?
5. Які думки про роль тварин у природних процесах висловлені Ч. Дарвіном?
6. За якими напрямками розвивалась екологія у ХІХ столітті?
7. За якими напрямками розвивалась екологія на початку ХХ століття?
8. Як визначав сутність екології Е. Геккель? Відкриття яких фундаментальних напрямів екології належить вітчизняним вченим?
9. Що вивчає функціональна екологія та хто її очолює?
10. Як розвивалась концепція консортивних зв'язків?
11. Чим суттєво відрізняється підхід Ю. Одума до екології від теорій його попередників?
12. Які поняття ґрунтуються на біосферній концепції В. І. Вернадського?
13. Хто перший показав, що ареал — не тільки історичне та географічне, а й екологічне явище та чому?
14. Як називається етап формування екології на основі синтезу, інтегрованості, системності?
15. Доісторичні уявлення про природу первісної людини в історичному розвитку екологічної науки.
16. Охарактеризуйте перші думки натурфілософів в античний період, які відіграли певну роль у майбутньому розвитку екологічної науки.
17. Екологічні уявлення у період Середньовіччя.

18. Ідеї про взаємозв'язки між організмами та середовищем в уявленнях еволюціоністів — попередників Ч. Дарвіна.
19. Еволюційні ідеї Ч. Дарвіна як основа у розвитку екологічних ідей.
20. Роль вітчизняних учених ХІХ століття в розвитку екологічної науки.
21. Роль вітчизняних учених у розвитку сучасної екології.
22. Ернст Геккель як основоположник нового напрямку біології — екології.
23. Роботи А. Болотова та К. Шпренгеля про роль комах як один із початків розвитку ідей про функціональні зв'язки в екосистемах.
24. Екологічні розробки у працях Ч. Дарвіна.
25. Значення праць В. В. Докучаєва, П. А. Костичева та І. Леваківського у розвитку системної екології.
26. Роботи К. Мебіуса, В. Шелфорда та С. Зернова як основа розвитку системної екології.
27. Вчення В. І. Вернадського про біосферу як основу сучасної екології.
28. Розвиток системного підходу у вивченні природи в цілому і окремих природних угруповань. Роботи А. Тенслі і В. Сукачова про екосистеми та біогеоценоз.
29. Споріднені і відмінні погляди А. Тенслі та В. Сукачова щодо визначення термінів «екосистема» та «біогеоценоз».
30. Роль Г. Г. Вінберга та Р. Ліндемана у визначенні та розрахунку кругообігу речовин і потоків енергії.
31. Роль робіт М. С. Гілярова і його школи у визначенні та розвитку нового наукового напрямку — ґрунтової зоології.
32. Назвіть фундаментальні праці екологів і наукові екологічні форуми, які відіграли і відіграють значну роль у розвитку сучасної екологічної науки.
33. Міжнародна біологічна програма (МБП) як об'єднуюча наукова платформа у вивченні продукційних процесів у екосистемах і біосфері.
34. В. М. Беклемішев і Л. Г. Раменський як фундатори вчення про консорції. Подальший розвиток вчення про консорції.
35. Роботи Є. Н. Павловського та О. П. Маркевича про паразитоценоз і паразитоценологію як відображення системної та функціональної екології.
36. Роботи Арістотеля та Теофраста як перші наукові докази наявності взаємозв'язків організмів із середовищем.
37. Значення робіт Плінія Старшого в розширенні поглядів на зв'язок організму та середовища, розвитку екологічних уявлень.
38. Роботи Варрона, Вергілія та Лукреція про практичні аспекти у розвитку майбутньої екології.
39. Головні етапи розвитку екології як науки.
40. Розвиток екологічних поглядів в епоху Відродження.
41. Редукціоністський етап у розвитку екології.
42. Холістичний етап у розвитку екології.

43. Значення робіт Ж. Буссенго та Ю. Лібіха у розвитку екології.
44. Вчення про біорізноманіття як сучасний етап розвитку функціональної екології та в організації заходів охорони природи.

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Розвиток екології в античний період.
2. Перспективи розвитку екології в Україні.
3. Розвиток екології у період Відродження.
4. Розвиток екології у США.
5. Вітчизняна екологічна школа біогеоценології.
6. Розвиток функціональної екології у сучасний період.
7. Розвиток поняття еконіші в екології.
8. Історія вивчення водних екосистем в екології.
9. Проблеми збереження біорізноманіття та шляхи їх вирішення.
10. Історія розвитку вчення про консорції.
11. Нове осмислення біосфери у працях В. І. Вернадського.
12. Певний синтез наук при вивченні живих організмів та їх взаємин із чинниками довкілля у ХІХ столітті.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Вкажіть, скільки етапів (згідно з класифікацією, що прийнята у цьому розділі) пройшла екологія у своєму розвитку: а) 4; б) 5; с) 6; d) 7.
2. Термін «біоценоз» запропонував: а) А. Тенслі; б) К. Мебіус; с) Е. Геккель; d) В. М. Сукачов.
3. Засновником зоології є: а) Арістотель; б) Демокріт; с) Вергілій; d) Сократ.
4. Автором закону «чудової необхідності» є: а) Демокріт; б) Леонардо да Вінчі; с) Ч. Ельтон; d) Б. Коммонер.
5. Основоположником біогеографії та кліматології є: а) О. Гумбольдт; б) Дж. Рей; с) Ч. Дарвін; d) О. Декандоль.
6. У якому році Ю. Лібіх відкрив «закон мінімуму»: а) 1838; б) 1839; с) 1840; d) 1841.
7. Поняття еконіші у 1957 р. формалізував: а) Хатчинсон; б) Тенслі; с) Кларк; d) Ю. Одум.
8. Засновником еволюційної екології хребетних тварин є: а) С. С. Шварц; б) В. М. Сукачов; с) Г. Ф. Гаузе; d) Ч. Ельтон.
9. Видатний вчений Г. В. Нікольський є засновником: а) екології риб; б) екології птахів; с) екології ссавців; d) екології ґрунтів.
10. Концепцію екосистеми сформулював: а) Л. Л. Россолімо; б) Е. Бердж; с) А. Тенслі; d) Г. Райлі.
11. Концепцію чи поняття біогеоценозу сформулював: а) Ю. Одум (1971); б) В. І. Вернадський (1926); с) В. М. Сукачов (1942); d) А. Тенслі (1935).
12. Засновником напрямку досліджень редуційного блока екосистем є: а) Н. І. Базилевич; б) О. Ф. Рудзський; с) Й. В. Царик; d) С. М. Виноградський.

13. У 1951 р. виявив консортивні зв'язки, які визначають «стратегію життя в екосистемах»: а) В. І. Гаранін; б) В. М. Беклемішев; с) А. Г. Воронов; d) В. В. Мазінг.

14. Автором книги «Походження видів шляхом природного добору, або збереження обраних порід у боротьбі за життя» (1859) є: а) В. О. Ковалевський; б) Л. Пастер; с) А. Декандоль; d) Ч. Дарвін.

15. Автором книги «Загальна морфологія організмів» (1866) є: а) К. Шрьотер; б) К. Мебіус; с) Е. Геккель; d) С. Форбс.

16. Закон максимуму щільності упаковки екологічних ніш видів сформулював: а) Р. Уїттекер; б) Е. Піанка; с) Л. Г. Раменський; d) Ю. Одум.

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	с	5	А	9	а	13	б
2	б	6	d	10	с	14	d
3	а	7	а	11	с	15	с
4	б	8	а	12	d	16	а

Розділ 3 АУТЕКОЛОГІЯ

Основна ідея. Вся чисельність організмів у біосфері визначається індивідуальними зв'язками окремого організму з навколишнім середовищем, адаптаціями видів до навколишнього середовища (середовище — організм), до впливу абіотичних і біотичних факторів (організм — фактор).

Смислові зв'язки. Природне середовище — умови життя — екологічний фактор — закономірності дії екологічних факторів на організми — генетичні адаптації — життєва форма виду — адаптація організмів до існування в наземно-повітряному чи водному середовищі — ґрунтові організми.

Ключові терміни. Екологічні фактори або чинники. Спеціалізація та толерантність, аклімация, екологічна ніша, сингенез, ендегенез, філценогенез, правило оптимуму, правило мінімуму, закон мінімуму Лібіха, закон толерантності Шелфорда.

Мета — охарактеризувати складність природного середовища та основні чинники, що впливають на життєдіяльність організмів.

3.1. Організм і середовище.

3.1.1. Екологічні чинники

Місце існування (оселище) — та частина природи, у якій живе живий організм і з якою він безпосередньо взаємодіє. Складові частини і властивості середовища різноманітні й мінливі. Будь-яка істота живе у складному, мінливому світі, постійно пристосовуючись до нього та регулюючи свою життєдіяльність відповідно до його змін.

Окремі властивості або елементи середовища, що впливають на організми, зветься **екологічними факторами** або **чинниками**. Вони можуть бути необхідними або, навпаки, шкідливими для живих істот, сприяти або перешкоджати виживанню та розмноженню. Екологічні чинники мають різну природу та специфіку дії. Поширеною класифікацією чинників є їх поділ на *абіотичні, біотичні та антропогенні*.

Абіотичні чинники — температура, світло, радіоактивне випромінювання, тиск, вологість повітря, сольовий склад води, вітер, течії, рельєф місцевості — це все властивості неживої природи, які прямо або опосередковано впливають на живі організми.

Біотичні чинники — форми впливу живих істот одна на одну. Кожен організм постійно відчуває на собі прямий або непрямий вплив інших живих істот, вступає у зв'язок із представниками свого виду та інших видів (рослинами, тваринами, мікроорганізмами), залежить від них і сам впливає на них. Навколишній органічний світ — складова частина середовища існування кожної живої істоти. Взаємні зв'язки організмів — основа існування біоценозів і популяцій.

Антропогенні чинники — наслідки діяльності людського суспільства, які призводять до зміни природи як місця існування інших видів або безпосередньо позначаються на їх житті. Виділяють **безпосередній (антропічний)** вплив людини на середовище існування живих організмів (рубання лісу, викошування трави тощо) та **опосередкований** вплив (післядія будівництва греблі, видобування корисних копалин тощо). В історії людства розвиток спочатку полювання, а потім сільського господарства, промисловості, транспорту сильно змінював природу планети. Значення антропогенних впливів на весь живий світ Землі продовжує стрімко зростати.

Один і той самий чинник середовища має різне значення в житті організмів різних видів, що мешкають спіль-

но. Наприклад, сильний вітер узимку несприятливий для великих тварин, які мешкають на відкритих територіях, але він не впливає на дрібніших, які ховаються в норах або під снігом. Сольовий склад ґрунту важливий для живлення рослин, але індиферентний для більшості наземних тварин.

Існують і інші класифікації екологічних чинників. Так, зміни чинників середовища в часі можуть бути:

1) регулярно-періодичними (такими, що змінюють силу впливу у певні періоди доби, або відповідно до сезону року, ритму припливів і відпливів в океані тощо);

2) нерегулярними, без чіткої періодичності (наприклад, зміни погодних умов у різні роки, явища катастрофічного характеру — бурі, зливи, обвали);

3) спрямованими упродовж відомих, іноді тривалих, проміжків часу (наприклад, при похолоданні або потеплінні клімату, заростанні водойм, постійному випасанні худоби на одній і тій самій ділянці).

Серед чинників середовища виділяють **ресурси та умови**. **Ресурси навколишнього середовища організми використовують, споживають, тим самим зменшуючи їх кількість.** До ресурсів відносять їжу, воду при її дефіциті, схованки, зручні місця для розмноження тощо.

Умови — такі чинники (фактори), до яких організми змушені пристосовуватися, але вплинути на них зазвичай не можуть. Один і той самий чинник середовища може бути ресурсом для одних і умовою для інших видів. Наприклад, світло — життєво необхідний енергетичний ресурс для рослин, а для тварин — часто лише умова зорової орієнтації. Вода для багатьох організмів може бути і умовою життя, і ресурсом.

3.1.2. Адаптації

Пристосування організмів до середовища, що виникли у процесі еволюції, носять назву **адаптацій**. **Під адаптаціями розуміються будь-які зміни структури та функцій організмів, які підвищують їхні шанси на виживання.** Здатність до адаптацій — одна з основних властивостей життя взагалі, оскільки забезпечує саму можливість його існування, можливість організмів виживати та розмножуватися. Адаптації виявляються на різних рівнях: від біохімії клітин і поведінки окремих організмів до структури та функціонування угруповань і екологічних систем. Адаптації виникають і розвиваються в процесі еволюції видів.

Основні механізми адаптації на рівні організму:

1) біохімічні (виявляються у внутрішньоклітинних процесах, наприклад таких, як зміна активності ферментів або кількості їх ізоферментних форм);

2) фізіологічні (наприклад, посилення потовиділення особиною при підвищенні температури);

3) морфо-анатомічні (зміни будови та форми тіла, пов'язані зі способом життя);

4) поведінкові (пошук тваринами сприятливих жител, створення нір, гнізд, розпізнавання партнерів для розмноження);

5) онтогенетичні (прискорення або уповільнення індивідуального розвитку, яке сприяє виживанню при зміні умов середовища).

Екологічні чинники середовища здійснюють на живі організми різні впливи: можуть впливати як **подразники**, що зумовлюють адаптивні зміни фізіологічних і біохімічних функцій, як **обмежувачі**, що обумовлюють можливість або неможливість існування в даних умовах, як **модифікатори**, що викликають морфологічні й анатомічні зміни організмів, і як **сигнали**, що свідчать про зміни інших чинників середовища тощо.

Сприятлива «сила» впливу екологічного чинника називається **зоною оптимуму екологічного чинника** або просто **оптимумом** для організмів даного виду. Чим сильніше відхилення від оптимуму, тим більше виражена пригнічувальна дія даного чинника на організми (**зона песимуму**). Максимальні та мінімальні переносимі значення чинника — **критичні точки**, за межами яких існування особин уже неможливе, настає смерть. Межі витривалості між критичними точками називають **екологічною валентністю** живих істот відносно конкретного чинника середовища (рис. 3.1).

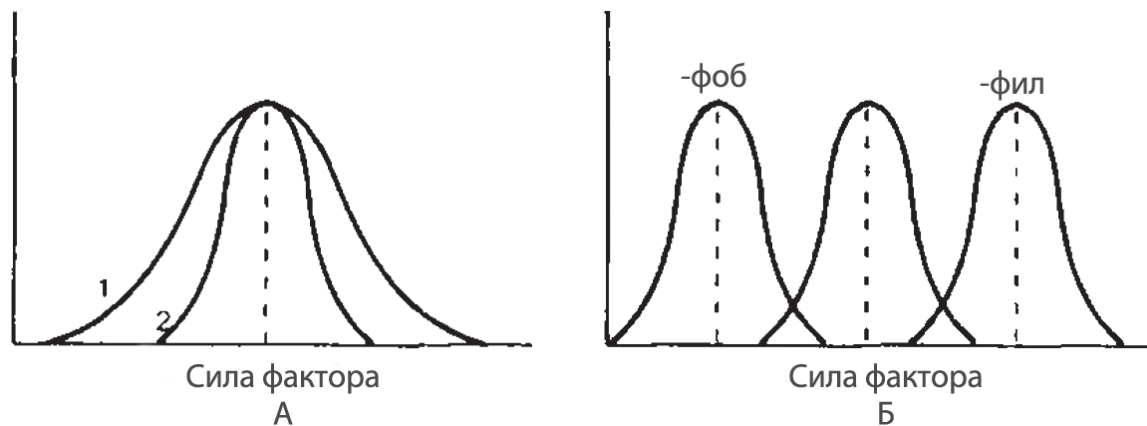


Рис. 3.1. Варіації відношення організму до змін сили екологічного фактора (Шилов, 1985): А — еврибійонтні (1) та стенобійонтні (2) до даного фактора форми; Б — форми, що відрізняються положенням оптимуму

3.1.3. Закономірності впливу екологічних чинників

Незважаючи на суттєве різноманіття екологічних чинників за характером їх впливу на організми, у відповідних реакціях живих істот можна виявити ряд загальних закономірностей.

1. Закон оптимуму. Кожний чинник має певні межі позитивного впливу на організми. Результат впливу мінливого чинника залежить перш за все від сили його прояву. Одна і та сама сила впливу чинника може бути оптимальною для одного виду, песимальною — для іншого і виходити за межі витривалості для третього.

Широку екологічну валентність особин виду відносно абіотичних чинників середовища позначають додаванням до назви чинника префікса *еври-*. Евритермні види — види, що витримують значні коливання температури, еврибатні — широкий діапазон тиску, евригалінні — різний ступінь засолення середовища.

Нездатність переносити значні коливання фактора (вузька екологічна валентність) характеризується префіксом *стено-* — стенотермні, стенобатні, стеногалинні види тощо. Види, для існування яких необхідні певні екологічні умови, називають **стенобіонтними**, а ті, які здатні пристосовуватися до різної екологічної обстановки, **еврибіонтними**. Умови, що наближаються до критичних точок, називають **екстремальними** (рис. 3.2).

У стенотермних видів мінімум, оптимум і максимум зближені, і навіть незначні коливання температури, які не відбиваються на евритермних видах, можуть стати для них критичними.

Положення оптимуму та критичних точок на градієнті чинника може бути в певних межах порушене впливом умов середовища. **Пристосування до порушення оптимуму відносно будь-якого чинника називається аклімацією.** За впливом тем-

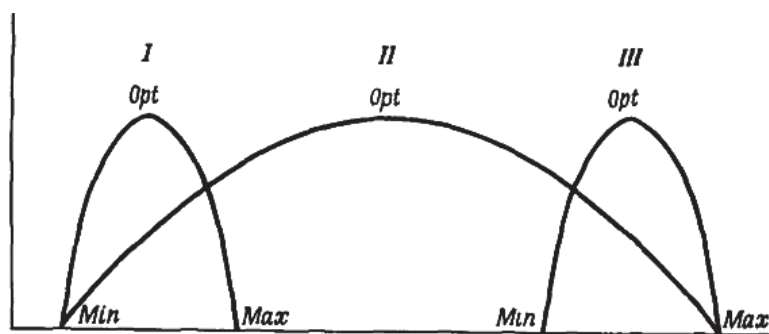


Рис. 3.2. Порівняння відносних меж толерантності стенотермних (I і III) та евритермних (II) організмів (Одум, 1975): за віссю абсцис — значення екологічного фактора, за віссю ординат — життєвість організмів

ператури — це добре відомий процес теплового гартування організму, або температурна аклімація. Механізм цього процесу — заміна у клітинах ферментів, що каталізують одні і ті самі реакції, але при різних температурах (так звані ізоферменти).

Аклімація (гартування) спостерігається під час несприятливих умов, що поступово насуваються, або під час потрапляння тварини на територію з іншим кліматом. В останньому випадку аклімація є складовою загального процесу акліматизації.

2. Неоднозначність впливу чинника на різні функції. Кожний чинник неоднаково впливає на різні функції організму. Оптимум для одних процесів може бути песимумом для інших. Так, температура повітря $+40...+45^{\circ}\text{C}$ у холонокровних тварин сильно збільшує швидкість обмінних процесів, але гальмує рухову активність: тварини впадають у теплове заціпеніння. Для багатьох риб температура води, оптимальна для дозрівання статевих продуктів, несприятлива для нересту, який відбувається в іншому температурному інтервалі.

3. Різноманіття індивідуальних реакцій на чинники середовища. Ступінь витривалості, критичні точки, оптимальні та песимальні зони окремих індивідуумів не співпадають. Ця мінливість визначається як спадковими якостями особин, так і статевими, віковими та фізіологічними відмінностями. Наприклад, у метелика ефестії млинової — одного з шкідників борошна та зернових продуктів — критична мінімальна температура для гусені -7°C , для дорослих форм -22°C , а для яєць -27°C . Мороз в -10°C знищує гусінь, але безпечний для імаго та яєць цього шкідника. Таким чином, **екологічна валентність виду завжди ширша за екологічну валентність кожної окремої особини.**

4. Відносна незалежність пристосування організмів до різних чинників. Ступінь витривалості особин виду відносно одного якогось чинника не означає широку його екологічну валентність до дії інших факторів. Наприклад, види, що переносять широкі коливання температури, зовсім не обов'язково повинні також бути пристосованими до значних коливань вологості або сольового режиму. Евритермні види можуть бути стеногалінними, стенобатними або навпаки. Це створює надзвичайне різноманіття адаптацій у природі. **Набір екологічних валентностей відносно різних чинників середовища складає екологічний спектр виду.**

5. Неспівпадання екологічних спектрів окремих видів. Кожний вид специфічний за своїми екологічними особливостями. Навіть у близьких за способами адаптації до середовища видів існують відмінності впливу на них окремих екологічних

чинників. Це — *правило екологічної індивідуальності видів*, сформульоване російським ботаніком Л. Г. Раменським (1924) стосовно рослин, пізніше воно широко було підтверджене і зоологічними дослідженнями.

6. Взаємодія чинників. Оптимальна зона та межі витривалості організмів відносно певного чинника середовища можуть зміщуватися залежно від того, з якою силою й у якому поєднанні діють одночасно інші чинники. Ця закономірність отримала назву *взаємодії чинників*. Наприклад, спеку легше переносити в сухому, а не у вологому повітрі. Загроза замерзання значно вища при морозі з сильним вітром, ніж у безвітряну погоду. Таким чином, **один і той самий чинник у поєднанні з іншими здійснює неоднаковий екологічний вплив**. Навпаки, один і той самий екологічний результат може бути отриманий різними шляхами (рис. 3.3).

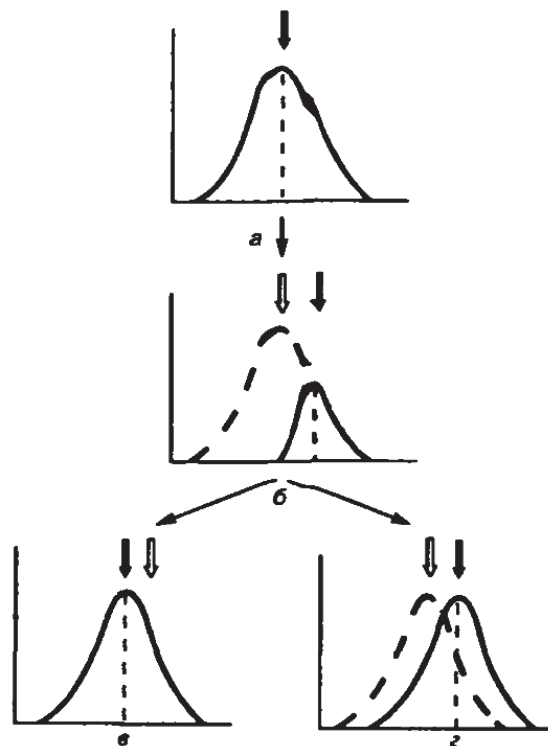


Рис. 3.3. Варіювання адаптивної ознаки за зміни величини діючого фактора (Шилов, 1985): *a* — середнє значення ознаки відповідає діючому фактору; *b* — зміна сили фактора призводить до загибелі особин, властивості яких не відповідають новим умовам; *v* — при відновленні норми умов повертається попередній (адаптивний) характер мінливості; *z* — при стійкій зміні умов добір зміщує ознаку в напрямку, адаптивному до нових умов середовища

Разом із тим, взаємна компенсація дії чинників середовища має певні межі, і повністю замінити один із них іншим не можна. Повна відсутність води або хоча б одного з основних елементів мінерального живлення робить життя рослини неможливим, незважаючи на найсприятливіші поєднання інших умов. Крайній дефіцит тепла у полярних пустелях не можна замінити ані великою кількістю вологи, ані цілодобовим освітленням.

7. Правило обмежуючих чинників. Можливості існування організмів у середовищі обмежують ті чинники, які найбільше віддалені від оптимуму. **Якщо хоча б один з екологічних чинників наближається або виходить за межі критичних величин, то, незважаючи на оптимальне поєднання решти умов, особинам загрожує загибель**. Будь-які чинники, що істотно відхиляються від оптимуму, стають лімітуючими в житті виду

або окремих його представників у конкретні проміжки часу. Лімітуючі чинники середовища визначають географічний ареал виду. Так, просування виду на північ може лімітуватися нестачею тепла, в аридні райони — нестачею вологи або дуже високими температурами. Чинником, що обмежує поширення, можуть слугувати також біотичні відносини, наприклад зайнятість території сильнішим конкурентом або відсутність запилювачів для рослин.

3.2. Екологічна ніша

3.2.1. Історичний розвиток поняття екологічної ніші

Не дивлячись на те, що сьогодні не існує вдалого визначення поняття «екологічна ніша», провідні екологи вважають, що концепція ніші — одне із ключових понять синтезу екологічної теорії, сфера великої кількості експериментальних робіт і теоретизування для розуміння законів співіснування видів у біоценозі. Як висловився Е. Піанка (1981), «поняття ніші пронизує всі сфери екології. Коли б термінові «екологічна ніша» не надавали так багато найрізноманітніших значень, то екологію можна було б визначити як науку про ніші».

Уявлення про еконішу, що розроблялося екологами англо-американської школи, пройшло певний еволюційний шлях і значно змінилося відносно початкового тлумачення. Разом із тим у процесі такої зміни постало чимало нових питань, які стимулюють подальший розвиток екології.

Термін «екологічна ніша» запропонував Ж. Гріннел (1917) для оцінки екологічної амплітуди декількох факторів, за якими конкурували американські пересмішники, тобто просторової функціональної оцінки розміщення видів, їх стації, оселища. Ч. Ельтон (1927) на основі уточнення цього поняття сформулював проблему вивчення структури угруповань, встановив співвідношення між зміною чисельності організмів (піраміда чисел) на різних трофічних рівнях, характер коливання чисельності популяцій. Тобто поняття «еконіша» фактично визначається поведінкою виду та місцем у біотичному середовищі існування, включаючи взаємовідносини з іншими видами. У 1934 році Г. Гаузе провів унікальні дослідження щодо оцінки конкуренції на одноклітинних організмах і довів, що види, які займають одну й ту саму нішу, вступають у конкурентні відносини. Чим подібніші їх екологічні ніші, тим сильніша конкуренція, у результаті один вид витісняється іншим. Згідно із сформульованим принципом виключення, **види з однаковою екологічною нішею співіснувати не можуть.**

Підтвердженням цьому можуть бути дослідження Т. Шенера ящірок роду *Anolis*, що жили на одному із маленьких (8 км²) Багамських островів із рівнинним рельєфом і бідною рослинністю, тобто в більш-менш однакових умовах. Т. Шенер дав кількісну оцінку розподілу популяцій чотирьох видів за шістьма параметрами: 1) тип рослинності, у якому трапляється кожен вид; 2) діаметр гілок, де вони сидять, і висота їх розташування над поверхнею землі; 3) забарвлення кори гілок; 4) період знаходження серед листя; 5) види жертв, якими живиться ящірка; 6) розміри цих жертв. Хоча між усіма дослідженими видами спостерігались певні перекриття за вказаними шістьма ознаками, кожен вид відрізнявся від іншого новими потребами. Наприклад, *A. sagrei* — частково наземний вид, його особини часто відпочивають на маленьких гілках поблизу поверхні землі, *A. distichus* надає перевагу стовбурам і великим гілкам дерев, *A. angusticeps* — невеликим гілкам, розташованим високо над землею, *A. carolinensis* — листю і гілкам, які є поруч. Ящірки живляться різними комахами, павуками, плодами, а розмір їжі залежить від розміру голови — чим більші ящірки, тим більші об'єкти вони споживають і діапазон їжі у них ширший. *A. distichus* (середня довжина голови становить 12,6 мм) живиться комахами, *A. sagrei* (14,4 мм) — плодами, *A. angusticeps* (15,7 мм) та *A. carolinensis* (18,0 мм) потребує різноманітної їжі. Якщо *A. angusticeps* і *A. distichus* переважають в одному типі угруповань, то *A. carolinensis* і *A. sagrei* — в іншому. Таким чином, *A. angusticeps* і *A. carolinensis*, що потребують однакової дієти, живуть у різних місцях. Тобто якщо вони споживають один ресурс, то мають бути розподіленими в просторі та часі.

Таке зміщення підходу в трактуванні «екологічної ніші», яка визначається умовами існування виду, викликало критику. Так, Дайс (1952) продовжував розглядати це поняття як місце оселення виду, а оцінку функції вважав опосередкованою. Кларк (1954) запропонував розрізнити два різних значення еконіші: «функціональну нішу» та «нішу місця», тобто місця оселення виду. Свій підхід він аргументував тим, що різні види організмів виконують різні функції у біоценозі, але разом із тим одна і та сама функція у різних географічних регіонах може виконуватися зовсім різними, не спорідненими видами. Такі таксони він називав «екологічними еквівалентами» (наприклад, кактуси в Америці та молочаї в Африці).

Натомість Дж. Хатчинсон (1957, 1965) провів подальшу формалізацію цього поняття, розробив ясну та логічну її концепцію, запропонував розглядати «еконішу» як суму зв'язків організмів даного виду з абіотичними умовами середовища і з іншими видами організмів, тобто дав інтегральну її харак-

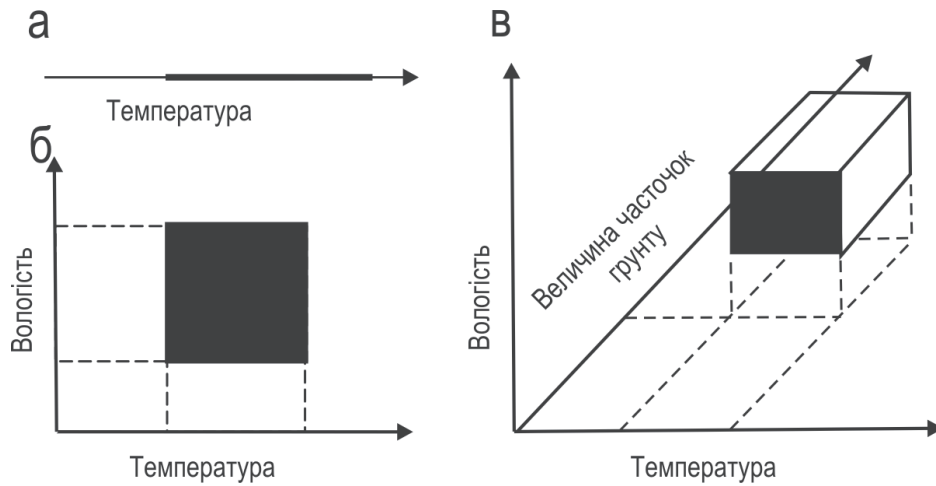


Рис. 3.4. Модель екологічної ніші (Begon, Mortimer, 1989): *a* — одновимірна ніша (визначається температурою); *б* — двовимірна ніша (визначається температурою та вологістю); *в* — тривимірна ніша (визначається температурою, вологістю та величиною часточок ґрунту)

теристика. Така «сума» розглядалася як екологічний «гіперпростір» усередині біоценозу з певною кількістю осей, із яких для аналізу можна обрати окремі з них (рис. 3.4).

Дж. Хатчинсон розділив поняття «фундаментальна ніша» та «реалізована ніша». **Фундаментальна ніша — це той потенційно можливий гіперпростір, який може зайняти вид за відсутності конкуренції. У реальних умовах через конкуренцію вид займає якусь частину екологічного гіперпростору, що характеризує його реалізовану еконішу.** Як приклад можна навести сосну, яка зростає у різноманітних умовах: оліготрофних болотах, на пісках, кам'янистих осипах, відкладах крейди, але відсутня за наявності родючих ґрунтів, бо там вона витісняється листяними породами, хоча штучно створені культури сосни трапляються всюди. Але коли під ними з'являється підріст листяних порід, сосна відновитися не може (рис. 3.5).

Таке трактування означає, що еконіша — характеристика (властивість) виду, а не місця, яке він заселяє. Тобто ми повинні говорити, що вид характеризується еконішею, а не еконіша заселена видом. У такому розумінні поняття «вільна», «заселена» еконіша втрачає сенс і є некоректними. На цьому наголошував Ю. Одум (1959), який визначив еконішу як статус виду в екосистемі, що визначається його адаптацією, екологічною функцією, поведінкою, а не місцем існування. Він підкреслював, що екологічна ніша організму визначається тим, що він робить, а не тим, де він живе. Його афоризм (екологічна ніша — «професія» виду, а місце існування — його «адреса») чітко відмежував ці поняття, і подвійне трактування еконіші чи оцінка її як місця існу-

вання втратило сенс, хоча підсвідомо часто використовується у сучасних екологів: «...вид займає еконішу».

Подальший теоретичний крок у трактуванні поняття та дослідженні перекриття еконіш зробив Р. Макартур (1957), який обґрунтував принцип упаковки еконіш у біоценозі й продемонстрував зв'язок видової ємності угруповань з їх внутрішньою структурою. Іншими словами, новизна такого підходу полягає в тому, що Макартур звернув увагу на необхідність дослідження зовнішнього обмеження еконіш видів, механізми упаковки їх у біоценозі, тобто трактування еконіш із позиції елемент — система. Він писав, що будь-який новий вид, який з'являється у ценозі, збільшує кількість наявних у ньому екологічних ніш не лише за рахунок свого власного положення серед інших, але і через надання ресурсів для паразитів і хижаків, інших співмешканців тощо.

Така оцінка структурування еконіш в екосистемах вивела цю проблему на ширший загальний екологічний рівень, що займаються проблемами сукцесій, еволюції, структуризації екосистем. Особливе місце займають дослідники механізмів регуляції, причин, що забезпечить функціонування екосистем у просторово-часових вимірах.

На основі такого уявлення Р. Уїттекер (1980) сформулював закон максимуму щільності пакування екологічних ніш видів у біоценозі.

3.2.2. Розмірність ніш і оцінка їх перекриття

Параметри еконіші визначають через показники споживання ресурсів. **Найвужчою, мінімальною вважається така еконіша, коли вид спеціалізується на використанні одного класу ресурсів (монофаги), а найширшою, максимальною — при рівномірному використанні всіх класів ресурсів певного типу (поліфаги).** Такий підхід використовується для зоологічних об'єктів, бо через єдиний трофічний канал можна легко оцінити кількість спожитого ресурсу. Натомість для рослин, що мають різні канали, такий підхід не інформативний, тому перекриття ніш визначається не споживанням ресурсу, а оцінкою факторів, умов зростання, які потребує вид.

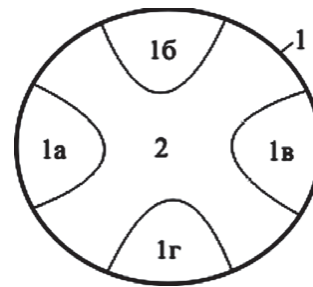


Рис. 3.5. Співвідношення між фундаментальною та реалізованою еконішами на прикладі сосни (*Pinus sylvestris*): 1 — фундаментальна еконіша сосни; 2 — еконіша листяних лісів; реалізована еконіша сосни: 1а — піщані відклади, 1б — крейдові відклади, 1в — кам'яністі відклади, 1г — оліготрофні болота

Як пише Е. Піанка (1981), модель еконіші як n -мірного гіперпростору абстрактна й у такому вигляді не може бути застосована на практиці, бо для моделювання екологічного гіпероб'єму необхідно оцінити роль усіх факторів, що визначають існування даного організму. Тому для оцінки такого впливу кількість вимірів слід скоротити, а реальне їх зображення має бути в одно-, дво- та тривимірному просторі. Проектуючи розмірність ніш по одній осі, ми відображаємо результати взаємодії між видами за одним фактором. Ми можемо оцінити ступінь їх перекриття та специфіку (рис. 3.6).

Проекція на двовимірну вісь може дати цілком іншу картину перекриття. Види D та E , що майже повністю перекривалися за фактором X , виявилися достатньо відмежовані за фактором Y . При цьому кількість можливих сусідів збільшується. Результати математичного моделювання свідчать, що в міру збільшення кількості факторів (осей) число потенційних сусідів зростає в геометричній прогресії. При цьому сумарний процент перекриття теж збільшується, що свідчить про наростання сумарної («дифузної») конкуренції.

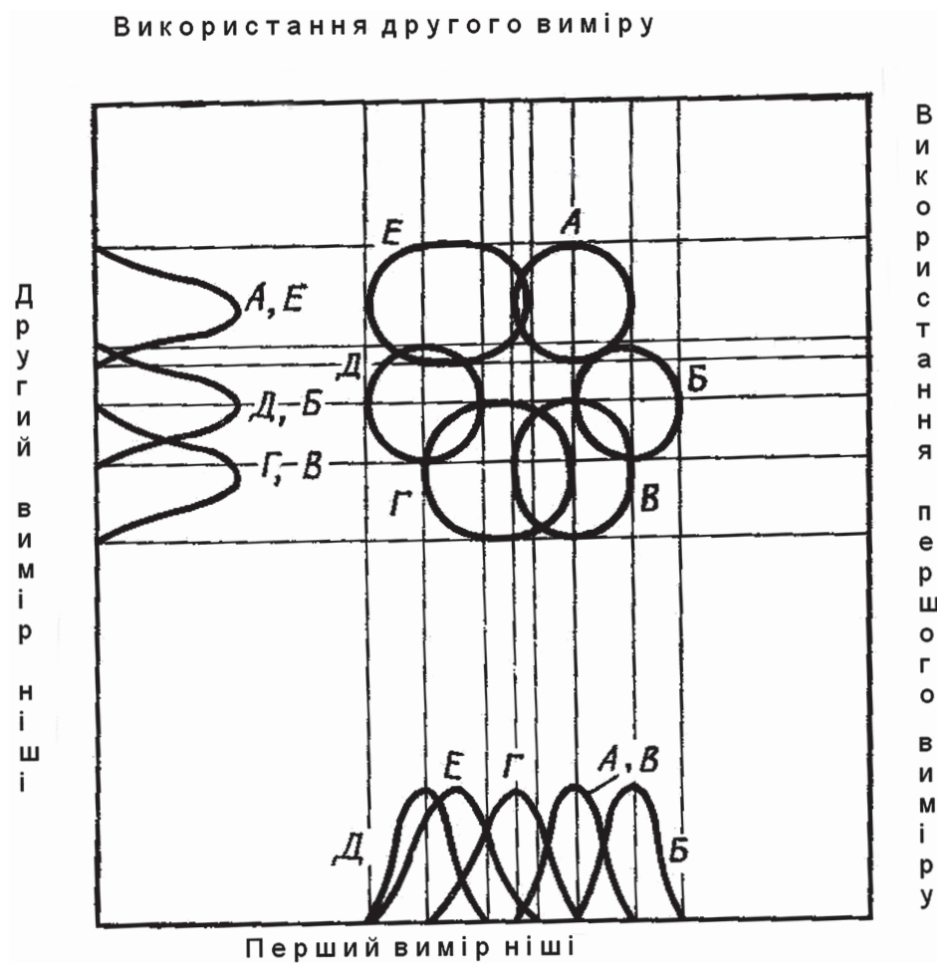


Рис. 3.6. Гіпотетичні ніші шести видів, що розділяються за двома вимірами: не дивлячись на їх перекриття за окремими осями, інтегративне перекриття мінімальне або зовсім відсутнє (Піанка, 1981)

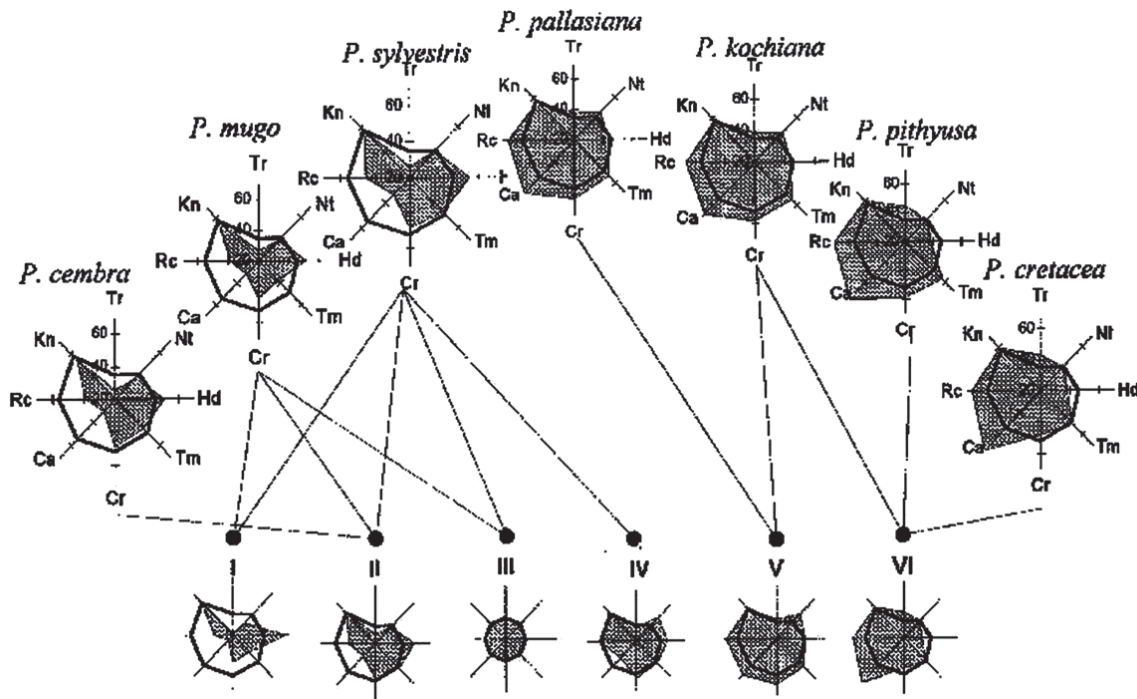


Рис. 3.7. Багатопараметральна циклограма еконіш видів сосни (*Pinus*), осі якої визначають показники восьми провідних екофакторів (Дідух та ін., 2003)

Для графічного представлення еконіші використовують багатопараметральну циклограму, де за осями зображені фактори в певному масштабі. Кожна вісь означає певний фактор, яких може бути n -кількість (рис. 3.7). Такий спосіб зображення дає можливість оцінити еконішу не як механізм конкуренції, а як багатовимірний простір.

Сьогодні розроблено ряд математичних формул для оцінки широти та перекриття ніш, що використовуються залежно від поставленої мети дослідження.

3.2.3. Спеціалізація ніш

Кожен вид характеризується різною розмірністю амплітуди витривалості відносно дії різних факторів, а вузька амплітуда витривалості відносно одного фактора не впливає на розмір амплітуди відносно інших факторів. Ботанік Л. Г. Раменський довів, що види характеризуються екологічною індивідуальністю, яка визначає їх континуальний (поступовий) розподіл, і, як наслідок, спостерігається поступовість зміни екосистем і безперервність їх просторового розподілу. Разом із тим, відомі численні приклади чіткого розмежування еконіш навіть у процесі розвитку одного виду (наприклад, у гусениці та імаго метеликів, жуків тощо), або ці ніші близькі, але використовують різні ресурси та знаходяться в різних ланцюгах живлення (мальки та дорослі риби). Таким чином,

кожний вид характеризується спеціалізацією еконіші, ступінь якої визначає успіх виду.

Внутрішньовидова конкуренція вимагає використання додаткових джерел живлення, засвоєння нових оселищ, формування нових біоценотичних зв'язків, тобто сприяє розширенню еконіш, а міжвидова — звужує екологічну нішу, а це вимагає її спеціалізації. Як приклад розглянемо широколистяний ліс. На перший погляд нам здається, що дерева, які формують намет (дуб, граб, ясен, клен, в'яз), однакові. Насправді їх індивідуальний розвиток (онтогенез) різний. Дуб, граб, ясен, в'яз — анемофільні рослини, липа і клен — ентомофільні, але всі квітують у різний час. Листя клена розпускається на 7—10 діб раніше, ніж у інших дерев, що дає йому перевагу у весняному розвитку, який до червня вже припиняється; натомість граб, липа, в'яз розвиваються пізніше, і ріст пагонів триває довше. Пізніше всіх з'являються листки дуба, тому цей вид добре почуває себе, якщо він знаходиться у першому ярусі. Але дуб не може відновлюватися під наметом інших листяних порід, бо характеризується нижчою тіньовитривалістю. Гілки ясена та клена галузяться дихотомічно («поза парасольки»), тому аби зайняти панівне положення у першому ярусі, їм потрібний більший розмір «вікна», ніж для граба чи липи, які у підрослі мають «позу кобри» (Дідух, 2009). У цих дерев у різний час дозрівають плоди і розносяться вони різними способами (дуб — зоохорія, інші — анемохорія). Граб, клен і, особливо, липа здатні до вигинання стовбура, тому вони ростуть на схилах ярів, балок, у той час як у дуба ця властивість обмежена. По-різному вони відновлюються після вирубок. У граба та липи ця операція викликає посилений інтенсивний ріст, рубки дуба пригнічують його розвиток. У дерев кореневі системи розташовані на різній глибині. Найглибше проникають корені дуба, у клена, граба та липи вони знаходяться вище, а в ясена розташовані поблизу поверхні. Утилізація опадів дерев відбувається з різною швидкістю. Якщо період розкладання листя дуба триває понад 2—3 роки, то листя інших порід розкладається протягом року. Все це свідчить про специфічність еконіш, спрямовану на зниження конкуренції, кінцеві результати якої залежать від впливу багатьох факторів.

Не дивлячись на відносність поняття «спеціалізація ніш», є ознаки, які свідчать про вужчу та глибшу спеціалізацію. Наприклад, види орхідних мають дрібне та набагато чисельніше насіння, що легко переноситься на великі відстані, ніж могутні дуби, жолуді яких з'являються не кожен рік і розповсюджуються недалеко від материнської особини. Разом з тим, орхідні є рідкісними, занесеними до «Червоної книги

України» рослинами, бо характеризуються вузькими та специфічними еконішами. Багато видів орхідей із специфічними квітами та запасом запилюються лише певними видами комах, розвиток яких залежить від багатьох факторів і в окремі роки може не співпадати з квітанням рослин. Сам розвиток рослин до періоду квітання триває довгий період (іноді до 10 років), а для проростання насіння потрібна мікориза. Через декоративні квіти, лікарські властивості бульб рослини знищуються людиною. Зрозуміло, що за будь-яких умов орхідні завжди в конкуренції будуть програвати іншим тривіальним видам, чисельність і розміри яких нижчі, і для них складаються умови, за яких вони реалізують потенціал своїх еконіш.

У зв'язку з цим виникає питання: чи вигідна організмам спеціалізація? Як пише Е. Піанка, у своїй сфері спеціалізовані організми ефективніші, ніж неспеціалізовані. Існують різні шляхи передачі речовини та енергії в екосистемі; без відповідної спеціалізації деякі з них будуть недоступні для споживачів. Це означає, що вони будуть втрачені даною екосистемою, виводяться за її межі. Спеціалізація дає перевагу на отримання ресурсів вузького каналу, який недоступний для організмів, що не мають такого пристосування. Прикладом високої спеціалізації до споживання ресурсів можуть бути терміти, у кишечнику яких знаходяться джгутикові, що сприяють розкладу клітковини дерев. Досить високий ступінь взаємозалежності демонструють лишайники (симбіоз гриба та водорості), у яких виникають якісно нові функції та морфологічні властивості, що дозволяють цим організмам оселятися та отримувати поживні речовини на субстратах, недоступних для інших рослин.

Із цього можна зробити висновок, **що високоспеціалізовані організми характеризуються вузькими межами толерантності** за певними вимірами (факторами) еконіш. Разом із цим, поняття спеціалізації відносне. Ми можемо говорити, що в даних конкретних умовах один вид краще чи вужче спеціалізований від іншого, але при зміні зовнішніх умов ситуація може змінитися.

3.2.4. Структуризація еконіш

Ідея Р. Макарута про щільність упаковки ніш була тим поштовхом, який відкрив шлях до дослідження механізму організації та розвитку біоценозів, оцінки гіперпростору, який не є безрозмірним, а обмежений ємністю еконіші біоценозу. Суть цієї думки полягає в тому, що таке об'єднання видів дає можливість використати всі ресурси для забезпечення

максимальної біопродуктивності біоценозу, накопичення та трансформації енергії. У зв'язку з цим постало питання: скільки видів, що мають близькі ресурсні потреби, можуть співіснувати разом, адже об'єм гіперпростору, тобто загальна ємність еконіш біоценозу, не безрозмірний, а абсолютного перекриття ніш не існує. Якщо на градієнт ресурсу ми додамо новий вид, то ширина ніш попередніх видів скоротиться, а новий вид буде формувати нові еконіші, але такий процес не безмежний. При цьому є певний ліміт щодо кількості видів, які можуть таким чином «упаковувати» свої ніші, бо скорочення еконіш має певні межі. Такий висновок трактується як закон максимуму щільності упаковки видів біоценозу за даних умов середовища. Разом із цим, висока щільність упаковки забезпечує стійкість біоценозів. Якщо якийсь вид випадає з угруповання, то його роль виконують інші, але такий процес знижує щільність: порушується стійкість, і у біоценозі може з'явитися новий вид, що є додатковим ресурсом у трофічному ланцюзі, а значить, збільшується кількість екологічних ніш. Щільність упаковки збільшується за рахунок підвищення спеціалізації виду, тому вони повинні адаптуватися та еволюціонувати у бік спеціалізації до різних частин градієнта ресурсу, що зменшує конкуренцію між ними. Чим більше видів у складі біоценозу, тим нижча чисельність кожного із них і тим сильніше виражена екологічна спеціалізація, що добре ілюструється на прикладі тропічних лісів.

Упаковка еконіш у біоценозі визначається не генетичною спорідненістю чи екологічною подібністю, а такою диференціацією, яка запобігає конкуренції, точніше, урівноважує негативні та позитивні взаємозв'язки між особинами різних видів. Тому біоценоз — поєднання не однорідних, а систематично та екологічно різнорідних елементів. Згідно із законами Г. Гаузе, чим більше перекриваються еконіші, тим вища конкуренція, а значить, зростає щільність. Якщо види не перекриваються, значить, види не конкурують (наприклад, степові та водні). Отже, конкуренція — загальнобіологічне явище, невід'ємний атрибут співіснування видів у біоценозі. Але як реалізується таке співвідношення? Іншими словами, наскільки еконіші можуть перекриватися, аби види могли співіснувати? Для такого співіснування їх необхідно розвести мінімум за одним фактором, властивістю чи ознакою ресурсу. Процес «розведення» у природі забезпечується тим, що негативна та позитивна взаємодія між видами урівноважується, балансується. Пояснюємо це на основі «принципу пружини». Чим подібніші еконіші, тим сильніша конкуренція: види прагнуть відштовхнутися один від одного, ніби стиснута пружина розпрямляється. Але чим більше розходяться

види за екологічними нішами в межах одного біоценозу, тим комфортніше вони можуть співіснувати, що нагадує розтягнуту пружину, кільця якої притягуються. Для нормального співіснування необхідний баланс негативної та позитивної взаємодії між елементами.

Тому упаковка еконіш у біоценозі — складний процес, спрямований у напрямку максимального використання всіх типів ресурсів, енергії, мінімізації їх втрат.

3.3. Загальні принципи адаптації

3.3.1. Типи пристосування

Проблемами адаптації вчені цікавляться давно. Процесу адаптації сприяє природний добір. Для збереження адаптаційних ознак важливо, щоб організм був пристосований до змін умов і ця здатність передавалася з покоління в покоління. Це означає, що адаптації мають закріплюватися спадково на рівні популяції. У вузькому розумінні **адаптація (пристосування) означає особливі властивості, здатні забезпечити виживання та розмноження організмів у конкретному середовищі**. Абіотичні чинники прямо або побічно (змінюючи дію інших чинників) впливають на організм через ті або інші етапи обміну речовин. Деякі з них відіграють сигнальну роль. Не впливаючи безпосередньо на метаболізм, вони закономірно поєднуються з іншими впливами. Тому сприйняття сигнальних чинників може заздалегідь підготувати організм до зміни стану середовища. В усіх випадках абіотичні чинники діють односторонньо: організм може до них пристосуватися, але не в змозі здійснити на них зворотного впливу.

Існує два типи пристосування до зовнішніх чинників. Перший полягає у виникненні певного ступеня стійкості до даного чинника, здатності зберігати функції при зміні сили його дії. Це **пасивний шлях адаптації — адаптація за принципом толерантності** (від лат. *tolerans* — терпеливість, витривалість). Такий тип пристосування формується як характерна видова властивість і реалізується переважно на клітинно-тканинному рівні.

Другий тип пристосування — активний. У цьому випадку організм за допомогою специфічних адаптивних механізмів компенсує зміни, викликані діючим фактором, таким чином, що внутрішнє середовище залишається відносно постійним. **Активні пристосування — адаптація за резистентним** (від лат. *resisto* — опір, протидія) **типом — підтримують гомеостаз внутрішнього середовища організму.**

Існує і третій шлях адаптації — ухід від несприятливих чинників, наприклад міграції.

Біотичні чинники (їжа, хижаки, збудники хвороб, конкуренти тощо) здійснюють абсолютно інший ефект: **впливаючи на організми інших видів, вони у той же час є об'єктом впливу з їхнього боку.** Таким чином, правильніше говорити про біотичні взаємодії організмів одного або різних видів. При цьому тривалі, стійкі взаємозв'язки здійснюються не між окремими організмами, а між популяціями певних видів. Взаємодії такого роду здійснюються на іншій основі і будуть розглянуті пізніше. При всій різноманітності зовнішніх, зокрема абіотичних, чинників і адаптивних відповідей на їх вплив з боку організмів, можна назвати ряд загальних закономірностей, що складають суть адаптивних реакцій на рівні організму.

3.3.2. Правило оптимуму

Крім якісної специфіки чинника (вплив на ті або інші процеси в організмі) залежно від його фізико-хімічної природи, характер дії та реакції на нього з боку організму багато в чому визначаються інтенсивністю дії чинника, його «дозуванням». Кількісний вплив умов середовища визначається тим, що природні чинники (температура, кисень, солоність тощо) у тій або іншій дозі необхідні для нормального функціонування організму, тоді як нестача або надлишок того ж чинника гальмує життєдіяльність. **Кількісний вираз (доза) чинника, що відповідає потребам організму та забезпечує найсприятливіші умови для його життя, розглядають як оптимальний.** На шкалі кількісних змін чинника діапазон коливань, відповідний вказаним умовам, складає зону оптимуму.

Специфічні адаптивні механізми, властиві виду, дають організму можливість переносити певний розмах відхилень чинника від оптимальних значень без порушення нормальних функцій організму. **Зони кількісного виразу чинника, що відхиляється від оптимуму, але не порушує життєдіяльність організму, визначаються як зони норми.** Таких зон дві — відповідно до відхилення від оптимуму у бік недостатньої вираженості чинника та у бік його надлишку. Подальше зрушення у бік нестачі або надлишку чинника неминуче знижує ефективність дії адаптивних механізмів і, як наслідок, порушує життєдіяльність організму (уповільнення або припинення росту, порушення циклу розмноження, неправильний перебіг линяння тощо).

Адаптація до будь-якого чинника пов'язана з витратами енергії. У зоні оптимуму адаптивні механізми відключені, і енергія витрачається тільки на фундаментальні життєві про-

цеси (енерговитрати на базальний метаболізм). Характерним прикладом може служити термонеїтральна зона, де організм знаходиться в тепловій рівновазі із середовищем.

Під час зрушення показників за межі оптимуму вмикаються адаптивні механізми, функціонування яких пов'язане з певними витратами енергії — тим більшими, чим далі значення чинника відхиляється від оптимального. При цьому посилення енерговитрат на адаптацію обмежує можливий набір форм життєдіяльності організму — чим далі від оптимуму знаходиться кількісний вираз чинника, тим більше енергії цілеспрямовано витрачається на адаптацію і тим менше «ступенів свободи» у прояві інших форм діяльності. Зрештою порушення енергетичного балансу організму разом з ушкоджуючим впливом нестачі або надлишку чинника обмежує діапазон змін, які може перенести організм без шкоди для себе. Цей **розмах змін кількісного виразу чинника визначається як екологічна валентність виду до даного чинника**. Як правило, діапазон коливань чинника, який без шкоди переноситься особинами даного виду, відповідає його природній динаміці. Крім екологічної валентності, види (і популяції одного виду) можуть відрізнятися також місцеположенням оптимуму на шкалі кількісних змін чинника. Види, пристосовані до високих доз даного чинника, термінологічно позначаються закінченням *-філ* (від грецького *phyleo* — полюблюю): термофіли (теплолюбні види), оксифіли (вимогливі до високого вмісту кисню), гігрофіли (мешканці місць із високою вологістю) тощо. Види, що мешкають у протилежних умовах, позначаються терміном із закінченням *-фоб* (від грецького *phobos* — жах): галофоби — мешканці прісних водойм, що не переносять осолонювання, хіонофоби — види, які уникають глибокого снігового покриву, і тому подібне.

3.3.3. Комплексний вплив чинників

Розглянуті закономірності мають чисто фізіологічну основу і виявляються лише в умовах експерименту, коли вплив усіх інших чинників, окрім досліджуваного, усунений або принаймні вирівняний. У природних умовах «чистого» впливу окремих чинників не буває, а організм завжди піддається впливу складного їх комплексу, в якому кожний із чинників виражений різною мірою щодо свого оптимального значення. Поєднання всіх чинників в їх оптимальному виразі — явище у природі практично неможливе. Це означає, що у **природних умовах практично ніколи не реалізується базальний рівень метаболізму: організм завжди витрачає якусь частину енергії на роботу адаптивних механізмів**.

Унаслідок цього у природних умовах існування не реалізується чисто фізіологічне розуміння правила оптимуму. Екологічний оптимум (оптимум ареалу, оптимальні місцеребування) не є поєднанням усіх чинників в оптимальному виразі. **Це найсприятливіше поєднання всіх або хоча б провідних екологічних чинників, кожний з яких частіше за все дещо відхиляється від фізіологічного оптимуму. І навпаки, песимум ареалу (песимальні стації) визначається як територія з найменш «вдалим» поєднанням чинників, хоча деякі з них можуть бути виражені цілком сприятливими дозами.**

Уявлення про оптимум залежить і від взаємин різних видів у складі біогеоценозу. На цій основі можна говорити про неспівпадання понять оптимуму на організменому, популяційному та біогеоценотичному рівнях.

Взаємодія чинників у комплексах. Сукупну дію на організм декількох чинників середовища позначають терміном **контамінація** (лат. *contaminatio* — змішування). Екологічно важлива та обставина, що контамінація не є простою сумою впливу чинників. При комплексному впливі між окремими чинниками встановлюються особливі взаємодії, коли вплив одного чинника якоюсь мірою змінює (посилює або послаблює) характер дії іншого. Відомо, наприклад, що процеси газообміну у риб істотно розрізняються в умовах різної солоності води. У дослідях із жуками *Blastophagus piniperda* у фотоградієнтній камері виявилось, що реакція на світло залежить від температури: за $+25^{\circ}\text{C}$ жуки проявляють позитивний фототропізм, при відхиленнях до $+20$ і $+30^{\circ}\text{C}$ — нейтральну реакцію на світло, а при нижчих і вищих температурах — негативну. Широко відоме значення вологості повітря під час реакції тварин на зміни температури. У сухому повітрі дія високих температур переноситься гомойотермними тваринами відносно легко, тоді як висока вологість істотно знижує температурні пороги нормального функціонування організму.

Подібні приклади можна продовжувати, проте практично в усіх випадках легко виявляється характер взаємовпливу лише двох чинників. Пояснюється це тим, що дуже важко встановити взаємний вплив великої кількості чинників. Це завдання під силу лише сучасній комп'ютерній техніці, але для його розв'язання потрібна значна попередня робота.

Модифікуючі чинники. Деякі чинники середовища, не беручи участі прямо в тих або інших фізіологічних процесах, істотно змінюють дію інших чинників, що мають до цих процесів пряме відношення. Так, вітер, крім механічної дії, істотно змінює водний і енергетичний обмін, сприяючи

охладжуванню та посиленню випаровування. Для помірних і холодних ландшафтно-кліматичних зон вітер — важливий компонент, що визначає суворість погоди, особливо у зимовий час. У цих умовах адекватним комплексним показником погоди є коефіцієнт її суворості, що розраховується за формулою, яка враховує температуру повітря та швидкість вітру:

$$S = (1 - 0,004t) (1 + 0,272v),$$

де S — суворість погоди (балів), t — температура повітря ($^{\circ}\text{C}$), v — швидкість вітру (м/с). Чим нижча температура та вища швидкість вітру, тим вищий коефіцієнт суворості погоди.

Течія в континентальних водоймах визначає кисневий режим, умови накопичення органічних відкладень, можливість росту водних рослин тощо, а відповідно до цього — склад і екологічний стан водних екосистем, що істотно відрізняються у водоймах різного типу. Такий характер впливу називають **непрямим, або опосередкованим**. **Змінюючи форму та силу впливу фундаментальних екологічних чинників, модифікуючі чинники впливають на комплекс умов життя рослин і тварин, стають часом екологічно не менш важливими, ніж чинники, що безпосередньо впливають на метаболізм.**

На більшій частині земної кулі важливим сезонним модифікуючим чинником виявляється сніговий покрив. У Східній Європі та Північній Азії кліматичні зони, що характеризуються вираженою зимою, поширені до 35° північної широти і займають близько 21 млн km^2 . Сніговий покрив безпосередньо не впливає на метаболічні процеси, але створює специфічні сезонні умови життя рослин і тварин у декількох напрямках. Зокрема, механічні властивості снігу — перешкода для пересування багатьох наземних тварин. Умови пересування залежать як від висоти снігового покриву, так і від його щільності, яка у середньому коливається в лісовій зоні від 0,14 до 0,32 г/см³.

Сніговий покрив утворює також певні сприятливі умови, зокрема мікрокліматичні. На певній глибині в товщі снігу і на поверхні ґрунту температурний режим істотно сприятливіший, ніж на поверхні снігу. При достатньо високому сніговому покриві у середині зими в умовах лютих морозів температура на поверхні ґрунту може бути на $15\text{—}30^{\circ}\text{C}$ вищою, ніж на поверхні. Це дозволяє рослинам продовжувати вегетацію, а дрібним ссавцям (миші, нориці, землерийки, навіть кроти) вести активний спосіб життя протягом усієї зими. Таким чином, модифікуючий вплив снігового покриву на комплекс екологічних чинників зумовив еволюційне формування видового складу фауни так званої «зони рихло-

го багатосніжжя» і закріплення ряду специфічних адаптацій (морфологічних, фізіологічних і поведінкових) у представників цієї фауни.

3.3.4. Лімітуючі фактори. Правило мінімуму

Якщо спільний вплив на організм двох чинників розшифровується відносно легко, то вплив складного багаточленного та динамічного комплексу чинників середовища на рівні сучасних знань поки що не піддається об'єктивній оцінці з прогностичною точністю. Проте для практичного уявлення про умови існування даного виду важливо, що чинники, необхідні для існування його особин, мають різне значення. Ще в середині ХІХ ст. відомий німецький хімік Ю. Лібіх, розробляючи систему застосування мінеральних добрив, сформулював **правило мінімуму**, відповідно до якого **можливість існування даного виду в певному районі та ступінь його «процвітання» залежать від чинників, представлених у найменшій кількості**. Зрозуміло, це правило стосується не всіх чинників, а лише ресурсів.

З урахуванням ряду поправок правило мінімуму найчастіше наводиться у формулюванні відомого німецького еколога А. Тінеманна (1939): **«Із усіх необхідних чинників середовища той визначає щільність популяції даного виду живих істот, який впливає на стадію розвитку, що має найменшу екологічну валентність, причому впливає в кількості або інтенсивності, найбільш далекій від оптимуму»**. Це формування стосується як ресурсів, так і умов.

У природі закономірності, що лежать в основі правила мінімуму, визначають багато важливих моментів географічного поширення, морфології, екології та фізіології тварин і рослин. Саме лімітуючі екологічні чинники у низці випадків обмежують проникнення виду до тих або інших типів оселищ. У багатьох випадках «екологічні бар'єри» формували в історії видів їх сучасні ареали. Вище згадувалось обмеження поширення низки видів на північ у зв'язку з глибиною снігового покриву. Нестача джерел вологи, наприклад, жорстко обмежує можливість заселення аридних зон малорухливими тваринами.

На базі пристосування до лімітуючих чинників в еволюції ряду таксонів виникли екологічні конвергенції та паралелізми, коли у різних (у тому числі неспоріднених) групах виникають однотипні морфологічні або фізіологічні особливості. Наприклад, фізіологічні адаптації до дефіциту кисню викликають схожі адаптації у різних, далеко не споріднених, групах тварин. Однонаправлені зміни властивостей гемоглобіну

у напрямі підвищення його спорідненості до кисню спостерігаються у ряду видів риб, з одного боку, і у високогірних ссавців — з іншого. Перебудова типів метаболізму Нітрогену при зміні водного середовища на повітряне характеризує багато таксонів безхребетних і хребетних тварин. Подібного роду паралелізми легко пояснюються пристосуванням до одних і тих самих лімітуючих чинників середовища, що визначають саму можливість існування в даних умовах. Таким чином, принципів шляхів адаптації до певного чинника небагато; адаптивні механізми повністю запрограмовані фізико-хімічною природою даного чинника.

В еволюції великих таксонів адаптація до лімітуючих чинників нерідко визначала найфундаментальніші перебудови морфології та фізіології. Так, вихід хребетних тварин на суходіл був неможливий без подолання двох принципів лімітуючих чинників: малої щільності середовища та низької його вологості. У водному середовищі, щільність якого можна співставити зі щільністю тіла тварин, організми плавають, і локомоторна система функціонує лише для надання тілу поступального руху. У повітряному середовищі такий принцип локомоції виявився непридатним. Завдяки малій щільності повітря наземні тварини притиснені до субстрату вагою власного тіла. Еволюційно це завдання вирішувалося шляхом формування кінцівок типу важелів, здатних одночасно забезпечити функцію опори на субстрат і функцію поступального руху. Низька вологість повітряного середовища лімітувала функціонування водного типу дихальної системи, оскільки створювала постійну загрозу висихання поверхні дихального епітелію. Пристосування до дихання в новому середовищі — поява легенів. У легеневих тварин дихальний епітелій не сполучається з повітряним середовищем, а пов'язаний із ним вузькими повітряними шляхами, забезпеченими системою залоз, що звожують поверхню дихального епітелію та повітря, що підводиться до нього. Одночасно йшли еволюційні перебудови покривів, спрямовані на зниження витрат вологи через поверхню тіла. Аналогічні за принципом, хоча і засновані на інших морфологічних особливостях, пристосування формувалися у ряду таксонів безхребетних тварин під час освоєння повітряного місця існування.

3.3.5. Правило двох рівнів адаптації

Організм, як і будь-яка інша біологічна система, перебуває у складних і мінливих умовах середовища, з яким підтримує безперервні та життєво важливі взаємозв'язки, засновані на обмінних процесах. **Стійкість організму, його відносна са-**

мостійність (індивідуальність), так само як і здійснення повсякденних функцій, залежать від того, наскільки структура та фізіологічні властивості організму зберігають свої головні особливості на тлі зовнішніх умов, що змінюються. Саме в цьому полягає принцип гомеостазу на рівні організму.

Поняття гомеостазу давно використовується у фізіології. Спочатку припускалось, що комплекс адаптивних реакцій забезпечує постійність внутрішнього середовища організму. Звідси виник і сам термін, який перекладається як «однаковий стан». Пізніше з'ясувалося, що сталість внутрішніх параметрів організму відносна, динамічна. Функціонування численних механізмів адаптації вже само по собі викликає певні зміни внутрішнього середовища. Тому вірніше вважати, що **гомеостаз — стан динамічної рівноваги організму із середовищем, при якому організм зберігає свої властивості та здатність до здійснення життєвих функцій на фоні змінних зовнішніх умов.** Цей стан досягається в результаті функціонування двох генеральних адаптивних систем, що діють на основі різних принципів.

Очевидно, **якщо зовнішні умови протягом достатньо тривалого часу зберігаються більш-менш постійними (зберігають сталий режим коливань навколо якогось середнього рівня), то в організмі функції (життєдіяльність) стабілізуються на рівні, адаптивному відносно цього середнього (типового) стану середовища.**

Відмінності клімату визначають географічні відмінності налаштування функціональних систем організмів, тобто різний рівень стабілізації адаптивних систем. Закономірна зміна середніх умов у часі або просторі спричиняє перехід на інший рівень стабілізації (сезонні температурні адаптації, зміна типів осморегуляції при анадромних і катадромних міграціях риб). Але повної ідентичності умов, їх абсолютної повторюваності у природі не буває. У цьому випадку відхиленням конкретних умов від середнього статистичного рівня відповідатимуть функціональні адаптації, що лабільно компенсують ці відхилення і спрямовані на забезпечення максимальної ефективності функціонування організму в межах даного стабілізованого стану. Здатність до функціональних адаптацій тим вища, чим лабільніший даний чинник у природних умовах існування виду. Ця обставина відбивається на величині властивого для виду діапазону змін чинника, що витримують особини, тобто на його екологічній валентності.

За принциповим екологічним значенням адаптивні механізми можна розділити на дві групи.

1. Механізми, що забезпечують адаптивний характер загального рівня стабілізації окремих функціональних систем

і організму в цілому щодо генералізованих і стійких параметрів місця існування.

2. Лабільні реакції, що підтримують відносну постійність загального рівня стабілізації шляхом увімкнення адаптивних функціональних реакцій під час відхилення конкретних умов середовища від середніх характеристик.

Ці дві системи, два рівні адаптації діють спільно; їхня взаємодія забезпечує точне «припасування» функцій організму до конкретного стану чинників середовища, а зрештою — стійке його існування в умовах складного та динамічного середовища.

Такі ж принципові механізми виявляються і на надорганізмених рівнях. Загальною формою доповнення розглянутої схеми шляхів адаптації до процесів еволюційного перетворення крупних таксонів є розроблена акад. О. М. Северцовим (1939) концепція ароморфозів та ідіоадаптацій, використання якої набагато ширше, ніж це зазвичай вважається. У подальшому буде показано можливість застосування правила двох рівнів адаптації до популяцій і біоценозів. Можна стверджувати, що **біологічні системи будь-якої складності адаптуються до умов функціонування двома способами: шляхом лабільних функціональних адаптацій у межах сталого рівня стабілізації системи та шляхом зміни цього загального рівня стабілізації.**

Ці два шляхи відображають «стратегію» і «тактику» адаптивного процесу й відповідають масштабам коливань зовнішніх умов. У принципі умови середовища, що викликають необхідність адаптивної відповіді, можуть бути виражені або відносно нетривалими (іноді незакономірними) відхиленнями різних параметрів від їх середніх значень, або стійкими змінами середнього рівня (режиму) умов навколишнього середовища.

3.3.6. Принципи екологічної класифікації організмів

Сучасна систематика рослин і тварин побудована на основі єдиного головного критерію — ступеня спорідненості організмів. При цьому зовнішні особливості видів, що відносяться до однієї групи, часто можуть сильно відрізнятися. Наприклад, паразит крабів саккуліна (*Sacculina carcini*), що нагадує безформний, набитий статевими продуктами мішок із сильно розгалуженою в тілі господаря мережею тяжів, зовні абсолютно не схожа на сидячих морських жолудів і морських качечок, які мають раковини, хоча всі вони відносяться до одного ряду вусоногих ракоподібних. Про спорідненість цих видів говорить глибока внутрішня подібність, що простежується на перших етапах розвитку особин.

В екології різноманітність і різноплановість способів і шляхів адаптації до середовища створюють передумови для розділення багатьох класифікацій. **Екологічні класифікації відображають схожість, що виникає у представників різноманітних груп, якщо вони використовують подібні шляхи адаптації.** В основу екологічних класифікацій можуть бути покладені найрізноманітніші критерії: способи живлення, пересування, відношення до температури, вологості, солоності середовища, тиску тощо. Поділ усіх організмів на еврибіонтних і стенобіонтних за шириною діапазону пристосувань до середовища — приклад простої екологічної класифікації.

Якщо ми класифікуємо тварин за способами руху, до екологічної групи видів, що пересуваються у воді реактивним шляхом, потраплять такі різні за походженням тварини, як медузи, головоногі молюски, деякі інфузорії та джгутикові, личинки ряду бабок тощо.

Інший приклад — поділ організмів на групи за характером живлення. Автотрофи — організми, що використовують як джерело для побудови свого тіла неорганічні сполуки. Гетеротрофи — всі живі істоти, що потребують продуктів живлення органічного походження. У свою чергу, автотрофи поділяються на фототрофів і хемотрофів.

Іншу класифікацію можна побудувати за способом здобування корму. Серед тварин виявляються, наприклад, такі групи, як фільтратори (дрібні рачки, беззубка, кит тощо), форми, що пасуться (копитні, жуки-листоїди), збирачі (дятли, кроти, землерийки, куроподібні), мисливці на рухомому здобич (вовки, леви, жуки-стрибуни, бабки тощо) і цілий ряд інших груп. Наприклад, однаковий спосіб здобування здобичі відносить і левів і жуків-стрибунів до однієї трофічної групи мисливців на рухомому здобич. Такий тип живлення і призводить до того, що в їх будові появляється ряд подібних рис: сухорлявість тіла, сильний розвиток мускулатури, здатність короткочасно розвивати велику швидкість руху тощо.

Існують класифікації і на інших принципах. Наприклад, екологічна класифікація життєвих форм рослин (екоморф) Х. Раункієра (1905, 1907). Він запропонував класифікацію рослин за місцем розташування зимуючих бруньок відносно поверхні землі: фанерофіти (їх бруньки знаходяться високо над землею; це дерева і кущі), хамефіти (бруньки на пагонах знаходяться низько над землею (20—30 см) і захищені підстилкою та сніговим покривом. Наприклад, чорниця, чебрець та ін.), гемікриптофіти (бруньки знаходяться близько до поверхні ґрунту й покриваються на зиму відмерлою надземною частиною рослини. Наприклад, суниця, кульбаба та ін.), криптофіти (бруньки зимують в бульбах, кореневищах, цибулинах під землею або під водою. Наприклад, картопля, тюльпан

та ін.), терофіти (однорічні рослини, які зимують у вигляді насіння або спор. Наприклад, грицики, жито, мак та ін.).

Іншим прикладом є екоморфи Акімова—Бельгарда (Акімов, 1948; Бельгард, 1950), які описують життєві форми рослин і тварин у пристосуванні до дії певних екологічних факторів. Наприклад, гігоморфи характеризують преференції рослин до зволоження ґрунту. Серед них розрізняють: гідрофіти, гігрофіти, мезофіти та ксерофіти. Виділяють також клімаморфи, термоморфи, геліоморфи, трофоморфи та інші.

3.3.7. Активна життєдіяльність і спокій

Обмін речовин — одна з найголовніших властивостей життя, що визначає тісний речовинно-енергетичний зв'язок організмів із середовищем. Метаболізм проявляє сильну залежність від умов існування. У природі ми спостерігаємо два основні стани життя: **активну життєдіяльність і спокій**. За активної життєдіяльності організми живляться, ростуть, пересуваються, розвиваються, розмножуються, характеризуючись при цьому інтенсивним метаболізмом. Спокій може бути різним за глибиною та тривалістю, багато функцій організму при цьому слабшають або не виконуються зовсім, оскільки рівень обміну речовин падає під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників.

У стані глибокого спокою, тобто зниженого обміну, організми стають менш залежними від середовища, набувають високого ступеня стійкості та здатні переносити умови, які не могли б витримати при активній життєдіяльності. Ці два стани, які чергуються у житті багатьох видів, — адаптація до життя в умовах нестабільного клімату, різких сезонних змін, що характерне для більшої частини планети. Уперше явище «**уявної смерті**» виявлене 1702 р. Антоні ван Левенгуком. Виявлені ним «анімалькули» (коловертки) під час висихання краплі води зморщувалися, виглядали мертвими і могли перебувати в такому стані тривалий час. Занурені знов у воду, вони набухали й переходили до активного життя. А. Левенгук пояснив це явище тим, що оболонка «анімалькулів», очевидно, «не дозволяє ані найменшого випаровування», і вони залишаються живими в сухих умовах.

У 70-х роках XVIII ст. явище «воскресіння» після висихання виявлене та підтверджене численними дослідженнями інших дрібних організмів — пшеничних вугриць, вільноживучих нематод і тихоходів. У 1878 році Клод Бернал увів до літератури поняття «приховане життя», яке він характеризував припиненням обміну речовин і «перервою відносин між істотою та середовищем».

Остаточно це питання було розв'язане лише у першій третині ХХ століття. Досліди Р. Рама, П. Беккереля та інших учених показали можливість **повної зворотної зупинки життя**. У сухому стані, коли у клітинах залишалося не більше 2 % води у хімічно зв'язаному вигляді, такі організми, як коловертки, тихоходи, дрібні нематоди, насіння та спори рослин, спори бактерій і грибів, витримували перебування в рідкому кисні ($-218,4^{\circ}\text{C}$), рідкому водні ($-259,4^{\circ}\text{C}$), рідкому гелії ($-269,0^{\circ}\text{C}$) тобто температурах, близьких до абсолютного нуля. При цьому вміст клітин стає твердим, відсутній навіть тепловий рух молекул, і обмін речовин, природно, припинений. Після повернення до нормальних умов ці організми продовжують подальший свій розвиток.

Повна тимчасова зупинка життя отримала назву **анабіозу**. Термін запропонований В. Прейєром ще 1891 року. У стані анабіозу організми стають стійкими до найрізноманітніших впливів. Наприклад, тихоходи витримували в експерименті рентгенівське опромінення до 570 тис. рентген протягом 24 годин. Зневоднені личинки одного з африканських комарів-хірономусів (*Polypodium vanderplanki*) зберігають здатність оживати після впливу температури $+102^{\circ}\text{C}$.

Анабіоз, проте, достатньо рідкісне явище. Він можливий далеко не для всіх видів і є крайнім станом спокою у живій природі. Здатність до анабіозу виявляється у видів, що мають просту або спрощену будову та мешкають в умовах різкого коливання, зокрема вологості (пересихаючі дрібні водойми, верхні шари ґрунту, подушки мохів і лишайників тощо).

Набагато більше поширені у природі інші форми спокою, пов'язані зі станом зниженої життєдіяльності у результаті часткового пригнічення метаболізму. Будь-який ступінь зниження рівня обміну речовин підвищує стійкість організмів і дозволяє економніше витрачати енергію.

Форми спокою у стані зниженої життєдіяльності поділяють на **гіпобіоз** і **крипобіоз**, або **спокій вимушений** і **спокій фізіологічний**. При **гіпобіозі** гальмування активності (заціпеніння) виникає під прямим тиском несприятливих умов і припиняється майже відразу після того, як ці умови повертаються до норми. Подібне пригнічення процесів життєдіяльності може виникати за нестачі тепла, води, кисню, підвищення осмотичного тиску. Відповідно до провідного зовнішнього чинника вимушеного спокою розрізняють **кріобіоз** (за низьких температур), **ангідробіоз** (за нестачі води), **аноксибіоз** (за анаеробних умов), **гіперосмобіоз** (за високого вмісту солей у воді).

Глибина та тривалість пригнічення метаболізму при гіпобіозі залежать від тривалості та інтенсивності дії відповід-

ного чинника. Вимушений спокій настає на будь-якій стадії онтогенезу. Вигоди гіпобіозу — швидке відновлення активної життєдіяльності. Проте гіпобіоз — це відносно нестійкий стан організмів і за значної тривалості може бути шкідливим унаслідок розбалансування метаболічних процесів, виснаження енергетичних ресурсів, накопичення недоокиснених продуктів обміну та інших несприятливих фізіологічних змін.

Криптобіоз — принципово інший тип спокою. Він пов'язаний із комплексом ендогенних фізіологічних перебудов, які відбуваються заздалегідь, до настання несприятливих сезонних змін, і організми виявляються до них готовими. Криптобіоз — адаптація перш за все до сезонної або іншої періодичності абіотичних чинників середовища, їх регулярної циклічності. Він складає частину життєвого циклу організмів, виникає не на будь-якій, а на певній стадії індивідуального розвитку, приурочений до переживання критичних періодів року. Криптобіоз як стратегія виживання в періодично несприятливих для активного життя умовах — продукт тривалої еволюції та природного добору. Він значно поширений у живій природі. Стан криптобіозу характерний для насіння рослин, цист і спор різних бактерій, найпростіших, грибів, водоростей. Діапауза членистоногих, сплячка ссавців, глибокий спокій рослин — також різні типи криптобіозу.

Стани гіпобіозу, криптобіозу й анабіозу забезпечують виживання видів у природних, часто екстремальних, умовах різних широт, дозволяють зберігати організм протягом тривалих несприятливих періодів, розселятися у просторі, розширювати межі живого в цілому.

3.4. Найважливіші абіотичні фактори та адаптації до них

Величезну кількість абіотичних факторів Г. Вальтер (1979) звів до п'яти первинних прямих (тепло, світло, вода, хімічні, механічні), які мають одиниці виміру і не можуть бути поділені на складові, і чотири групи комплексних (кліматичні, орографічні, едафічні та біотичні), які не мають одиниць виміру. Нижче розглянемо деякі з них.

3.4.1. Тепло

Тепло — це один із найголовніших екологічних чинників, який визначає розподіл організмів на земній кулі. Кількісним показником тепла є температура, яка відображає середню кінетичну швидкість атомів і молекул у будь-якій системі. Від температури залежить і швидкість біохімічних

реакцій в організмі, обмін його речовин. Швидкість реакцій визначається коефіцієнтом, який показує, у скільки разів змінюється швидкість реакцій при зміні температури на 10 °С (позначається Q_{10}) і відносно легко розраховується:

$$Q_{10} = \left(\frac{K_1}{K_2} \right)^{\frac{10}{(T_2 - T_1)}},$$

де K_1 і K_2 — рівень метаболізму за температури T_1 і T_2

Для більшості хімічних реакцій величина цього коефіцієнта дорівнює 2—3 (**закон Вант-Гоффа**). Оскільки величина Q_{10} для різних біохімічних реакцій різна, зміни температури можуть сильно впливати на збалансованість обміну речовин.

Істотне зниження температури становить небезпеку такого уповільнення обміну речовин, за якого стане неможливим здійснення основних життєвих функцій організму. Критичний момент — замерзання води у клітинах, оскільки поява кристалів льоду несумісна зі збереженням цілісності внутрішньоклітинних структур.

Підвищення температури веде до денатурації білків. Цей процес спостерігається приблизно при +60 °С, але порушення біохімічних і фізіологічних процесів починається раніше, вже при деякому перевищенні +42...+43° С. Посилення метаболізму при високих температурах тіла також може вивести організм із ладу ще задовго до теплового руйнування ферментів, оскільки різко зростають потреби у поживних речовинах і кисні. Таким чином, життя організмів у середовищі з низькими, високими та мінливими температурами потребує адаптацій, що формуються у процесі еволюції та індивідуального розвитку.

У процесі еволюції живих організмів виробилися різноманітні пристосування, які дозволяють регулювати обмін речовин при змінах температури навколишнього середовища. Це досягається двома шляхами: 1) різними біохімічними та фізіологічними перебудовами (зміна набору, концентрації та активності ферментів, зневоднення, зниження точки замерзання розчинів тіла тощо); 2) підтриманням температури тіла на стабільнішому рівні, ніж температура навколишнього середовища, що дозволяє не порушувати хід біохімічних реакцій, що склався.

Температурні межі існування видів

У середньому активна життєдіяльність організмів вимагає досить вузького діапазону температур, обмеженого критичними порогами замерзання води та теплової денатурації білків, приблизно в межах від 0 до +50 °С. Існують екологічні групи організмів, оптимум яких зміщений у бік низьких або високих температур.

Кріофіли — види, що надають перевагу холоду та спеціалізовані до життя в цих умовах. Понад 80 % біосфери сконцентровано в постійно холодних областях із температурою нижче +5 °С — це глибини Світового океану, арктичні та антарктичні пустелі, тундра, високогір'я. Види, що мешкають тут, мають підвищену холодостійкість. Основні механізми цих адаптацій біохімічні — значну роль тут відіграють біохімічні механізми, які запобігають утворенню льоду усередині клітин. При цьому реалізуються два основні шляхи — протистояння замерзанню (**резистентність**) і стійкість до замерзання (**толерантність**).

Біохімічний механізм резистентності — накопичення у клітинах макромолекулярних речовин-антифризів, які знижують точку замерзання рідин тіла та перешкоджають утворенню кристалів льоду в організмі. Такого типу адаптації до холоду виявлені, наприклад, у антарктичних риб роду нототенієвих, які живуть за температури тіла $-1,86^{\circ}\text{C}$, плаваючи під поверхнею суцільного льоду у воді з такою ж температурою. Глибоководні риби у приполярних районах також весь час знаходяться у переохолодженому стані.

Інший шлях холодостійкості — толерантність — пов'язаний із тимчасовим припиненням активного стану (**гіпобіозом** або **криптобіозом**). У комах, наприклад, накопичення захисних органічних речовин, таких як гліцерин, сорбіт, манніт і інших, перешкоджає кристалізації внутрішньоклітинних розчинів і дозволяє переживати критичні морозні періоди у стані заціпеніння. Жуки-туруни у тундрі витримують переохолодження до -35°C , накопичуючи до зими близько 25 % гліцерину та знижуючи вміст води в тілі з 65 до 54 %. Улітку гліцерину у їх тілі не виявлено. Деякі комахи витримують узимку до -47°C і навіть -50°C із замерзанням позаклітинної, але не внутрішньоклітинної вологи.

Термофіли — це екологічна група видів, оптимум життєдіяльності яких приурочений до області високих температур. Термофілією відрізняються багато представників мікроорганізмів, рослин і тварин, що трапляються в гарячих джерелах, на поверхні ґрунтів, що прогріваються, в органічних залишках, що розкладаються при їх саморозігріванні.

Верхні температурні межі активного життя відрізняються у різних груп організмів. Найбільш термостійкі — бактерії. У деяких видів археобактерій, поширених у воді термальних джерел, експериментально виявлено здатність до росту та поділу клітин за температур, що перевищують $+110^{\circ}\text{C}$. Деякі бактерії, що окислюють сульфур (наприклад, *Sulfolobus acidocaldarius*), розмножуються при $+85...+90^{\circ}\text{C}$.

Відомі десятки видів, здатних бути активними при $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище в таких місцях існування, як компости, копиці сіна, зерно, що зберігається, ґрунт, що прогрівається, звалища тощо. Найпростіші — амеби та інфузорії, одноклітинні водорості можуть розмножуватися за температури близько $+54...+56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Критичні температури тіла деяких тварин, наприклад пустельних ящірок, можуть досягати $+48...+49\text{ }^{\circ}\text{C}$, але для більшості видів температури тіла, що перевищують $+43...+44\text{ }^{\circ}\text{C}$, несумісні з життям унаслідок розбалансування фізіологічних процесів і коагуляції колагену. *З ускладненням організації живих істот їх здатність бути активними при високих температурах знижується.*

Вузька спеціалізація та латентні стани набагато розширюють межі життя відносно окремих чинників середовища. Якщо середні температурні межі активності організмів характеризуються діапазоном від 0 до $+40...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, то спеціалізовані види (кріофіли та термофіли) розширюють його більше ніж удвічі (від -10 до близько $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$), а у стані криптобіозу та анабіозу деякі форми життя здатні витримувати температури, близькі до абсолютного нуля або такі, що набагато перевищують точку кипіння.

Температура тіла і тепловий баланс організмів

Температура тіла живих істот по-різному залежить від температури навколишнього середовища. Баланс тепла в організмі складається з його надходження та витрат. Джерела надходження теплової енергії поділяються на зовнішні та внутрішні. Зовнішнє (**екзогенне**) тепло організм отримує від нагрітих води, повітря, навколишніх предметів, прямої сонячної радіації. При цьому велику роль відіграють площа покривів та їх теплопровідність. Внутрішнє (**ендогенне**) тепло виробляється як обов'язковий атрибут обміну речовин.

Для характеристики організмів за основними джерелами необхідного їм тепла використовують терміни «ектотермний» («екзотермний») і «ендотермний». **Ектотермія — життєдіяльність переважно за рахунок нагрівання із зовнішнього середовища, ендотермія — за рахунок тепла, що виробляється самим організмом.**

Витрати тепла відбуваються через поверхню тіла за рахунок випромінювання та теплопровідності, а також за рахунок енергоємного випаровування води організмами. Співвідношення цих теплообмінних процесів визначає температуру живих істот і впливає на швидкість метаболічних реакцій.

Життєдіяльність і активність більшості видів на Землі залежать перш за все від тепла, що надходить ззовні, а температура тіла зумовлена зовнішньою температурою. Такі організми називають **пойкілотермними**. Пойкілотермність властива всім мікроорганізмам, грибам, рослинам, безхребетним

тваринам і значній частині хордових. Дві групи вищих тварин — птахів і ссавців — відносять до **гомойотермних**. Вони здатні підтримувати постійну оптимальну температуру тіла у широкому діапазоні температур середовища.

Серед пойкилотермних організмів є такі, які все життя проводять в умовах постійних зовнішніх температур (глибини океанів, печери тощо), у зв'язку з чим температура їх тіла не змінюється. Таке явище називають **удаваною гомойотермією**. Вона властива, наприклад, ряду риб і голкошкірих.

Ще одна група тварин — **гетеротермні**. До неї входять види, що впадають у сплячку або тимчасове заціпеніння. Ці види в активному стані підтримують постійну температуру тіла на високому рівні, а в неактивному — знижену, що супроводжується уповільненням обміну речовин. Це бабаки, ховрахи, кажани, вовчки, їжаки, колібрі, серпокрильці тощо. *Таким чином, терміни «пойкілотермія», «гомойотермія», «удавана гомойотермія» і «гетеротермія» відображають ступінь мінливості температури тіла живих істот.*

Усі живі організми потенційно ендотермні, але значно відрізняються за рівнем обміну та можливостями збереження тепла. Порушення теплового балансу змінюють температуру тіла. Відновити порушений баланс можна трьома шляхами: 1) зміною теплопродукції, 2) зміною тепловіддачі та 3) переміщенням у просторі у зону оптимальних температур середовища. Пойкілотермні та гомойотермні організми по-різному реалізують можливості температурних адаптацій.

Температурні адаптації пойкилотермних організмів

Температура тіла пойкилотермних тварин змінюється услід за температурою навколишнього середовища. Вони переважно ектотермні: вироблення та збереження власного тепла у них недостатньо для протистояння тепловому режиму місця існування. У зв'язку з цим реалізуються два основні шляхи адаптації: **спеціалізація** та **толерантність**.

Спеціалізовані види стенотермні, вони пристосовані до життя у таких ділянках біосфери, де коливання температури відбуваються лише у вузьких межах. Вихід за ці межі для них згубний. Наприклад, коралові поліпи живуть лише в діапазоні температур води від $+20,5...+30,0$ °C, тобто у тропічному поясі океану. Голотурія *Elpidia glacialis* мешкає при температурі води $0...+1$ °C і не витримує відхилення від цього режиму ані на градус.

Інший шлях адаптації пойкилотермних видів — **розвиток пристосувань клітин і тканин до широкого коливання температур**. Цей шлях (толерантність) пов'язаний із періодичним гальмуванням обміну речовин і переходом організмів до латентного стану, особливо тоді, коли температура середовища істотно відхиляється від оптимуму.

Ефективні температури розвитку пойкилотермних організмів. Залежність темпів росту та розвитку від зовнішніх температур дає можливість розрахувати проходження життєвого циклу видів у конкретних умовах. Після холодового пригнічення нормальний обмін речовин особин відновлюється для кожного виду за певної температури, яка зветься **температурним порогом розвитку, або біологічним нулем розвитку**. Чим більше температура середовища перевищує порогову, тим інтенсивніше протікає розвиток і, отже, тим швидше завершується проходження окремих стадій і всього життєвого циклу організму (онтогенезу).

Для здійснення генетичної програми розвитку пойкилотермним організмам необхідно отримати ззовні певну кількість тепла. Це тепло вимірюється сумою ефективних температур. Під **ефективною температурою розуміють різницю між температурою середовища та температурним порогом розвитку організмів**. Для кожного виду вона має верхні межі, оскільки дуже високі температури вже не стимулюють, а гальмують розвиток.

Суму ефективних температур розраховують за формулою:

$$X = (T - C) \cdot t,$$

де X — сума ефективних температур, T — температура навколишнього середовища, C — температура порога розвитку і t — кількість годин або діб із температурою, що перевищує поріг розвитку.

Знаючи середній хід температур в будь-якому районі, можна розрахувати появу певної фази або кількість можливих генерацій виду, що цікавить нас. У кліматичних умовах Північної України може відродитися лише одна генерація метелика яблуневої плодожерки, а на півдні України — до трьох, що необхідно враховувати під час розроблення заходів захисту садів від шкідників. Саме сума ефективних температур, яку потрібно набрати для завершення життєвого циклу, часто обмежує географічне поширення видів.

Температурна компенсація. Ряд пойкилотермних видів, що мешкають в умовах мінливих температур, мають здатність підтримувати більш-менш постійний рівень обміну речовин у досить широких межах зміни температури тіла. Це явище зветься **температурною компенсацією** і відбувається в основному за рахунок біохімічних адаптацій. Наприклад, у червоногих (літторини, *Littorina littorea*) і двостулкових (мідій, *Mytilus edulis*) молюсків, які трапляються на узбережжі Баренцового моря, інтенсивність обміну речовин майже не залежить від температури в тих межах, з якими молюски стикаються щодня під час припливів і відпливів. У весняно-літній період цей діапазон сягає понад 20 °C (від +6 до +30 °C). У холод-

ній воді їх метаболізм такий же інтенсивний, як і в теплому повітрі. Це забезпечується роботою ферментів, які при пониженні температури змінюють свою конфігурацію таким чином, що зростає їх спорідненість до субстрату, і реакції протікають активніше.

Інші способи температурної компенсації пов'язані із заміною ферментів, що діють, на подібні за функцією, але які працюють при іншій температурі (ізоферменти). Такі адаптації вимагають часу, оскільки відбувається інактивація одних генів і вмикання інших із подальшими процесами побудови білків. Подібна **аклімація** (зміщення температурного оптимуму) лежить в основі сезонних перебудов, а також виявляється у представників поширених видів у різних за кліматом частинах ареалу. Ряд пойкилотермних організмів має здатність до часткової регуляції теплообміну, тобто певними способами збільшувати надходження тепла до організму або віддавати його надлишок.

Можливості регуляції температури у пойкилотермних тварин. Найважливіша особливість тварин — їхня рухливість, здатність переміщатися у просторі — створює принципово нові адаптивні можливості, зокрема й у терморегуляції. Тварини активно обирають місце життя зі сприятливішими для них умовами. На відміну від рослин тварини, що мають мускулатуру, продукують значно більше власного, внутрішнього тепла. Під час скорочення м'язів вивільняється значно більше теплової енергії, ніж при функціонуванні будь-яких інших органів і тканин, оскільки ККД використання хімічної енергії для здійснення м'язової роботи відносно низький. Чим потужніша та активніша мускулатура, тим більше тепла може генерувати тварина.

Пойкілотермні тварини залишаються екзотермними, оскільки загальний рівень їх метаболізму не настільки високий, щоб внутрішнього тепла було достатньо для обігріву тіла. Проте деякі з пойкилотермних тварин у стані активності здатні підтримувати температуру тіла вищу, ніж у навколишньому середовищі. Наприклад, метелики-бражники, що ведуть нічний спосіб життя, літають і живляться на квітках навіть при $+10^{\circ}\text{C}$. Під час польоту температура їх грудного відділу підтримується на рівні $+40...+41^{\circ}\text{C}$. Інші комахи можуть літати у холодному повітрі, заздалегідь розігрівавши свої літальні м'язи для злету (сарана, джмелі, оси, бджоли, великі нічні совки). Джмелі збирають нектар навіть при $+5^{\circ}\text{C}$, маючи температуру тіла $+36...+38^{\circ}\text{C}$. При припиненні активності комахи швидко остигають. Генерувати тепло для обігріву можуть у деяких випадках і рептилії. Самка пітона, що обвиває своїм тілом кладку, скорочуючи мускулатуру, здатна

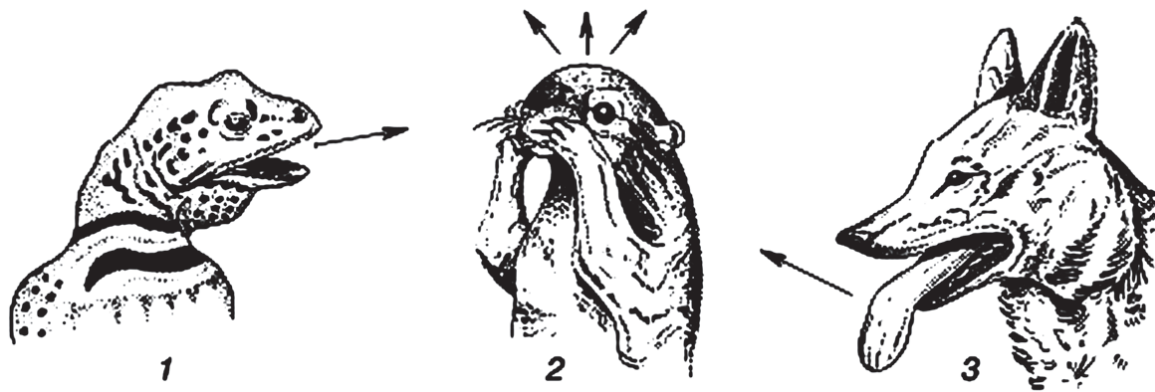


Рис. 3.8. Випаровувальна терморегуляція у тварин (Чернова, Билова, 2004): 1 — випаровування зі слизових оболонок (ящірка), 2 — натирання слиною (антилоповий ховрах), 3 — випаровування за рахунок частого дихання (собака)

підвищувати температуру на 5—6 °С у діапазоні зовнішніх температур +25...+33 °С. У прохолоднішому повітрі змія стає млявою та неактивною.

Основні способи регуляції температури тіла у пойкилотермних тварин — поведінкові: зміна пози, активний пошук сприятливих місць, низка спеціалізованих форм поведінки, спрямована на створення мікроклімату (риття нір, спорудження гнізд тощо). Зміною пози тварина може посилити або послабити нагрівання за рахунок сонячної радіації. Наприклад, пустельна сарана у прохолодні ранішні години підставляє сонячним променям широку бічну поверхню тіла, а опівдні — вузьку спинну. Ящірки, навіть високо в горах, у період нормальної активності можуть підтримувати температуру тіла завдяки нагріванню прямими сонячними променями, а також використовуючи тепло нагрітих скель і каміння. У сильну спеку тварини ховаються у тінь, у нори, щілини. У пустелях вдень, наприклад, деякі види ящірок і змії піднімаються на кущі або зариваються в менш нагріті глибші шари піску, уникаючи контактів із розпеченою поверхнею ґрунту. Ще складніші форми поведінки соціальних комах: бджіл, мурашок, термітів, які будують гнізда з добре регульованою усередині них температурою, майже постійною у період їх активності.

У деяких пойкилотермних тварин ефективно діє механізм **випаровувальної терморегуляції** (рис. 3.8). За рахунок цього жаби за годину при +20 °С витрачають на суходолі близько 7770 Дж, що у 300 разів більше за їх власну теплопродукцію. Багато рептилій при наближенні температури до верхньої критичної починають важко дихати або тримати рот відкритим, посилюючи віддачу води зі слизових оболонок. Бджоли, що літають у спеку, уникають перегріву, виділяючи з рота краплю рідини, випаровування якої видаляє надлишок тепла.

Незважаючи на ряд можливостей фізичної та поведінкової терморегуляції, пойкилотермні тварини можуть здійснювати її лише у вузькому діапазоні температур. Унаслідок низького загального рівня метаболізму вони не можуть забезпечити постійність теплового балансу і достатньо активні тільки у вузькому діапазоні верхніх температурних меж існування. Мешкання в умовах постійно низьких температур для холонокровних тварин утруднене.

Температурні адаптації гомойотермних організмів

Гомойотермія — принципово інший шлях температурних адаптацій, що виник на основі різкого підвищення рівня окиснювальних процесів у птахів і ссавців у результаті еволюційного вдосконалення кровоносної, дихальної та інших систем органів.

Основні відмінності гомойотермних тварин від пойкилотермних:

- 1) потужний потік внутрішнього, ендогенного тепла;
- 2) розвиток цілісної системи ефективних терморегуляторних механізмів;
- 3) постійне протікання всіх фізіологічних процесів в оптимальному температурному режимі.

Гомойотермні тварини зберігають постійний тепловий баланс між теплопродукцією та тепловіддачею і, відповідно, підтримують постійну високу температуру тіла. Організм типової гомойотермної (не гетеротермної) тварини не може бути тимчасово «зупинений» так, як це відбувається при гіпобіозі або криптобіозі у пойкилотермних.

Гомойотермні тварини завжди забезпечують певний мінімум теплопродукції, що дає можливість роботи кровоносної системи, органів дихання, виділення та інших, навіть у стані спокою. Цей мінімум отримав назву **базального метаболізму**. Перехід до активності посилює вироблення тепла і, відповідно, вимагає посилення тепловіддачі.

Теплокровним властива **хімічна терморегуляція — рефлекторне збільшення теплопродукції у відповідь на зниження температури середовища**. Хімічна терморегуляція повністю відсутня у пойкилотермних, у яких, у разі виділення додаткового тепла, воно генерується за рахунок безпосередньої рухової активності тварин.

При дії холоду в організмі теплокровних тварин окиснювальні процеси не слабшають, а посилюються, особливо у скелетних м'язах. У багатьох тварин спочатку спостерігається м'язове тремтіння — неузгоджене скорочення м'язів, що приводить до виділення теплової енергії. Крім того, клітини м'язової та багатьох інших тканин виділяють тепло і без здійснення робочих функцій, переходячи до стану особливого то-

нуса терморегуляції. При подальшому зниженні температури середовища тепловий ефект тонуся терморегуляції зростає.

Під час продукування додаткового тепла суттєво посилюється обмін ліпідів, оскільки нейтральні жири містять основний запас хімічної енергії. Внаслідок цього жирові запаси тварин забезпечують кращу терморегуляцію. Ссавці мають навіть спеціалізовану *буру жирову тканину*, під час окиснення якої вся хімічна енергія, що вивільняється, розсіюється у вигляді тепла, тобто йде на обігрів організму. Бура жирова тканина найбільш розвинена у тварин — мешканців холодного клімату та гетеротермних тварин.

Підтримання температури тіла за рахунок зростання теплопродукції вимагає значних витрат енергії, тому тварини при посиленні хімічної терморегуляції або мають потребу у великій кількості корму, або витрачають багато жирових запасів, накопичених раніше. Наприклад, бурозубка-крихітка (*Sorex minutissimus*) має виключно високий рівень метаболізму. У тварини чергуються дуже короткі періоди сну та активності, вона діяльна у будь-яку годину доби і за добу з'їдає корму учетверо більше маси власного тіла. Так само і птахам, що залишаються на зиму у помірних широтах, потрібно багато корму: їм страшні не стільки морози, скільки нестача кормів. Зокрема, при гарному врожаї насіння ялини та сосни шишкарі взимку навіть виводять пташенят. Посилення хімічної терморегуляції, таким чином, має свої межі, обумовлені можливістю добування їжі. При нестачі корму взимку такий шлях терморегуляції екологічно не вигідний.

У межах відповідного діапазону зовнішніх температур гомойотермні тварини підтримують температуру тіла, не витрачаючи на це додаткової енергії, а використовуючи ефективні механізми **фізичної терморегуляції**, що дозволяє краще зберігати або відводити тепло базального метаболізму. Цей *діапазон температур, у межах якого тварини відчують себе найкомфортніше, називається термонеutralною зоною*. За нижнім порогом цієї зони починається хімічна терморегуляція, за верхнім — витрати енергії на випаровування.

Фізична терморегуляція екологічно вигідна, оскільки адаптація до холоду здійснюється не за рахунок додаткового вироблення тепла, а за рахунок збереження його в тілі тварини. Крім того, цей вид терморегуляції дає можливість захисту від перегріву шляхом посилення тепловіддачі до зовнішнього середовища.

Способи фізичної терморегуляції численні. У філогенетичному розвитку ссавців механізми фізичної терморегуляції стають все досконалішими та різноманітнішими. До них слід віднести *рефлекторне звуження та розширення кровоносних*

судин шкіри, що міняє її теплопровідність, зміну теплоізолювальних властивостей хутра та пір'яного покриву, протиточний теплообмін шляхом контакту судин при кровопостачанні окремих органів, регуляцію випаровувальної тепловіддачі.

Густе хутро ссавців, пір'яний і, особливо, пуховий покрив птахів дозволяють зберігати навколо тіла прошарок повітря з температурою, близькою до температури тіла тварини, і, тим самим, зменшувати випромінювання тепла у зовнішнє середовище. Тепле зимове хутро ссавців Заполяр'я дозволяє їм у холоди обходитися без істотного підвищення обміну речовин і знижує потребу в живленні — песці на узбережжі Північного Льодовитого океану узимку споживають корму навіть менше, ніж влітку. У морських ссавців (ластоногих і китів) шар підшкірної жирової клітковини розподілений по всьому тілу. Товщина підшкірного жиру в особин окремих видів тюленів сягає 7—9 см, а загальна його маса становить до 40—50 % маси тіла. Теплоізолювальний ефект такої «жирової панчохи» настільки високий, що під тюленими, які годинами лежать на снігу, сніг не тане, хоча внутрішня температура тіла тварини підтримується на рівні +38 °С.

Важливе значення для підтримання температурного балансу має відношення поверхні тіла до його об'єму, оскільки відомо, що масштаби продукування тепла залежать від маси тварини, а теплообмін відбувається через її покриви.

Зв'язок розмірів і пропорцій тіла тварин із кліматичними умовами їх мешкання був виявлений ще в ХІХ ст. Згідно з **правилом Бергмана (1848)**, якщо два близькі види теплокровних тварин відрізняються розмірами, то більший мешкає в холоднішому, а дрібніший — у теплом кліматі. Бергман підкреслював, що ця закономірність виявляється лише в тому випадку, якщо види не відрізняються іншими пристосуваннями до терморегуляції.

Д. Аллен у 1877 р. помітив, що у багатьох ссавців і птахів Північної півкулі відносні розміри кінцівок та інших виступаючих частин тіла (хвостів, вух, дзьобів) збільшуються з поширенням на південь. Ця закономір-

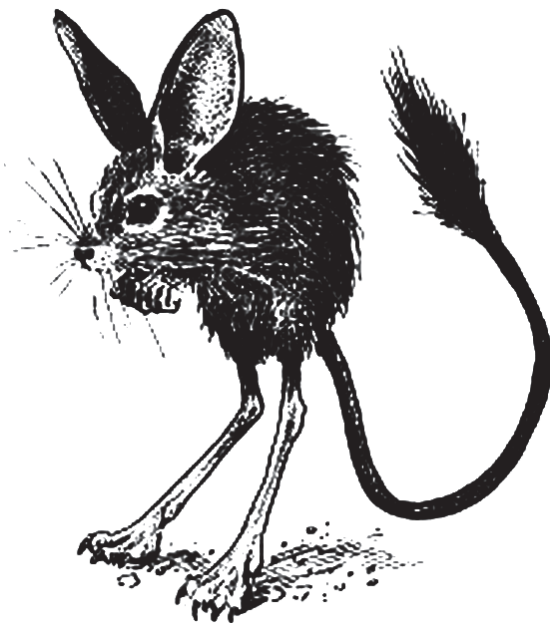


Рис. 3.9. Вуха африканського довговухого тушканчика як орган терморегуляції (Соколов и др., 1977)

ність отримала назву **правила Аллена**. Значення окремих ділянок тіла в терморегуляції далеко не рівноцінне. Виступаючі частини тіла мають велику відносну поверхню, яка вигідна в умовах спекотного клімату. У певних ссавців, наприклад, значення для підтримки теплового балансу мають вуха, насичені великою кількістю кровоносних судин. Величезні вуха африканського слона, маленької пустельної лисички-фенека, американського зайця перетворилися на спеціалізовані органи терморегуляції (рис. 3.9).

Під час адаптацій тварин до холоду проявляється **закон економії поверхні**: *компактна форма тіла з мінімальним відношенням площі до об'єму найвигідніша для збереження тепла.*

Поведінкові способи регуляції теплообміну для теплокровних тварин не менш важливі, ніж для пойкилотермних: від зміни пози та пошуків схованок до спорудження складних нір, гнізд, здійснення ближніх і дальніх міграцій. У норах рийних тварин хід температур згладжений тим сильніше, чим більша глибина нори. У середніх широтах на глибині 150 см від поверхні ґрунту сезонні коливання температури майже не спостерігаються.

У ряді випадків гомойотермні тварини використовують із метою терморегуляції групову поведінку. Наприклад, деякі пінгвіни в лютий мороз і бурани збиваються у щільну купу, так звану «черепаху». Особини, що опинилися на периферії, через деякий час пробиваються всередину, і «черепаху» поволі кружляє та переміщується. Усередині такого скупчення температура підтримується близько $+37^{\circ}\text{C}$ навіть у найлютіші морози. Мешканці пустель — верблюда — у спеку також збиваються разом, притискаючись один до одного боками, але цим досягається протилежний ефект — запобігання сильному нагріванню усієї поверхні тіла сонячними променями. Температура у центрі скупчення тварин дорівнює температурі їх тіла ($+39^{\circ}\text{C}$), тоді як шкіра на спині та боках крайніх тварин нагрівається до $+70^{\circ}\text{C}$.

Поєднання ефективних способів хімічної, фізичної та поведінкової терморегуляції при загальному високому рівні окислювальних процесів в організмі дозволяє гомойотермним тваринам підтримувати свій тепловий баланс на тлі широких коливань зовнішньої температури.

Екологічні вигоди пойкилотермії та гомойотермії

Пойкілотермія та гомойотермія — дві альтернативні стратегії виживання організмів в умовах температур, що змінюються. Кожна з них має свої переваги та недоліки.

Пойкілотермність — підпорядкування організмів перебігу зовнішніх температур. Виробляючи порівняно мало ендогенного тепла та маючи лише окремі терморегуляторні реакції,

пойкілотермні організми не можуть забезпечити сталості теплообміну, тому при коливаннях температури середовища їх активність переривчаста. Перехід особин до неактивного стану пов'язаний із розвитком механізмів толерантності їх до змін температури тіла.

Гомойотермність — стратегія протистояння впливу чинників середовища. Організм гомойотермної тварини завжди функціонує тільки у вузьких температурних межах. За цими межами життя неможливе, оскільки організм втрачає здатність витримувати значні коливання температури тіла. Проте, відрізняючись високою інтенсивністю окислювальних процесів в організмі та маючи потужний комплекс терморегуляторних засобів, гомойотермні тварини можуть підтримувати для себе постійний температурний оптимум навіть при значних відхиленнях зовнішніх температур, що дозволяє їм освоювати різні середовища існування.

Поєднання елементів різних стратегій

Ряд тварин здатні поєднувати переваги обох стратегій теплообміну. У деяких видів гомойотермних, що освоюють екстремальні умови, а особини перебувають на межі можливого підтримання теплового балансу тіла, виникають елементи пристосування, що нагадують пойкілотермію і дозволяють економити енергію. **Гетеротермія** — особлива адаптивна стратегія птахів і ссавців, коли закономірно поєднується використання вигод як постійності температури тіла, так і її зміни. Основні форми прояву гетеротермії — здатність впадати в **сплячку** або **торпідний стан** (заціпеніння).

Зимівля характерна для низки ссавців, поширена у однопрохідних, комахоїдних, гризунів і рукокрилих. Впадаючи у сплячку, тварини припиняють підтримання високої температури тіла, знижуючи її лише до декількох градусів вище нуля. Часто тварини проводять у сплячці довгі місяці (іноді до половини року), поступово витрачаючи накопичені резерви (табл. 3.1). Зимовий сон ведмедів, до речі, не називають сплячкою, оскільки температура цих звірів знижується лише на 3—6 °С, а зниження рівня метаболізму незначне.

Торпідний стан, або заціпеніння, супроводжує зимівлю тварин, але виникає і в інших умовах як самостійна адаптація. Низка дрібних видів птахів і ссавців знижує рівень обміну і температуру тіла за несприятливих погодних змін або регулярно в добових циклах. У колібрі, наприклад, із настанням ночі температура тіла знижується з +36...+40 до +18 °С, птахи сідають на гілки й ціпеніють. Кажани, навпаки, активні у присмеркові та нічні години і впадають у торпідний стан удень. Перехід до заціпеніння стимулюється також і нестачею корму. За одних і тих самих температурних умов забезпечені кормом тварини можуть продовжувати активний

спосіб життя й генерувати тепло на терморегуляцію, а за браку їжі впадають у стан заціпеніння.

Таблиця 3.1.

Кратність зниження рівня метаболізму під час сплячки (M_c) порівняно з активним станом (M_a) у гризунів (Шилов, 1998)

Види	Маса тіла, г	M_c/M_a
Байбак альпійський (<i>Marmota marmota</i>)	2007	21,5
Їжак звичайний (<i>Erinaceus europaeus</i>)	642	46,6
Ховрах європейський (<i>Citellus citellus</i>)	227	53,0
Вовчок (<i>Glis glis</i>)	129	72,6
Соня садова (<i>Eliomys quercinus</i>)	63	56,6
Соня ліщинова (<i>Muscardinus avellanarius</i>)	19	76,6

Між короткочасним заціпенінням гетеротермних тварин і тривалою зимівлею існує низка переходів. У пустелях ряд дрібних ссавців (мишоподібні гризуни, вовчки, деякі ховрахи, тенреки тощо) впадають не тільки у зимову, а і в літню сплячку, яка зветься **естивацією** (від лат. *aestes* — літо). Температура їх тіла падає при цьому не так значно (до +25...+27 °C), але відповідне зниження рівня метаболізму дозволяє економити не тільки енергію, а й воду. Таким чином, широке поширення гетеротермності дозволяє вважати фундаментальним значення цього явища для виживання тварин у несприятливих умовах.

3.4.2. Світло

Усім живим організмам для життєдіяльності необхідна енергія, що надходить ззовні. Основне джерело її — сонячна радіація, на яку припадає близько 99,9 % загального балансу енергії Землі. Якщо прийняти сонячну енергію, що досягає Землі, за 100 %, то приблизно 19 % її поглинається під час проходження через атмосферу, 34 % відбивається у космічний простір і 47 % досягає земної поверхні у вигляді прямої та розсіяної радіації. Пряма сонячна радіація — континуум електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль від 0,1 до 30 000 нм. На ультрафіолетову частину спектра припадає 1—5 %, на видиму — 16—45 %, на інфрачервону — 49—84 %.

Розподіл сонячної енергії за спектром істотно залежить від маси атмосфери й змінюється залежно від висоти стояння Сонця. Кількість розсіяної радіації (відбиті промені) зростає зі зменшенням висоти стояння Сонця та збільшенням каламутності атмосфери. Спектральний склад сонячної радіа-

ції безхмарного неба характеризується максимумом енергії в діапазоні 400—480 нм.

Світло як умова орієнтації тварин

Для тварин сонячне світло не є таким вкрай необхідним чинником, як для зелених рослин, оскільки всі гетеротрофи існують за рахунок енергії, накопиченої автотрофами. Проте й у житті тварин світлова частина спектра сонячного випромінювання відіграє важливу роль. Різні види тварин мають потребу у світлі певного спектрального складу, інтенсивності та тривалості освітлення. Відхилення від норми пригнічують їх життєдіяльність і навіть призводять до загибелі. Розрізняють види світлолюбні (**фотофіли**) та тіньолюбиві (**фотофоби**); **еврифотні** таксони витримують широкий діапазон освітленості, **стенофотні** — обмежені умови освітленості.

Світло для тварин — необхідна умова бачення, зорової орієнтації у просторі. Розсіяні, відбиті від навколишніх предметів промені, сприйняті органами зору тварин, дають їм значну частину інформації щодо зовнішнього світу. Повнота зорового сприйняття навколишнього середовища залежить у тварин у першу чергу від ступеня еволюційного розвитку. Примітивні вічка багатьох безхребетних — просто світлочутливі клітини, оточені пігментом, а в одноклітинних — світлочутлива ділянка цитоплазми. Органи зору з окремих вічок не дають зображення предметів, а сприймають лише коливання освітленості, чергування світла та тіні, що свідчать про зміни навколишнього середовища. Павуки, наприклад, можуть розрізняти контури рухомих предметів на відстані 1—2 см.

Образне бачення можливе лише за достатньо складної будови ока. Найдосконаліші органи зору — очі хребетних, головоногих молюсків і комах. Вони дозволяють сприймати форму та розміри предметів, їх колір, визначати відстань до них.

Поняття видимого світла певною мірою умовне, оскільки окремі види тварин сильно різняться за здатністю сприймати різні частини сонячного спектра. Деякі тварини, наприклад гримучі змії, відчують інфрачервону частину спектра та ловлять здобич у темряві, орієнтуючись за допомогою спеціальних органів. Для бджіл видима частина спектра зміщена до короткохвильової зони. Вони сприймають як колір значну частину ультрафіолетових променів, але не розрізняють червону частину спектра.

Здатність до розрізнення кольорів значною мірою залежить і від того, за якого спектрального складу випромінювання активні особини виду. Більшість ссавців, що походять від предків із присмерковою та нічною активністю, погано розрізняють кольори і бачать усе у чорно-білому зображенні (собачі, котячі, хом'яки тощо). Такий же зір характерний для

нічних птахів (сови, дрімлюги). Денні птахи мають добре розвинений кольоровий зір.

Життя за присмеркового освітлення часто призводить до гіпертрофії очей. Величезні очі, здатні вловлювати незначні відсотки світла, властиві лемурам, лорі, довгоп'ятам, совам та іншим тваринам, що ведуть нічний спосіб життя.

Проживання в умовах повної темряви, як правило, пов'язане з редукцією органів зору. Зокрема це властиве видам, особини яких мешкають у печерах, а також багатьом ґрунтовим тваринам. Утім, в останніх нерідко є світлочутливі органи, хоча й у редукованому вигляді, все ж зберігаються та використовуються для отримання інформації про вихід на освітлену поверхню.

В океані інтенсивність освітлення знижується з глибиною, змінюється також і його спектральний склад: найглибше проникає короткохвильова частина сонячних променів — синього та блакитного кольорів. Освітленість на мілководді мало відрізняється від суходолу. Риби, що мешкають тут, мають у сітківці значний відсоток рецепторів (колбочок), чутливих до червоного кольору. У риб, що мешкають у зеленій воді прибережної зони, таких колбочок немає; відсутні у них і чутливі до помаранчевого кольору клітини.

Серед глибоководних риб більшість має в сітківці лише один тип паличок, чутливих до синього кольору. На глибині 800—950 м інтенсивність світла складає близько 1 % освітлення на поверхні. Цього ще достатньо для світлосприйняття: поріг зорової чутливості деяких організмів наближається до 10^{-10} полудневого освітлення. Подальше збільшення глибини пов'язане в одних видів із редукцією органів зору, а в інших — із розвитком гіпертрофованих очей, здатних сприймати навіть дуже слабе світло. Це значною мірою визначається наявністю на великих глибинах організмів, що світяться. Деякі з них здатні створювати освітлення порядку 10^{-2} мкВт/см², що близько до порога світлової чутливості тварин. Таке світіння з довжиною хвилі 400—500 нм характерне для блакитного діапазону і відповідає «налаштуванню» органів зору глибоководних тварин. Біологічне світіння використовують і риби, утворюючи симбіотичні зв'язки з мікроорганізмами, що світяться, і формуючи спеціальні органи, світло яких використовується для того, щоб підманювати здобич, для взаємного розпізнавання, розпізнавання статі тощо (рис. 3.10).

Світло та біологічні ритми

Специфічне значення світлового чинника полягає в тому, що закономірна динаміка умов освітлення відіграє важливу роль у регуляції періодичних явищ у житті представників органічного світу. Із самого виникнення життя на нашій планеті

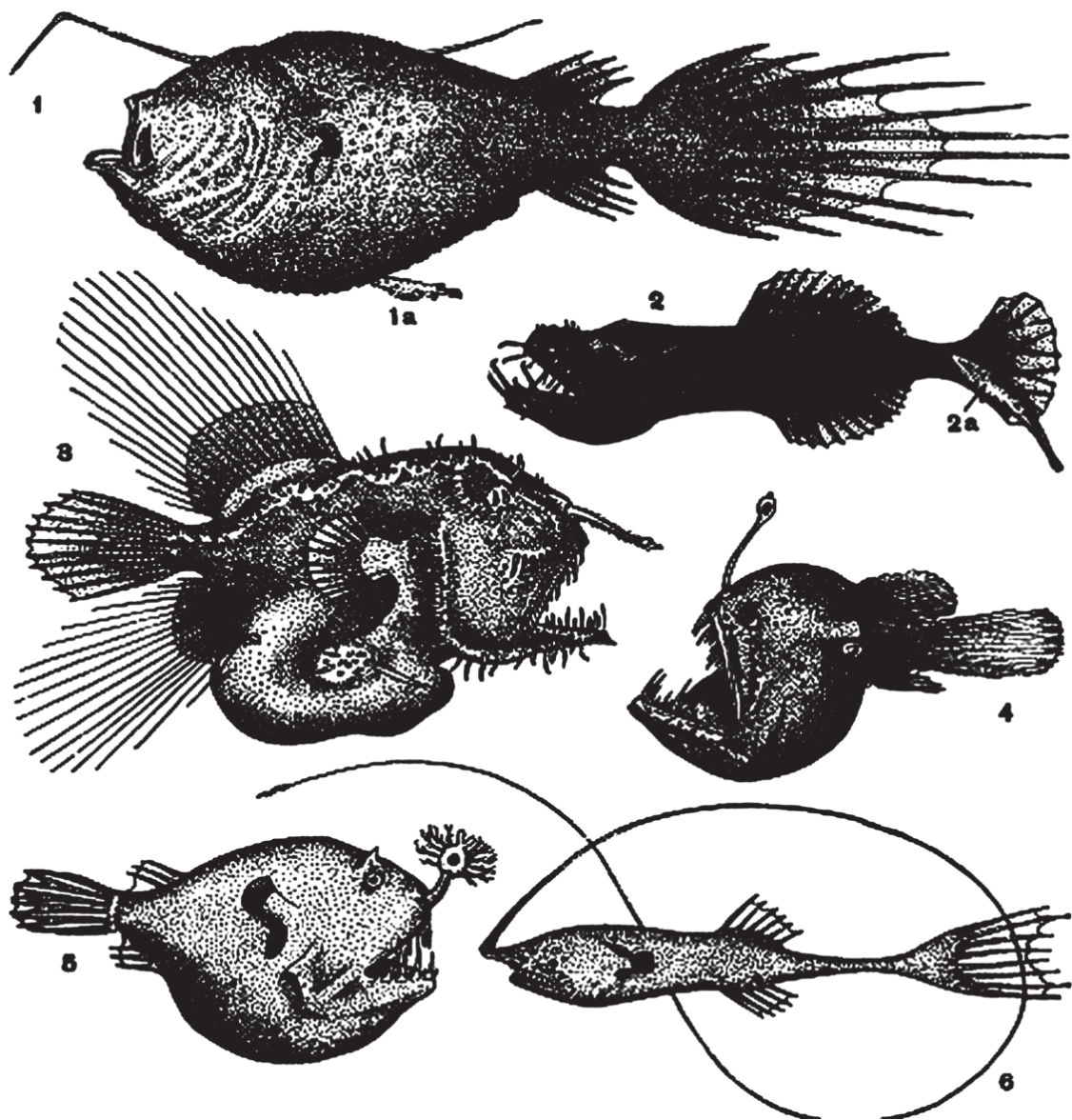


Рис. 3.10. Глибоководні вудильники (Нікольський, 1974): 1 — самка церації (*Ceratias holboelli*) із прикріпленим самцем (1a); 2 — неоцерація (*Neoceratias spinifer*) із прикріпленим самцем (2a); 3 — кайлофрина (*Caylophrine jordani*); 4 — меланоцет (*Melanocetus apogon*); 5 — борофрина (*Borophrine aragon*); 6 — гігантактис (*Gigantactis macronema*)

воно розвивалося в умовах ритмічно мінливого середовища. Закономірна зміна дня та ночі, сезонні зміни комплексу чинників, що регулярно повторюються, — все це вимагало пристосування живих організмів. Кардинальна форма такого пристосування виражається в еволюційному становленні співмірності та узгодження ритмів біологічної активності різних живих форм із масштабами добової та сезонної цикліки комплексу умов середовища. Адаптивний сенс цього явища полягає в тому, що на його основі з'явилася можливість поєднати різні форми життєдіяльності організму з найсприятливішим періодом зовнішніх умов. Аналогічним чином в еволюції низки видів формувалися ритми з іншою періодичністю — наприклад місячною або припливно-відпливною.

Ритмічність загальних проявів життєдіяльності та окремих її форм властива всім живим істотам. У її основі лежить специфіка біохімічних і фізіологічних реакцій, що мають ритмічний характер. Тривалість ритмів окремих процесів, що відбуваються на суборганізменому рівні, дуже різна: від часток секунди (наприклад, активність нейрона) до декількох годин (секреторна діяльність залоз) і навіть більше. Функціонування цілого організму базується на інтеграції окремих суборганізмених ритмів і узгодженні їх з умовами середовища, що змінюються в часі.

«Подвійний» характер походження адаптивних циклів (хіміко-біологічна природа первинних ритмів і залежність їх від періодичних змін умов середовища) виразно проявляється у фізіологічних механізмах, які регулюють добову та сезонну періодичність життєдіяльності організмів. За сучасними уявленнями **в основі періодичних процесів лежить внутрішня (ендогенна) програма, на яку впливає складний комплекс зовнішніх умов.** Одні з цих умов прямо модифікують ендогенну програму відповідно до конкретної екологічної ситуації, інші виступають як «датчики часу», сприяючи синхронізації ендогенних циклів із закономірною (добовою, сезонною) зміною зовнішніх умов. Як «датчики» часу можуть виступати багато періодично змінних факторів середовища. Але в еволюції більшості груп живих організмів основне синхронізувальне значення закріпилося за закономірними змінами світлового режиму — **фотоперіодична регуляція.**

Світло — первинно-періодичний чинник. Закономірна зміна дня та ночі, як і сезонні зміни тривалості світлої частини доби, відбуваються з чіткою ритмічністю, яка визначається астрономічними процесами і на прояви якої не можуть вплинути умови та процеси, що відбуваються на Землі. Тому **фотоперіод** найстійкіший у своїй динаміці, автономний і не схильний до інших впливів. *Фотоперіодом називають співвідношення світлої та темної частин доби. У більш спеціальному сенсі цей термін використовують для позначення довжини дня («короткий» або «довгий» фотоперіод).* Тільки на екваторі, де тривалість дня та ночі не змінюється залежно від сезону, й у деяких особливих умовах (глибини морів, печери, безперервний полярний день) провідного значення в регуляції біологічних ритмів набувають інші чинники.

Добові ритми. Добова періодичність властива більшості тварин. Її форми із денною або нічною активністю, у деяких видів піки активності виявляються спонтанно, незалежно від часу доби, деяким тваринам властивий прояв активності у присмерковий час. Час початку або закінчення неспання (або, навпаки, сну) у тварин є видоспецифічним і відрізняється суттєвою сталістю за відношенням до добової зміни освітленості.

З еволюційної точки зору формування в особин видового стереотипу активності — складний процес, що відображає їх пристосування до багатьох чинників середовища. При цьому для різних тварин умови освітлення далеко не завжди мали пряме відношення до цього процесу. Лише у форм із провідним значенням зорової рецепції (наприклад, птахи) денний тип активності прямо пов'язаний зі світлом як чинником бачення. Але навіть у цьому випадку такі умови, як трофічна конкуренція або спеціалізація живлення, призводили до виникнення окремих форм нічної активності.

Загальний характер активності тварин у більшості випадків визначається такими умовами, як тип живлення, взаємини з хижаками та конкурентами, добові зміни комплексу абіотичних чинників. Так, добова активність пойкилотермних тварин багато в чому визначається режимом температури середовища, хоча для амфібій характерний чинник добової активності — поєднання температури та вологості. Серед гризунів види, що поїдають грубі, багаті клітковиною корми, відрізняються переважно цілодобовою активністю. Насіннеїдні ж форми, які споживають більш концентрований корм, мають можливість приурочити час його добування до нічного періоду, коли слабшає прес хижаків. Експериментально встановлено, що присмерково-нічний тип активності кунцевої акули (*Mustelus canis*) пов'язаний з аналогічним типом активності її основної їжі — ракоподібних.

Циклічні зміни загального рівня життєдіяльності протягом доби пов'язані з відповідними ритмами фізіологічних процесів. Активний період характеризується суттєвими енерговитратами та відповідно підвищеною активністю комплексу фізіологічних реакцій. Разом із цим, добові коливання метаболізму не є лише прямим наслідком підвищення загальної активності: існують і закономірні добові зміни рівня обміну спокоєм. *Режим освітлення виступає в ролі сигнального чинника, який визначає час початку та закінчення активності.*

Порогові величини освітленості визначають час початку та закінчення активності. Разом із цим, *упродовж активної частини доби інтенсивність діяльності тварин зазвичай має пульсуючий, фазовий характер.* Так, горобині птахи у період розмноження найактивніші в ранішній час, удень їх активність дещо знижується і знову підвищується увечері. Те ж саме характерне і для багатьох нічних видів: сіра сова, наприклад, найактивніша на початку та наприкінці ночі (іноді виявляється третій пік, у середині ночі). Нерівномірний прояв активності пов'язаний із темпами накопичення та витрачання енергетичних ресурсів, пристосуванням до впливу несприятливих чинників (наприклад, перерва активності у спекотний час доби) і тому подібне.

Циркадіанні (циркадні) ритми. Сигнальна, синхронізуюча роль фотоперіоду виразно виявляється в умовах експерименту, коли на фоні незмінної освітленості (найчастіше — у темряві) у піддослідних організмів виявляється добовий ритм, властивий даному виду у природних умовах. Це явище було уперше виявлене й описане ще у XVIII ст. у дослідях із рослинами, які в нормі опускають або складають листя на ніч і розпрямляють удень. Після переміщення у повну темряву ці рослини зберігали добовий ритм руху листя. Таким чином, уже на початок позаминулого століття були показані два фундаментальних принципи сучасної концепції механізмів добової ритміки: *наявність ендогенної програми з періодом близько доби та можливість впливу умов освітлення (фотоперіоду) на реалізацію цієї програми.*

Ендогенний ритм має дві фази тривалістю близько 12 годин кожна: світлова (світлолюбна) та темнова (темнолюбна). Упродовж цих фаз реакція організму на вплив світла полярно міняється. До такої періодики пристосований і рівень основного обміну, що свідчить про ендогенний характер циклів метаболізму та температури тіла. Широко відома чітка добова періодика мітотичної активності клітин, яка, як правило, знаходиться у протифазі із циклом загальної активності, що, можливо, відображає «раціональний» розподіл енерговитрат організму протягом доби. Так, експерименти з мадрепоровим коралом *Acropora acuminata* показали, що мічений Карбон включається в їх тканині тільки у денний час із максимумом у післяполудневі години. Інтенсивність видимої кальцифікації максимальна опівдні та мінімальна опівночі. Досліди зі слимаками *Laevicaulis alta* виявили чітку періодичність рівня фосфорилазної активності з максимумом о 0-й годині та мінімумом о 12-й годині.

У птахів і ссавців відомі добові цикли ряду ендокринних залоз і ферментних систем. Наприклад, у лабораторних мишей за активністю ферментів орнітинового циклу встановлений чіткий добовий ритм метаболізму нітрогену з максимумом о 21-й годині та мінімумом о 9-й годині. Загалом у ссавців відомо не менше 50 органів, що мають власний ендогенний ритм функціонування.

Механізми циркадіанних ритмів і їх регуляція залишаються предметом інтенсивних досліджень. Природа «біологічного годинника», що лежить в основі ендогенних ритмів, вивчена ще недостатньо. Суттєва автономність ритмів в окремих органах, тканинах і клітинах спонукає шукати ці механізми на субклітинному рівні. Ще наприкінці 1940-х років професор Московського університету Д. А. Сабінін висловив припущення про зв'язок механізмів добової фізіологічної періодики зі структурою генетичного апарату. На-

прикінці 1960-х років ця гіпотеза була відроджена у вигляді концепції **хронона**. Згідно з цією концепцією, *матеріальним носієм відліку часу служить довга молекула ДНК, нитки якої розходяться, і на них будується інформаційна (матрична) РНК, яка досягає повної довжини одинарної нитки ДНК приблизно за 24 години.*

Останнім часом (починаючи з 1970-х років) вважають, що молекулярний механізм циркадіанної ритмічності описується *трансляційно-мембранною моделлю, яка поєднує два етапи: трансляції специфічних білків на рибосомах і подальшого вбудовування цих білків у клітинні мембрани.* Існує гіпотеза, що у функціонуванні біологічного годинника задіяні дві складові: гіпоталамус і хронон. Гіпоталамічна регуляція реалізується нейросекреторною системою і пов'язується з участю гуморальних механізмів. Показано, зокрема, що у ссавців циркадіанний ритм мітозів і вмісту еозинофілів у периферичній крові регулюється з участю надниркових залоз, а клітинні цикли — на основі моделі хронона.

У середині минулого століття ці принципи отримали підтвердження в численних експериментах із тваринами різних таксонів (від найпростіших до птахів і ссавців). *В основі добових ритмів життєдіяльності лежать спадково закріплені ендогенні цикли фізіологічних процесів із періодом, близьким до 24 годин.* Циклічні процеси такого роду отримали назву **циркадіанних (циркадних) ритмів**.

У найбільш «чистому» вигляді циркадні ритми виявляються лише при перебуванні тварин у сталих умовах, тобто без впливу мінливих чинників середовища. Установлено, що ендогенні ритми легко синхронізуються будь-якими зовнішніми датчиками часу (зміни освітленості, температури тощо). *Характерна особливість циркадіанних ритмів — деяке неспівпадання їх періоду з повною астрономічною добою.* Зокрема, досліді із птахами показали, що при перебуванні денних видів у темряві або в умовах дуже слабкого постійного освітлення добовий цикл активності та рівня метаболізму зберігається тривалий час, але період коливань дещо відрізняється від 24 годин. У результаті цього активність поступово зміщується на інші, ніж у нормальних умовах, години доби. Аналогічні дані отримані й у дослідях з іншими тваринами.

Певний вплив на характер циркадіанних ритмів здійснюють умови освітлення. *Збільшення інтенсивності безперервного освітлення викликає у нічних видів зменшення загальної активності, деяке подовження циклу та скорочення його активної частини; при зменшенні освітленості спостерігаються зміщення протилежного характеру.* Денні тварини відповідно демонструють зворотні реакції. Ця закономірність отримала назву **правила Ашоффа** (Ашофф, 1964).

Уважають, що *неспівпадання циркадіанного ритму з тривалістю астрономічної доби відкриває можливість зміщення ритмів активності в порядку їх синхронізації з природною зміною умов у кожному конкретному районі у різні періоди року*. На цій підставі зовнішні чинники, які виступають як датчики часу, часто називають **чинниками-синхронізаторами**. Існує й інший погляд, згідно з яким неспівпадання ендогенного ритму з астрономічною добою розглядають як артефакт, зумовлений неприродністю умов експерименту (темрява, незмінність впливаючих чинників тощо).

У дослідах із комахами показано, що за вільного вибору світла та темряви тварини демонструють ритм, що дорівнює 24 годинам. Ці дані трактуються як повний збіг ендогенного ритму з астрономічною добою. Близькі дані отримані у дослідах із деякими птахами: тривалість добового циклу за вільного вибору світла та темряви складала 23,7 години, проте аналогічні досліди із сірим вовчком (*Glis glis*) виявили циркадіанний характер ритму, що перевищує 24 години. Неспівпадання даних, отриманих для природних умов, і експериментальних даних указують на складний характер явища та не досить повне його вивчення.

У більшості тварин різні фізіологічні та біологічні процеси **проявляються сезонно**: розмноження, линяння, сплячка та діапауза, міграції тощо. Еволюційно сезонність цих явищ виникла як пристосування до циклічних змін кліматичних умов. *Закономірна повторюваність сезонних станів формується у результаті взаємодії вроджених ендогенних сезонних циклів з інформацією про стан зовнішніх умов*. Ці взаємодії синхронізують прояв ендогенної програми з періодами сприятливого для даної форми діяльності поєднання чинників середовища і забезпечують адаптацію організму до сезонного стану зовнішніх умов. Фізіологічні механізми формування та регуляції сезонних явищ найкращим чином вивчені у вищих тварин.

Ендогенні біологічні цикли з річною періодичністю, названі циркануальними (цирканними) ритмами, як і циркадні, ґрунтуються на системі вільного відліку часу за принципом біологічного годинника. У природних умовах ця система знаходиться під контролем зовнішніх чинників-синхронізаторів, серед яких у нетропічних тварин головна роль належить фотоперіоду.

Прояв циркануальних ритмів може бути достатньо складним, але у будь-якому разі в них закладений механізм часової програми та контроль із боку природного режиму освітлення. У шовкопряда (*Bombyx mori*) з яєць, які розвивалися за короткого весняного дня, відроджуються самки, що відкладають яйця, не впадаючи у діапаузу. Яйця, розвиток яких ішов в умовах тривалого літнього дня, дають самок, що відкла-

дають яйця з діапаузою, забезпечуючи таким чином появу весняного покоління.

У штучних умовах, що повністю виключають дію зовнішніх датчиків часу, виявлено, що власний хід циркануального ритму найчастіше буває дещо меншим від астрономічного року. Так, дві славки — садова (*Sylvia borin*) і чорноголова (*S. atricapilla*) — у віці 6 тижнів були поміщені в умови постійного фотоперіоду (10 годин світла та 14 — темряви) і перебували у цих умовах відповідно 10 і 8 років. Періоди линьок у цих птахів регулярно повторювалися з періодичністю 9,4—9,7 місяця. Аналогічні досліді з іншими птахами також дали подібні результати. У ховрахів (*Citellus lateralis*), що протягом трьох років перебували в умовах постійного освітлення та стабільної температури, виявлені циркануальні ритми з періодом 344 доби; у них же виявлена циркануальна періодичність споживання їжі.

Для формування сезонних станів найбільше значення мають гонадотропні гормони (гонадотропіни), що стимулюють функції статевих залоз; тиреотропний гормон, який контролює діяльність щитоподібної залози; адренкортикотропний гормон (АКТГ), що активує продукцію гормонів кори надниркових залоз; пролактин, що бере участь у прямій регуляції розмноження та (у птахів) міграцій. Таким чином, **система гіпоталамус — гіпофіз визначає зв'язок фізіологічних сезонних процесів із контролюючою дією фотоперіоду**. Фотоперіодичний контроль нейросекреторної активності гіпоталамуса у природних умовах відбувається на базі зорової рецепції. Проте це не обов'язкова умова. Експериментально доведено, що зміни режиму освітлення можуть сприйматися і без участі органів зору на базі світлочутливих структур центральної нервової системи.

Фотоперіодична регуляція сезонних циклів. Механізми фотоперіодичної стимуляції гіпоталамо-гіпофізарної системи достатньо повно вивчені лише на прикладі птахів. За сучасними даними, ефективність дії світлового чинника визначається співвідношенням фотоперіоду та ендогенного циркадіанного ритму гіпоталамічної нейросекреторної системи.

У цілому фотоперіодична регуляція сезонних циклів у хребетних тварин ґрунтується на системі фазових взаємодій їх добових ритмів. При цьому реакція на змінені фотоперіоди може бути різною. Деякі фізіологічні процеси розвиваються негайно після фотостимуляції (наприклад, весняний розвиток гонад). Для інших явищ дата ефективного фотоперіоду слугує початковою «точкою відліку», а сам процес розвивається через певний інтервал часу після такої дії (наприклад, весняний міграційний стан птахів).

Нарешті, у певних випадках ефективна фотоперіодична стимуляція запускає механізм вільного відліку часу, на основі

якого у визначені терміни включаються чергові сезонні стани (післяшлюбне линання, осінній міграційний стан і початок фоторефрактерної фази у птахів). Загальна річна циклічність у цьому випадку представлена цілісною програмою сезонних фізіологічних станів, що змінюють один одного. Роль фотоперіодичної регуляції полягає в координації ендогенного відліку часу із ходом природних періодичних процесів.

У безхребетних тварин (краще досліджені членистоногі) характер фотоперіодичної регуляції дещо інший. Система діє за принципом «пісочного годинника». Для її запуску потрібна специфічна для виду тривалість фотоперіоду. Стимуляція системи сумою коротших періодів світла неможлива.

3.4.3. Водне середовище

На нашій планеті живі організми освоїли чотири основних середовища проживання, які кардинально відрізняються за специфікою умов. Водне середовище було першим, в якому виникло й поширилося життя. У подальшому живі організми оволоділи наземно-повітряним середовищем, утворили й заселили ґрунт. Четвертим специфічним середовищем життя стали самі живі організми, кожний з яких є цілим світом для паразитів або симбіонтів. Вода як середовище існування має ряд специфічних властивостей, таких як висока щільність, істотні перепади тиску, відносно низький вміст кисню, сильне поглинання сонячних променів тощо. Водойми та окремі їх ділянки розрізняються, крім цього, за сольовим режимом, швидкістю горизонтальних переміщень (течій), вмістом зважених часток. Для життя придонних організмів мають значення властивості ґрунту, режим розкладання органічних залишків тощо. Тому, разом з адаптаціями до загальних властивостей водного середовища його мешканці повинні бути пристосовані також до різноманітних окремих умов. Мешканці водного середовища отримали в екології загальну назву **гідробіонтів**. Вони населяють Світовий океан, континентальні водойми та підземні води. У будь-якій водоймі можна виділити ряд різних за умовами зон.

Екологічні зони Світового океану

В океані та морях розрізняють перш за все дві екологічні зони: товщу води — **пелагіаль** і дно — **бенталь**. Залежно від глибини бенталь поділяється на **субліторальну зону** — область плавного пониження суші до глибини приблизно 200 м, **батіальну** — область крутого схилу та **абісальну зону** — область океанічного ложа із середньою глибиною 3—6 км. Ще глибші області бенталі, що відповідають западинам океанічного ложа, називають **ультраабісаллю**. Частина берега, що заливається водою під час припливів, зветься **літораллю**. Вища за

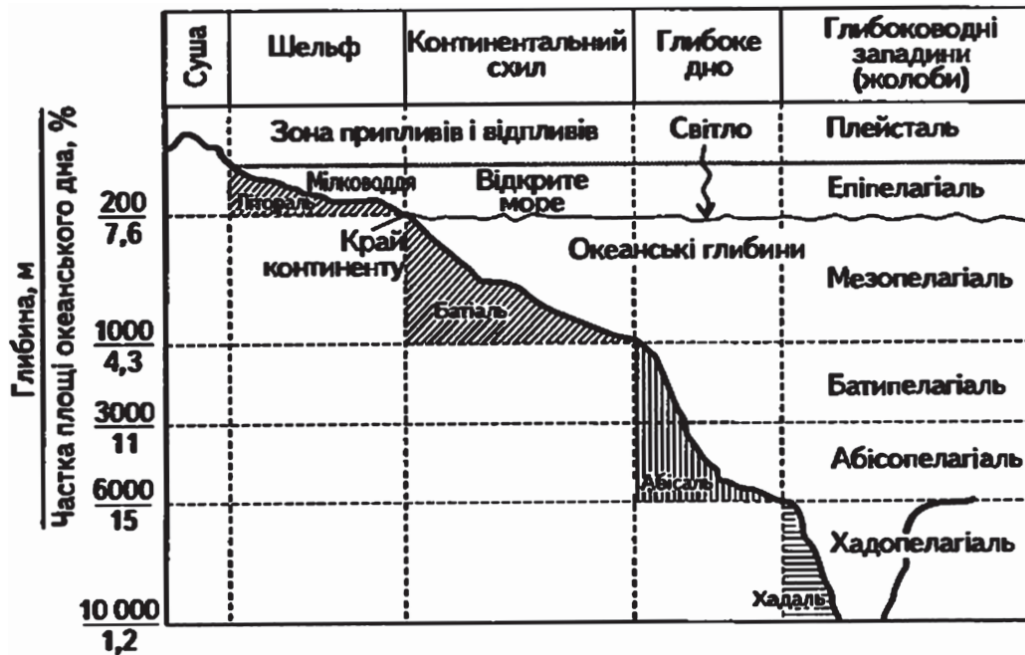


Рис. 3.11. Схема розподілу океанського простору з різними екологічними факторами (Білявський та ін., 2004)

рівень припливів частина берега, що зволожується бризками, отримала назву **супраліторалі** (рис. 3.11).

Населення дна океану отримало назву **бентос**. Мешканці субліторалі живуть в умовах відносного невисокого тиску, денного сонячного освітлення, часто досить значних змін температурного режиму. Мешканці абісальних і ультраабісальних глибин існують у темряві, за постійної температури та тиску в декілька сотень, а іноді і близько тисячі атмосфер. Тому одна лише вказівка на те, в якій зоні бенталі мешкає той або інший вид організмів, уже говорить про те, які загальні екологічні властивості він повинен мати.

Організми, що мешкають у товщі води (пелагіалі), відносяться до **пелагосу**. Пелагіаль також поділяють на вертикальні зони, відповідно до того, як поділяються за глибиною зони бенталі: **епіпелагіаль**, **батипелагіаль**, **абісопелагіаль**. Нижня межа **епіпелагіалі** (не глибше 200 м) визначається проникненням сонячного світла в кількості, достатній для фотосинтезу. Фотосинтезуючі рослини глибше цих зон існувати не можуть. У «присмеркових» батіальних і «повних мороку» абісальних глибинах мешкають лише мікроорганізми та тварини.

Основні властивості водного середовища

Щільність води — чинник, що визначає умови пересування водних організмів і тиск на різних глибинах. Для дистильованої води щільність дорівнює 1 г/см^3 при $+4 \text{ }^\circ\text{C}$. Густина природних вод, що містять розчинені солі, може бути більшою — до $1,35 \text{ г/см}^3$. Тиск зростає з глибиною приблизно на $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (1 атм) на кожні 10 м.

У зв'язку з різким градієнтом тиску у водоймах гідробіонти в цілому значно більш **еврібатні** порівняно з суходільними організмами. Деякі види, поширені на різних глибинах, переносять тиск від декількох до сотень атмосфер. Наприклад, голотурії роду *Elpidia*, черви *Priapulius caudatus* мешкають від прибережної зони до ультраабісали. Навіть прісноводні мешканці (інфузорії-туфельки, сувійки, жуки-плавунці тощо) витримують у досліді тиск до $6 \cdot 10^7$ Па (600 атм).

Проте багато мешканців морів і океанів відносно **стенобатні** й приурочені до певних глибин. Стенобатність найчастіше притаманна мілководним і глибоководним видам. Тільки на літоралі мешкають кільчастий черв-піскожил *Arenicola*, молюски морські блюдечка (*Patella*). Багато риб, наприклад із групи вудильників, головоногі молюски, ракоподібні, погонофори, морські зірки та інші трапляються лише на великих глибинах за тиску не менше $4\text{—}5 \cdot 10^7$ Па (400—500 атм).

Планктонні організми мають численні адаптації, що підвищують їх плавучість і перешкоджають осіданню на дно. До таких пристосувань відносяться: 1) загальне збільшення відносної поверхні тіла за рахунок зменшення розмірів, площеності, подовження, розвитку численних виростів або щетинок, що збільшують тертя об воду; 2) зменшення щільності за рахунок редукції скелета, накопичення в тілі жирів, бульбашок газу тощо.

Щільність і в'язкість води істотно впливають на можливість активного плавання. Тварин, здатних до швидкого плавання та подолання сили течій, об'єднують в екологічну групу **нектону** (*nectos* — плаваючий). Представники нектону — риби, кальмари, дельфіни. Швидкий рух у водній товщі можливий лише за наявності обтічної форми тіла та сильно розвиненої мускулатури. Торпедоподібна форма тіла існує в усіх гарних плавців незалежно від їх систематичної належності та способу руху у воді (реактивного, за рахунок вигинання тіла або за допомогою кінцівок).

Кисневий режим. У насиченій киснем воді вміст його не перевищує 10 мл/л, що у 21 раз менше, ніж в атмосфері. Тому умови дихання гідробіонтів значно ускладнені. Верхні шари водної товщі, як правило, багатші киснем, ніж нижні. Із підвищенням температури та солоності води концентрація в ній кисню знижується. У шарах, щільно заселених тваринами та бактеріями, може створюватися різкий дефіцит O_2 унаслідок посиленого його споживання. Наприклад, у Світовому океані багаті життям глибини від 50 до 1000 м характеризуються різким погіршенням аерації: вона у 7—10 разів нижча, ніж у поверхневих водах, населених фітопланкто-

ном. Серед водних мешканців багато видів, здатних переносити істотні коливання вмісту кисню у воді, аж до майже повної його відсутності (**евріоксибіонти** — «окси» — кисень, «біонт» — мешканець). До них відносяться, наприклад, прісноводні олігохети *Tubifex tubifex*, черевоногі молюски *Viviparus viviparus*. Серед риб дуже слабе насичення води киснем можуть витримувати сазан, лин, карасі. Разом із цим ряд видів — **стеноксибіонти** — можуть існувати лише за достатньо високого насичення води киснем (райдужна форель, кумжа, гольян, війковий черв *Planaria alpina*, личинки одноденок, веснянок тощо). Багато видів здатні за нестачі кисню впадати в неактивний стан — **аноксибіоз** — і таким чином переживати несприятливий період.

Дихання гідробіонтів здійснюється або через поверхню тіла, або через спеціалізовані органи (зябра, легені, трахеї). При цьому покриви можуть служити додатковим органом дихання. Наприклад, в'юн через шкіру споживає у середньому до 63 % кисню. Дихання полегшується також завдяки збільшенню поверхні тіла. Це досягається під час еволюції видів з утворенням у особин різних виростів, сплосчень, подовжень, загальним зменшенням розмірів тіла. Деякі види за нестачі кисню активно змінюють величину дихальної поверхні. Черви *Tubifex tubifex* сильно витягують тіло в довжину, гідри та актинії — подовжують щупальця, голкошкірі — амбулакральні ніжки. Багато сидячих і малорухливих тварин оновлюють навколо себе воду, або створюючи її направлений потік, або коливальними рухами сприяючи її перемішуванню. Двостулковим молюскам для цієї мети служать війки, що вистилають стінки мантийної порожнини, ракоподібним — черевні чи грудні ніжки. П'явки, личинки комарів-дзвонців (мотиль), багато олігохет розхитують тіло, висунувшись із ґрунту.

У деяких видів трапляється комбінування водного та повітряного дихання: дводишні риби, сифонофори дискофанти, багато легеневих молюсків, ракоподібні (*Gammarus lacustris*) тощо. Вторинноводні тварини зберігають зазвичай атмосферний тип дихання як вигідніший енергетично і тому потребують контактів із повітряним середовищем (ластоногі, китоподібні, водяні жуки, личинки комарів тощо).

Сольовий режим. Підтримання водного балансу гідробіонтів має свою специфіку. Якщо для наземних тварин і рослин найважливіше — забезпечення організму водою в умовах її дефіциту, то для гідробіонтів не менш істотне — збереження певної кількості води в тілі за її надлишку в навколишньому середовищі.

Більшість водних мешканців **пойкілосмотичні**: осмотичний тиск в їх тілі залежить від солоності навколишньої води. Тому для гідробіонтів основний спосіб підтримувати сольовий баланс — уникати місцеперебування з невідповідною солоністю. Прісноводні форми не можуть існувати в морях, морські — не переносять опріснення. Якщо солоність води змінюється, тварини переміщуються у пошуках сприятливого середовища. Хребетні тварини, вищі раки, комахи, що мешкають у воді, відносяться до **гомойосмотичних** видів (зберігають постійний осмотичний тиск у тілі незалежно від концентрації солей у воді).

У прісноводних видів рідини тіла гіпертонічні відносно навколишнього водного середовища. Їм загрожує зайве обводнення, якщо не перешкоджати надходженню або не викидати надлишок води з тіла. У найпростіших це досягається роботою видільних вакуолей, у багатоклітинних — виділенням води через відповідну систему. Деякі інфузорії, наприклад, кожні 2,0—2,5 хв виділяють кількість води, яка дорівнює масі їхнього тіла.

Якщо ж вода гіпертонічна відносно рідин тіла гідробіонтів, їм загрожує зневоднення в результаті осмотичних втрат. Захист від зневоднення досягається підвищенням концентрації солей у тілі гідробіонтів. Зневодненню перешкоджають також і непроникні для води покриви гомойосмотичних організмів (ссавців, риб, вищих ракоподібних, водних комах).

За дефіциту води в тілі внаслідок зростання солоності багато пойкілосмотичних видів переходить до неактивного стану (анабіозу). Це властиво видам, що мешкають у калюжах морської води та на літоралі (коловерткам, джгутиковим, інфузоріям, деяким рачкам, чорноморським поліхетам *Nereis divesicolor* тощо). **Сольовий анабіоз** — спосіб переживати несприятливі умови внаслідок змінної солоності води. Істинно евригалічних видів, здатних в активному стані мешкати як у прісній, так і в солоній воді, серед водних мешканців не так багато. В основному це види, що населяють естуарії річок, лимани та інші солонуватоводні водойми.

Температурний режим водойм стабільніший, ніж на суходолі. Це пов'язано з фізичними властивостями води, перш за все із високою її питомою теплоємністю, завдяки якій отримання або віддача значної кількості тепла не призводить до різких змін її температури. Амплітуда річних коливань температури у поверхневих шарах океану не більше 10—15 °С, у континентальних водоймах — 30—35 °С. Глибші шари води відрізняються постійністю температури. В екваторіальних водах середньорічна температура поверхневих шарів +26...+27 °С, у полярних — близько 0 °С і нижче. У га-

рячих наземних джерелах температура води може досягати +100 °С, а в підводних гейзерах за високого тиску на дні океану навіть зареєстрована температура +380 °С.

Таким чином, у водоймах існує досить значна різноманітність температурних умов. Між верхніми шарами води з вираженими в них сезонними коливаннями температури та нижніми, де тепловий режим постійний, існує **зона температурного стрибка, або термоклин**. Термоклин різкіше виражений у теплих морях, де сильніший перепад температури поверхневих і глибинних вод.

У зв'язку зі стійкішим температурним режимом води серед гідробіонтів значно більшою мірою, ніж серед населення суходолу, поширена стенотермність. Еврітермні види трапляються в основному в невеликих континентальних водоймах і на літоралі морів високих і помірних широт, де зафіксовані істотні добові та сезонні коливання температури.

Світловий режим. Світла у воді значно менше, ніж у повітрі. Частина падаючих на поверхню водойми променів відбивається у повітряне середовище. Віддзеркалення тим сильніше, чим нижча висота сонця над горизонтом, тому день під водою коротший, ніж на суходолі. Наприклад, літній день поблизу острова Мадейра на глибині 30 м — 5 годин, а на глибині 40 м — лише 15 хвилин. Сутінки, що згущуються в океані з глибиною, мають спочатку зелений, потім блакитний, синій і синьо-фіолетовий колір, змінюючись нарешті постійною темрявою. Відповідно змінюють один одного з глибиною зелені, бурі та червоні водорості, спеціалізовані на поглинанні світла різної довжини хвилі.

Забарвлення тварин міняється з глибиною так само закономірно. Найяскравіше і найрізноманітніше забарвлені мешканці літоральної та субліторальної зон. Багато глибинних організмів, подібно до печерних, не мають пігментів. У смерковій зоні найбільш поширене червоне забарвлення, яке є додатковим до синьо-фіолетового світла на цих глибинах. Це дозволяє мешканцям ховатися від ворогів, оскільки їхній червоний колір у синьо-фіолетових променях сприймається як чорний. Червоне забарвлення характерне для таких тварин смеркової зони, як морський окунь, червоний корал, різні ракоподібні тощо.

У деяких видів, що мешкають поблизу поверхні водойм, очі розділяються на дві частини з різною здатністю до заломлення променів світла. Одна половина ока (верхня) бачить у повітрі, нижня — у воді. Така «чотириокість» характерна для жуків-вертячок, американської рибки *Anableps tetraphthalmus*, одного із тропічних видів морських собачок *Dialommus fuscus* (рис. 3.12).

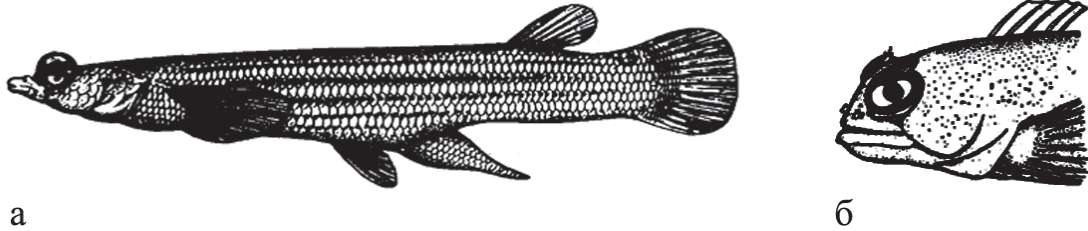


Рис. 3.12. Риби, очі яких пристосовані бачити як у воді, так і в повітрі (Нікольський, 1974): *а*— чотириока риба *Anableps tetraphthalmus*; *б* — чотириока риба морська собачка *Dialomnus fuscus*

Поглинання світла тим сильніше, чим менша прозорість води, яка залежить від кількості завислих у ній часток. Прозорість характеризують граничною глибиною, на якій ще видно білий диск діаметром близько 20 см (диск Секкі). Найпрозоріші води у Саргасовому морі: диск видно до глибини 66,5 м. У Тихому океані диск Секкі видно до 59 м, в Індійському — до 50, у невеликих морях — до 5—15 м. Прозорість річок у середньому 1,0—1,5 м, а в найкаламутніших річках, наприклад у середньоазіатських Амудар'ї та Сирдар'ї, — лише декілька сантиметрів. Саме тому межа зони фотосинтезу сильно варіює в різних водоймах. У найчистіших водах **еуфотична зона** (зона фотосинтезу) сягає глибин понад 200 м, **дисфотична** (смеркова зона) займає глибини до 1000—1500 м. Глибше, до **афотичної зони**, сонячне світло не проникає зовсім.

У темних глибинах океану як джерело зорової інформації організми використовують світло, що продукують живі істоти. Світіння живого організму отримало назву **біоломінесценція**. Види, що світяться, є майже в усіх класах водних тварин від найпростіших до риб, а також серед бактерій, нижчих рослин і грибів. Хімія біоломінесценції нині досить добре вивчена. Реакції, що використовуються для генерації світла, різноманітні. Але в усіх випадках це окиснення складних органічних сполук люциферинів за допомогою білкових каталізаторів люцифераз. Під час реакції надлишок енергії збудженої молекули люциферину виділяється у вигляді квантів світла.

Світіння може і не відігравати особливої екологічної ролі у житті виду, а бути побічним результатом життєдіяльності клітин, як, наприклад, у бактерій або нижчих рослин. Екологічну сутність воно отримує тільки у тварин, що мають достатньо розвинену нервову систему та органи зору. У багатьох видів органи світіння набувають дуже складної будови з системою відбивачів і лінз, що посилюють випромінювання (рис. 3.13). Низка риб і головоногих молюсків, не здатних генерувати світло, використовує симбіотичних бактерій, що розмножуються у спеціальних органах цих тварин.

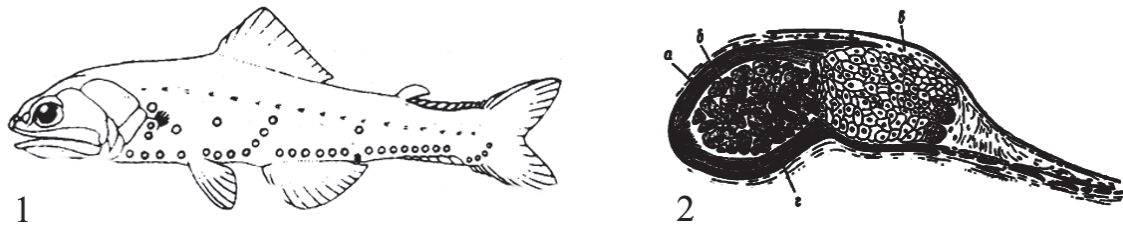


Рис. 3.13. Органи світіння водних тварин (Нікольський, 1974): 1 — розподіл органів світіння на тілі глибоководної риби *Lampanyctes*; 2 — світний орган глибоководної риби *Argyropelecus affinis*: а — пігмент, б — рефлектор, в — світне тіло, г — лінза

Біолюмінесценція має в житті тварин в основному сигнальне значення. Світлові сигнали можуть слугувати для орієнтації у зграї, залучення особин різної статі, підманювання жертв, маскування або втечі. Наприклад, спалах світла може бути захистом від хижака, засліплюючи його або дезорієнтуючи. Глибоководні каракатиці, рятуючись від ворога, випускають хмару секрету, що світиться, тоді як види, що мешкають в освітлених водах, використовують для цієї мети темну рідину. У деяких донних багатощетинкових червів-поліхет органи, що світяться, розвиваються до періоду дозрівання статевих продуктів, причому світяться яскравіше у самок, а очі краще розвинені у самців. У хижих глибоководних риб із ряду вудильникових перший промінь спинного плавця зміщений до верхньої щелепи і перетворений на гнучке «вудилище», що несе на кінці червоподібну приманку — залозу, заповнену слизом із бактеріями, що світяться. Регулюючи приплив крові до залози і, отже, постачання бактерій киснем, риба може довільно викликати світіння «приманки», а імітуючи рухи черв'яка — підманювати здобич.

У наземній обстановці біолюмінесценція розвинена лише у небагатьох видів, найсильніше — у жуків із родини світляків, які використовують світлову сигналізацію для приманювання особин іншої статі у присмеркові або нічні години.

Способи орієнтації тварин у водному середовищі

Життя у постійних сутінках або мороці сильно обмежує можливості зорової орієнтації гідробіонтів. У зв'язку зі швидким згасанням світлових променів у воді тварини навіть із добре розвиненими органами зору орієнтуються за їх допомогою лише на близькій відстані.

Звук розповсюджується у воді швидше, ніж у повітрі. Орієнтація на звук розвинена у гідробіонтів у цілому краще, ніж зорова. Ряд видів уловлює навіть коливання дуже низької частоти (інфразвуки), що виникають при зміні ритму хвиль, і завчасно опускається перед штормом із поверхневих шарів води до глибших (наприклад, медузи). Багато мешканців

водойм (ссавці, риби, молюски, ракоподібні) самі видають звуки. Ракоподібні здійснюють це тертям одне об одного різних частин тіла; риби — за допомогою плавального міхура, глоткових зубів, щелеп, променів грудних плавників, іншими способами. Звукова сигналізація служить найчастіше для внутрішньовидових взаємин, наприклад для орієнтації у зграї, залучення особин іншої статі й особливо розвинена у мешканців каламутних вод і великих глибин.

Ряд гідробіонтів розшукує їжу та орієнтується за допомогою ехолокації — сприйняття відбитих звукових хвиль (китоподібні). Багато хто сприймає відбиті електричні імпульси, створюючи при плаванні електричні розряди різної частоти. Відомо близько 300 видів риб, здатних генерувати електрику та використовувати її для орієнтації і сигналізації. Прісноводна рибка водяний слон (*Mormyrus kannume*) посилає до 30 імпульсів за секунду, виявляючи безхребетних, яких вона знаходить у рідкому мулі без допомоги зору. Частота розрядів у деяких морських риб доходить до 2000 імпульсів за секунду. Ряд риб використовує електричні поля також для захисту та нападу (електричний скат, електричний вугор та інші).

Для орієнтації в глибині служить сприйняття гідростатичного тиску за допомогою статоцистів, газових камер, інших спеціалізованих органів.

Найдавніший спосіб орієнтації, властивий всім водним тваринам, — сприйняття хімізму середовища. Хеморецептори багатьох гідробіонтів мають надзвичайну чутливість. У тисячокілометрових міграціях, характерних для багатьох видів риб, вони орієнтуються в основному за запахом, із вражаючою точністю знаходячи місця нерестовищ або нагулу. Експериментально доведено, наприклад, що лососі, штучно позбавлені нюху, не знаходять гирла своєї річки, повертаючись на нерест, але ніколи не помиляються, якщо можуть сприймати запахи. Надзвичайно тонкий нюх у риб, що здійснюють особливо далекі міграції.

3.4.4. Наземно-повітряне середовище життя

Наземно-повітряне середовище — найскладніше за екологічними умовами. Життя на суходолі вимагало таких пристосувань, які виявилися можливими лише за достатньо високого рівня організації як рослин, так і тварин.

Повітря як екологічний чинник для наземних організмів. Низька щільність повітря визначає його малу підйомну силу та незначну силу опору. Мешканці повітряного середовища повинні мати власну опорну систему, що підтримує тіло: рослини — різноманітні механічні тканини, тварини — твер-

дий або, значно рідше, гідростатичний скелет. Крім того, всі мешканці повітряного середовища тісно пов'язані з поверхнею землі, яка служить їм для прикріплення та опори. Життя у завислому стані у повітрі неможливе.

Безліч мікроорганізмів і тварин, спори, насіння, плоди та пилок рослин регулярно присутні у повітрі й розносяться повітряними течіями, багато тварин здатні до активного польоту, проте в усіх цих видів основна функція їх життєвого циклу — розмноження — здійснюється на поверхні ґрунту. Для більшості з них перебування у повітрі пов'язане тільки з розселенням або пошуком здобичі.

Мала щільність повітря обумовлює низьку опірність пересуванню. Тому багато наземних тварин використовували у ході еволюції екологічні вигоди цієї властивості середовища, набувши здатність до польоту. До активного польоту здатні близько 75 % видів наземних тварин (переважно комахи та птахи, але трапляються «літуни» і серед ссавців і рептилій). Літають наземні тварини в основному за допомогою мускульних зусиль, але деякі можуть і планерувати за рахунок повітряних течій.

У багатьох видів розвинена **анемохорія** — розселення за допомогою повітряних потоків. Анемохорія характерна для спор, насіння та плодів рослин, цист найпростіших, дрібних комах, павуків, ракоподібних. Організми, що пасивно переносяться потоками повітря, отримали у сукупності назву **аеропланктону** за аналогією з планктонними мешканцями водного середовища. Спеціальні адаптації для пасивного польоту: дрібні розміри тіла, збільшення площі його поверхні за рахунок виростів, сильного розчленування тіла, великої відносної поверхні крил, використання павутини тощо.

Мала щільність повітря обумовлює також порівняно низький тиск на суходолі. У нормі він дорівнює 760 мм рт. ст. Зі збільшенням висоти над рівнем моря тиск зменшується. На висоті 5800 м він дорівнює лише половині нормального. Таким чином, низький тиск може обмежувати розповсюдження видів у горах. Для більшості хребетних верхня межа життя знаходиться на висоті близько 6000 м н. р. м. Зниження тиску спричиняє зменшення забезпеченості киснем і зневоднення тварин за рахунок збільшення частоти дихання. Приблизно такі ж межі просування в горах у вищих рослин. Дещо витриваліші членистоногі (ногохвістки, кліщі, павуки), які можуть траплятися на льодовиках, вище за межу поширення рослинності. У цілому всі наземні організми набагато більш **стенобатні**, ніж водні, оскільки звичайні коливання тиску навколишнього середовища становлять долі атмосфери і навіть для птахів, що піднімаються на велику висоту, не перевищують 1/3 нормального.

Газовий склад повітря. Окрім фізичних властивостей повітряного середовища, для існування наземних організмів надзвичайно важливіші його хімічні особливості. Газовий склад повітря у приземному шарі атмосфери досить однорідний відносно вмісту головних компонентів (азот — 78,1 %, кисень — 21,0, аргон — 0,9, вуглекислий газ — 0,035 % за об'ємом) завдяки високій дифузійній здатності газів і постійному перемішуванню конвекційними та вітровими потоками.

Високий вміст кисню сприяв підвищенню обміну речовин у наземних організмів порівняно з первинноводними. Саме у наземному середовищі, на базі високої ефективності окислювальних процесів в організмі, виникла гомойотермія тварин.

Вміст вуглекислого газу може змінюватися в окремих ділянках приземного шару повітря в досить значних межах. Наприклад, за відсутності вітру в центрі великих міст концентрація його збільшується в десятки разів. Закономірні добові зміни вмісту вуглекислоти в приземних шарах пов'язані з ритмом фотосинтезу рослин. Сезонні зміни обумовлені змінами інтенсивності дихання живих організмів, переважно мікроскопічного населення ґрунтів. Підвищене насичення повітря вуглекислим газом спостерігається у зонах вулканічної активності, поблизу термальних джерел та інших підземних виходів цього газу.

У природі основне джерело вуглекислоти — так зване ґрунтове дихання. Ґрунтові мікроорганізми та тварини дихають дуже інтенсивно. Вуглекислий газ дифундує з ґрунту до атмосфери, особливо активно під час дощу. Багато його виділяють ґрунти помірно вологі, такі, що добре прогріваються, багаті органічними залишками. Наприклад, ґрунт букового лісу виділяє CO_2 від 15 до 22 кг/га за годину, а збіднений піщаний — лише 2 кг/га за годину.

Азот повітря для більшості мешканців наземного середовища — інертний газ, але низка прокаріотичних організмів (бульбочкові бактерії, азотобактер, клостридії, ціанобактерії тощо) мають здатність асимілювати його та залучати до біологічного кругообігу.

3.4.5. Ґрунт і рельєф

Едафічні чинники середовища. Властивості ґрунту та рельєф місцевості впливають на умови життя наземних організмів, у першу чергу рослин. Властивості земної поверхні, що здійснюють вплив на її мешканців, об'єднують назвою

едафічні чинники середовища (від грецького «едафон» — підстава, ґрунт). Рельєф місцевості та характер ґрунту впливають на специфіку пересування тварин. Наприклад, копитні, страуси, дрохви, що живуть на відкритих просторах, потребують твердого ґрунту для посилення відштовхування під час швидкого бігу. У ящірок, що мешкають на сипких пісках, пальці облямовані бахромою з рогових лусочок, яка збільшує поверхню опори. Для наземних мешканців, що риють нори, щільні ґрунти несприятливі. Отже характер ґрунту в ряді випадків впливає на розподіл наземних тварин, що риють нори, зариваються в ґрунт для порятунку від спеки або хижаків, відкладають у ґрунті яйця.

Ґрунт як місце існування. Особливості ґрунту. Ґрунт — пухкий тонкий поверхневий шар суходолу, що контактує з повітряним середовищем. Незважаючи на незначну товщину, ця оболонка Землі відіграє найважливішу роль у розповсюдженні життя. Ґрунт — не просто тверде тіло, як більшість порід літосфери, а складна трифазна система, в якій тверді частки оточені повітрям і водою. Він пронизаний порожнинами, заповненими сумішшю газів і водними розчинами, і тому в ньому складаються надзвичайно різноманітні умови, сприятливі для життя безлічі мікро- та макроорганізмів. У ґрунті згладжені температурні коливання порівняно з приземним шаром повітря, а наявність ґрунтових вод і проникнення опадів створюють запаси вологи та забезпечують режим вологості, проміжний між водним і наземним середовищем. У ґрунті концентруються запаси органічних і мінеральних речовин, що постачаються відмираючою рослинністю та трупами тварин. Усе це визначає велику насиченість ґрунту життям.

У середньому у 1 м² ґрунтового шару міститься понад 100 млрд клітин найпростіших, мільйони коловерток і тихоходів, десятки мільйонів нематод, десятки й сотні тисяч кліщів і колембол, тисячі інших членистоногих, десятки тисяч енхитреїд, десятки й сотні дощових червів, молюсків та інших безхребетних. Крім того, 1 см² ґрунту містить десятки й сотні мільйонів бактерій, мікроскопічних грибів, актиноміцетів та інших мікроорганізмів.

Неоднорідність умов у ґрунті найчіткіше виявляється у вертикальному напрямі. Із глибиною різко змінюється ряд найважливіших екологічних чинників, що впливають на життя мешканців ґрунту. Перш за все це відноситься до структури ґрунту. У ній виділяють три основних горизонти, що розрізняються за морфологічними та хімічними властивостями:

1) верхній, перегнійно-аккумулятивний горизонт *A*, у якому накопичується й перетворюється органічна речовина і з якого промивними водами частина сполук виноситься донизу;

2) ілювіальний горизонт *B*, де осідають і перетворюються вимиті речовини;

3) материнську породу, або горизонт *C*, матеріал якої перетворюється на ґрунт.

У межах кожного горизонту виділяються дрібніші шари, що також істотно відрізняються за властивостями. Наприклад, у зоні помірного клімату під хвойними або змішаними лісами горизонт *A* складається з підстилки (A_0) — шару пухкого скупчення рослинних залишків, темнозабарвленого гумусового шару (A_1), в якому частки органічного походження перемішані з мінеральними, і підзолистого шару (A_2), попелясто-сірого за кольором, в якому переважають сполуки кремнію, а всі розчинні речовини вимиті у глиб ґрунтового профілю (елювіальний шар). Як структура, так і хімізм цих шарів дуже різні, тому коріння рослин і мешканці ґрунту, переміщаючись лише на декілька сантиметрів угору або донизу, потрапляють в інші умови.

Розміри порожнин між частками ґрунту, придатних для проживання в них тварин, зазвичай швидко зменшуються з глибиною. Наприклад, у лучних ґрунтах середній діаметр порожнин на глибині 0—1 см сягає 3 мм, 1—2 см — 2 мм, а на глибині 2—3 см — лише 1 мм; глибше ґрунтові пори ще дрібніші. Щільність ґрунту також змінюється з глибиною. Найпухкіші шари ті, що містять органічну речовину. Порожнистість цих шарів визначається тим, що органічні речовини склеюють мінеральні частки у крупніші агрегати, об'єм порожнин між якими збільшується. Найщільніший зазвичай ілювіальний горизонт *B*, зцементований вимитими до нього колоїдними частками.

Волога у ґрунті наявна у різних станах: 1) зв'язана (гігроскопічна та плівкова) — міцно утримується поверхнею ґрунтових часток; 2) капілярна — займає дрібні пори і може пересуватися по них у різних напрямках; 3) гравітаційна — заповнює крупніші порожнини і поволі просочується вниз під впливом сили тяжіння; 4) пароподібна — міститься у ґрунтовому повітрі.

Вміст води неоднаковий у різних ґрунтах і в різний час. Якщо дуже багато гравітаційної вологи, то режим ґрунту близький до режиму водойм. У сухому ґрунті залишається тільки зв'язана вода, а умови наближаються до наземних. Проте навіть у найсухіших ґрунтах повітря завжди вологіше, ніж наземне, тому мешканці ґрунту значно менш чутливі до загрози висихання, ніж ті, що мешкають на поверхні.

Склад ґрунтового повітря досить мінливий. Із глибиною в ньому значно падає вміст кисню й зростає концентрація вуглекислого газу. У зв'язку з присутністю у ґрунті органічних речовин, що розкладаються, у ґрунтовому повітрі може бути висока концентрація таких токсичних газів, як аміак, сірководень, метан. При затопленні ґрунту або інтенсивному гнитті рослинних залишків місцями можуть виникати повністю анаеробні умови.

Коливання температури значні лише на поверхні ґрунту. Тут вони можуть бути навіть сильніші, ніж у приземному шарі повітря. Проте з кожним сантиметром углиб добові та сезонні температурні коливання стають все меншими і на глибині 1,0—1,5 м практично вже не простежуються.

Усі ці особливості призводять до того, що навіть за наявності істотної неоднорідності екологічних умов у ґрунті він виступає як достатньо стабільне середовище, особливо для рухливих організмів. Тренд градієнтів температури та вологості у ґрунтовому профілі дозволяє ґрунтовим тваринам шляхом незначних переміщень забезпечувати собі відповідні екологічні умови.

Мешканці ґрунту. Неоднорідність ґрунту призводить до того, що для організмів, різних за розмірами, він виступає як різне середовище. Для мікроорганізмів особливе значення має величезна сумарна поверхня ґрунтових часток, оскільки на них адсорбується переважна частина мікробного населення. Складність ґрунтового середовища створює велике різноманіття умов для дуже різних функціональних груп: аеробів і анаеробів, споживачів органічних і мінеральних сполук. Для розподілу мікроорганізмів у ґрунті характерні дрібні осередки, оскільки навіть упродовж декількох міліметрів параметри ґрунтового середовища можуть змінюватись.

Для дрібних ґрунтових тварин, яких об'єднують під назвою **мікрофауна** (найпростіші, коловертки, тихоходи, нематоди тощо), ґрунт — система мікроводойм. По суті, це водні організми. Вони живуть у ґрунтових порах, заповнених гравітаційною або капілярною водою, а частину життя можуть, як і мікроорганізми, знаходитись в адсорбованому вигляді на поверхні часток у тонких прошарках плівкової вологи (рис. 3.14).

Багато представників таких видів мешкає й у звичайних водоймах. Проте ґрунтові форми набагато дрібніші, ніж прісноводні, і, крім цього, відрізняються здатністю тривалий час знаходитись в інцистованому стані, переживаючи несприятливі періоди. Порівняння розмірів представників мікрофауни ґрунту та вільноживучих тварин свідчать про те, що прісноводні амеби мають розміри 50—100 мкм, ґрунтові — лише

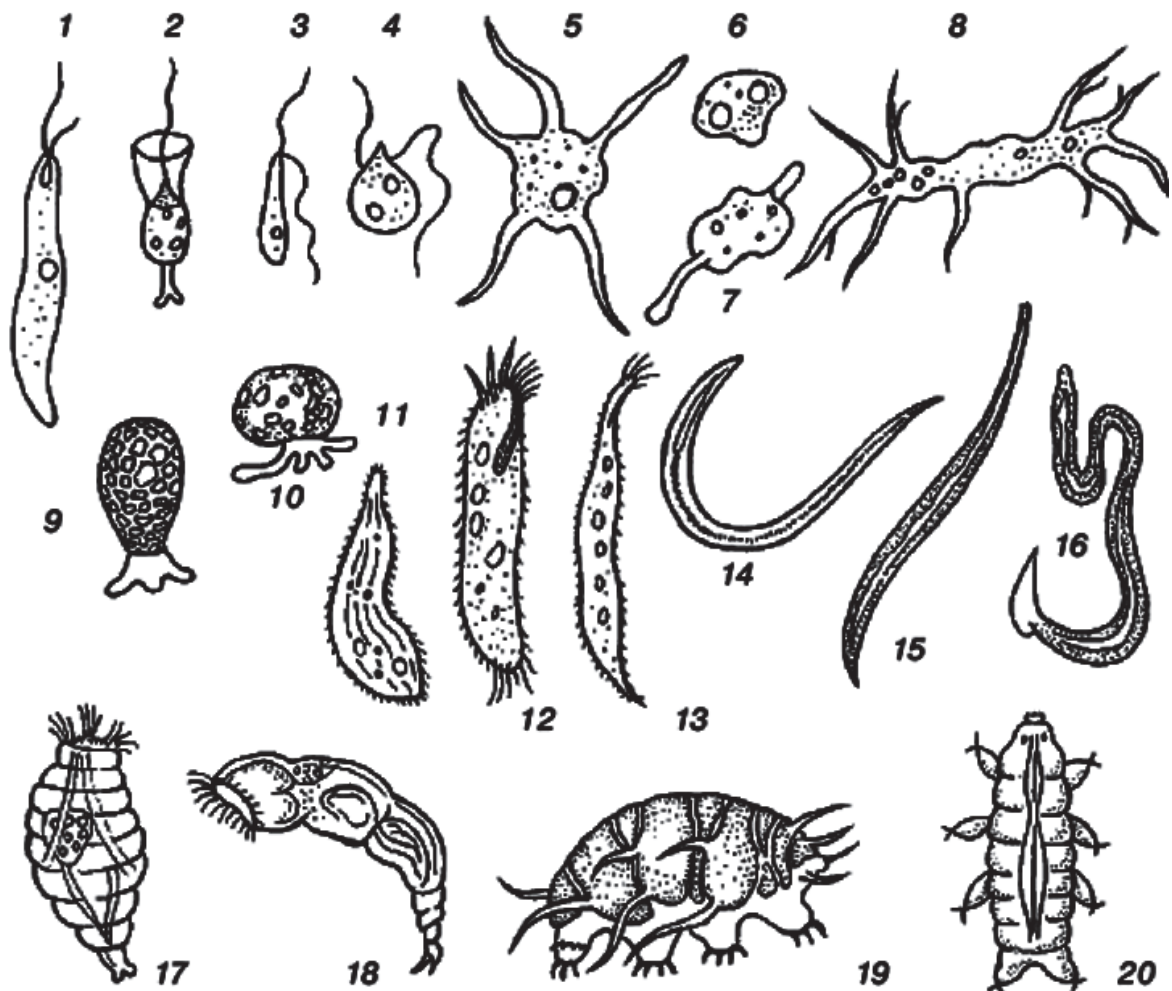


Рис. 3.14. Мікрофауна ґрунту (Чернова, Билова, 2004): 1—4 — дзгутикові, 5—8 — голі амеби, 9—10 — черепашкові амеби, 11—13 — інфузорії, 14—16 — круглі черви, 17—18 — коловертки, 19—20 — тихоходи

10—15. Особливо дрібні представники дзгутикових (нерідко 2—5 мкм). Ґрунтові інфузорії також мають карликові розміри і до того ж можуть сильно міняти форму тіла.

Для дихаючих повітрям дещо крупніших тварин ґрунт є немовби системою дрібних печер. Таких тварин об'єднують під назвою **мезофауна**. Розміри представників мезофауни ґрунтів — від десятих часток до 2—3 мм. До цієї групи відносяться в основному членистоногі: численні групи кліщів, первиннобезкрилі комахи (колемболи, протури, двохвістки), дрібні види крилатих комах, багатоніжки симфіли тощо (рис. 3.15).

У них немає спеціальних пристосувань до риття, вони повзають по стінках ґрунтових порожнин за допомогою кінцівок або червоподібно звиваючись. Насичене водяною парою ґрунтове повітря дозволяє цим тваринам дихати через покриви тіла. Такі тварини чутливі до висихання, а основний засіб порятунку від коливання вологості повітря для них — пересування у глиб ґрунтового профілю. Ра-

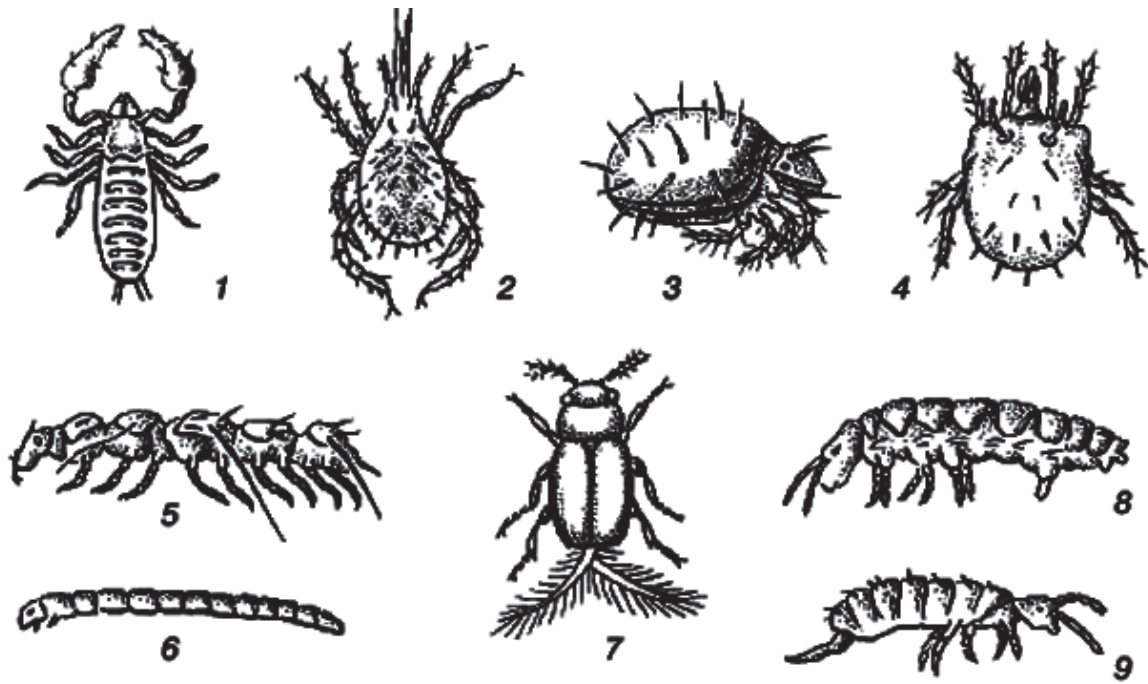


Рис. 3.15. Мезофауна ґрунту (Чернова, Былова, 2001): 1 — псевдоскорпіон, 2 — гамазовий кліщ, 3—4 — панцирні кліщі, 5 — багатоніжка, 6 — личинка комара-хірономіди, 7 — жук із родини Ptiliidae, 8—9 — колемболи

зом із цим, можливість міграцій по ґрунтових порожнинах углиб обмежується швидким зменшенням діаметра пор, тому пересування по порожнинах ґрунту доступні тільки найдрібнішим видам. Крупніші представники мезофауни мають деякі пристосування, що дозволяють переносити тимчасове зниження вологості ґрунтового повітря. Це захисні лусочки на тілі, часткова непроникність покривів, суцільний товстостінний панцир з епікутикулою у поєднанні з примітивною трахейною системою, що забезпечує дихання.

Періоди затоплення ґрунту водою представники мезофауни переживають у бульбашках повітря. Повітря затримується навколо тіла тварин завдяки їх покривам, що не змочуються, забезпечених до того ж волосками або лусочками. Бульбашка повітря служить для дрібної тварини своєрідною «фізичною зяброю». Дихання відбувається за рахунок кисню, що дифундує в повітряний прошарок із навколишньої води. Представники мікро- і мезофауни здатні переносити зимове промерзання ґрунту, оскільки більшість видів не може перейти донизу із шарів, що піддаються дії негативних температур.

Більших ґрунтових тварин (із розмірами тіла 2—50 мм) називають представниками **макрофауни**. Це личинки комах, багатоніжки, енхетреїди, дощові черви тощо (рис. 3.16). Для них ґрунт — щільне середовище, що чинить значний ме-

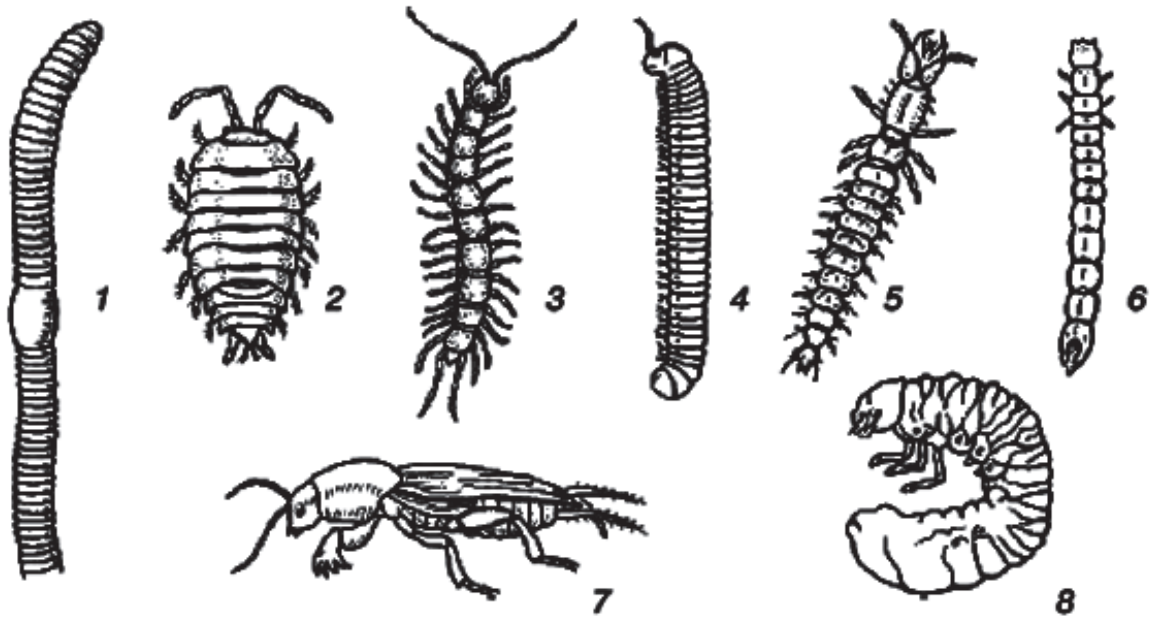


Рис. 3.16. Макрофауна ґрунту (Чернова, Білова, 2001): 1 — дощовий черв, 2 — мокриця, 3 — губонога багатоніжка, 4 — двопарнонога багатоніжка, 5 — личинка жука-ковалика, 6 — личинка жука-ковалика, 7 — вовчок, 8 — личинка пластинчатовусого жука

ханічний опір під час руху. Ці відносно великі форми пересуваються у ґрунті або розширюючи природні порожнини шляхом розсування ґрунтових часток, або риючи нові ходи. Обидва способи пересування накладають відбиток на зовнішню будову тварин. Можливість рухатися по тонких порожнинах, майже не вдаючись до риття, властива тільки видам, які мають тіло з малим поперечним перетином, що здатне сильно згинатися у звивистих ходах (багатоніжки-кістянки та геофіли).

Розсовуючи частки ґрунту за рахунок тиску стінок тіла, пересуваються дощові черви, личинки комарів-довгоніжок та інші. При цьому позаду тварини залишається відкритий хід, що загрожує збільшенням випаровування та переслідуюванню хижаків. У багатьох видів розвинені пристосування для екологічно вигіднішого типу пересування у ґрунті — риття із закупорюванням за собою ходу. Риття здійснюється розпушуванням і відгортанням ґрунтових часток. Личинки різних комах використовують для цього передній кінець голови, мандибули та передні кінцівки, розширені й укріплені товстим шаром хітину, шпильками та виростами. На задньому кінці тіла розвиваються пристосування для міцної фіксації — підпірки, що висуваються, зубці, гачки. Закриваючи за собою хід, тварини — мешканці ґрунту — постійно знаходяться у замкненій камері, насиченій випаровуваннями власного тіла. Газообмін більшості видів цієї екологічної групи відбувається за допомо-

гою спеціалізованих органів дихання, але доповнюється газообміном через покриви. Можливе навіть лише шкірне дихання, наприклад у дощових червів і енхетреїд. Рийні тварини можуть залишати шари, де виникає несприятлива ситуація. У посуху та до зими вони концентруються у глибших шарах, зазвичай у декількох десятках сантиметрів від поверхні.

Мегафауна ґрунтів — великі землерії, в основному із групи ссавців. Ряд видів проводить у ґрунті все життя (сліпаки, сліпачки, цокори, кроти Євразії, золотокроти Африки, сумчасті кроти Австралії). Вони прокладають у ґрунті цілі системи ходів і нір. Зовнішній вигляд і анатомічні особливості цих тварин відображають їх пристосованість до рийного підземного способу життя. У них недорозвинені очі, компактне, валькувате тіло з короткою шиєю, коротке густе хутро, сильні копальні кінцівки з міцними кігтями. Сліпаки та сліпачки розпушують землю різцями. До мегафауни ґрунту слід віднести також великих олігохет, особливо представників родини Megascolecidae, що мешкають у тропіках Південної півкулі. Найбільший із них австралійський *Megascolides australis* досягає в довжину 2,5 і навіть 3 м.

Крім постійних мешканців ґрунту, серед великих тварин можна виділити екологічну групу **мешканців нір** (ховрахи, байбаки, тушканчики, кролі, борсуки тощо). Вони живляться на поверхні, але розмножуються, зимують, відпочивають, рятуються від небезпеки у ґрунті. Ряд інших тварин використовує їх нори, знаходячи в них сприятливий мікроклімат і укриття від ворогів. Нірники мають риси будови, властиві наземним тваринам, але характеризуються і рядом пристосувань, пов'язаних із рийним способом життя. Наприклад, у борсуків довгі кігті та сильна мускулатура передніх кінцівок, вузька голова, невеликі вушні раковини. У кролів порівняно із зайцями, що не риють нір, помітно вкорочені вуха та задні кінцівки, міцніший череп, сильніше розвинені кістки та мускулатура передпліччя.

За цілою низкою екологічних особливостей ґрунт — середовище, проміжне між водним і наземним. Із водним середовищем ґрунт зближують його температурний режим, знижений уміст кисню у ґрунтовому повітрі, насиченість його водяною парою та наявність води в інших формах, присутність солей і органічних речовин у ґрунтових розчинах, можливість рухатися в ньому у трьох вимірах. Із повітряним середовищем ґрунт зближують наявність ґрунтового повітря, загроза висушування у верхніх горизонтах, досить різкі зміни температурного режиму поверхневих шарів.

3.4.6. Погодні та кліматичні особливості наземно-повітряного середовища

Погодні особливості. Умови життя в наземно-повітряному середовищі ускладнюються, крім того, погодними змінами. *Погода — безперервно змінний стан атмосфери поблизу земної поверхні до висоти приблизно 20 км (межа тропосфери).* Мінливість погоди виявляється у постійному варіюванні поєднання таких чинників середовища, як температура та вологість повітря, хмарність, опади, сила та напрям вітру. Для погодних змін разом із закономірним чергуванням їх у річному циклі характерні неперіодичні коливання, що істотно ускладнює умови існування наземних організмів. На життя водних мешканців погода впливає значно меншою мірою, має суттєвий вплив лише на мешканців поверхневих шарів води.

Клімат місцевості. Багаторічний режим погоди характеризує клімат місцевості. *До поняття клімату входять не тільки середні значення метеорологічних явищ, а і їх річний і добовий хід, відхилення від нього та повторюваність. Клімат визначається географічними умовами району.*

Для більшості наземних організмів, особливо дрібних, важливий не стільки клімат регіону, скільки умови їх безпосереднього мешкання. Дуже часто місцеві елементи середовища (рельєф, експозиція, рослинність) так змінюють у конкретній ділянці режим температури, вологості, освітленості, руху повітря, що він значно відрізняється від кліматичних умов місцевості. Такі локальні модифікації клімату, що складаються у приземному шарі повітря, називають **мікрокліматом**. У кожній зоні мікроклімат значно відрізняється. Можна виділити мікроклімат будь-яких ділянок площі, об'єктів. Наприклад, особливий режим утворюється у віночках квіток, який використовують комахи, що мешкають там. Широко відомі відмінності температури, вологості повітря та сили вітру на відкритому просторі й у лісі, у трав'яному ярусі та над оголеними ділянками ґрунту, на схилах північної та південної експозицій. Особливий стійкий мікроклімат виникає в норах, гніздах, дуплах, печерах та інших закритих місцях.

Опади. Крім водозабезпечення та створення запасів вологи, опади можуть мати й іншу екологічну роль. Сильні зливові дощі або град здійснюють іноді механічний вплив на рослини або тварин, затоплюють нори рийних тварин тощо. Особливо різноманітна екологічна роль снігового покриву. Добові коливання температур відчутні у товщі снігу лише до 25 см, глибше температура майже не змінюється. При морозах у $-20\ldots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ під шаром снігу товщиною 30—40 см

температура не набагато нижча за нуль. Дрібні наземні звірі й узимку ведуть активний спосіб життя, прокладаючи під снігом і в його товщі цілі галереї ходів. Для ряду видів, що живляться підсніжною рослинністю, характерне навіть зимове розмноження, яке відзначається, наприклад, у лемінгів, лісової миші, мишака жовтогорлого, ряду видів нориць, водяного щура та інших ссавців.

Великим тваринам зимовий сніговий покрив заважає добувати корм. Багато копитних (північні олені, кабани, вівцебики) живляться взимку переважно підсніжною рослинністю, і глибокий сніговий покрив, а особливо тверда кірка на його поверхні, що виникає в ожеледь, прирікають їх на нестачу кормів. Глибина снігового покриву може істотно обмежувати розповсюдження видів. Наприклад, справжні олені не проникають на північ у ті райони, де товщина снігу взимку більша 40—50 см.

Білизна снігового покриву демаскує темних тварин. У виникненні сезонної зміни забарвлення у білої тундрової куріпки, зайця-біляка, горностая, ласки, песця, мабуть, велику роль зіграв відбір на маскування під колір фону.

Магнітне поле Землі. Вважається, що основне позитивне значення магнітного поля Землі полягає в тому, що воно, як парасолька, надійно захищає все живе на Землі від жорсткого сонячного та космічного випромінювання. І оскільки живі істоти і людина в тому числі, на 70—80 % складаються з води, то його коливання впливає на електропровідність клітинної протоплазми та тканин і, як наслідок, — на всі біофізичні та біохімічні процеси. Багатьма дослідниками на різних живих об'єктах показано, що екранування природного магнітного поля призводить до їх загибелі.

Власна пульсація магнітного поля Землі (так звана частота Шумана) тривалий час була постійною величиною і дорівнювала 7,83 Гц. Ця частота була настільки стабільною, що слугувала еталоном для навігаційного обладнання літаків, кораблів тощо. На цю ж частоту налаштований і **альфа-ритм** головного мозку людини. Але в останні десятиріччя вона почала зростати: нині вже наближається до 14 Гц, що відповідає частоті **бета-ритму** головного мозку, яка пов'язана не зі станом спокою, а зі станом активності людини. Таким чином, ритм «серцебиття» нашої планети невпинно зростає. Цікаво, що разом із тим напруга магнітного поля падає. За останні 22 роки вона зменшилась у середньому на 1,7 %, а в деяких регіонах Атлантичного океану — навіть на 10 %. У США (НАСА) і Німеччині (інститут М. Планка) проводили тривалі експерименти, в результаті яких встановлено, що хвилі Шумана необхідні для

синхронізації біологічних ритмів і нормального існування всього живого на Землі. Таким чином, *власне магнітне поле Землі — необхідний, життєво важливий фактор існування живих істот на нашій планеті.*

Сьогодні вже відомо, що люди, які відчувають великі навантаження та стрес, потребують шуманівських хвиль. Гостро відчувають їх відсутність літні та вегетативно чутливі люди, а також хронічні хворі. Це може призводити до головного болю, втрати орієнтації, нудоти, запаморочення тощо.

Нині електромагнітний фон планети в результаті діяльності людини зазнав істотних змін і забруднений настільки, що хвилі Шумана губляться серед найрізноманітніших електромагнітних випромінювань. Одні з найпоширеніших і найвпливовіших — електромагнітні коливання, викликані промисловими струмами з частотою 50 Гц, а також гігагерцові частоти стільникового зв'язку. До цього слід додати й те, що природне магнітне поле екранується, насамперед, у будівлях, що мають залізобетонні конструкції та металеві дахові покриття. Отже, сучасна людина загалом не зазнає оптимізувального впливу цього фактора, і тому потрібно якнайбільше часу проводити на відкритих ділянках поза містами, поблизу річок, озер, у лісі, горах чи інших куточках природи. Про важливість цього фактора свідчить і те, що американське космічне агентство НАСА для забезпечення нормальної життєдіяльності астронавтів використовує спеціальні генератори хвиль Шумана. Наявність магнітного поля на Землі людина не відчуває, бо в неї немає для цього спеціального органу. Але без його існування життя на Землі в її сучасному вигляді неможливе. Таким чином, стрімка і значуща перебудова магнітного поля Землі не може проходити для нас безслідно.

Космічні фактори. Останніми десятиліттями важливе значення приділяється впливу космічних факторів на організми, популяції та екосистеми. Безумовно, одним із найважливіших космічних факторів є електромагнітне та корпускулярне випромінювання Сонця. Ще у 1915 році визначний вітчизняний учений ХХ століття А. Л. Чижевський сформулював положення про періодичний вплив Сонця на біосферу Землі, яке знаходить і надалі своє підтвердження. Учені відкрили цикли періодичної сонячної активності (корпускулярна радіація) у дуже широких інтервалах: від декількох хвилин і менше до десятків і сотень років. Із кількістю активних плям на Сонці пов'язані такі біологічні процеси, як врожайність сільськогосподарських культур, захворюваність населення, кількість спалахів масового розмноження різних організмів тощо.

У 1960-ті роки, коли штучний супутник облетів навколо Сонця, зареєстровано секторну природу міжпланетного магнітного поля (рис. 3.17). Послідовна зміна чотирьох секторів ММП, викликана сонячним вітром і обертанням Сонця навколо своєї осі, відбувається протягом 27 діб. Таким чином, приблизно через кожен тиждень відбувається зміна знаків ММП з «+» на «—» або навпаки. Добре відомо, що магнітне поле міжпланетного простору впливає на виникнення та протікання магнітних бур на Землі та на формування погоди.

Дослідження впливу змін міжпланетного секторного магнітного поля на стан біологічних і фізико-хімічних систем проводяться в Україні ученими Таврійського національного університету разом із працівниками Кримської астрофізичної обсерваторії. *Встановлено, що разом зі зміною сектора МПП в організмах різних видів тварин, рослин, мікробів відбуваються істотні зміни: прискорюються або уповільнюються зростання та розвиток, змінюється активність багатьох ферментів тощо.* Вивчення дії космічних чинників на організми, популяції, угруповання та біогеоценози — один із напрямів сучасної космічної екології, який успішно розвивається за кордоном і в Україні.

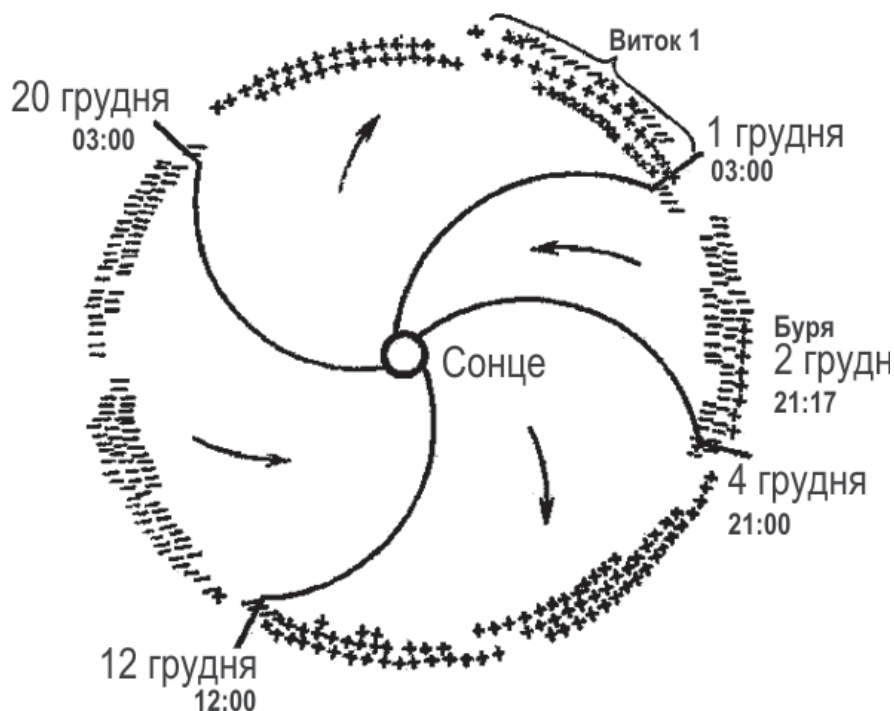


Рис. 3.17. Секторна структура міжпланетного магнітного поля в площині сонячного екватора; стрілками показано напрям силових ліній; можна бачити чотири сектори з постійним напрямом магнітного поля; межі між секторами проведені у вигляді спіралей Архімеда; надані дати та час переходу Землі у черговий сектор (Мизун, Мизун, 1984)

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- Білявський Г. О., Бутченко Л. І.* Основи екології. — К.: Лібра, 2004. — 367 с.
- Вальтер Г.* Общая геоботаника. — М.: Мир, 1979.
- Гиляров А. М.* Популяционная экология. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 192 с.
- Голубець М. А.* Екосистемологія. — Львів: Поллі, 2000. — 316 с.
- Голубець М. А.* Середовищезнавство (інвайронментологія). — Львів: Манускрипт, 2010. — 176 с.
- Джигирей В. С.* Екологія та охорона навколишнього природного середовища. — К.: Знання, 2002. — 203 с.
- Дідух Я. П., Ромащенко К. Ю.* Теорія еконіші: вимір широти та перекриття // Укр. ботан. журн. — 2001. — Т. 58, № 5. — С. 529—542.
- Дідух Я. П.* Етюди фітоекології. — К.: Арістей, 2008. — 264 с.
- Космическая экология / В. Г. Сидякин, Н. А. Темурьянц, В. Б. Макеев, Б. М. Владимирский. — К.: Наукова думка, 1985. — 176 с.
- Кучерявий В. П.* Урбоекологія. — Львів: Світоч, 1999. — 359 с.
- Кучерявий В. П.* Загальна екологія. — Львів: Світ, 2010. — 520 с.
- Словник найуживаніших термінів з екології, біотехнології і біоенергетики / М. Д. Мельничук, В. А. Гайченко, І. П. Григорюк та ін. — К.: Вид. НУБіП України, 2009. — 293 с.
- Мизун Ю. Г., Мизун П. Г.* Космос и здоровье. — М.: Знание, 1984. — 144 с.
- Мусієнко М. М., Серебряков В. В., Брайон О. В.* Екологія. Охорона природи: словник-довідник. — К.: Знання, 2002. — 551 с.
- Пианка Э.* Эволюционная экология. — М.: Мир, 1981. — 399 с.
- Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. — М.: Прогресс, 1980. — 327 с.
- Христофорова Н. К.* Основы экологии. — Владивосток: Дальнаука, 1999. — 347 с.
- Чернова Н. М., Былова А. М.* Общая экология. — М.: Изд-во МГПУ, 1999. — 494 с.
- Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. — М.: Мысль, 1976. — 367 с.
- Шилов И. А.* Экология. — М.: Высшая школа, 2001. — 512 с.
- Elton C. S. Animal Ecology. — London: Sidgwick and Jackson, 1927. — 209 p.
- Grinnell J. The Niche Relationships of the California Transher. — Auk, 1917. — 21. — P. 364—382.
- Dice L. R. Natural Communities. — Univ. Michigan Press, Ann Arbor., 1952. — 547 p.
- Clarke G. L. Elements of Ecology. — New York: Hafner, 1954. — 560 p.
- Hutchinson G. E. A Treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry. — New York: Wiley, 1957. — Vol. 1. — 1015 p.

Hutchinson G. E. The Ecological Theater and the Evolutionary Play. — Yale Univ. Press, New Haven, Conn., 1965. — 139 p.

MacArthur R. H. On the Relative Abundance of Bird Species. — Proc. Nat. Acad. Sci. 1957. — 43. — P. 293—295.

Odum E. P. Fundamentals of Ecology / 2nd ed. — Philadelphia: Saunders, 1959. — 564 p.

Pianka E. R. The Structure of Lizard Communities // Ann. Rev. Ecol., Syst. — 1973. — № 4. — P. 53—74.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Як зрозуміти поняття «оселище»?
2. Яка кількість екологічних чинників вам відома?
3. Чим відрізняються ресурси і умови?
4. Що таке адаптація?
5. Які екологічні чинники називають подразниками, обмежувачами, модифікаторами та сигналами?
6. Що таке «оптимум екологічного чинника»?
7. Які основні закономірності впливу екологічних чинників вам відомі?
8. Яку назву має явище порушення оптимуму відносно будь-якого чинника?
9. Як зрозуміти неспівпадання екологічних спектрів окремих видів?
10. Сформулюйте правило обмежуючих чинників.
11. Хто вперше запропонував термін «екологічна ніша»?
12. Чи можуть співіснувати види з однаковою екологічною нішею?
13. Дайте інтегральну характеристику екологічної ніші за Хатчинсоном.
14. Які відмінності існують між поняттями «фундаментальна ніша» та «реалізована ніша»?
15. Яким чином визначаються параметри екологічної ніші?
16. Який тип конкуренції розширює екологічну нішу, а який — звужує?
17. Сформулюйте закон максимуму щільності упаковки видів біоценозу при даних умовах середовища.
18. Чи залежить поведінка видів від характеру їх реалізованої екологічної ніші?
19. Які типи пристосування живих організмів до зовнішніх чинників існують?
20. Які закономірності описує правило оптимуму?
21. Що таке «екологічна валентність»?
22. Що таке екологічний оптимум і екологічний песимум?
23. Що означає термін «контамінація»?
24. Який вплив здійснюють модифікуючі чинники?
25. Що таке «лімітуючі чинники»?
26. У чому полягає принцип гомеостазу на рівні організму?
27. На які групи за принциповим екологічним значенням можна поділити адаптивні механізми?
28. Що відображають екологічні класифікації?

29. Хто вперше описав явище удаваної смерті й у чому воно полягає?
30. Яких властивостей набувають організми у стані анабіозу?
31. Чи є відмінності між гіпобіозом і криптобіозом?
32. Що визначає коефіцієнт Q_{10} ?
33. Чим відрізняються ендотермія та ектотермія?
34. Для яких організмів характерна гетеротермія?
35. Яке значення має сума ефективних температур?
36. Які механізми регуляції температури тіла притаманні пойкилотермним тваринам?
37. Дайте визначення поняття базального метаболізму.
38. Чим відрізняється хімічна терморегуляція від фізичної?
39. Сформулюйте правило Бергмана та наведіть приклади його дії.
40. У чому полягає правило Аллена?
41. Які існують принципи екологічного поділу тварин за відношенням до світла?
42. Що таке «фотоперіодична регуляція»?
43. Які механізми лежать в основі циркадіанних (циркадних) ритмів?
44. Сформулюйте правило Ашоффа.
45. Які цикли називають циркануальними (цирканними)?
46. У чому полягає відмінність між циркануальними та сезонними ритмами?
47. На які екологічні зони поділяють Світовий океан?
48. Розшифруйте поняття «пойкілоосмотичні» та «гомойосмотичні» види тварин.
49. Які існують способи орієнтації тварин у водному середовищі?
50. Що таке анемохорія?
51. Які ґрунтові горизонти вам відомі? Надайте їх характеристику.
52. На які основні групи поділяють тварин — мешканців ґрунту?
53. Чим відрізняються «погода» і «клімат місцевості»?
54. У чому полягає важливість магнітного поля Землі для живих організмів?
55. Що таке хвилі Шумана і що відбувається з ними останнім часом?
56. Чому міській людині потрібно більше бувати на природі?
57. Що таке міжпланетне магнітне поле?
58. Як впливає міжпланетне магнітне поле на живі організми?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Основними механізмами адаптації на рівні організму є: а) онтогенетичні; б) популяційні; с) ценотичні.
2. Максимальні та мінімальні значення чинника, що може витримати організм — це: а) оптимальні точки; б) песимальні точки; с) критичні точки.
3. Нездатність переносити значні коливання тиску має назву: а) стенотермність; б) стеногалінність; с) стенобатність; d) стенотопність.

4. Можливості існування організмів у середовищі обмежують ті чинники, які: а) найбільше віддалені від оптимуму; б) оптимальні; с) найбільше наближені до оптимуму.

5. Термін «екологічна ніша» запропонував: а) Г. Гаузе; б) Ч. Елтон; с) Ж. Гріннел; д) Т. Шенер.

6. Фундаментальна ніша — той потенційно можливий гіперпростір, який може зайняти вид за: а) відсутності конкуренції; б) наявності конкуренції; с) зниженої конкуренції; д) підвищеної конкуренції.

7. За висловом Ю. Одума екологічна ніша — це: а) «адреса» виду; б) «професія» виду; с) «свідомство» виду.

8. Параметри еконіші визначають через показники: а) споживання ресурсів; б) наявності ресурсів; с) відсутності ресурсів; д) конкуренції за ресурси.

9. За певними вимірами (факторами) еконіш високоспеціалізовані організми характеризуються межами толерантності, які є: а) вузькими; б) широкими; с) середніми; д) оптимальними.

10. У більшості випадків, чим більше видів у складі біоценозу, тим чисельність кожного із них: а) вища; б) нижча; с) не змінюється.

11. Адаптація за принципом толерантності — це шлях адаптації: а) пасивний; б) активний; с) кумулятивний; д) вибуховий.

12. Адаптація за принципом резистентності — це шлях адаптації: а) пасивний; б) активний; с) кумулятивний; д) вибуховий.

13. У зоні оптимуму адаптивні механізми: а) посилені; б) послаблені; с) відключені; д) без змін.

14. Формулювання «Можливість існування даного виду в певному районі та ступінь його «процвітання» залежать від чинників, представлених у найменшій кількості» належить: а) Ю. Лібіху; б) А. Тінеманну; с) Л. Раменському; д) В. Мізіngu.

15. Повна тимчасова зупинка життя отримала назву: а) гіпобіоз; б) криптобіоз; с) анабіоз; д) гетеробіоз.

16. З ускладненням організації живих істот їх здатність бути активними за високих температур: а) знижується; б) підвищується; с) не змінюється.

17. Терморегуляція внаслідок рефлекторного збільшення теплопродукції у відповідь на зниження температури середовища є: а) фізичною; б) біологічною; с) хімічною.

18. Тварини, для яких є характерними поведінкові способи регуляції теплообміну: а) пойкилотермні; б) гомойотермні; с) гетеротермні; д) пойкилотермні і гомойотермні.

19. Частина світла, промені якої проникають у Світовий океан найглибше: а) довгохвильова; б) середньохвильова; с) короткохвильова; д) довгохвильова та середньохвильова.

20. Біологічні ритми з періодом близько 24 годин називаються: а) цирканними; б) циркадними; с) циркануальними.

21. Значна кількість мешканців морів і океанів відносно тиску є: а) еврибатними; б) полібатними; с) гетеробатними; д) стенобатними.

22. Багато видів водних тварин здатні за нестачі кисню впадати в неактивний стан, який називається: а) аноксидіозом; б) ангідробіозом; с) ангалінобіозом.

23. У гомойосмотичних тварин осмотичний тиск рідин тіла порівняно з навколишньою водою: а) вищий; б) нижчий; с) однаковий; д) не залежить від солоності води.

24. Середній розмір тварин, яких об'єднують під назвою мезофауна, складає: а) 0,1—3,0 мм; б) 2—20 мм; с) понад 20 мм.

25. Верхній, перегнійно-аккумулятивний горизонт ґрунту, у якому накопичується і перетворюється органічна речовина, позначається літерою: а) А; б) В; с) С.

26. Положення про періодичний вплив Сонця на біосферу Землі сформулював: а) М. А. Голубець; б) В. І. Вернадський; с) А. Л. Чижевський.

27. Частота коливання магнітного поля Землі становить: а) 7 Гц; б) 7,8 Гц; с) наближається до 14 Гц.

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питання	Відповідь	№ питання	Відповідь	№ питання	Відповідь	№ питання	Відповідь
1	а	8	а	15	с	22	а
2	с	9	а	16	а	23	д
3	с	10	б	17	с	24	а
4	а	11	а	18	д	25	а
5	с	12	б	19	с	26	с
6	а	13	с	20	б	27	с
7	б	14	а	21	д		

Розділ 4

ДЕМЕКОЛОГІЯ (ЕКОЛОГІЯ ПОПУЛЯЦІЙ)

Основна ідея. Популяція — самовідновлювальна цілісна система живих організмів, здатна до незалежного існування, розвитку.

Смислові зв'язки. Популяція як елемент екосистеми — структура популяції — динаміка чисельності — стратегія популяції — управління популяціями — моніторинг.

Ключові терміни. Ареал популяції, просторова структура популяцій, параметри популяцій, парцела, фітоценотична особина, експоненційне зростання, логістичне зростання, параметри моніторингу.

Мета — виявити особливості функціонування популяції як особливої екологічної системи, яка реагує на зміни умов середовища як єдиного цілого, володіє певною структурою, в якій відбуваються мікроеволюційні процеси.

4.1. Поняття популяції

Популяційна екологія як окремий розділ екології виникла в надрах популяційної біології — науки, яка вивчає роль популяцій в організації та еволюції видів. Термін «популяція», який означає народонаселення, вперше використано у XVI—XVII ст. під час перепису населення Лондона. Інтенсивне вивчення популяцій рослин і тварин розпочинається в 1920-х роках як подальший розвиток теорії еволюції Ч. Дарвіна (1859). Особлива увага популяціям приділена генетиками (Добжанський, Хакслі, Шмальгаузен, Четвериков, Вавилов, Кольцов, Філіпченко, Тимофєєв-Ресовський та інші), які переконливо довели, що елементарною еволюційною одиницею є популяція, яка забезпечує розвиток, відтворення особин та мінливість виду. Генетики розглядали популяції як природну суміш особин одного виду, неоднорідну генетично (В. Йогансен, 1905). Об'єктом дослідження генетиків стали менделівські популяції — групи особин, між якими відбувається вільне схрещування (що є малоімовірно).

Початок екологічним дослідженням популяцій поклав Р. Чепман (Chapman, 1928), який вивчав вплив трофічних ресурсів на чисельність особин мучного хруща (*Tribolium*). Значним внеском у розвиток популяційної екології стали математичні праці А. Лотки (Lotka, 1925) та В. Вольтерра (Volterra, 1926), в яких за допомогою диференціальних рівнянь проаналізовано міжвидову конкуренцію, хижацтво та паразитизм (відоме рівняння Лотки—Вольтерра). Не менш важливий вплив на розвиток популяційної екології мали експерименти Г. Гаузе (1934—1935) щодо конкурентного виключення особин різних видів, які мають подібні екологічні ніші.

Значним стимулом для розвитку популяційної екології стала потреба у науковому обґрунтуванні раціонального використання груп тварин (риб, ссавців) і охорони природи. Власне, прикладні аспекти зумовили розвиток еколого-демографічного напрямку досліджень популяцій (популяційної екології).

Існують різні тлумачення терміна «*популяційна екологія*». Ц. Кребс (Krebs, 1985) розглядав популяційну екологію як науку про взаємодію організмів одного виду. Я. Дідух (1998) — як науковий напрямок, що *досліджує закономірності взаємозв'язків організмів певного виду (або видів) між собою та з довкіллям, у результаті чого відбувається формування біосистем (популяцій), здатних до самовідновлення та розвитку*. Таке розуміння популяційної екології є коректним. Згідно з цим визначенням популяційної екології, *предметом її дослідження є онтогенез особин, структура популяцій (вікова,*

статева, просторова, віталітетна, етологічна), їх динаміка (народжуваність, смертність), здатність протистояти впливу різних чинників (стійкість), стабільність (здатність існувати в мінливих умовах природного середовища), стратегія, життєздатність, механізми самовідновлення. Вивчення цих ознак і властивостей популяцій дозволяє отримати низку нових фундаментальних даних щодо їхнього функціонування в мінливих умовах середовища, вказати на майбутнє видів, які їх формують, та індикувати стан екосистем, компонентами яких вони є.

Єдиного уніфікованого визначення популяції не існує. У популяційній біології об'єкт дослідження, популяцію, розуміють як більш-менш ізольовану групу особин, які здатні до самовідтворення та пов'язані між собою спадково. У популяційній екології популяцію розглядають як групу особин одного виду на конкретній території або в конкретному фітоценозі. Ці обидва напрями — біологічний (генетичний) і екологічний — щодо розуміння терміна «популяція» мають право на існування. Їх доцільно застосовувати залежно від мети дослідження популяцій. Втім, обидва ці напрямки слабо стикуються між собою. Сучасна популяційна екологія аж ніяк не може не враховувати розуміння популяції як елементарної еволюційної одиниці. Експлуатація або охорона популяції повинні ґрунтуватись на перспективі її існування протягом тривалого часу (багатьох поколінь). У свою чергу, популяційна біологія повинна постійно збагачуватись даними щодо впливу на групу особин різних чинників абіотичного та біотичного характеру, особливостей вікової, просторової, статевої, віталітетної структур тощо. Об'єктом дослідження популяційної екології повинна стати група особин, яка:

- складається з особин одного виду і займає певну територію;
- має специфічну генетичну структуру;
- неоднорідна генетично;
- здатна до еволюції внаслідок перебудови генетичної структури;
- здатна до самостійного існування та підтримання чисельності протягом більш-менш тривалого періоду завдяки чергуванню поколінь, які замінюють одне одного;
- має зв'язки ймовірно-статистичного типу.

Таке розуміння популяції фактично означає об'єднання двох напрямів дослідження (генетичного та еколого-демографічного) у третій — синтетичний. Найповніше цей синтез виявився у визначенні популяції, яке дали О. В. Яблоков та О. Г. Юсуфов (1989). За цими авторами, **популяція — мінімальна, здатна до самовідновлення група особин одного виду,**

яка протягом еволюційно тривалого періоду заселяє певний простір, утворює самостійну генетичну систему і формує власну екологічну нішу. Наведене визначення популяції передбачає, що вона є екологічною системою, в ній відбуваються мікро-еволюційні процеси.

Із визначення О. В. Яблокова та О. Г. Юсуфова можна зробити висновок, що *популяція* — елементарна група особин, яким властивий еволюційний процес. Ні «сім'ї», ні «прайди», ні «стада», ні «зграї», а тим більше поодинокі особини не мають власної «еволюційної долі», оскільки вони відмирають, не встигнувши еволюційно змінитися.

Коли йдеться про мінімальну чисельність популяції, беруть до уваги чисельність, достатню для виживання групи навіть під час її різких коливань (які інколи сягають тисяч особин). Звичайно, популяція хребетних тварин у період мінімальної чисельності може, в окремих випадках, становити декілька дорослих особин, які розмножуються. Коли йдеться про мінімальну чисельність, то мають на увазі *ефективну чисельність*, тобто кількість особин, які беруть участь у репродукції. Ефективна чисельність майже завжди менша від загальної.

Популяцію, як і будь-яку біологічну систему, характеризують набором елементів, будовою та функціями, визначеними такими поняттями, як структура та функціональна організація. Склад і будова популяції — **структура**, а особливості функціонування елементів — **функція**. Обидві ці фундаментальні ознаки взаємопов'язані між собою.

Залежно від ієрархії екосистем під популяцією можна розуміти різні за чисельністю групи особин. У консортивній екосистемі (див. п. 5.4), ядро якої — особина автотрофного або гетеротрофного організму, консорти I, II, III рівнів можуть бути представлені різними за об'ємом і чисельністю групами особин (популяціями). В окремих випадках це можуть бути популяції в розумінні О. В. Яблокова та О. Г. Юсуфова. Приклад: облігатні консорти дуба — листоїди, у яких завдяки тому, що дуб живе декілька сотень років, протягом цього часу відбувається багаторазова зміна поколінь, а відтак і успадкування різних ознак. Це також стосується парцелярних екосистем. У біогеоценозних екосистемах переважають ценопопуляції автотрофних організмів. У ландшафтних, біомних та інших можуть домінувати популяції в розумінні О. В. Яблокова та О. Г. Юсуфова.

Основна функція популяції (незалежно від того, чи це популяція в розумінні О. В. Яблокова та О. Г. Юсуфова, чи група особин популяційного рангу) в екосистемах — забезпечення проходження через неї потоку речовин та енергії.

Як приклад розглянемо популяцію автотрофних організмів. Сонячна енергія, яку акумулюють зелені рослини, бере участь у фотосинтезі, а відтак накопичується у біомасі, яку можна виразити в одиницях енергії чи маси сухої органічної речовини на одиниці площі або об'єму (дж/м², кал/дм³, г/м², кг/дм³). Швидкість утворення органічної речовини (первинна продукція) визначають в одиницях енергії або маси за певний проміжок часу (дж, ккал/м²/доба, кг/га/рік). Сумарну, фіксовану у процесі фотосинтезу енергію називають *валовою первинною продукцією*. Якщо від валової первинної продукції відняти енергію, яка витрачається на дихання організмів, отримаємо *чисту первинну продукцію*, яку використовують гетеротрофні організми (консументи різних порядків) на формування вторинної продукції.

4.2. Структура популяцій

4.2.1. Популяційний ареал

Головні екологічні характеристики популяції — її ареал, чисельність, щільність, вікова, просторова, статева, віталітетна та етологічна структури, а також динаміка.

Популяційний ареал — простір, заселений особинами конкретної популяції. Власне простір (ареал) є одним із важливих критеріїв популяції. Ареал популяції може розширюватися або звужуватися. Розширення ареалу популяції відбувається у випадках, коли особини займають нові екологічні ніші, сприятливі для їх розмноження. Ареал популяції для різних видів може бути специфічним як за конфігурацією, так і за розмірами, а для деяких — змінюватися в часі. Наприклад, для прудкої ящірки (*Lacerta agilis*) він коливається від 0,1 до декількох гектарів, для водяної нориці (*Arvicola terrestris*) — від одного до декількох десятків гектарів.

Розмір ареалу популяцій тварин залежить від їх рухливості (репродуктивної активності), у рослин — від відстані, на яку може поширюватися пилок, насіння або вегетативні частини рослин, здатні до проростання. Наприклад, для виноградно-го слимака (*Helix pomatia*) радіус репродуктивної активності становить декілька десятків метрів, для ондатри (*Ondatra zibethicus*) — декілька сотень метрів, для дуба (*Quercus robur*) (пилок) — також декілька сотень метрів. Безумовно, радіуси репродуктивної активності (РРА) — один із факторів, які визначають розмір популяції. Сьогодні немає достатньо великої кількості даних для точного аналізу цих зв'язків. Якщо відомий РРА, то можна приблизно розрахувати мінімальний ареал популяції (S_{\min}):

$$S_{\min} = 3,14 \times (PPA)^2$$

Необхідно звернути увагу на те, що площа, на якій тварина здобуває собі корм, у багатьох випадках не збігається із репродуктивним ареалом. Як приклад можна навести білого лелеку (*Ciconia ciconia*), традиційний ареал якого сягає Африки, тоді як репродуктивний ареал невеликий — переважно це давно обжиті місця, гніздова територія.

За конфігурацією ареали популяцій можна розділити на декілька типів: *локальні, лінійні та континуальні*. *Локальний тип ареалу* властивий популяціям видів, які або приурочені до специфічних умов, наприклад заболочених ділянок, або ізольовані антропогенними чинниками. *Лінійний тип ареалу* притаманний видам, приуроченим до русел річок. *Континуальні ареали* — великі за розміром ареали популяцій, властиві багатьом видам ссавців (наприклад, ареал популяцій вовка (*Canis lupus*)), птахів і риб, а також багатьох видів рослин. У центрі ареалу популяції переважно формуються оптимальні для особин умови, які погіршуються на периферії. Ця закономірність характерна і для ареалу виду. Популяції виду, розміщені на периферії видового ареалу, можуть бути місцем «апробації» нових адаптацій.

4.2.2. Кількість особин

З огляду на різні розміри ареалу популяцій, кількість особин у них може суттєво змінюватися. У комах і рослин, яким властиві континуальні типи ареалів, кількість особин може сягати мільйонів. Крім того, всім популяціям притаманна динаміка кількості. Розмах коливань кількості особин окремих популяцій може бути значним. Відомі приклади коливання кількості травневих хрущів (*Melolontha hippocastani*) у мільйон разів. Для популяцій денних твердокрилих комах розмах коливань їх чисельності сягає 10 мільйонів, лускокрилих — тисячі, мишоподібних гризунів — сотні, білок — десятки разів. Для встановлення загальної кількості особин у популяції існують різні методи (мічення, повторних відловів, загального обліку тощо).

Доцільно зазначити, що наведені приклади стосуються дорослих особин. Із кількістю особин тісно пов'язане поняття мінімальної чисельності. Мінімальна чисельність — така чисельність особин, нижче якої популяція вимирає. Чисельність популяції, як і інші популяційні характеристики, мінлива. У кожному конкретному випадку мінімальна чисельність популяції специфічна для конкретного виду.

Вважають, що критичною найменшою чисельністю, яка ще здатна забезпечити виживання популяцій великих ссавців, є 50 особин.

4.2.3. Щільність популяції

Щільність популяції — не менш важлива, ніж кількість особин, характеристика популяції. Виражають її кількістю особин на одиницю площі (м^2 , га, км^2) або об'єму (дм^3 , м^3). Цей показник дає змогу порівнювати популяції між собою, оскільки чисельність особин у межах їх ареалів не завжди можна визначити. Щільність популяції — мінлива величина, яка залежить від ендегенних і екзогенних факторів. Ендегенна регуляція щільності полягає у тому, що чисельність особин зростає до тієї миті, коли смертність починає переважати над їх народжуваністю, тобто щільність популяції відповідає реальним ресурсам. Щільність популяції — компроміс між потенціалом її росту та впливом зовнішнього середовища.

4.2.4. Вікова структура

Популяції сформовані з особин різних вікових груп. Вікові групи особин можна виділяти за календарним або біологічним віком. Біологічний вік означає стан особин на певному етапі онтогенезу і має низку надійних індикаторних ознак. Наприклад, для рослин сходи дерев мають сім'ядолі, які в наступних вікових фазах зникають, генеративні фази рослин супроводжуються наявністю квітів, плодів, у субсенільній фазі переважають процеси відмирання над утворенням живих частин рослин, у сенільній фазі — призупиняються процеси новоутворень. Під час досліджень популяцій рослин оперують такими поняттями, як віковий стан, вікова група особин. Виділяють такі вікові групи особин рослин за біологічним віком або стадією онтогенезу: **насіння** (*Se*), **проростки** (*P*), **ювенільні** (*J*), **іматурні** (*Im*), **віргінільні** (*V*), **генеративні** (*G*), **субсенільні** (*Ss*), **сенільні** (*Se*).

У разі виділення вікових груп у популяціях тварин критерієм виступає вік особин. Такими групами можуть бути **покоління** — особини (нащадки) минулого покоління, які одночасно перебувають у репродуктивній фазі, або **когорта** — приплід особин, що народилися в різних поколіннях, але в один період.

Розглянемо деякі приклади. У представників землерийок (*Sorex*) навесні з'являється на світ один-два приплоди, дорослі особини вимирають, і до осені популяція складається

із молодих статевозрілих тварин. До весни всі особини, які перезимували, досягають статевої зрілості, і цикл повторюється.

Складніша вікова структура нориці (*Microtus oeconomus*), що дає за рік три приплоди, з яких весняний восени також дає приплід. Отже, популяція складається з особин різних поколінь. Це характерно для більшості тварин, які розмножуються протягом тривалого часу, а їх нащадки встигають увійти у генеративну фазу, у якій перебуває батьківське покоління.

Вікові стадії характерні і для безхребетних, зокрема метеликів: яйце → личинка (гусінь) → лялечка → доросла особина.

Популяцію, яка представлена всіма віковими групами, називають **повночленною**, без якоїсь групи — **неповночленною**. Якщо в популяції переважають особини прегенеративних вікових стадій без особин генеративної та постгенеративної, такі популяції називають **інвазійними**, якщо наявні особини лише постгенеративних стадій — популяції **регресивні**, а якщо є всі вікові групи особин, то популяції **нормальні**. Неповночленність вікових спектрів властива також і нормальним популяціям. Нормальна популяція, відповідно, може бути молодого, зрілого і старого. У молодій нормальній популяції переважають молоді (прегенеративні) особини, у зрілій — генеративні, а у старій — постгенеративні.

Із наведеного вище випливає, що віковий склад будь-якої популяції залежить від низки факторів: часу досягнення статевої зрілості особин; загальної тривалості їх життя; тривалості репродукційного періоду; тривалості існування покоління; частоти приплодів; характеру смертності особин у різних вікових і статевих групах; динаміки чисельності (флуктуаційної, осциляційної). Наведені показники різняться у популяціях одного виду, а це вказує на те, що їх вікова структура — нестабільна характеристика.

4.2.5. Статева структура

У більшості роздільностатевих організмів з генетичним визначенням статі потомство розщеплюється в співвідношенні, близькому до 1♂:1♀ (первинне співвідношення статей). Унаслідок неоднакової життєздатності чоловічих і жіночих організмів (різна життєздатність — еволюційно вироблена ознака) це первинне співвідношення часто змінюється на вторинне (характерне під час народження) та третинне (характерне для дорослих особин). У рослин і тварин вто-

ринне та третинне співвідношення статей може коливатися у значних межах. Наприклад, у деяких видів комах популяції складаються переважно з одних самок завдяки генетичним механізмам елімінації самців. У інших організмів формування статі визначене впливом зовнішніх чинників. Зокрема, личинки морського донного черва *Bonelia viridis* перетворюються на самок, якщо вони після деякого періоду життя в морі не можуть прикріпитися до іншої дорослої самки. У випадку, якщо личинка прикріплюється до самки, то із неї розвивається самець, який паразитує на ній і в десятки разів менший від самки за розмірами.

У тварин співвідношення статей відіграє значну роль і є темою спеціальних досліджень. Співвідношення чоловічих і жіночих особин 1:1 називають сім'єю, один до декількох (1:д) — прайдом, декількох до багатьох (д:б) — найчастіше стадом, багатьох до багатьох (б:б) — колонією. Самці відповідають за якість потомства, а самки — за кількість. Пошук самцем партнера для парування сприяє генетичному різноманіттю і мінливості ознак. Статева структура популяції — стійка видова ознака, яка сильно впливає на взаємовідносини між організмами, їхню поведінку.

4.2.6. Просторова структура

Як популяції в межах виду, так і особини в межах популяцій завжди розміщені нерівномірно. Це зумовлено гетерогенністю фізико-географічних та інших умов середовища, які приводять до нерівномірного розподілу трофічних ресурсів, місць захисту для тих або інших вікових груп особин.

Просторова структура популяції — характер розміщення в популяційному ареалі окремих особин і їх груп. Особини популяції в межах ареалу можуть бути розміщені *випадково*, *рівномірно* або *плямисто*. Ці типи розподілу особин визначають як візуально, так і на підставі статистичних методів (співвідношення середньої кількості особин (x) на конкретній площі та дисперсії δ^2). Якщо це співвідношення близьке до одиниці — розміщення особин випадкове; якщо менше — рівномірне; якщо більше — групове, плямисте (рис. 4.1).

Випадковий розподіл особин простежується в однорідному середовищі, коли організми не сконцентровані в групи. Такий тип розміщення особин є тоді, коли на особини популяції діють численні, але слабкі абіотичні та біотичні фактори. Будь-яке місце у просторі може бути зайняте особиною.

Рівномірний розподіл особин виникає тоді, коли на особин популяції діє декілька головних факторів. Такий тип розподілу властивий, наприклад, газонним культурам.

Плямистий (груповий, агрегований) розподіл найчастіше трапляється в природі (зграї птахів, рої бджіл, стада копитних). За такого розміщення особин простежується **ефект групи**, сутність якого полягає в тому, що на рівні групи зростає ймовірність виживання особин у мінливих умовах середовища.

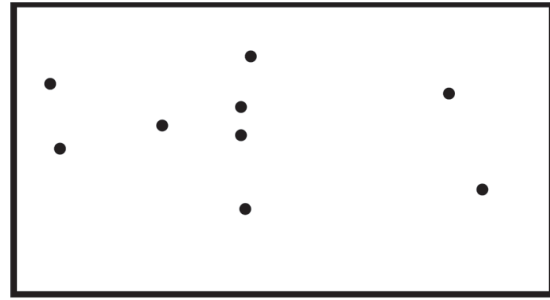
Популяції, в яких особини розміщені групами, більш урівноважені. Експериментами доведено, що в групі, наприклад рої бджіл, зберігається достатньо тепла для їх виживання навіть за температури, коли гинуть окремі особини. Відомо також, що «крик» однієї тварини попереджає стадо, і воно вчасно реагує на небезпеку. Політ птахів шеренгою, клином або уступом збільшує аеродинамічний ефект крила.

Таких прикладів переваг групового розміщення особин можна навести багато.

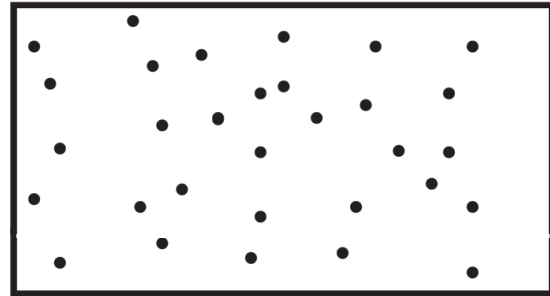
У літературі це називають **принципом Оллі**. Суть цього принципу полягає у тому, що *агрегація в цілому сприяє виживанню популяції, але посилює антагонізм між особинами*. Причини агрегативності такі:

- векторний розподіл градієнта середовища;
- соціальна поведінка;
- розмноження;
- конкуренція.

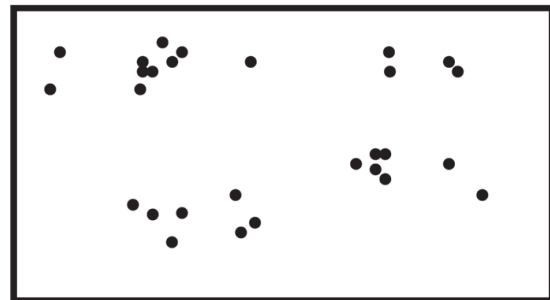
Для багатьох видів агрегативність із часом замінює ізоляція. Це характерно, наприклад, для таких птахів, як лелеки, лебеді, гуси, які в період гніздування відокремлюються, а восени збираються у зграї для відлітання у вирій. Групи особин у межах популяції можуть мати свою ієрархію. Для хребетних усередині їх популяцій можна виділити три типи інтеграції: неорганізовані (косяки пелагічних риб, які прямують на нерест); групи, організовані на засадах просторових контактів



a



б



в

Рис. 4.1. Розміщення особин у просторі: *a* — випадкове, *б* — рівномірне, *в* — групове

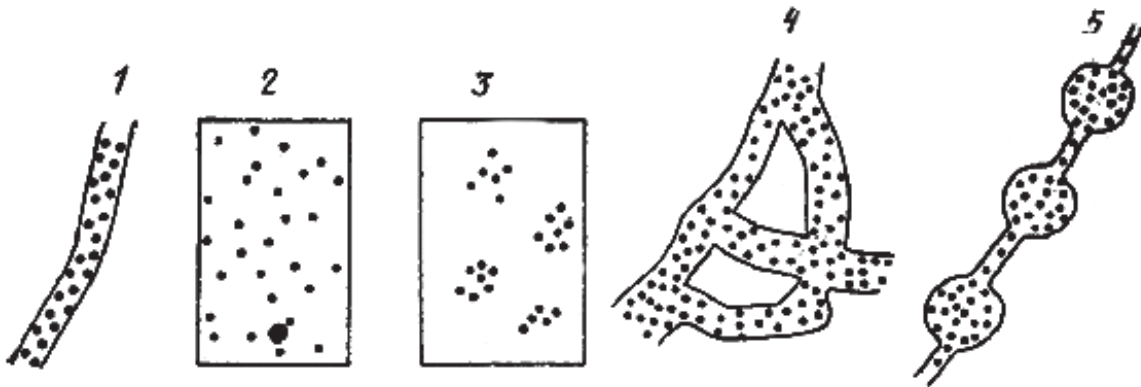


Рис. 4.2. Схема стрічкового (1), дифузного (2), острівного (3), сітчастого (4) та вервечного (5) розподілу особин (або малих скупчень особин) у природних популяціях

(колонії птахів, гризунів); стійкі багаторічні групи (у багатьох приматів). Розподіл особин в ареалі популяції значно залежить також від радіуса репродуктивної активності — відстані між місцем народження та місцем розмноження для 95 % особин конкретного покоління.

Зазначимо, що особини у групах можуть розміщуватися по-різному: дифузно, за острівним типом і вервечкоподібно, а також комбіновано (рис. 4.2).

Багатьом видам рослин і тварин притаманна метапопуляційна організація, яка тісно пов'язана із просторовим розміщенням особин. Термін «метапопуляція» увів у літературу Р. Левінс (1970). Цей термін означає популяцію популяцій, тобто популяція складається із субпопуляцій (часткових популяцій), між якими хоча б раз за покоління відбувається обмін генетичним матеріалом (діаспорами, пилком, вегетативними зачатками, заплідненою самкою або статевозрілим самцем). З'ясовано, що види, які формуються із метапопуляцій, менш уразливі до дії негативних абіотичних і біотичних, а також антропогенних чинників.

Дослідження метапопуляційної організації видів — новий напрямок екології взагалі та популяційної зокрема. Його інтенсивно розробляє Ілка Ганський (Ilka Hansky) — відомий фінський еколог. Доцільно звернути увагу на те, що метапопуляція різниться від континуальної популяції, яка також складається із субпопуляційних груп, тим, що між ними (частковими популяціями у розумінні Й. Царика та В. Кияка) обмін генетичним матеріалом обмежений. У континуальній популяції обмін генетичним матеріалом відбувається за естафетним принципом. До складу метапопуляції відносять також потенційно можливі для заселення особинами місця, а також ті, які особини вже залишили.

4.2.7. Віталітетна структура

Вивченням цього типу структури популяції в Україні інтенсивно займаються Ю. А. Злобін та Г. Г. Жилиєв. Ними встановлено, що в кожній віковій групі популяції можна виділити особини, які різняться біометричними показниками (масою, висотою, кількістю листків, товщиною стебел тощо). Причина цих відмінностей криється в генетичній спадковості, варіюванні умов росту (проживання), діяльності фітофагів, хижаків, паразитів, конкуренції. Встановлено, що відмінності між особинами одного вікового стану з часом посилюються. Для оцінки віталітетної структури популяцій застосовують віталітетний аналіз, який дозволяє встановити «індекс якості» популяцій, що порівнюються. Доведено, що особини різного віталітету відрізняються низкою індивідуальних показників (темпами розвитку, продуктивністю) та реакцією на дію екологічних факторів.

Віталітетна структура популяції забезпечує її існування в мінливих умовах середовища та під впливом антропогенних чинників і є однією з основних умов життєздатності.

4.2.8. Етологічна структура

Етологічна структура відображає різноманітну поведінку особин у популяціях. Можна виділити особини, які ведуть умовно одиночний спосіб життя. *Сімейний* спосіб організації особин посилює зв'язок між батьками та потомками, що починає проявлятися у їх територіальній поведінці. *Зграя* — тимчасове об'єднання особин, функція якого — збільшення ефективності полювання, захисту та міграції. Цей тип етологічної структури притаманний риbam, птахам і ссавцям (вовкам). *Стадо* — тривале об'єднання особин, в якому відбуваються всі основні функції життя групи: добування корму, захист, міграція, виховання молоді тощо. Основа функціонування стада — домінування одних особин над іншими. Для стада характерний тимчасовий або постійний лідер, з якого беруть приклад інші особини. *Колонія* — група осілих особин протягом тривалого часу або на період розмноження. Колонії різняться за характером взаємовідносин особин. Найскладніші взаємовідносини притаманні суспільним комахам (мурахи, терміти, оси, бджоли, джмелі тощо).

Встановлено, що етологічна структура популяцій є видоспецифічною. Порушення її може призводити до смерті всієї популяції, а не лише окремого її компонента (сім'ї, стада, колонії, зграї тощо).

4.3. Динаміка популяцій

4.3.1. Динаміка чисельності

Кожна популяція, як і будь-яка біологічна система, мінлива у просторі та часі. Мінливість популяції проявляється у першу чергу в динаміці чисельності особин. Динаміка чисельності популяцій визначається такими процесами: народженням особин та імміграцією; смертністю й еміграцією. У природних популяціях рослин і тварин основа динаміки — народжуваність і смертність, менше — імміграція й еміграція.

Народжуваність — здатність популяції до омолодження та збільшення чисельності. Розрізняють максимальну (фізіологічну) народжуваність як теоретично можливу появу нових особин за ідеальних умов без впливу лімітуючих факторів. Ця характеристика є сталою для певного виду та популяції. У переважній більшості аналізують екологічну народжуваність, яка означає омолодження, збільшення чисельності особин у популяції за реальних умов. Ця величина змінюється залежно від вікового стану особин та інших факторів.

Народжуваність залежить від кількості особин, що народилися за певний проміжок часу, її позначають ΔN_n (кількість особин за проміжок часу Δt). Ще розрізняють **питому народжуваність** b як співвідношення $(\Delta N_n / N \cdot \Delta t) \times 100$, де N — загальна кількість особин у популяції.

Смертність характеризують кількістю особин, що загинули у популяції з будь-якої причини за одиницю часу. Розрізняють мінімальну смертність (смертність, спричинену процесом старіння за ідеальних умов, значення її стало для популяції) та екологічну, або реалізовану смертність (відображає загибель особин за реальних умов середовища і залежить від типу популяції (стара, зріла)). Питома смертність d — це $\Delta N_m / N \Delta t$, де ΔN_m — кількість відмерлих особин за певний проміжок часу.

Різниця між питомою народжуваністю та питомою смертністю означає виживання (r), яке виражають формулою:

$$r = b - d.$$

4.3.2. Експоненційне та логістичне зростання чисельності популяції

Приріст популяції пропорційний її чисельності, і тому, якщо зростання популяції не обмежують жодні зовнішні чинники, популяція росте прискорено. Опишемо це зростання математично.

Приріст популяції пропорційний чисельності особин у ній, тобто $\Delta N \sim N$, де N — чисельність популяції, а ΔN — її зміна за певний період часу. Якщо цей період нескінченно малий, можна написати, що $dN/dt = R \times N$, де dN/dt — зміна чисельності популяції (приріст), а r — репродуктивний потенціал, змінна, що характеризує здатність популяції збільшувати свою чисельність. Наведене рівняння називається експоненційною моделлю зростання чисельності популяції (рис. 4.3).

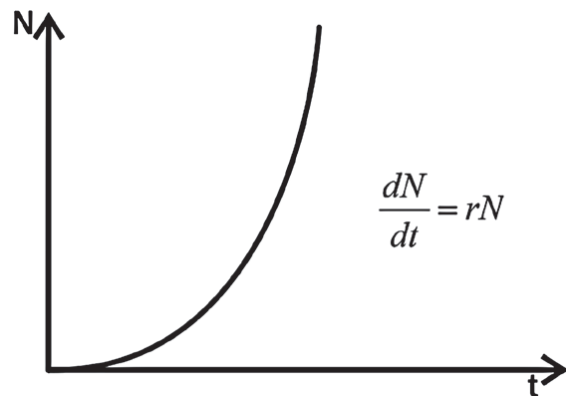


Рис. 4.3. Експоненційне зростання

Величину r називають іноді мальтузіанським параметром. Англійський священик Томас Мальтус був першим, хто звернув увагу на те, що чисельність населення зростає в геометричній прогресії. Саме знайомство з його роботою підштовхнуло і Чарльза Дарвіна, і Альфреда Уоллеса до здогадки про те, що потомство будь-яких організмів має «проріджуватися» природним добором.

Як легко зрозуміти, з ростом часу чисельність популяції зростає все швидше і досить скоро спрямовується до нескінченності. Природно, ніяке місцепребування не витримає існування популяції з нескінченною чисельністю. Тим не менш, існує цілий ряд процесів популяційного зростання, яке в певному часовому проміжку може бути описане за допомогою експоненційної моделі. Мова йде про випадки нелімітованого зростання, коли якась популяція заселяє середовище з надлишком вільного ресурсу: корови і коні заселяють пампи, борошняні хрущаки — елеватор із зерном, дріжджі — бутель виноградного соку і т.д.

Природно, експоненційний ріст популяції не може бути вічним. Рано чи пізно ресурс вичерпається, і зростання популяції загальмується. Яким буде це гальмування? Практична екологія знає різні варіанти: і різкий злет чисельності з подальшим вимиранням популяції, яка вичерпала свої ресурси, і поступове гальмування приросту в міру наближення до певного рівня. Найпростіше описати повільне гальмування. Проста модель, що описує динаміку, називається логістичною і запропонована (для опису зростання чисельності популяції людини) французьким математиком Ферхюльстом ще в 1845 році. У 1925 році аналогічна закономірність була наново відкрита американським

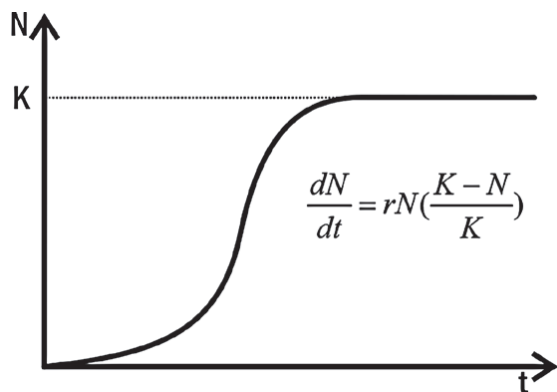


Рис. 4.4. Логістичний ріст

екологом Р. Перлем, який припустив, що вона носить загальний характер.

В логістичну модель вводиться змінна K — ємність середовища, рівноважна чисельність популяції, при якій вона споживає всі наявні ресурси. Приріст у логістичній моделі описується рівнянням (рис. 4.4):

$$dN/dt = r \times N \times (K-N)/K$$

Поки N є невеликим, на приріст популяції основний вплив справляє співмножник $r \times N$, і зростання популяції прискорюється. Коли стає досить високим, на чисельність популяції починає справляти основний вплив співмножник $(K-N)/K$, і зростання популяції починає сповільнюватися. Коли $N=K$, $(K-N)/K=0$, зростання чисельності популяції припиняється.

При всій своїй простоті логістичне рівняння задовільно описує багато спостережуваних у природі випадків і донині з успіхом використовується в математичній екології.

4.3.3. Виживання популяції

Виживання популяції характеризує її біологічну сутність і визначає особливості співвідношення між народжуваністю та смертністю особин залежно від їх віку або вікового стану. Для того, щоб визначити виживання популяції, складають демографічні таблиці (табл. 4.1). У таблицю заносять такі дані: вік особин (x); кількість живих особин на момент обліку (n_x); частка особин, які не досягли відповідного віку x , тобто питома виживання L_x ; кількість особин, що загинули від початку інтервалу x до наступного інтервалу $x + 1$ (d_x); смертність в інтервалі x , тобто питому смертність (q_x); народжуваність на одну самку (m_x); питому народжуваність $m_x L_x$. Початок віку обирають умовно, залежно від об'єкта та поставлених завдань. Вікові класи виділяють з огляду на біологічні особливості виду. Це можуть бути роки, місяці, дні, години з урахуванням тривалості життя й особливостей життєвого циклу. Всі дані обчислюють статистично. До уваги здебільшого беруть лише самок.

Таблиця 4.1.
Виживання гіпотетичної популяції
за Я. П. Дідухом (1998)

Вік особин, років	Кількість на момент обліку, особин	Питоме виживання	Відмерли від x до $x+1$, особин	Питома смертність	Кількість нащадків, народжених однією самкою, особин	Питома народжуваність
0	20	1,00	4	0,20	0	0,00
1	16	0,80	4	0,20	0	0,00
2	12	0,60	4	0,20	2	0,20
3	8	0,40	4	0,20	4	1,60
4	4	0,20	2	0,10	4	0,80
5	2	0,10	1	0,05	2	0,20
6	1	0,05	1	0,05	1	0,05
7	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Примітка: q_x обчислено за формулою d_x/n_x .

На підставі даних щодо частки особин, які дожили до певного віку (L_x), залежно від віку x можна побудувати криві виживання (рис. 4.5). Крива *I* означає малу смертність особин протягом більшої частини життя, лише на старості всі організми різко вимирають. Така крива властива людині в розвинених країнах, а також дрізофілі. Крива *III* ілюструє інший варіант, коли значна частина особин гине на початкових етапах онтогенезу, а в подальшому цей процес уповільнюється (більшість живих організмів: риби, комахи, рослини).

Крива *II* характеризує незалежність смертності від віку (птахи, рослини після проростання та вкорінення тощо). У природних умовах реальні криві виживання є комбінацією цих типів залежно від стадії розвитку популяції, віку та умов середовища.

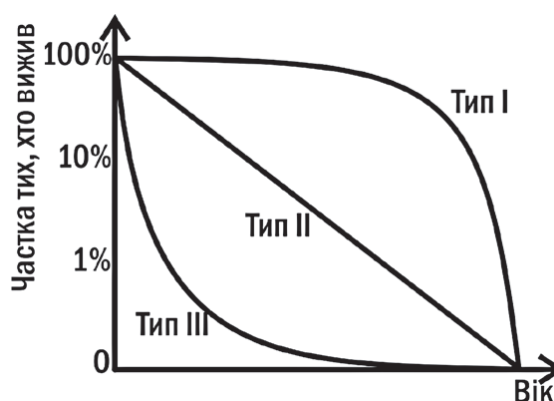


Рис. 4.5. Головні типи кривих виживання особин (пояснення в тексті)

4.3.4. Швидкість відновлення популяції

Важливим показником оцінки швидкості відновлення популяції є питома народжуваність, тобто кількість нащадків, що їх народжує самка за одиницю часу в кожному віковому стані, тобто $m_x l_x$. Сума усіх самок популяції ($\sum m_x l_x$) характеризує чисту швидкість розмноження R_0 , яка відображає, наскільки збільшується популяція за одне покоління. Значення цієї величини змінюється залежно від біологічних особливостей виду. Якщо $R_0 = 1$, то популяція перебуває в рівновазі. Такий стан притаманний зрілій популяції, яка живе в стабільних умовах.

4.3.5. Обмежувальні чинники зростання популяції

Чисельність особин будь-якої популяції могла б збільшуватися в геометричній прогресії, якби на неї не діяли обмежувальні фактори (ресурси, конкуренція, ендегенні причини). Щільність популяції регульована рівновагою між внутрішнім для даної популяції потенціалом зростання та впливом зовнішніх чинників (середовищем, ресурсами, конкуренцією тощо).

А. М. Гіляров навів три можливі варіанти гальмування росту чисельності популяції тварин: 1) збільшення стресових станів, що спричиняє зниження народжуваності та збільшення смертності; 2) збільшення міграції з оптимальної зони в крайову, де смертність більша; 3) зміна генотипу, що призводить до заміни особин зі швидким розмноженням такими, що розмножуються повільно.

Механізми гальмування росту чисельності популяцій спрацьовують із затримкою, що зумовлює її коливання, які виявляються на великих проміжках часу. Для багатьох видів тварин характерні циклічні коливання чисельності з інтер-

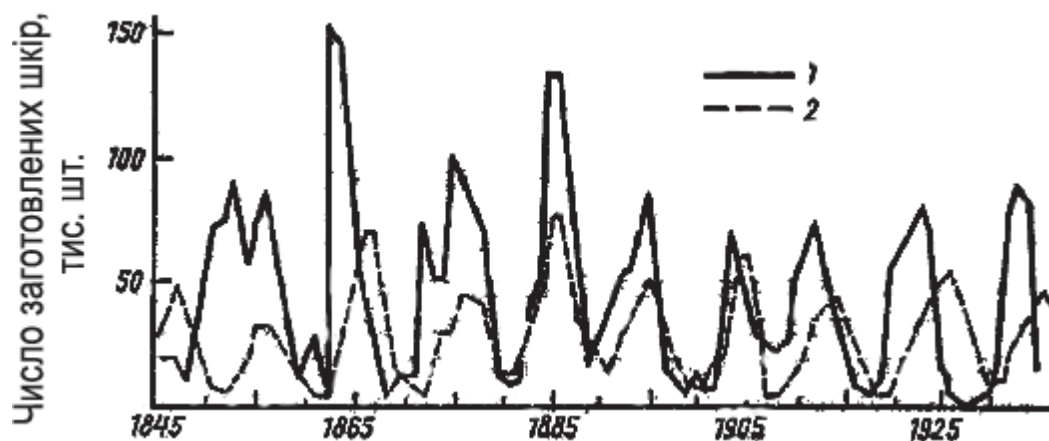


Рис. 4.6. Коливання чисельності зайця (*Lepus americanus*) (1) і рисі (*Lynx lynx*) (2) у Канаді за матеріалами заготівлі шкір компанією Гудзон-Бей

валом 3—10 років. Причини таких коливань ще до кінця не вивчені, їх не завжди можна пов'язати зі змінами клімату.

Водночас відомо, що чисельність особин можна обмежити трофічними зв'язками. Найяскравіше така залежність простежується в системі «жертва — хижак», чисельність компонентів якої взаємопов'язана (рис. 4.6).

4.3.6. Причини вимирання популяцій

Локальне вимирання особин на територіях, що охороняються, змусило вчених замислитися над тим, які фактори зумовлюють цей процес, якщо угруповання та види пристосовані до даного середовища. Річард Б. Прімак (2002) виділив такі *причини вимирання: руйнування оселищ; фрагментація, деградація; глобальна зміна клімату; надмірна експлуатація ресурсів; інвазія екзотичних видів; хвороби*. Вважають, що найбільше руйнування біотичних угруповань відбулося за останні 150 років, коли населення планети зросло з 1 млрд у 1850 р. до 2 млрд у 1930 р., а на 31 жовтня 2011 р. становило 7 млрд. Прогнозують, що в 2050 р. населення Землі досягне 10 млрд.

Людство несе повну відповідальність за швидкі темпи збіднення *біотичного різноманіття*. Водночас постає питання: чи зростання населення призводить до пропорційного збільшення втрат біотичного різноманіття? Спробуємо відповісти на це запитання. Услід за Р. Б. Прімаком розглянемо головні фактори загрози для видового різноманіття на популяційному рівні.

Руйнування місць проживання (оселищ). Цей фактор — один із головних факторів загрози біотичному різноманіттю. Руйнування оселищ може бути як повним, так і з пошкодженнями у вигляді забруднень, фрагментації. Найнегативніші наслідки має руйнування болотистих територій і водних екосистем (дренаж, греблі, меліорація тощо), степів, гірських територій, коралових рифів, опустелювання тощо. Нині у світі налічують 9 млн км² деградованих земель.

Фрагментація оселищ (інсуляризація). Крім цілковитого руйнування площі, простежується також розділення її на дрібні шматки дорогами, полями, городами, лініями електропередач, тобто деградованими територіями. Фрагменти відрізняються від колись суцільної площі тим, що вони мають значно більшу протяжність примежових зон, центр кожного фрагмента розташований близько до краю. Все це впливає на функціонування популяцій, зокрема на можливість розселення особин, зоохорії тощо. Фактично змінюються трофічні ланцюги, що позначається на функціонуванні екосистеми.

У таких фрагментах імовірність зникнення окремих груп особин суттєво зростає, оскільки вони потрапляють під дію інбридінгу та дрейфу генів.

Крайовий ефект. У примежових зонах порівняно із середньою угруповань змінюється освітленість, температура повітря та ґрунту, швидкість вітру тощо. Якщо зміни проникають усередину угруповань, де ростуть види, вузько пристосовані до певних абіотичних факторів, це призводить до зниження життєздатності їх популяцій, туди починають потрапляти особини видів рудеральної стратегії. Це все посилює ефект дестабілізації угруповань.

Деградація та забруднення місць. Можливі випадки, коли територія не піддається явному впливу зовнішніх чинників, однак ці чинники діють у малій дозі (наприклад, викиди заводів, автомобілів), що не супроводжується візуальними змінами. Серед забруднень перше місце доцільно відвести забрудненню територій пестицидами. На цей вплив уперше звернула увагу у 1962 р. Рашель Карсон у книзі «Мовчазна весна». Не менш важливим чинником зниження рівня біорізноманіття є забруднення вод, яке призводить до зникнення риб і молюсків, а відтак — до збіднення раціону людини та зміни якості води як середовища життя гідробіонтів.

Забруднення повітря. Головний негативний чинник — кислотні дощі, які формуються з оксидів нітрогену та сульфуру. Для кислотних дощів характерна комплексна дія, вони впливають на фізико-хімічні властивості води, ґрунту та безпосередньо на тіло організмів.

Утворення озону. Унаслідок функціонування електростанцій, автомобілів у повітря потрапляють вуглеводні та оксиди нітрогену, які під впливом сонячного світла вступають у реакцію, в результаті якої утворюється озон. Відомо, що озон у приземних шарах повітря шкідливий для біотичних систем. Що стосується забруднення токсичними металами (Плюмбум, Цинк тощо), наслідки цього впливу особливо яскраво простежуються навколо металургійних комбінатів.

Глобальне потепління клімату. Вважається, що потепління клімату завдяки парниковим газам — об'єктивна тенденція. Навіть у випадку суттєвого зниження рівня викиду CO_2 , молекула цього газу існує в атмосфері в середньому 100 років, а потім асимілюється автотрофними організмами.

Надмірна експлуатація ресурсів. Безумовно, збільшення кількості людей зумовлює різке зростання експлуатації ресурсів. Переважно їх експлуатація нераціональна. Наприклад, в Америці на одного мешканця припадає в 243 рази більше паперу, ніж на одного жителя Індії, і в 43 рази більше бензину.

Ще одна причина втрати біотичного різноманіття — наявність **інвазійних видів**. Прикладом такого впливу може слугувати зникнення багатьох ендемічних видів молюсків Французької Полінезії внаслідок інтродукції туди хижого молюска *Englandia rosea*, а також інтродукція в оз. Вікторія нільського окуня тощо. Таких прикладів можна навести багато. Причини інтродукції можуть бути різні, зокрема колонізація Європи вихідцями з інших країн, садівництво та сільське господарство, випадкове заселення, екзотичні забаганки сучасних олігархів тощо.

Хвороби. З'ясовано, що ймовірність захворювання тварин і рослин зростає в розбалансованих екосистемах, а також у системах, де простежуються часті контакти між дикими та домашніми тваринами, рослинами.

Біотехнологія. Використання генетично поліпшених сільськогосподарських культур зростає, а одночасно посилюється й небезпека впливу генетично модифікованих організмів (ГМО) на біотичне різноманіття. З огляду на це, у 2000 р. підписано Картахенський протокол із біологічної безпеки, який спонукає країни-виробники ГМО дотримуватися безпеки їх транспортування, зберігання та використання.

Наведені вище чинники є загальними. У кожному конкретному випадку необхідно проводити тривалі дослідження щодо причин вимирання тих чи інших популяцій на певних територіях. Загальної думки щодо причин вимирання популяцій немає.

4.3.7. Уявлення про стратегію популяцій

У сучасній еволюційній та екологічній літературі для опису життєдіяльності рослин і тварин широко застосовують термін «стратегія життя виду» (*life—history strategy*). Спочатку цей термін використовували дослідники, які вивчали процеси еволюції. Ці вчені довели, що здатність живих організмів витрачати різну кількість ресурсів на розмноження сформувалася в процесі природного добору і є специфічною ознакою виду. За розміром затрат ресурсів, потрібних для розмноження, види живих організмів можна розділити на дві групи: конкуренти (*K*-стратегіи) і рудерали (*r*-стратегіи). Види-конкуренти живуть у порівняно стабільних умовах середовища, а види-рудерали — у мінливих, нестабільних. Пізніше Р. Уїттекер (1975) зробив висновок, що поділ живих організмів за двома типами стратегії не завжди правильний. Багато видів із різних місцезростань мають ознаки, за якими їх неможливо зачислити до якогось одного з двох типів стратегії. Отже, Р. Уїттекер уперше звернув увагу на те, що

дуже важко однозначно стверджувати належність організмів лише до *r*- або *K*-стратегій. Для вирішення цієї проблеми він запропонував третій тип — *L*-стратегію.

За основу своєї системи стратегій Р. Уїттекер узяв закономірності коливань чисельності особин між двома рівнями: *C* — верхнім, який відповідає максимальній щільності особин, і *L* — нижнім, якому властива така чисельність, котра не забезпечує виживання групи особин, хоча періодично може раптово збільшуватися. У видів *r*-стратегії чисельність особин коливається між *C*- і *L*-рівнями; чисельність *K*- і *L*-стратегів здебільшого знаходиться в межах *C*- і *L*-рівнів, відповідно. У групі *L*-стратегів природний добір спрямований на вдосконалення механізмів, які дають змогу їм витримувати несприятливі умови середовища.

Стратегію можна розглядати як комплекс пристосувань, спрямованих на виживання та відновлення організмів. Б. М. Міркін (1985) вважає, що стратегія визначає тріаду виживання: здатність популяції протистояти конкуренції, захоплювати той чи інший об'єм екологічного гіперпростору, переживати зумовлені біотичними та абіотичними чинниками стреси й відновлюватися після порушень.

На думку Дж. Грайма і Ю. Є. Романовського, стратегія зумовлена реакцією на дві групи чинників — стрес і порушення. Стрес обмежує чисельність особин і продуктивність видів через ліміт ресурсів або вплив субоптимальних фізичних чинників; порушення пов'язані з відчуженням біомаси популяцій споживачами або зростанням смертності внаслідок дії екстремальних чинників. Уважають, що за сильного стресу та сильних порушень жоден вид не може існувати. Допускають три типи комбінації чинників, за яких види можуть існувати: *сильний стрес — слабкі порушення; слабкий стрес — сильні порушення; слабкий стрес — слабкі порушення*. Ці три комбінації чинників і зумовлюють, відповідно, три типи стратегій. У розумінні типів стратегій Р. Уїттекера *перша група комбінацій чинників призводить до формування L-стратегів, друга — до формування r-стратегів, третя — до формування K-стратегів*.

Найповніше уявлення щодо типів стратегій міститься у численних працях Дж. Грайма (1979), який також запропонував концепцію трьох типів стратегій і назвав їх так: *конкурентний (K-тип), стрес-толерантний (S) і рудеральний (R)*. Учений назвав ці типи стратегії первинними.

Види конкурентного типу стратегії здебільшого здатні протистояти конкуренції й досягають оптимальної продуктивності в оптимальних для їх існування непорушених

умовах, тобто їх стратегія, згідно з двома групами чинників, детермінована слабким стресом і слабкими порушеннями.

Види стрес-толерантного типу стратегії мають низьку швидкість росту й низьку продуктивність, вони здатні тривалий час існувати в несприятливих для життя місцезростаннях, у яких діють сильний стрес і слабкі порушення.

Види рудерального типу стратегії, завдяки інтенсивному росту й значній продукції діаспор, максимально швидко освоюють сильно порушені, але сприятливі для життя місцезростання, тобто вони існують в умовах слабого стресу та сильних порушень. Згідно з уявленнями Дж. Грайма, види трьох типів стратегій займають різне положення в межах *R-K*-континууму. У зоні *R* — розміщуються рудерали, у центрі — стрес-толеранти і в *K*-області — конкуренти.

Аналіз уявлень про стратегію видів допоміг Дж. Грайму зробити висновок, що у природі реально існують види, яким властиві ознаки різних типів стратегій, що не дає підстави віднести їх до якогось одного з трьох виділених первинних типів. З огляду на це Дж. Грайм запропонував виділяти поряд із первинними також вторинні типи. Вторинним типам стратегії, за домінуючих ознак якогось одного первинного типу, властиві також ознаки інших первинних типів стратегій, наприклад *K-S-R*, *K-R*, *S-R*, *K-S*.

У літературі, яка стосується стратегій, є уявлення, що тип стратегії — узагальнена біологічна характеристика, яка означає набір властивостей і ознак, завдяки яким вид займає певне місце в угрупованні. Таке розуміння типу стратегії було і є головним у російській фітоценологічній літературі й відображене у класифікації ценотипів, побудованій на підставі наслідків дії одного виду на інші (домінанти, асектатори тощо). Інший підхід до класифікації ценотипів ґрунтується на виявленні у видів різноманітних пристосувань, які дають змогу їм домінувати в угрупованні. Саме у рамках другого підходу Л. Г. Раменський (1935) обґрунтував своє уявлення про три групи ценотипів: віоленти, патієнти та експлеренти. **Віоленти** пригнічують інші види завдяки високій енергії життєдіяльності й повноті використання середовища; **патієнти** — найтолерантніші та витривалі до крайніх суворих умов їх росту (життя); **експлеренти** — здатні досить швидко захоплювати звільнені території.

У літературі є різні підходи щодо виділення первинних типів стратегій видів. У зв'язку з біологічною концепцією виду він є системою взаємопов'язаних відносно самостійних популяцій (адаптованих до конкретних умов росту). У межах загальної стратегії життя виду доцільно виділяти стратегію життя його популяцій. При такому підході домінантні оз-

наки стратегії популяцій — первинні ознаки стратегії виду. Наприклад, для рудералів (*R*) це — велика витрата енергії на розмноження. У той же час в окремих умовах популяція *R*-стратегії може набувати також ознак стрес-толерантності (*S*), тобто жити в умовах песимуму. Здатність до набуття популяцією ознак стратегії інших типів є поширеним явищем. Переважна більшість популяцій володіє вторинними типами стратегій (*R-S*, *R-S-K*...). Згідно з нашим підходом стратегію популяції доцільно розглядати як **сукупність пристосувань, рис і властивостей, які виявляються в процесі реалізації генотипів особин у мінливих умовах біотичного, абіотичного та антропогенного середовища, забезпечують їй тривале існування, можливість захоплювати вільні екологічні ніші, переживати стрес і відновлювати структуру та функції.**

Оскільки будь-який вид — система популяцій, які в межах його ареалу перебувають під впливом різних екологічних чинників (крім випадку, коли вид представлений однією популяцією), то окремі популяції, що перебувають у подібних екологічних умовах, будуть відрізнятися від інших популяцій того ж виду, які ростуть у різних умовах, за сукупністю ознак і властивостей, що дає змогу їм вижити й мати еволюційну перспективу, тобто стратегію. У цьому випадку стратегія життя виду може бути визначена лише тоді, коли будуть виявлені стратегії популяцій, які його формують. Іншими словами, *стратегія життя виду — інтегрована характеристика стратегій і тактик його популяцій.*

Термін «тактика» ми розуміємо як зміну однієї або декількох ознак популяції під дією певного конкретного чинника, наприклад викошування. Зокрема, у популяції *Amica montana* під час скошування формуються особини з приземленими розетками — сінокісний тип тактики. Утворення видовжених листків розетки через затінення або перезволоження ґрунту — пригнічений тип тактики; зміна репродуктивного зусилля — репродуктивна тактика тощо.

4.4. Керування популяціями та їх життєздатність

4.4.1. Життєздатність популяцій

Що стосується поняття життєздатності популяцій, то воно відноситься до категорії таких фундаментальних понять, як стратегія популяцій, великий життєвий цикл популяції, стійкість і стабільність біотичних систем. Цей напрямок досліджень інтенсивно розробляється у світі, зокрема під час обґрунтування концепції мінімальної життєздатної популяції (МЖК), яка означає мінімальний набір умов, що дозволяє

популяції жити протягом тривалого (декілька поколінь) часу на конкретній території з імовірністю 95 %.

Життєздатність популяції — сукупність властивостей, ознак і зав'язків, що забезпечують притаманну їй здатність підтримувати рівень системної організації, необхідний для збереження базових функцій — відновлення, розселення та еволюції (Жиляєв, 2005). Встановлення життєздатності популяції досягається за рахунок вивчення її індивідуальних і групових ознак (характеру онтогенезу, особливостей репродукції, темпів оновлення поколінь, репродуктивної ефективності, просторової, статевий, етологічної структур тощо). В ідеалі аналіз життєздатності популяції повинен охоплювати етап емпіричного обліку багаторічної динаміки диференційних ознак і етапів її відтворення. Першочергове завдання — визначити мінімальні умови, за яких у даному оселищі не виникає загрози втрати життєздатності популяцій і зберігається можливість їх адаптації у мінливих умовах середовища.

4.4.2. Керування популяціями

Рациональна експлуатація біотичних ресурсів, призупинення росту чисельності особин окремих видів, які з позиції людини є шкідниками сільськогосподарських культур, тварин тощо, а також охорона рідкісних, ендемічних, реліктових і видів, що знаходяться під загрозою зникнення, вимагають глибоких знань організації та динаміки популяцій. Без таких знань будь-які заходи щодо керування біотичними ресурсами, охорони будуть малоефективними.

Під поняттям «керування популяціями» розуміємо комплекс науково обґрунтованих заходів, спрямованих на підтримання життєздатності популяції.

Керування популяціями доцільно застосовувати як у випадку їх охорони, так і в разі їх експлуатації. Під час експлуатації природних популяцій виникають три проблеми, які необхідно вирішити:

- підвищення щільності малих і популяцій, що зникають;
- отримання сталого рівня промислу (сировини, особин, частин особин (для ботанічних об'єктів тощо), або рівня «врожаю» для популяцій, які експлуатують);
- зниження щільності популяцій, які надмірно численні та швидко зростають.

Ці три проблеми актуальні і для охорони популяцій.

У мисливстві, рибальстві та охороні часто трапляється так, що важливою стає якась одна проблема. Наприклад, у рибальстві актуальне забезпечення стабільного рівня про-

мислу. Інші дві проблеми виникають зрідка. Що стосується сільськогосподарської ентомології, то тут важлива проблема зниження щільності популяцій тварин, які завдають шкоди сільськогосподарським культурам. Вирішення цих трьох проблем можливе, якщо є способи керування динамікою чисельності особин. Наприклад, впливати на динаміку чисельності особин популяції можна через вплив на їх оселища (заболочені місця — для комарів), джерела води, кормові запаси тощо, а в інших випадках доцільно використовувати прямі методи (тобто методи, які прямо впливають на життя особин, — відстріл, відловлювання, застосування хімічних речовин тощо). У заповідних умовах прямі методи регулювання чисельності особин не застосовують.

4.4.3. Охорона популяцій

Вирішення багатьох завдань, пов'язаних з охороною біотичних систем, залежить не стільки від наукових і технічних можливостей забезпечення охорони, скільки від економічної та соціальної підтримки. Досить часто навіть неспеціаліст може визначити причину зменшення чисельності особин, а у випадку, коли це не вдається, зробити вірогідні припущення. Найскладніше переконати фінансистів (наприклад, держслужбовців міністерств) та широку громадськість у доцільності збереження тієї чи іншої біотичної системи. Прикладом може бути боротьба за заборону полювання на зубатих китів, яка діяла майже 40 років. Тепер, після заборони полювання, важливою стала проблема зміни раціону китів і трансформація оселищ середовища їх існування.

Понад 95 % усіх проблем, пов'язаних з охороною диких популяцій тварин, зумовлені двома причинами: живленням і зміною оселищ їх життя. Вирішення цих проблем може бути як простим, так і складним. Не завжди потрібно проводити довготривалі дослідження, якщо перші коректні результати можна отримати порівняно швидко. Завдання запобігання зменшенню чисельності особин доцільно вирішувати у два етапи.

Перший етап — дослідження причин зменшення чисельності особин буде легким, якщо є доступ до популяції, яка перебуває у сприятливих умовах. Тоді можна порівняти умови життя двох популяцій («критичної» та «нормальної»). Наприклад, з'ясовано, що на території, заселеній «критичною» популяцією, умови середовища подібні до умов нормальної популяції, але там випасають овець, а на площі «нормальної» популяції овець нема. У цьому разі, щоб переконатися, що причиною зменшення чисельності особин у «критичній»

популяції є випасання овець, достатньо його заборонити. Якщо зменшення чисельності припинене, то зникає потреба в другому етапі досліджень. Багато природоохоронних заходів і вирішують таким способом, тобто порівнюють умови існування нормальних популяцій і тих, які потребують охорони. У випадку, коли продовжується і далі зменшення чисельності особин, постає потреба у другому етапі досліджень. Перш за все потрібно звернути увагу на питому народжуваність, тобто з'ясувати, чи не прихована причина у способах розмноження. Зазначено, що зниження питомої народжуваності трапляється зрідка. Та якщо воно є, то зумовлене хворобами або дією якихось інших чинників.

Зменшення чисельності можливе також унаслідок зниження плодючості або зростання смертності. Якщо плодючість знаходиться на нормальному рівні, то причина зниження чисельності особин — у їх високій смертності. Тоді треба визначити, яка вікова група особин найінтенсивніше вимирає. Якщо смертність дорослих особин висока, а молодих — низька, то причина прихована у способах експлуатації популяції (наприклад, зривання генеративних пагонів рослин, відстріл, відловлювання дорослих особин тощо). У випадку, коли виявлено, що інтенсивно відмирають молоді особини, то причина цього — у погіршенні умов існування. Найбільш критичну вікову групу організмів доцільно виявляти за допомогою демографічних таблиць (спосіб їх побудови розглянутий раніше). У деяких випадках це можна зробити за допомогою аналізу черепів відмерлих тварин.

Якщо відома найуразливіша вікова група особин і з'ясовано, що їх смертність зумовлена зміною умов існування, то необхідно провести подальші дослідження: опитати місцевих жителів (що змінилось); проаналізувати дані щодо клімату, порівняти за декілька років аерофотознімки, карти. Ці дослідження дадуть змогу оцінити зміни, які відбулись в оселищах популяцій. Якщо не виявлено суттєвих змін, то наступним кроком може бути паразитологічний аналіз організмів, а кінцевим — консорційний. Консорційний аналіз полягає у визначенні взаємовідношень між досліджуваними особинами та іншими живими організмами, які пов'язані з цими процесами життєдіяльності, а також абіотичним середовищем.

Якщо відома причина зменшення чисельності особин, розробляють план дій щодо запобігання негативним наслідкам. Такі дії можуть бути адміністративними: заборона експлуатації, реконструкція оселищ, збільшення кормової бази для популяції тощо.

Наведені приклади — загальні. Кожен біологічний об'єкт, який перебуває під загрозою, потребує специфічних заходів щодо збереження його біологічних особливостей. Збереження популяцій, видів надзвичайно дороге, іноді воно суперечить важливим соціальним програмам. Наведемо деякі приклади заходів щодо збереження популяцій видів, які перебувають під загрозою вимирання.

1. Лише для природних популяцій:

- перерозподіл особин або генетичного матеріалу (насіння, сперми тощо);
- збільшення ємності оселища (наприклад, підгодівля);
- обмеження розселення особин (наприклад, шляхом обгородження);
- вигодовування молодняку;
- зниження смертності особин (наприклад, вакцинація, контроль за паразитами, хижаками, боротьба з бракон'єрами);
- вибракування особин;
- охорона оселищ;
- відновлення оселищ.

2. Лише для популяцій, які перебувають у неволі:

- підтримка популяцій, які розмножуються в неволі, для репродукції та (або) постійного збереження штучних умов;
- збереження генетичних і демографічних параметрів (генетичної гетерогенності, народження і смертності, щільності);
- збереження гамет або зародків у міні-зоопарках (генетичних банках);

3. Для природних популяцій і популяцій у неволі:

- реінтродукція вирощених у неволі особин або генетичного матеріалу в зайняті популяцією оселища або у потенційно придатні, але ще не заселені;
- відловлювання особин або збирання генетичного матеріалу для розведення в неволі.

Кожен із названих заходів під час його реалізації потребує суттєвого фінансового забезпечення та підтримки громадськості. Наприклад, успішна боротьба з бракон'єрством можлива лише за підтримки на державному рівні: це збільшення кількості єгерів, їх фахова підготовка, забезпечення транспортом, сучасною технікою, законодавчими актами тощо.

4.4.4. Експлуатація промислових популяцій

Головна мета керування господарськи цінними популяціями — забезпечити сталий рівень здобичі, який би не призвів до її зменшення. Під час організації промислу доцільно брати до уваги ті чинники, які забезпечують зростання

популяції. Передусім це кормовий чинник (наявність поживи), чинник середовища існування популяції (сприятливе, несприятливе). Отже, щоб збільшити зростання популяції, треба збільшити частку ресурсів, які їй потрібні. Якщо залишити таку популяцію у спокої, то з часом її зростання буде дорівнювати нулю. Норма експлуатації повинна бути не більша, ніж приріст особин у популяції.

Під час експлуатації тварин, для яких характерний соціальний спосіб життя, треба враховувати ієрархічні взаємовідношення між особинами та групами. Тут можливий варіант, коли забирають якусь одну групу повністю, а інші швидко ростуть, або проводять рівномірний відбір особин з усіх груп. Рівномірний відбір особин з усіх груп практикують для кочових видів. Вибірковий відбір особин може бути за статтю та віком. Переважно відбирають особини з низькою репродуктивною здатністю (старих). Такій формі експлуатації повинно передувати вивчення демографічної структури популяції (вікової, просторової).

Способи експлуатації популяції повинні враховувати біологічні особливості видів, їх популяційну організацію і ґрунтуватися на тривалих спостереженнях за чисельністю особин, їх віковою та просторовою структурами.

Регулювання чисельності. Більшість знищених людиною популяцій зникли, незважаючи на вжиті енергійні заходи, спрямовані на припинення їх вимирання. І навпаки, численні спроби зменшити чисельність популяцій виявилися марними. Таких прикладів можна навести безліч, це, зокрема, спроби зменшити чисельність особин деяких видів комах, нематод, ссавців, бур'янів тощо. Причина вимирання популяцій, які людина не збиралася знищувати, здебільшого була пов'язана з руйнуванням їх оселищ (біотопів), тоді як під час боротьби зі шкідливими видами предметом уваги ставали самі організми. Із цього можна зробити висновок, що популяція чутливіше реагує на зміну середовища її існування, а не на знищення особин.

Зміна умов існування популяції переважно якісно змінює один або більше чинників середовища (освітленість, вологість, температура тощо), і популяція не в змозі пристосуватися до цих змін, внаслідок чого знижується щільність, як це відбувається у разі зменшення кількості ресурсів живлення. Популяція, яку атакують просто відстрілюванням або отрутохімікатами, не повинна адаптуватися до змін умов середовища. Навпаки, для вцілілих особин зростає частка ресурсу (корму, місць захисту, води тощо). Отже, внаслідок боротьби з деякими популяціями завдяки збільшенню ресурсів на одну особину зростає народжуваність і зменшується смертність,

що в кінцевому підсумку призводить до відновлення щільності популяції або навіть до її перевищення. Цей підхід і застосовують під час експлуатації популяцій промислових видів.

Що стосується популяцій, чисельність яких треба зменшити, найефективнішим способом є зміна їх біотопів. Цей спосіб має небагато недоліків порівняно з прямим методом. Більшість популяцій чутливо реагують на зміну найбільш життєво необхідних їм чинників. Таким прикладом може бути зниження чисельності європейського кролика в Новій Зеландії. Спочатку чисельність кроликів зменшили завдяки застосуванню прямих методів (отрутохімікатів), а потім змінили їх біотопи, використавши добриво для підвищення урожаю трав'яних рослин і формування густого травостою. З'ясовано, що європейський кролик — пустельна тварина і лише в пустелі або місцях, близьких до неї, може підтримувати високу щільність особин.

4.4.5. Моніторинг популяцій

Ухвалення ефективних рішень щодо експлуатації промислових видів або охорони та відтворення рідкісних можливе лише за умови наявних багаторічних даних про зміни головних параметрів популяцій, характер та інтенсивність дії на них екзогенних чинників, у першу чергу антропогенних. Такі дані можна отримати лише на підставі тривалих досліджень (моніторингу). Розглянемо найінформативніші параметри популяцій, які доцільно залучити в систему моніторингу. *Система моніторингу — комплекс тривалих досліджень за взаємопов'язаними параметрами систем.*

Перший параметр популяцій (незалежно від того, це компоненти рідкісних чи промислових видів), який потребує тривалого дослідження, — чисельність особин. За цим критерієм оцінюють не тільки популяції, а й види. Тривалі дослідження чисельності особин мають бути спрямовані на визначення їх загальної кількості, а також на тенденції зміни протягом років (зменшення, збільшення). Щодо флуктуаційних змін чисельності протягом року — це значення менш важливе для моніторингу. Обов'язковим також є виявлення чинників, які впливають на чисельність особин.

Другий параметр моніторингу — ареал популяції. Тривалі дослідження змін ареалу популяції дають змогу визначити особливості його фрагментації, виявити найнебезпечніші для життя особин місця. З'являється можливість дати повну характеристику ареалу популяції, яка вкрай необхідна під час інтродукції особин в інші місця або їх реінтродукції.

Третій параметр, який необхідно вивчити, — організація оселищ популяції. Вивчення оселищ — комплексне завдання, яке потребує оцінки абіотичних і біотичних складових. Головна мета вивчення оселищ — з'ясування ступеня їх деградації з року в рік унаслідок дії антропогенних чинників, природних катастроф чи сукцесій рослинного покриву. Моніторинг оселищ також має охоплювати місця перебування організмів у заповідних умовах і оптимальні для них чи інших популяцій. Дані, отримані для таких оселищ, необхідні під час реконструкції деградованих місць проживання особин, а також для оцінки території з метою реінтродукції або інтродукції видів у нові умови.

Четвертий параметр, який треба врахувати під час моніторингу, — репродукція. У разі аналізу репродукції популяцій необхідно визначити співвідношення між народжуваністю особин і їх смертністю, а також те, наскільки умови середовища сприяють цьому процесу. Вивчення репродукції популяцій буває досить складним. Зокрема, можна отримати достовірніші дані для численних популяцій, ніж для нечисленних (рідкісних або тих, що перебувають під загрозою зникнення).

П'ятий параметр — вікова, статева, просторова структури популяцій. Дані щодо цих ознак популяцій необхідні для визначення її майбутнього та особливостей розміщення особин у просторі, а також особливостей обміну між ними генетичною інформацією.

Шостий параметр, який потребує вивчення, — це генетична структура популяцій, яка для більшості видів рослин і тварин невідома. Необхідна спеціальна програма генетичних досліджень природних популяцій (тих, що живуть в умовах «дикої» природи). Без такої програми досліджень, її фінансової підтримки реалізація більшості заходів щодо збереження біотичного різноманіття на видовому рівні не має сенсу.

Недостатню увагу під час тривалих досліджень популяцій приділяють *сьомому параметру* моніторингу популяцій — поведінці особин. На особливу увагу заслуговують ті елементи поведінки, які пов'язані з реагуванням тварин на присутність людини та здатністю їх до синантропізації. Особини, які мають такі ознаки поведінки, можна використовувати як засновників груп (відтворення у напівприродних умовах) із переважанням синантропогенних ознак.

Восьмий параметр популяційного моніторингу — живлення. Тривалі спостереження за живленням тварин дають змогу виявити зміни раціону (якщо такі зміни простежуються), внести корекцію щодо формування кормової бази

та розробити рецептуру збалансованого живлення тварин в умовах неволі.

Дев'ятий параметр моніторингу — вплив антропогенних чинників на популяції. На особливу увагу заслуговує їх вплив на трансформацію оселищ популяції, передусім місць репродукції, вигодовування молодняку, відпочинку тощо. Не менш важливе виявлення реакції тварин на людську діяльність у тій чи іншій місцевості, наприклад реагування на шум транспортних засобів, роботи механізмів тощо. Норми реакцій особин і популяцій на таку форму дії антропогенних чинників можуть бути досить мінливими. Зокрема, деякі особини популяцій частіше трапляються в місцях появи людей.

Десятий параметр моніторингу популяцій — стратегія взаємовідносин між людиною та твариною. Ці взаємовідносини з часом змінюються; добрим прикладом є еволюція оцінки ролі вовка у природі.

Перелічені параметри популяцій, які необхідно враховувати під час моніторингу, не є остаточними. Залежно від біологічних особливостей видів, їх статусу (промисловий, рідкісний, якому загрожує зникнення, релікт, ендемік, має естетичну цінність), кількості параметрів, за якими треба стежити, буде змінюватися. Проте без такого моніторингу ефект від керування популяціями буде мінімальним.

4.5. Типи взаємодії між популяціями

4.5.1. Модель Лотки—Вольтерра

У 1925 році відомий італійський математик Віто Вольтерра, розмовляючи за обідом зі своїм майбутнім зятем, іхтіологом за фахом, зацікавився популяційною динамікою риби. Наприклад, він дізнався, що зниження вилову риби під час Першої світової війни призвело до збільшення кількості хижої риби в уловах. Результатом осмислення таких фактів стали запропоновані ним моделі для опису міжвидової взаємодії.

За своєю суттю моделі Вольтерра виявилися близькі до моделі, яку Лотка запропонував у 1925 році для опису кінетики ланцюгових хімічних реакцій (де продукт однієї реакції служить субстратом для наступної).

У нашому підручнику ми викладемо модель Лотки—Вольтерра в тій її формі, в якій вона розвиває логістичну модель (рис. 4.7а). Розглянемо, наприклад, два види, А і В, які є конкурентами і використовують один і той самий ресурс. Опишемо динаміку цих видів за допомогою логістичних рів-

нянь, але врахуємо в них як обмеження ємності середовища, пов'язані з вилученням ресурсів особинами свого виду, так і аналогічний вплив з боку особин чужого виду.

Що показує співмножник у правій частині логістичного рівняння: $(K-N)/K$? Що у міру зростання чисельності (N) для популяції залишається доступною все менша частина ємності середовища (K). Але якщо доступні ресурси забирають не тільки особини одного виду, але й особини виду-конкурента, цей ефект теж можна врахувати в моделі, ввівши в рівняння для виду A елементи, що описують вплив виду B . Але вид B знаходиться в аналогічному положенні — частину його ресурсів забирають особини виду A !

Оскільки види відрізняються один від одного, кількість ресурсів, що вилучаються їх особинами, буде різним. Введемо коефіцієнт β , що показує, скільки особин виду B споживає ту ж кількість ресурсів, що і одна особина виду A . Аналогічно введемо коефіцієнт α , який покаже, скільки особин виду A споживає таку ж кількість ресурсів, як і одна особина виду B . Тоді, позначаючи підрядковими символами A і B значення відповідних величин для двох видів, можна написати систему з двох взаємопов'язаних рівнянь.

$$\begin{cases} \frac{dN_A}{dt} = r_A N_A \frac{K_A - N_A - \beta N_B}{K_A} \\ \frac{dN_B}{dt} = r_B N_B \frac{K_B - N_B - \alpha N_A}{K_B} \end{cases}$$

Рис. 4.7 а. Модель Лотки—Вольтерра з мінусами

Модель Лотки—Вольтерра зіграла виняткову роль у розвитку математичної екології. Як легко зрозуміти, на її основі можна побудувати безліч інших, більш складних моделей. Наприклад, вони можуть описувати взаємозв'язок не двох, а більшої кількості ресурсів. Параметр K для кожного з видів може бути незмінним, а може і змінюватися за якимось законом (наприклад, в залежності від зміни погоди або зміни пір року). Реакція одного виду на зміну чисельності іншого може відбуватися з більшою чи меншою затримкою тощо. Наведені тут нескладні рівняння — досить потужний інструмент для дослідження природних процесів.

4.5.2. Класифікація відносин між популяціями

Хижацтво, паразитизм, конкуренція... Відносини між біосистемами якого рівня описують ці поняття? Зазвичай ми маємо на увазі взаємини між організмами, хоча правильніше розглядати їх як взаємодії між популяціями. Саме популяції — це потенційно довготривалі біосистеми, здатні

до еволюції. Лисиця, що «мишкує», зловила і з'їла полівку. Що це — випадковість чи прояв закономірного процесу? Якщо лисиці постійно їдять полівок, така взаємодія становить інтерес для екології. Одиначну взаємодію можна описати і на рівні організмів (хоча після того, як полівка була з'їдена, вона перестала існувати як організм). Постійний взаємозв'язок можна представити як відношення між двома популяціями. А може, цю взаємодію правильніше описувати на рівні видів? Швидше за все, ні — хоча б тому, що на значній частині ареалу лисиць немає тих чи інших видів полівок, з ними взаємодіє не вид Лисиця звичайна, а окремі популяції цього виду.

Впорядкувати відносини між популяціями непросто, вони дуже різноманітні і пов'язані масою переходів. Різні автори використовують різні класифікації.

Впорядкувати відносини між видами за впливом, який вони взаємно чинять, пропонував, наприклад, відомий американський еколог Юджин Одум. Він виділяв три типи взаємовідносин популяцій: позитивний вплив (+), негативний вплив (—) і відсутність впливу (0). Проте коректно визначити, що таке «позитивний» чи «негативний» вплив, нелегко. Наприклад, вплив популяції хижака на популяцію жертви в якомусь сенсі є негативним, а в якомусь — позитивним.

Наприклад, одним з небагатьох видів тварин, чисельність яких не контролюється хижаками, є африканські слони. Хоча зареєстровані випадки вбивства і поїдання слонів левами, дорослий слон — настільки велика здобич, що стає недоступним практично для будь-якого хижака. Проте так було не завжди. У недавньому геологічному минулому (коли в Африці жила більша кількість великих рослиноїдних ссавців, у тому числі тих, що відносяться до ряду Хоботні) чисельність слонів регулювалася шаблезубими котами. Пізніше цю роль взяли на себе корінні африканські племена мисливців на слонів. Ще пізніше цю ж функцію виконували озброєні вогнепальною зброєю бракон'єри. А в кінці ХХ століття слонів, нарешті, взяли під охорону. Створено великі національні парки, де слони можуть відчувати себе в безпеці. Як не дивно, з'ясувалося, що працівники таких національних парків повинні проводити періодичні відстріли слонів! Справа в тому, що слони так впливають на навколишнє середовище, що, розмножуючись вище певної межі, здатні знищувати всю деревну рослинність у савані і рідколіссі, підриваючи тим самим ресурсну базу власного існування. Обмежуючи чисельність

слонів, хижаки могли б тим самим підвищити стійкість існування цього виду.

Тож як відповісти: позитивний чи негативний вплив у наведеному прикладі справляє винищення хижаками (або відстріл)? У короткостроковій перспективі — негативне (загибель слонів), у довгостроковій — позитивне (стабілізація їх динаміки). Саме для того, щоб не заплутатися в таких підходах, ми пропонуємо використовувати формальний, але надійний спосіб поділу типів взаємодії між популяціями, заснований на моделі Лотки—Вольтерра: по тому, як зміниться чисельність однієї популяції у відповідь на зміну чисельності іншої.

Як ви пам'ятаєте, у наведеному раніше записові моделі Лотки—Вольтерра коефіцієнти α і β описують вплив особин одного виду на особин іншого. У розглянутому вище випадку конкуренції ми віднімали з ємності

$$\begin{cases} \frac{dN_A}{dt} = r_A N_A \frac{K_A - N_A + \beta N_B}{K_A} \\ \frac{dN_B}{dt} = r_B N_B \frac{K_B - N_B + \alpha N_A}{K_B} \end{cases}$$

Рис. 4.7 б. Модель Лотки—Вольтерра з плюсами

середовища для одного виду чисельність іншого виду, помножену на відповідний коефіцієнт. Можна поставити перед коефіцієнтами знак «+» і вважати, що вони мають позитивний знак, коли зростання чисельності одного виду викликає зростання чисельності іншого, і негативний (—), якщо зростання чисельності одного виду призводить до зниження чисельності іншого (рис. 4.7 б).

Таким чином, зміст цих коефіцієнтів такий: як зміниться (в найближчій перспективі) чисельність одного виду у відповідь на зміну чисельності іншого. Позитивний знак означає, що на зростання чисельності одного виду другий вид відповість збільшенням чисельності, а негативний — що відповість зниженням. Природно, ми звично характеризуємо ці відносини як «позитивні» та «негативні» взагалі, у довгостроковій перспективі. Наприклад, на зростання чисельності хижака жертва відповідає зниженням своєї чисельності. Тим не менше, в еволюційній перспективі «жертви зацікавлені» в тому, щоб їх чисельність регулювали хижаки, а не, припустімо, брак ресурсів чи паразити.

На описаних підставах можна виділити шість основних форм взаємодії між видами. Крім того, деякі з цих форм можна розділити на додаткові, як це показано в табл. 4.2. Значення наведених у цій таблиці понять буде докладніше роз'яснено у наступних пунктах.

Таблиця 4.2.

Класифікація відносин між популяціями і видами

Знак		Тип взаємодії	Підтип
α	β		
—	—	Конкуренція	експлуатаційна (без витрат енергії на взаємодію)
			інтерференційна (з витратою енергії)
+	—	Експлуатація	голофагія, або істинне хижацтво
			мерофагія, або пасовищне хижацтво (живлення частинами)
			паразитоїдність
			паразитизм
+	+	Симбіоз	протокооперація (факультативна, необов'язкова взаємодія)
			мутуалізм (облігатна, нерозривна взаємодія)
—	—	Аменсалізм	
+	0	Коменсалізм	
0	0	Нейтралізм	

Кілька слів варто сказати про поняття «симбіоз», що за своєю етимологією означає «спільне життя». Різні автори використовують його в різних сенсах. Іноді ним позначають будь-яке співжиття, іноді — тільки взаємовигідне, іноді — лише нерозривне. В даному курсі це поняття використовується у відповідності зі змістом, що відповідає табл. 4.2. Оскільки зміст цього поняття може бути розпливчастим, можливо, краще рішення полягає в тому, щоб взагалі відмовитися від його використання. Тим не менше, для взаємовигідних відносин між організмами, один з яких є середовищем існування для інших, загальноприйнятим є використання поняття «ендосимбіоз».

Оскільки взаємодії між особинами і популяціями в природних екосистемах нескінченно різноманітні, для їх класифікування можна використовувати й інші підходи, кожен з яких звертає увагу на якийсь один аспект таких взаємодій.

Перш за все, взаємодії слід розділити на прямі та опосередковані. Коли лисиця ловить полівок, взаємодія популяцій здійснюється завдяки взаємодії особин. Це **пряма взаємодія** між популяціями. Коли жуки скарабеї вигодовують личинок гноєм копитних, прямої взаємодії особин не відбувається, але на жуків впливає вироблений копитними ресурс. Це **опосередкована через абіотичне середовище** взає-

модія між популяціями. Нарешті, в результаті розмноження полівок мисливська активність лисиць може переключитися на них, що знизить рівень експлуатації популяції зайців. Це приклад **опосередкованих через інші популяції** (або непрямих) взаємодій.

Ми не в змозі врахувати всі наслідки тієї чи іншої події та функціонування тієї чи іншої популяції. Як кола по воді, викликані її активністю зміни будуть поширюватися по всій екосистемі. Але, як і кола на воді, в більшості випадків ці наслідки будуть ставати все менш і менш вираженими. Саме тому в курсах екології найчастіше розглядаються прямі та опосередковані через абіотичне середовище взаємодії. Щоб враховувати взаємодії, опосередковані іншими популяціями або ланцюжками таких популяцій, адекватніше всього використувувати математичні моделі.

Оригінальна класифікація відносин між видами запропонована російським зоологом В. М. Беклемішевим. Він виділив **топічні зв'язки** (що виражаються у зміні середовища проживання; сфагнум закрисляє ґрунт і робить його сприятливим для росички), **трофічні зв'язки** (живлення особин одного виду особинами іншого, а також їх залишками і продуктами життєдіяльності); **фабричні зв'язки** (що пов'язані з наданням середовища або притулку; дятел робить дупла в сосні, а блохи живуть в шерсті у собаки) і **форичні зв'язки** (перенесення особинами одних видів особин інших).

4.5.3. Мутуалізм

Ми зазначили, що мутуалізм — це облігатні взаємовигідні відносини між популяціями. Як встановити, що певні відносини є облігатними? Якщо організми, що перебувають у взаємовигідних відносинах, трапляються в природних умовах тільки разом, це свідчить про нерозривний характер їх зв'язку.

Мутуалізм — поширене явище. Наприклад, розвинене наземне життя існує лише завдяки мутуалістичним взаємовідношенням. Само заселення вищими рослинами суші відбувалося завдяки їх тісній взаємодії з грибами. На залишках девонських рослин знайдені сліди мікоризи (етимологія цього слова означає щось на зразок «грибокореня»). Мінеральне живлення наземних рослин — складний процес, і в багатьох випадках воно неможливе без грибів. При мікоризі гіфи грибів охоплюють чохлом коріння рослин, проникають всередину цих коренів або навіть всередину окремих клітин. Гриби володіють значно ефективнішим механізмом отримання мінеральних речовин, ніж рослини, але обмежені

браком органіки. Рослини передають частину синтезованої ними органіки гіфам гриба, отримуючи від них необхідні солі.

У мінеральному живленні беруть участь і ендосимбіотичні нітрогенфіксатори, на зразок бактерій *Rhizobium*. На коренях низки рослин (бобових, вільхи і т.д.) формуються спеціальні губчасті розростання, які населяються бактеріями, здатними пов'язувати Нітроген з атмосфери. Такий процес приносить користь не лише самій рослині, що розвиває нітрогенфіксуючі бульбочки, а й іншим рослинам, оскільки призводить до збагачення ґрунту Нітрогеном.

Отже, розвинений наземний рослинний покрив — результат мутуалізму рослин з грибами і бактеріями. Але і споживання рослинної біомаси істотною мірою пов'язане з процесами з цієї категорії. Всі рослиноїдні ссавці в тій чи іншій мірі використовують ендосимбіотичну мікрофлору своїх кишечників. У деяких випадках бактерії, здатні розщеплювати целюлозу і синтезувати незамінні амінокислоти, селяться в задньому відділі кишечника. Щоб користуватися результатами їх біохімічної активності, гризунам і зайцеподібним доводиться поїдати власні екскременти. Однак найвищого розвитку ендосимбіотичні комплекси досягають у жуйних парнокопитних. Шлунок цих тварин складається з кількох відділів, один з яких — рубець — є, по суті, мікробіологічним ферментером — ємністю для вирощування мікроорганізмів.

Мікрофлора і мікрофауна рубця жуйних дуже складна і до кінця не вивчена. Її суттєвими компонентами є як найпростіші (наприклад, джгутиконосці та інфузорії), так і бактерії. Результатом роботи цього багатовидового комплексу є глибока переробка целюлози.

Важливим компонентом тропічних лісів, що забезпечує швидке руйнування відмерлої деревини і повторне повернення речовин, що входили до її складу, в кругообіг, є терміти. У кишечнику термітів також мешкає складний комплекс з бактерій і найпростіших, причому для його ефективної роботи необхідно неодноразове поїдання термітами екскрементів один одного.

Природно, мутуалізм розповсюджений не тільки на суші. Для водних екосистем надзвичайно характерний мутуалізм тварин з різними ендосимбіотичними водоростями. Наприклад, завдяки ендосимбіонтам існують і рифоутворюючі корали, і найбільші з молюсків — тридакни.

Нарешті, класичним прикладом мутуалізму є лишайники — ліхеноутворюючі гриби. Ці організми можуть існувати тільки за умови тісного контакту грибних гіф з клітинами ціанобактерій або водоростей. Ліхеноутворюючі гриби пройшли

шлях еволюції від паразитування на фотосинтетичних організмах до теперішнього мутуалізму.

Які організми можуть стати мутуалістичними? Обов'язково такі, що істотно відрізняються. Якщо екологічні ніші двох популяцій подібні, тобто цим популяціям необхідні однакові ресурси, між ними виникне конкуренція. Умова, за якої може розвинутися мутуалізм і протокооперація, — розходження ніш. Найчастіше мутуалізм розвивається тоді, коли кожен член пари видів віддає напарнику менш цінний для себе ресурс, а отримує більш цінний. Оптимальною є ситуація, за якої ресурсом для одних організмів є відходи інших, і навпаки.

4.5.4. Протокооперація

Як впливає з наведеного вище (див. пункт 4.5.2) визначення, протокооперація — це необов'язкові взаємовигідні відносини між двома популяціями. Пов'язані цими відносинами види можуть зустрічатися як разом, так і нарізно.

Ймовірно, протокооперація поширена значно ширше, ніж про це прийнято думати. Ці відносини не закінчуються класичним шкільним прикладом «симбіозу» — раками-самітниками, які розміщують на своїх раковинах актиній.

Найчастіше грань між протокооперацією і мутуалізмом провести вельми нелегко. До якої категорії відноситься запилення комахами квіткових рослин? Якщо спостерігається глибока спеціалізація між певними видами, такі відносини треба класифікувати як мутуалістичні. Якщо ж одні і ті самі рослини можуть запилюватися різними комахами, а ті живляться пилком і нектаром різних видів і можуть використовувати іншу їжу, слід говорити про протокооперацію. Іноді спостерігаються проміжні між цими двома категоріями відносини, коли один з видів може зустрічатися і без другого, а другий у своєму поширенні цілком залежить від першого.

Коли фітосоціолог (фахівець, що вивчає рослинні угруповання) або зоогеограф вивчають характерний видовий склад тих чи інших екосистем, вони реєструють наслідки протокооперації між багатьма видами, не реєструючи їх безпосередні причини. Те, що два види частіше трапляються спільно, а не нарізно, може бути наслідком подібності їх запитів до середовища, а може відображати існування між ними протокооперації.

Розглянуте нами відношення може бути пов'язане безперервним переходом не тільки з мутуалізмом, але і з коменсалізмом. У разі взаємовигідних відносин вигода, одержувана

двома видами, далеко не завжди є однаковою. Якщо для одного з видів відносини стають практично індиферентними, їх слід класифікувати як прояв коменсалізму.

4.5.5. Коменсалізм

Коменсалізмом називаються прямі або опосередковані через середовище відносини між двома популяціями, від яких одна — популяція коменсала — отримує вигоду (збільшує свою чисельність у відповідь на збільшення чисельності партнера), а інша — популяція господаря — індиферентна до цих відносин і не залежить від чисельності коменсала. З цього визначення випливає, що вигода, яку отримує коменсал, не пов'язана з якимись спеціальними витратами з боку господаря, а є наслідком його нормальної активності або життєдіяльності. Найчастіше коменсалізм пов'язаний майже безперервними переходами з протокооперацією (якщо господар починає отримувати вигоду від свого партнера) або з паразитизмом (якщо господар відчуває шкоду).

Розглянемо приклади коменсалізму, класифікувавши їх за чотирма категоріями.

Їжа. Коменсал може житися відмерлими господарями або їх частинами, а також відходами їхньої життєдіяльності. Так, копрофаги живляться послідом більш великих тварин, а некрофаги — їхніми трупами. Лусочки, що відлущуються зі шкіри людей, є їжею для різноманітних кліщів, що живуть в пилу у будинках. Песці харчуються рештками білих ведмедів, а риби-лоцмани — рештками акул.

Ретельне дослідження відносин між коменсалом і господарем часто показує, що активність коменсала може мати різне значення для господарів. Копитні «зацікавлені» у тому, щоб поверхня ґрунту була покрита не їхніми екскрементами, а рослинами, а кліщі будинкового пилу можуть викликати у людей алергічні реакції. Тим не менше, з певною часткою умовності такі відносини вважають коменсалістськими.

Притулок і захист. У норах бабаків живуть різноманітні жуки-чорниці, метелики, жаби, мокриці і багато інших комах. Горобці в'ють свої гнізда поруч з гніздами орлів та інших великих хижих птахів — ті не підпускають до своїх (а заодно і до горобиних) кладок ворон, які розоряють гнізда. Риби морські качечки ховаються між голками морських їжаків. У прикладах цієї досить численної взаємодії коменсал отримує від хазяїна саме безпечний притулок.

Переміщення. Переміщаючись, тварини здатні переносити на собі найрізноманітніші більш дрібні організми. Псевдоскорпіони (дрібні представники групи павукоподібних,

деякі з них живуть, крім іншого, в наших оселях) використовують для переміщення мух. Псевдоскорпіон підкрадається до мухи, хапає її за лапку своєю клешнею і разом з нею перелітає в нове місцеперебування. Хатні мухи і прусаки, що живляться нашою їжею, переносять на своїх тілах цілий комплекс бактерій і грибів.

До цієї ж категорії слід віднести явище лоцманування — супроводу дрібними, активно плаваючими тваринами більших. Річ у тім, що поруч великого тіла, що пливе під водою, виникають хвилі турбулентності, що полегшують рух дрібніших тіл. І риби (у тому числі риби-лоцмани, що дали назву цьому явищу), які супроводжують акул, і дельфіни, що плывуть поруч із швидкохідним кораблем, використовують цей ефект.

Широко відомий феномен зоохорії — перенесення тваринами насіння рослин. Іноді рослини «зацікавлюють» тварин, забезпечуючи плоди м'ясистими частинами, їстівними для потенційних переносників, а іноді просто використовують тварин, формуючи чіпкі або клейкі плоди та насіння.

Найчастіше індиферентність коменсалів для господарів, що переносять їх, умовна, адже не пов'язана з деякими додатковими витратами на переміщення або очищення поверхні свого тіла.

Зміна місцеперебування. Найчастіше відносини між видами, що міняють середовище свого проживання, і тими, хто «користується» цими змінами, не розглядають як приклади коменсалізму, хоча вони можуть бути віднесені до цієї категорії. Наприклад, всі спеціалізовані компоненти флори і фауни коралових рифів, за винятком тих, які пов'язані з коралами відносинами експлуатації чи конкуренції, є коменсалами коралів, а безліч характерних видів дібров — коменсалами дубів.

4.5.6. Різноманітність форм експлуатації

Поняття «хижак» здається всім добре знайомим. Ми звично вважаємо «хижаками» найчастіше представників ряду Хижі із ссавців, ряду Соколоподібні та ще, напевно, акул і крокодилів. Тим дивніше усвідомити, що з екологічної точки зору хижаком є і сонечко, що полює на попелиць, і дафнія, що відфільтровує з води водорості, і навіть росичка, що поступово переварює комара, який сів на її лист. Для всіх названих організмів характерно те, що вони споживають інші живі організми, і умовою споживання цих організмів є позбавлення їх життя. Природно, вбивство зебри левом куди більш драматична і кривава подія, ніж «нищення» од-

ноклітинних водоростей дафнією, але з точки зору видових взаємодій принципової межі між цим немає.

Не відкидаючи інші класифікації, в нашому курсі ми розглянемо хижацтво як частину більш широкої категорії відносин — експлуатації (див. пункт 4.5.2) — і виділимо 4 форми експлуатації: справжнє хижацтво (голофагія), пасовищне хижацтво (мерофагія), паразитоїдність і паразитизм.

Голофаги, справжні хижаки, вбивають жертву відразу і з'їдають за своє життя безліч жертв (лев, сонечко, дафнія, кашалот, росичка).

Мерофаги, пасовищні хижаки (корова, гедзь, медична п'явка), зазвичай з'їдають тільки частину жертви, завдаючи їй при цьому певної, але не обов'язково смертельної втрати. За своє життя мерофаги експлуатують багатьох жертв, з якими не мають особливо тісних зв'язків.

Паразити (солітер, ВІЛ, омела біла, попелиці) тісно пов'язані зі своїм господарем, забирають у нього лише частину його ресурсів і не обов'язково спричиняють смерть. Їх зв'язок з господарем дуже тісний; у типовому випадку особина паразита все своє життя пов'язана з одним-єдиним господарем.

Паразитоїди, до яких відносяться багато перетинчастокрилих (наїзники, риючі оси) і деякі двокрилі, ведуть вільний спосіб життя, але відкладають свої яйця в жертву, на неї або біля неї. Личинки, що виходять з яйця, поїдають жертву живцем, а потім убивають її: смерть жертви є неминуchoю, але відстроченою. З урахуванням чисельності комах взагалі і перетинчастокрилих зокрема, така стратегія зовсім не є рідкісною.

Як ви можете побачити, в цій класифікації «розмилися» звичні поняття «хижак» і «паразит». До числа пасовищних хижаків ми віднесли і корову, і медичну п'явку. Однак як тільки ми відключимося від емоційних оцінок і, наприклад, спробуємо змоделювати такі відносини, ми відразу побачимо, що відносини корови і п'явки з їх жертвами дуже подібні. Мерофаги переміщуються в просторі, знаходячи своїх жертв і відбираючи в них частину їх біомаси. Однак коли медична п'явка нападає не на корову, що прийшла на водопій, а на пуголовка жаби, вона взаємодіє з ним як справжній хижак: убиває і поїдає значну частину його тіла.

У повсякденному трактуванні поняття «паразити» включає внутрішніх і зовнішніх паразитів. У наведеному тут сенсі слова справжніми паразитами є майже виключно внутрішні паразити і лише деякі із зовнішніх. Наприклад, воші тісно пов'язані зі своїми господарями і відносно рідко переходять від одного до іншого. І їх життя, і їх розмноження тісно

пов'язані з тілом хазяїна. Тому вошей можна вважати паразитами.

На відміну від вошей, блощиці та постільні клопи розмножуються не на тілі господаря, а в його «лігві» і легко переходять від одного господаря до іншого. Для їх живлення важливий пошук того господаря, яким вони будуть живитися в черговий раз. Сказане дозволяє вважати цих комах мерофагами, пасовищними хижаками.

Легко зрозуміти, що виділені тут категорії експлуататорів не є різко відмежованими одна від одної і пов'язані переходами.

4.5.7. Хижацтво

Найважливішою характеристикою хижаків є те, наскільки вони спеціалізовані на живленні певними видами жертв. Наприклад, звичайна лисиця — надзвичайно пластичний хижак, жертвами якого можуть бути найрізноманітніші дрібні і навіть середні за розміром ссавці, птахи, плазуни, амфібії, найрізноманітніші безхребетні й чимало різних рослин. В залежності від того, які види їжі є в її місцеперебуванні, лисиця може живитися і черепахами, і виноградом.

На протилежному полюсі високоспеціалізованих хижаків знаходяться, наприклад, морські змії з роду Мікроцефалюс (буквально «дрібноголови»). Голова і передня частина тулуба цієї середньої за розмірами змії дуже вузькі, «відкалібровані» за розмірами нірки донних морських вугрів, якими живляться ці змії. Іншим прикладом високої спеціалізації можуть бути коали, деревні представники австралійських сумчастих. Вони живляться лише молодим листям евкаліптів.

Отже, за ступенем спеціалізованості хижаків щодо живлення певними категоріями жертв їх можна розділити на **генералістів**, як лисиця, і **фахівців**, як мікроцефалюси. До цієї класифікації близьким є поділ хижаків на **монофагів** (пристосованих до живлення одним видом жертв), **олігофагів** (орієнтованих на кілька близьких категорій жертв) і **поліфагів** (здатних живитися дуже різноманітними жертвами). Наведені класифікації не цілком ідентичні, хоча, звичайно, спеціалізовані хижаки зазвичай є оліго- або монофагами, а генералісти — поліфагами. Втім, буває так, що якесь досить вузьке пристосування допомагає освоїти живлення групою схожих за своїми особливостями жертв. Наприклад, гігантський мурахоїд високоспеціалізований на живленні мурахами і термітами: його пазурі дозволяють проламувати стінки термітників або добиратися до мурашок, а довгий липкий язик, що висовується з витягнутої в трубку беззубої морди, дає

можливість підхоплювати і ковтати одночасно сотні комах. Нічим іншим, крім мурах і термітів, мураход живитися не здатний, зате практично будь-який з досить численних видів цих соціальних комах може стати жертвою цього хижака-олігофага.

Спеціалізований хижак може бути більш ефективним, ніж неспеціалізований, і це дозволяє частково уникати конкуренції. З іншого боку, поліфаги можуть мати більш збалансовану дієту, легше знаходити корм, мати більш стійку популяційну чисельність.

Хижацтво — один з найважливіших механізмів передачі енергії від одних популяцій до інших і тому є важливим механізмом, що робить екосистему єдиним цілим. Наведемо деякі приклади впливу хижаків на видову різноманітність їх жертв.

На літоралі (прибережних ділянках морського дна) в Новій Англії (США) чергуються ділянки, вкриті жорсткими червоними водоростями, які належать до роду хондрус (*Chondrus*), а також ділянки, де переважає м'яка зелена водорість ентероморфа (*Enteromorpha*). Дослідники вирішили з'ясувати, які чинники визначають характер водоростей на тій чи іншій ділянці берега — буде він порослий хондрусом чи ентероморфою. З'ясувалося, що головним споживачем водоростей є черевоногий молюск літторина (*Littorina*). Літторина віддає перевагу ентероморфі й уникає хондрусів. Якщо дорослих літторин пересадити на ділянки, порослі ентероморфою, вони виїдають зелені водорості, і простір, що звільнився, заселяється червоними водоростями. Якщо на ділянці з червоними водоростями прибрати літторин, то поверхня хондрусів обростає ентероморфою, яка з часом захоплює такі території. Отже, хондрус росте там, де є літторини, а ентероморфа — там, де їх немає. Але чому молюски є в одних місцях і відсутні в інших?

Личинка літторини веде планктонний спосіб життя. Плаваючі личинки осідають на березі всюди — і в заростях хондруса, і в заростях ентероморфи. У заростях хондруса такі личинки нормально розвиваються, а на ділянках з ентероморфою їх швидко виїдають краби карцинуса (*Carcinus*).

Отже, червоні водорості ростуть там, де немає карцинусів, а зелені — там, де вони є. Що ж є причиною цього розподілу? Чому краби не живуть усюди?

Поширення крабів обмежується чайками, що їх виїдають. Чайки літають над усім узбережжям, а краби ховаються від них під густим покривом ентероморфи. Отже, там, де росте ентероморфа, краби можуть сховатися від чайок і знищувати молюсків, які призвели б до загибелі ентероморфи... Видове

та локальне різноманіття прибережних вод підтримується на високому рівні міжвидовими зв'язками, заснованими на хижацтві!

Взагалі ситуація, за якої хижак перешкоджає зниженню видового різноманіття своїх жертв, є досить типовою. У степових заповідниках на території колишнього СРСР були змушені використовувати помірний випас худоби. Колись на степових територіях паслися стада копитних — диких коней тарпанів, диких ослів, а на півдні — навіть джейранів і сайгаків. Поїдаючи швидкоростучі рослини, ці копитні не давали їм витіснити ті види, які росли повільно. Після того, як люди винищили стада диких копитних, вони вивели в степи стада, табуни та отари свійської худоби. А після того, як ці степи ставали заповідними, слідом за припиненням випасу худоби в них стали зникати рідкісні види трав. Виправити ситуацію допомагає помірний випас худоби — наприклад коней.

Після того, як в 1964 р. на Британські острови був завезений міксоматоз кроликів (захворювання, яке викликають найпростіші), чисельність цих рослиноїдних тварин різко знизилася. Результатом зникнення кроликів стало зниження видового різноманіття лугової рослинності. Кролики неспеціалізовані майже як сінокосарки і виїдають усі лугові рослини підряд. Тим самим вони перешкоджають витісненню більш конкурентоспроможними рослинами більш слабких і рідкісних.

Зазвичай хижаки-поліфаги найінтенсивніше використовують найчисленніших зі своїх потенційних жертв, вирівнюючи при цьому їх відносну чисельність.

Вам доводилося коли-небудь довго збирати гриби або ягоди чи ловити рибу на вудку? Згадайте, що ви бачили після цього, закривши очі. Листя і ягоди, підняті грибами хвоїнки або поплавець, що коливається на хвилях, — залежно від того, на що була націлена ваша увага. В залежності від тієї діяльності, якою ви займалися, у вашій психіці активізувалася певна пошукова модель. В результаті її активації ви швидше і краще помічали непримітну ягоду, гриб або кльов риби. З іншого боку, якщо ви були зосереджені на пошуку ягід, ви могли «пропустити» гриб, до виявлення якого ви не готувалися. В даному випадку ви мали справу з механізмом перемикання, яке відбувається як шляхом формування ключового образу, що виділяється з фону в першу чергу, так і зміною пошукової поведінки.

Перемикання на той чи інший вид жертв відіграє важливу роль в активності всіх хижаків-поліфагів. Наприклад, в експериментах гуппі (акваріумних риб) годували дрозодфілами (мухами, що плавають на поверхні) і трубочником

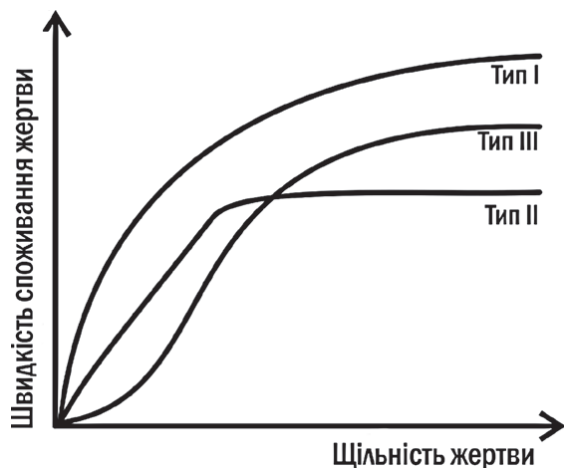


Рис. 4.8. Типи реакції хижака-поліфага на зміну кількості одного з видів його жертв

(дрібнощетинковими червами, що зариваються на дно). Риби поїдали непропорційно більшу кількість переважаючого виду жертв, бо шукали свою здобич або при дні, або коло поверхні — там, де було більше шансів знайти корм. Ми не можемо визначити, чи змінювався образ шуканої здобичі в психіці гуппі, але чітко реєструємо зміну її поведінки, завдяки якій вона добуває їжу.

Важливою характеристикою хижака-поліфага, що здатен переключатися з однієї жертви на іншу, є його реакція на зміну відносної частоти жертв (рис. 4.8). Хижак з реакцією I типу вибірково споживає певний вид жертв, навіть якщо вони рідкісні, і підвищує їх споживання з ростом їх поширеності. Хижак з реакцією II типу споживає жертв певного виду пропорційно їх чисельності, поки вони рідкісні, а після якогось рівня стабілізує їх експлуатацію (насичується). Найпоширенішою, однак, є реакція III типу (яку і демонстрували в експерименті гуппі): рідкісна жертва споживається непропорційно мало, і хижак звертає на неї «увагу» тільки тоді, коли її чисельність сягає певної межі. Поширеність третього типу реакцій хижаків-поліфагів призводить до того, що хижаки вирівнюють чисельність своїх жертв, сильніше експлуатуючи більш поширені види і даючи «перепочинок» рідкісним.

Багаті особливості будови і способу життя організмів пояснюються їх пристосуванням до захисту від хижаків або добування жертв. «Гонка озброєнь» між хижаками і жертвами є однією з важливих причин еволюції.

Наприклад, рослини, які зазнали об'їдання тваринами, виробляють нове листя з великою кількістю захисних речовин: фенолів, восків, танінів. При розжовуванні гусеницею дубового листя таніни (дубильні речовини), що містяться в окремих компартментах клітин, вивільняються, пов'язують білки і зменшують їх харчову цінність. З іншого боку, якщо дерева і чагарники захистити від об'їдання рослиноїдними організмами, частина листя може виявитися в умовах надлишкового затінення іншим листям. В таких умовах дихання в листках переважає над фотосинтезом: це листя зменшує, а не збільшує продуктивність рослини в цілому. Видалення частини листової маси хижаками

(рослиноїдними тваринами) лише збільшує продуктивність рослини.

З іншого боку, якщо продуктивність рослин буде лишатися постійною, травоїдні тварини можуть сягнути такої чисельності, що вони зможуть спожити весь урожай. Для багатьох рослин (наприклад, кедрової сосни) зареєстровані періодичні коливання врожайності. У неврожайний рік насіння небагато, і такий рік обмежує чисельність ссавців і птахів, що харчуються насінням. Зате в урожайний рік насіння буде настільки багато, що споживачі просто не встигнуть з'їсти всю продукцію. За такий виграш рослинам доводиться серйозно «платити»: приріст річних кілець у дерев в урожайний рік падає так само, як і при повному об'їданні листя гусеницями. Синхронізація врожайних і неврожайних років між різними деревами забезпечується як кліматично, так і за рахунок хімічної взаємодії рослин.

Взаємне пристосування рослин і рослиноїдних тварин може бути дуже тісним. Ось один з багатьох прикладів. На острові Маврикій зустрічається дерево кальварія (*Calvaria major*). Популяція цього виду перебувала на межі знищення, бо в ній зовсім не було молодих дерев. Біологи, що зацікавилися цим явищем, зрозуміли, що відновлення кальварії припинилося близько 300 років тому — тоді, коли на Маврикій були знищені дронти (*Raphus cucullatus*) — великі нелітаючі голубоподібні птиці. Було висловлене припущення, що для нормального розвитку насіння кальварії мало пройти через кишковий тракт дронта. Для перевірки цього припущення кілька насінин кальварії згодували індичкам. Хоча кілька насінин виявилися розчавленими в шлунках індичок, інші пройшли через кишковий тракт цих птахів неушкодженими і зберегли схожість! Щаслива здогадка допомогла налагодити штучне відновлення популяції кальварії.

Довготривалі реакції популяції жертви на дії хижаків не завжди негативні. Хижаки можуть знищувати найменш цінних особин у популяції (хворих або таких, які не мають індивідуальної ділянки тощо), або ж особини, що уникли загибелі, можуть демонструвати компенсаторні реакції. Якщо хижак експлуатує популяцію, яка страждає від надмірної щільності, його вплив може підвищувати чисте поповнення або чисту продукцію.

В типовому випадку популяції хижака стабілізують чисельність популяцій своїх жертв. Коли жертв стає мало, хижаки-поліфаги переключаються на інші види здобичі, а хижаки-олігофаги знижують свою чисельність слідом за жертвами в результаті недоїдання. Оскільки в більшості випадків хижаки розмножуються повільніше своїх жертв, відновлення їх

чисельності відбувається повільніше, ніж відновлення жертв. Таким чином, у типовому випадку хижаки просто не можуть знищити своїх жертв без залишку.

А в якому випадку хижаки можуть винищити всіх своїх жертв? Людині це вдавалося неодноразово (як, наприклад, з уже згадуваним дронтом). І дотепер серед фахівців немає єдиної думки про те, яку роль людина відіграла у вимиранні мамонтів (*Mammuthus primigenius*). Ймовірно, зникнення цього чудового північного виду хоботних було пов'язане з двома групами причин: і потеплінням клімату, і полюванням первісних людей.

Потепління клімату призвело до того, що той біом, який населяли мамонти, — так званий тундростеп, або мамонтовий степ, — зник, на півночі перетворившись у тундру, а на півдні — в справжній степ. Між тундрою і степом вклинилися тайга і широколистяні ліси. Однак не виключено, що масштабність перебудов екосистем була пов'язана не тільки зі зміною клімату, а й зі знищенням людьми мамонтів та інших великих рослиноїдних тварин, живлення яких підтримувало існування мамонтового степу. А потенційна можливість знищити мамонтів у людини була.

Повністю знищити певний вид своїх жертв може той хижак, чисельність якого мало залежить від чисельності цього виду жертв. Значить, цей хижак має бути поліфагом і не спеціалізуватися на даному виді жертв. Людина з її гнучкою харчовою поведінкою могла виживати і в умовах нестачі або відсутності мамонтів. Небезпеки зазнають ті жертви, які навіть в умовах низької чисельності не втрачають привабливості для хижаків і будуть пріоритетно й ефективно споживатися в їжу. Ця властивість була характерною для пари видів «людина—мамонт»: навіть коли мамонтів було мало, вони могли залишатися для первісних людей «головною» здобиччю, яка ефективно відстежувалася і добувалася в першу чергу. Складна поведінка давала людям можливість успішно полювати на мамонтів навіть в умовах їх низької чисельності. Нарешті, швидкість зростання популяції людей перевищувала швидкість зростання популяції мамонтів.

Отже, не знаючи точно, зіграла людина у вимиранні мамонтів фатальну роль чи ні, ми можемо припустити, що вона потенційно могла її зіграти і напевно посилила кризу чисельності цих тварин, що настала в результаті потепління клімату.

Значно частіше вимирання певних видів є наслідком їх взаємодії з видами-конкурентами. Наприклад, потрапляння в Австралію здичавілих собак динго призвело до вимирання місцевих хижаків — сумчастого вовка та сум-

частого диявола. Ці хижаки були сильніші від собак, але поступалися собакам у мисливському мистецтві. Ці види збереглися до історичного часу лише в Тасманії, куди не дісталися динго.

Фермери, що полювали на тасманійських вовків, змогли винищити цей дивовижний вид хижих сумчастих. Винищення мисливцями їхніх жертв можна порівняти саме з відношенням хижацтва (хоча мотивація полювання мисливців на тасманійських сумчастих вовків відповідала швидше логіці інтерференційної конкуренції). І досі у Тасманії ходять легенди про те, що в якихось важкодоступних ділянках острова якомусь щасливчику вдалося зустріти цього звіра, але, на жаль, швидше за все, ці легенди відтворюють бажання любителів дикої природи, а не сувору дійсність.

4.5.8. Паразитизм

Справжні паразити (в тому сенсі, який пояснюється в пункті 4.5.2) дуже тісно пов'язані зі своїми господарями. Вони живуть усередині організму господарів або тісно прикріплені до їх поверхні. Господар є для паразитів середовищем проживання або його найважливішим компонентом. Зазвичай протягом життя (або етапу життєвого циклу) паразит пов'язаний з одним господарем. Для того, щоб використовувати господаря, паразитові зовсім не потрібно його вбивати (іноді господар гине, але це не є необхідною умовою його використання).

Результатом того, що середовище паразитів складається з окремих особин-господарів, є наявність у паразитів специфічних пристосувань для зараження нових хазяїв. Для паразита господар подібний до острова. Як перебратися з одного острова на інший? Одне з рішень полягає в тому, щоб виробити і викинути в середовище безліч нащадків у розрахунок на те, що хоча б деяким з них пощастить потрапити «за призначенням». Щоб оцінити, яку кількість яєць виробляють паразити, можна порівняти їх з їх вільноживучими родичами. Так, самки ґрунтових круглих червів виробляють за своє життя кілька сотень або навіть десятків яєць, а самки людської аскариди — 50—60 мільйонів!

Друге рішення, що дозволяє паразитам заселяти нових господарів, полягає у використанні якихось інших організмів для «стрибка» від господаря до господаря. Виникають складні життєві цикли, де статеве розмноження паразита відбувається в **остаточному хазяїні**, а проміжні стадії, в тому числі здатні до безстатевого або партеногенетичного розмноження, мешкають у **проміжних господарях**.

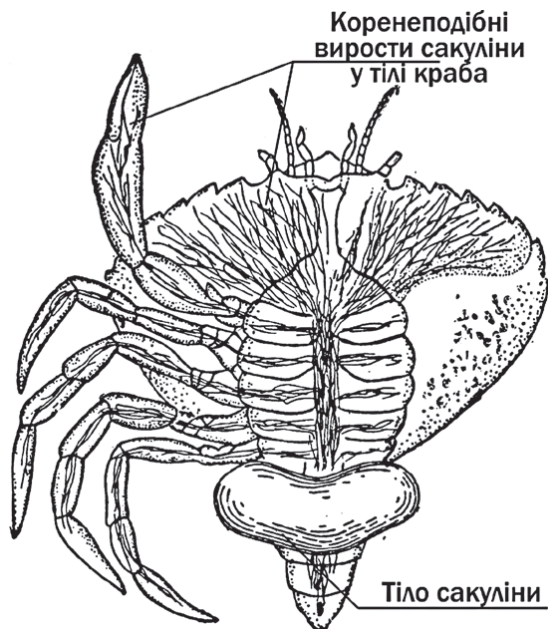


Рис. 4.9. Сакуліна (*Sacculina*), паразитичне вусоноге ракоподібне, в тілі свого господаря — краба. Мішкоподібне тіло паразита, позбавлене кінцівок, кишечника і навіть слідів характерної для членистоногих сегментації, знаходиться під черевцем краба, а його вирости пронизують усе тіло господаря

Господар є для паразита не тільки джерелом енергії, але і середовищем. Наслідком цього є те, що паразит зазнає набагато глибшої перебудови свого тіла, ніж хижак. Така перебудова може бути пов'язана з серйозним спрощенням одних систем органів і, навпаки, удосконаленням інших.

Одним з яскравих прикладів спрощення будови паразитів може бути вусоногий рак сакуліна, далекий родич морських жолудів (рис. 4.9). Якби не наявність характерної для вусоногих ракоподібних личинкової стадії, здогадатися про систематичну приналежність дорослої тварини за її будовою було б неможливо. Доросла сакулі-

на являє собою безформний мішок зі статевими продуктами, який висить під черевцем краба й отримує необхідні поживні речовини з допомогою коренеподібних виростів, які пронизують усе тіло господаря.

У більшості випадків спеціалізовані паразити досить ефективно «зламують» захисні системи своїх господарів. Це пов'язане з різною ефективністю добору: для паразита побороти господаря — питання життя і смерті, а для хазяїна — лише економії деяких ресурсів. Можна сказати інакше: предки якого паразита успішно зламували захист своїх господарів (інакше вони не залишили б потомство), а багато хто з предків будь-якого господаря годували певну кількість паразитів. Результатом цього є те, що спеціалізовані паразити найчастіше можуть погубити свого господаря. Проте така стратегія призведе до знищення середовища проживання паразита. Еволюційно старі паразити, добре пристосовані до своїх господарів, зазвичай викликають неважкі захворювання. Однак якщо паразити зовсім не будуть експлуатувати своїх господарів, вони не зможуть розмножуватися і заражати нові організми. Оптимальна для паразита стратегія найчастіше полягає в тому, щоб інтенсивно використовувати деяких особин хазяїна (слабких, старих, хворих, а також представників інших видів, крім тих, з яким тісно пов'язаний пара-

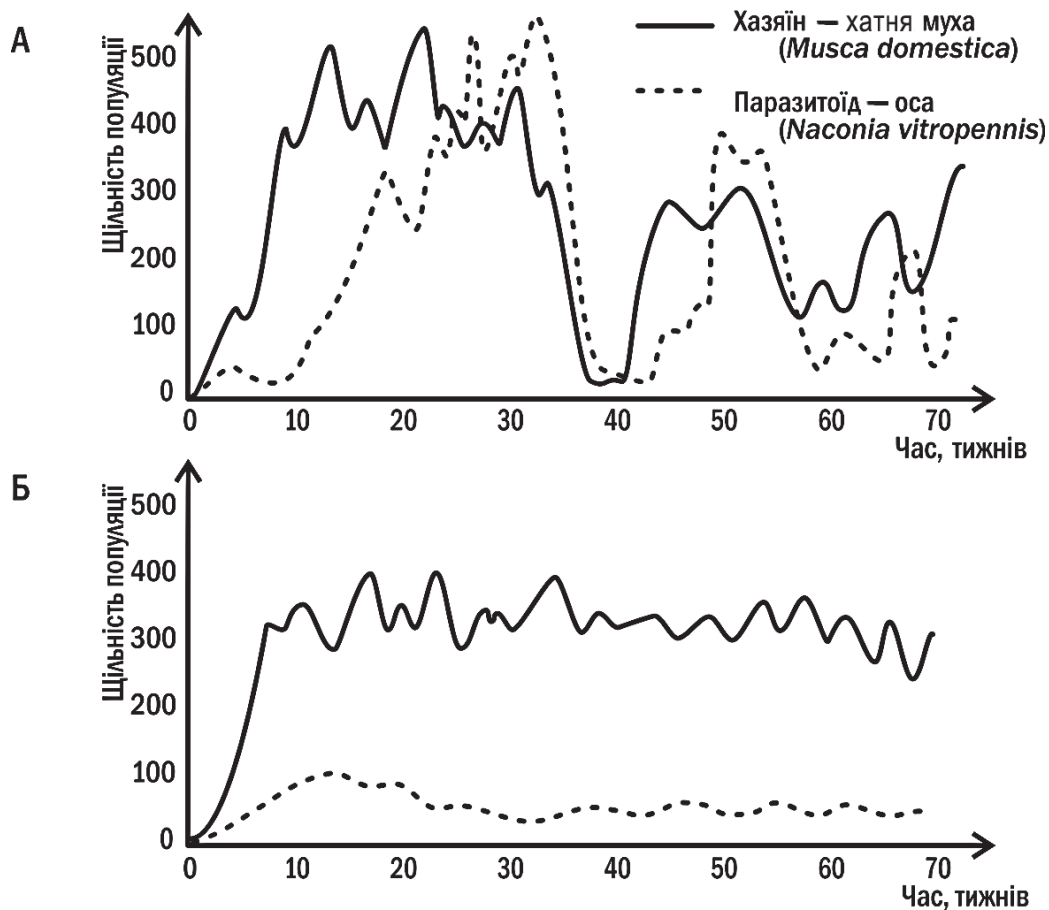


Рис. 4.10. Пристосування господаря і паразитоїда один до одного. На графіках показана динаміка чисельності двох видів комах, яких вирощували в експериментальній установці з 30 з'єднаних одна з одною камер. А. Культури господаря і паразитоїда раніше не контактували одна з одною. Б. Культури господаря і паразитоїда спільно вирощували протягом двох років

зит), а інших особин експлуатувати слабо. Пристосуванням для втілення такої стратегії виявляється здатність паразита знаходитися в двох фазах: активній та спочиваючій. Перехід до активної фази може бути викликаний, наприклад, гормональними змінами в організмі господаря (його тривалим важким стресом).

Найнебезпечніші паразити — ті, які перейшли до нового виду господарів і не мають пристосувань для збереження його життя. Так, найбільш небезпечні епідемії людини викликаються чумою (бактерією, яка паразитує на гризунах), грипом (вірусом, який паразитує на птахів), ВІЛ (вірусом, який прийшов до людини від інших приматів) та багатьма іншими «сторонніми» паразитами. Такі паразити ще не встигли достатньою мірою сформувати пристосування, що дозволяють експлуатувати господаря і зберігати його чисельність.

Дуже показові результати, отримані в досліді, в яких спільно вирощували культуру хатніх мух і паразитоїдних ос, що їх експлуатують (рис. 4.10). Якщо разом поселити мух

і ос, які раніше не контактували одні з одними, в експериментальній установці спостерігаються різкі стрибки чисельності обох видів. Якщо два взаємодіючих види вирощувалися разом протягом двох років, їх чисельність залишалася досить стабільною. Такий результат відображає пристосування двох взаємодіючих популяцій одна до одної.

4.5.9. Конкуренція і правило Гаузе

Як ми встановили, конкуренцією називається таке відношення між двома популяціями, за якого збільшення кожної з них викликає зниження чисельності іншої. Втім, це визначення стосується тільки міжвидової конкуренції, а крім неї існує також внутрішньовидова конкуренція, яка розгортається всередині однієї популяції.

При конкуренції дві популяції можуть несприятливо впливати одна на одну двома різними способами. Перший (непряма, або **експлуатаційна конкуренція**) пов'язаний з тим, що дві популяції використовують один і той самий ресурс. При зростанні чисельності однієї з цих популяцій посилюється споживання нею загального ресурсу, і іншій дістанеться менша кількість. Другий (пряма, або **інтерференційна конкуренція**) пов'язаний з витратами енергії особин на заподіяння взаємної шкоди. Прикладом прямої конкуренції може бути алелопатія — виділення рослинами речовин, що пригнічують інші види.

А навіщо організми йдуть на витрати енергії в ході інтерференційної конкуренції? Це явище не могло б спостерігатися, якби такі витрати не вирішували якесь важливе для конкуруючих популяцій завдання. Це завдання — зменшення шкоди від експлуатаційної конкуренції. Отже, хоча пряма конкуренція, яка може супроводжуватися конфліктами між особинами різних популяцій, здається більш «явною» і видовищною, вона є лише наслідком прихованої, непрямой конкуренції.

Чим більше схожі два види, тим сильніше перетинаються їхні потреби в ресурсах і тим сильніша конкуренція між ними. Найгостріша конкуренція — внутрішньовидова. Але особини одного виду, хоча й конкурують дуже гостро за ресурси, спільно відтворюються й формують наступне покоління. А що буде, коли конкуренція двох різних видів досягне тієї самої гостроти, що і внутрішньовидова?

У 1931—1935 роках молодий радянський біолог Георг Францевич Гаузе намагався експериментально перевірити рівняння конкуренції, виведені В. Вольтерра. Гаузе зрозумів, що для експериментів у галузі популяційної біології

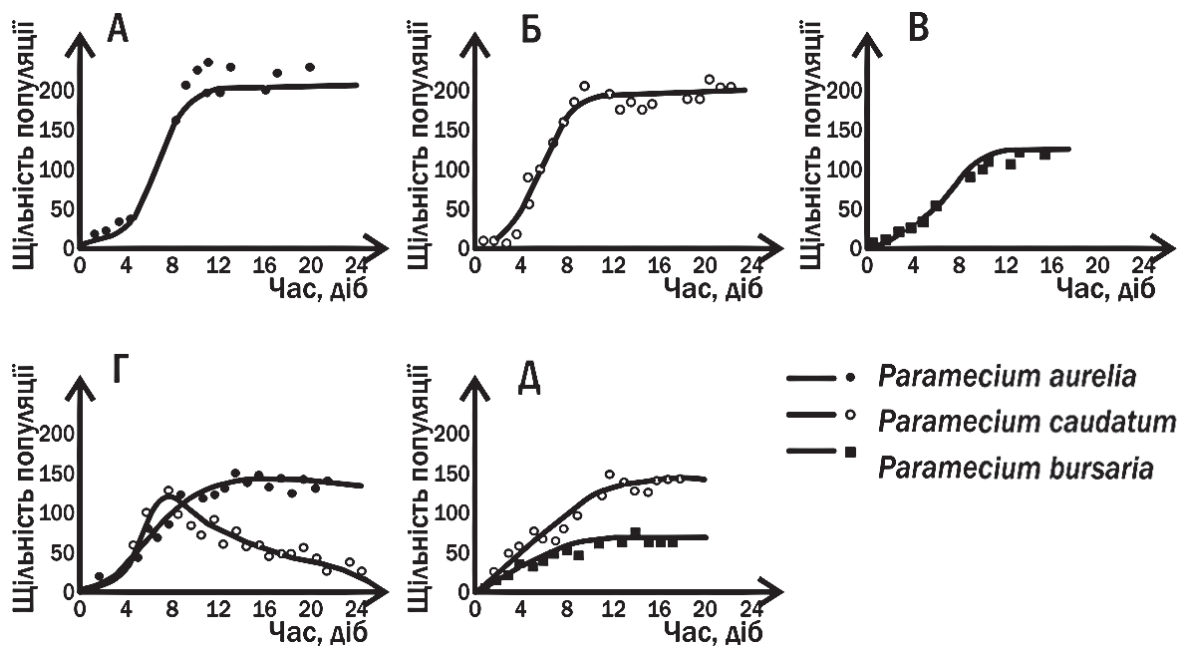


Рис. 4.10. Динаміка чисельності трьох видів інфузорій в дослідках Г.Ф. Гаузе. У варіантах експериментів А., Б. і В. види вирощували поодиночі; у випадках Г. і Д. в пробірку заселяли відразу два види інфузорій

добре підходять найпростіші: їм потрібен зовсім невеликий обсяг середовища, а зміна їх поколінь відбувається набагато швидше, ніж у багатоклітинних тварин. Експерименти Гаузе, що прославили його ім'я, здійснені на інфузорії туфельці (*Paramecium caudatum*) і її найближчих родичах (рис. 4.11).

Гаузе вирощував три види інфузорій роду *Paramecium* в пробірках, куди він додавав вівсяне борошно і звідки періодично видаляв відходи. На вівсяному борошні розвивалися дріжджі і бактерії, якими і харчувалися інфузорії. Усі три види роду *Paramecium* успішно розвивалися в монокультурі в таких умовах. При спільному утриманні *P. aurelia* завжди повністю витісняла *P. caudatum*. Однак при спільному утриманні *P. aurelia* і *P. bursaria* два види могли існувати разом. Як установив Гаузе, ці два види відрізняються за своїм способом живлення: перший вид живився бактеріями в товщі рідини, другий — дріжджовими клітинами при дні.

На підставі описаних спостережень був сформульований **принцип конкурентного виключення**, або **правило Гаузе**: два види, що займають одну і ту саму екологічну нішу, не можуть стійко співіснувати в одному місцеперебуванні, співіснування видів можливе завдяки поділу їх ніш.

Правило конкурентного виключення є однією з можливих причин, що пояснюють надзвичайну різноманітність видів у природі. Якщо дві популяції в одному місцеперебуванні не можуть займати одну нішу, їм доводиться її розділяти.

З часом кожна з таких популяцій спеціалізується в своїй ніші і може дати початок новому спеціалізованому виду.

Екологічно перевірити дію правила Гаузе в природних умовах досить важко, проте деякі приклади його дії біологам відомі. З кінця XIX століття на більшій частині Європи широкопалий рак (*Astacus astacus*) витіснений довгопалим раком (*A. leptodactylus*). Екологічна ніша довгопалого рака перекриває нішу короткопалого, і при цьому вид-переможець більш плідний. Плотва витісняє у багатьох водоймах червоноперку й окуня. Екологічні ніші дорослих особин роз'єднані, а мальків — перекриваються. Мальки плотви виявляються більш конкурентоспроможними. Однак наявність навіть багатьох прикладів конкурентного витіснення не означає, що воно відбувається завжди. За той час, протягом якого біологи досліджують дію правила Гаузе, вдалося знайти як приклади його дії, так і ситуації, коли воно не «спрацьовує».

Наприклад, в угрупованні планктонних водоростей поділу ніш не виявляється. Причиною цього є середовище, що швидко змінюється, де умови дають перевагу то одному, то іншому виду, а також інтенсивний вплив з боку хижаків (зоопланктону і різноманітних фільтраторів), які не дають конкурентному виключенню стати головним чинником у формуванні угруповання. Проте в деяких випадках конкурентне витіснення відбувається і в планктонних угрупованнях. Це відбувається при так званому «цвітінні» води, коли планктонні водорості вириваються з-під обмеження їх чисельності діями хижаків. У результаті «цвітіння» води розростаються всього кілька видів планктонних водоростей, які відрізняються один від одного за своїм способом життя.

Деякі види відносин можуть пов'язувати не тільки особин з різних популяцій, а й родичів, які входять до складу однієї популяції. Така, наприклад, конкуренція. Дія внутрішньовидової і міжвидової конкуренції схожа тим, що і та й та обмежують кількість ресурсів, доступних для особини. Проте їхній вплив на ширину екологічних ніш протилежно спрямований. Внутрішньовидова конкуренція розширює екологічні ніші: всім особинам не вистачає оптимальних для виду ресурсів, і деякі витісняються «на край» розподілу — використовувати хоч якось відповідні ресурси. Міжвидова конкуренція, згідно з правилом Гаузе, навпаки, звужує екологічні ніші. Ширина ніш, яку ми спостерігаємо, є результатом урівноваження цих процесів.

Цікавий приклад конкурентного виключення був досліджений в досліджах Т. Парку з борошняними хрущаками. Два види цих жуків із сімейства чорнотілок (*Tribolium confusum* і *T. castaneum*) вирощували в ящиках з борошном. Ці види

конкурували за їжу (борошно) і, крім того, могли житися один одним, причому жуки обох видів поїдали переважно особин виду-конкурента, а не свого виду (таке поєднання конкуренції з хижацтвом називається **антагонізмом**). Парку вдалося підібрати умови, за яких закономірно перемагав перший або другий вид. Однак найцікавіше виявилось досліджувати підсумок конкуренції за проміжних умов, що не забезпечували безумовної переваги одного з видів (таблиця 4.3.).

Таблиця 4.3.
Кількість перемог двох видів борошняного хрущака
в експериментах Т. Парку

«Клімат» (умови експерименту)	% перемог	
	<i>Tribolium confusum</i>	<i>Tribolium castaneum</i>
Жаркий вологий	0	100
Помірний вологий	14	86
Холодний вологий	71	29
Жаркий сухий	90	10
Помірний сухий	87	13
Холодний сухий	100	0

Повторяючи досвід за однакових умов, експериментатор реєстрував то перемогу одного, то перемогу іншого виду з певною частотою. Зміна умов вирощування змінювала шанси кожного виду на перемогу, але в досить широкому діапазоні температури і вологості з певною ймовірністю перемогти могли обидва види. Постійним залишалося тільки одне: через якийсь час у середовищі залишався тільки один вид, а другий зникав.

Відмінності між видами однієї **гільдії** (сукупності видів, які використовують один і той самий ресурс) можуть бути опосередковані впливом хижака. Так, явна відмінність від сусіда може вивести вид зі сфери уваги хижака, що живиться цим сусідом. У Південно-Східній Азії сітчасті пітони живуть прямо в поселеннях людини, крадуть і їдять кіз, свиней і собак і вкрай рідко нападають на людину. Це пов'язано з тим, що людина не схожа на своїх родичів, що ходять на чотирьох ногах, і не сприймається як жертва.

4.5.10. Аменсалізм і нейтралізм

Аменсалізм, або відношення, при якому одна популяція відчуває несприятливий вплив іншої, а та ніяк не залежить від першої, є крайнім виявом конкуренції. Такі відносини

виникають, коли один з конкурентів виявляється істотно сильнішим од іншого. Велике дерево затіняє траву біля його підніжжя, майже не відчуваючи від цієї трави несприятливих впливів. У тропічних океанах поширене явище, зване «червоним припливом». Планктонні панцирні джгутикові водорості дінофлагелляти накопичують в собі токсин, яким пригнічують конкурентів і захищаються від хижаків. Коли цих водоростей стає багато, вода набуває червонуватого відтінку і стає небезпечною для більшості живих організмів, включаючи риб і донну фауну.

Ми зазначали, що одним з типів відносин популяцій є нейтралізм — відношення, при якому популяції не впливають одна на одну. Це означає, що ці дві популяції начебто не існують одна для одної.

Чи може таке явище спостерігатися взагалі, коли мова йде про дві популяції, які населяють одну екосистему? Строго кажучи, ні. Кожен організм споживає ресурс, розсіює енергію, змінює середовище і тим самим, хоча б незначною мірою, впливає на всі організми, що живуть спільно з ним. Але цей вплив може бути дуже малим — нижче якогось порогового значення, після якого розглядати його немає сенсу.

З цієї точки зору нейтралізм — не відсутність впливу двох популяцій одна на одну, а ситуація, коли таким впливом можна знехтувати.

А в якому випадку взаємодія двох популяцій в складі однієї екосистеми буде мінімальною? Коли між популяціями немає прямих зв'язків, коли вони належать до різних трофічних ланцюгів, кожен з яких добре врегульований. Ймовірно, багатоніжка геофіл, що живиться дрібними безхребетними детритного ланцюга живлення, і соня, що харчується плодами і комахами в кронах дерев, дуже слабо впливають одна на одну.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Бигон М., Харгер Д. Ж., Таусенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. — Т. 1. — М.: Мир, 1989. — 667 с.

Гиляров А. М. Популяционная экология. — М.: МГУ, 1990. — 191 с.

Голубець М. А., Царик Й. В. Стійкість і стабільність — важливі ознаки живих систем // Ойкумена. — 1992. — №1. — С. 21—26.

Грант В. Эволюционный процесс: критический обзор эволюционной теории. — М.: Мир, 1991. — 488 с.

Дідух Я. П. Популяційна екологія. — К.: Фітосоціоцентр, 1998. — 192 с.

Жизнеспособность популяций: природоохранные аспекты /под ред. М. Сулея. — М.: Мир, 1989. — 223 с.

- Коли О.* Анализ популяций позвоночных. — М.: Мир, 1970. — 362 с.
- Одум Ю.* Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с.
- Пианка Э.* Эволюционная экология. — М.: Мир, 1981. — 400 с.
- Примак Р. Б.* Основы сохранения биоразнообразия: пер. с англ. — М.: НУМУ, 2002. — 256 с.
- Работнов Т. А.* Некоторые вопросы изучения автотрофных растений как компонентов наземных биогеоценозов // Бюлл. МОИП. Отд. биол. — 1980. — Т. 85, вып. 3. — С. 64—80.
- Раменский Л. Г.* О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии // Сов. бот. — 1935. — №4. — С. 35—41.
- Риклефс Р.* Основы общей экологии. — М.: Мир, 1979. — 424 с.
- Сулей М. Е.* Введение // Жизнеспособность популяции: Природоохранные аспекты. — М.: Мир, 1989. — С. 10—22.
- Шабанов Д. А., Кравченко М. А.* Материалы для изучения курса общей экологии с основами средоведения и экологии человека. — Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. — 292 с.
- Яблоков А. В.* Популяционная биология. — М.: Высшая школа, 1987. — 303 с.
- Яблоков А. В., Юсуфов А. Г.* Эволюционное учение. — М.: Высшая школа, 1989. — 335 с.
- Grime J. P.* Plant strategies and vegetation processes. — N. Y., 1979. — 222 p.
- Whittaker R. H.* The design and stability of plant communities / Unifying Concepts in Ecology. — Hague: Wageningen, 1975. — P. 169—181.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Що ви знаєте про історію становлення демекології?
2. Які причини різного тлумачення терміна «популяція»?
3. Що означає генетичний і демографічний підходи до вивчення популяцій?
4. Що таке структурно-функціональна організація популяцій?
5. Які причини динаміки чисельності особин популяції?
6. Які фактори загроз виживання популяцій?
7. Що ви знаєте про розвиток уявлення про стратегію популяцій?
8. Які критерії життєздатності популяцій?
9. У чому полягає суть охорони популяцій рідкісних видів?
10. Які принципи експлуатації популяцій?
11. Що таке популяційний підхід в екології?
12. Чому популяція є одиницею мікроеволюції?
13. Популяція — одиниця охорони й експлуатації.

14. Які чинники обмежують ріст популяції?
15. Як відбувається потік енергії через популяцію?
16. Чому популяція є компонентом екосистеми?
17. Які популяційні параметри можуть бути маркерами стану екосистем?
18. Як відбувається самопідтримання популяції?
19. Як відбувається регуляція чисельності особин у популяції?
20. Які ви знаєте просторові типи популяцій?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Місце популяційної екології у загальній екології: а) окремий випадок екосистеми; б) складова частина вчення про біогеоценози; с) пояснює структуру парцел; d) окремий розділ екології.
2. Яка наука вперше почала вивчати популяції: а) генетика; б) зоологія; с) радіобіологія; d) фізіологія людини?
3. Система — це: а) структура та функція; б) структура; с) функція; d) взаємозв'язок між елементами та поява нової якості?
4. Популяційний підхід до вивчення екосистем — це: а) встановлення трофічного ланцюга; б) вивчення потоку енергії та потоку речовин; с) пізнання складу екосистем; d) розкриття організації біоти екосистем?
5. Ареал популяції — це: а) віддаль, на яку розноситься насіння вітром; б) зона міграційних шляхів; с) зона поширення особин популяцій; d) місце репродукції?
6. Ареал популяцій зменшується через: а) збільшення чисельності особин у центрі ареалу; б) зменшення народжуваності та збільшення смертності особин; с) зміну клімату; d) зміну ґрунтових умов?
7. Трофічний ареал — це: а) місце живлення; б) місце живлення та парування; с) місце живлення, парування та народження малят?
8. Репродуктивний ареал — це: а) місце народження малят; б) місце парування; с) місце зустрічі особин іншої статі; d) місце живлення та парування?
9. Формула визначення мінімального ареалу популяції: а) $S_{\min} = \pi r^2$; б) $S_{\min} = 2 \pi r$; с) $S_{\min} = rL$, де r — радіус активності, L — довжина території?
10. Ефективна чисельність особин — це: а) молоді особини; б) личинкова стадія; с) дорослі особини, які беруть участь у розмноженні?
11. Як пов'язане виживання популяції з мінімальною чисельністю особин: а) пряма залежність; б) опосередкована залежність; с) пряма залежність на початкових етапах розвитку популяцій?
12. Вікова структура — це: а) набір вікових станів особин; б) співвідношення самців і самиць; с) наявність прайдів; d) наявність колоній?
13. Яка група особин має статеву структуру 1:1: а) зріла; б) на початкових етапах розвитку популяції; с) стара група; d) сім'я?

14. Вторинна статевая структура — це: а) друга зустріч партнерів; б) створена штучно популяція; с) розподіл статей під час полювання; d) співвідношення статей під час народження?

15. Третинна статевая структура — це: а) статевая структура репродуктивних особин; б) статевая структура молодих особин; с) статевая структура старих особин?

16. Просторова структура популяцій за типом ареалу: а) ізольована, лінійна, континуальна; б) вервечкоподібна; с) сітчастоподібна; d) рівномірна?

17. Інвазійна популяція — це: а) популяція, в якій особини мігрують; б) популяція, в якій домінують малорухливі особини; с) популяція, в якій домінують молоді особини?

18. Нормальна популяція — це: а) популяція, яка росте в зоні оптимуму; б) популяція, яка росте в мінливих умовах середовища; с) популяція, в якій домінують генеративні зрілі особини?

19. Регресивна популяція — це: а) популяція, яка знищена людиною; б) популяція, в якій домінують старі особини; с) популяція, яка населяє деградовані ґрунти?

20. Розподіл особин в ареалі популяції буває: а) рівномірним; б) нерівномірним; с) випадковим; d) рівномірним, випадковим, груповим?

21. Фітоценотична особина — це: а) пагін; б) особина фітоценозу; с) особина вегетативного походження; d) стара особина?

22. Фізіологічна цілісність особин — це: а) наявність кореневої системи; б) фізіологічний зв'язок між частинами системи; с) система пагонів, пов'язаних між собою спільною кореневою системою?

23. Основні параметри популяцій — це: а) здатність до трансформації речовин та енергії; б) участь у біотичному кругообігу; с) щільність, чисельність, ареал, просторова, статевая структура?

24. Динаміка популяцій — це зміна: а) фенотипу; б) маси; с) народжуваності, смертності?

25. Просторова структура популяцій — це: а) розміщення популяцій у просторі, координати; б) розміщення генеративних особин; с) розміщення особин узагалі?

26. Лінійний тип ареалу популяцій — це: а) розміщення особин популяцій залежно від електромагнітних полів Землі; б) за градієнтом умов; с) завдяки діяльності людини?

27. Ефективна чисельність особин — це: а) чисельність самців; б) чисельність молодих особин; с) чисельність зрілих самців і самок?

28. Обмежувальні чинники росту популяцій — це: а) стрес, хвороби, генетичні зміни; б) хижацтво, паразитизм, хвороби?

29. Чому природно-історична популяція є одиницею охорони та експлуатації: а) завдяки тому, що вона є елементарною одиницею еволюції; б) має здатність до відновлення; с) володіє високою життєвістю; d) функціонує як саморегульована система?

30. Модель Лотки—Вольтера визначає: а) взаємозв'язок між вологістю та температурою; б) взаємозв'язок між вологістю та висотою над рівнем моря; с) взаємозв'язок між хижаком і жертвою?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	d	9	a	17	c	25	c
2	a	10	b	18	c	26	b
3	d	11	a	19	b	27	c
4	d	12	a	20	d	28	a
5	c	13	d	21	a	29	b
6	a	14	d	22	c	30	c
7	b	15	a	23	c		
8	c	16	b, c, d	24	c		

Розділ 5 ЕКОСИСТЕМОЛОГІЯ

Основна ідея. Екосистемологія — розділ сучасної екології. Принципи системного аналізу дають можливість комплексного та всебічного підходу до з'ясування складних взаємовідносин, наявних у біогеоценозі. Особливо важливий системний аналіз для дослідження механізмів функціонування складних біологічних систем на всіх рівнях їх організації.

Смислові зв'язки. Система як сукупність елементів — складна система як комплекс підсистем із властивими їм особливостями — екосистема та біогеоценоз як приклади складних систем — біосфера як цілісна система — різноякісність форм життя та біогенний кругообіг — популяція як рівень системи, де відбувається відтворення особин, їх еволюційна перебудова — регуляція біосистем різного рівня організації — індивідуальна автотрофна консорція як найменша екосистема.

Ключові терміни. Система, складна система, структура системи, поведінка системи, біосфера, біогенний кругообіг, екосистема, біогеоценоз, популяція, консорція, баланс екосистеми.

Мета. Опанувавши розділ, ви зможете з'ясувати значення системного підходу до вивчення складних систем, якими є всі біологічні системи, починаючи з популяції і до біосфери в цілому. Наведені основні складові частини та механізми функціонування складних біологічних систем допоможуть орієнтуватися у сучасній термінології та підходах до визначення місця окремого угруповання у загальній системі живого.

5.1. Системний підхід в екології

5.1.1. Система. Загальні визначення

Видана 1971 року та перекладена російською мовою 1975 року книга Юджина Одума «Основи екології» стала першою монографічною роботою, в якій був описаний об'єкт і предмет досліджень і визначені методи та підходи до розв'язання екологічних проблем. В основу екологічних досліджень Ю. Одум ставив системний підхід, основні положення якого у 1928 р. були розроблені Л. фон Берталанфі. Ще більша увага системному підходу була приділена Ю. Одумом в його двотомнику «Екологія», опублікованому в 1983 році, а перекладеному російською у 1986 році. У 1984 році Г. С. Розенберг опублікував працю «Моделі у фітоценології», в якій із системних позицій розглядав різні моделі функціонування рослинних угруповань. Слід сказати, що системний підхід не всі екологи розглядають як базовий, зокрема це стосується робіт американського еколога Роберта Макінтоша.

Б. М. Міркін і Л. Г. Наумов вважають, що «системний підхід» зараз так часто вживається, що приносить більше шкоди, ніж користі. Але, незважаючи на різні погляди щодо системного підходу в екології, цей підхід є надзвичайно актуальним і необхідним. А. А. Ляпунов у 1970 році вважав, що принципи конструктивного системного підходу допомагають створювати нові програми вивчення, орієнтовані на розкриття суті процесів трансформації енергії, передачі речовини та інформації в екосистемах.

Із середини ХХ століття поняття «система» (від грецького *systema* — ціле, складене з частин) стає одним із ключових філософсько-методологічних і спеціально-наукових понять. М. А. Голубець (2000) виділив розділ екології — **екосистемологію** (об'єкт досліджень — екосистеми різних рангів організації від консорції до біосфери). Щоправда, це поняття в системології склалося ще не повністю, і багато дослідників, трактуючи його, вводять у визначення свої критерії. Традиційним є наступне визначення: **система — це сукупність елементів, які взаємодіють між собою і створюють нову якість**. Слід відразу відзначити відносність цього визначення. Практично завжди елемент системи внаслідок ієрархічної структури світу сам є системою зі своїми елементами. Система ділить світ на дві частини: систему та середовище. При цьому сила зв'язків елементів усередині системи є більшою, ніж між елементами та середовищем їх існування.

Проте наведене визначення не є конкретним, на основі якого можна класифікувати системи. Це визначення загаль-

ного характеру. Підтвердженням цьому може бути класифікація степової рослинності за домінантним принципом.

За цим принципом угруповання зі схожим флористичним складом (*Poa stepposa*, *Helictotrichon desertorum*, *Stipa zalesskii*, *Phleum phleoides*, *Anemone sylvestris* та ін.) і схожою взаємодією видів можуть бути віднесені не тільки до різних асоціацій, а й до різних формацій (овсецево-степово-м'ятликова і степово-м'ятликово-залісько-ковилова) залежно від того, який вид домінує в угрупованні. У випадку домінування вид виступає як основа **композиції**, що дозволяє виділити та встановити межі різних систем рослинних угруповань. Вибір іншого закону композиції (наприклад, флористичних критеріїв) дає можливість об'єднати ті самі об'єкти в іншу систему.

Знання законів композиції під час визначення меж систем та для теоретичних узагальнень має велике значення, особливо при побудові теорії даного класу систем. Формалізація законів композиції сприяє коректному визначенню «сильніших» відносин між елементами системи порівняно з відносинами з іншими елементами або системами.

5.1.2. Складна система

Кожна система визначається певною *структурою* (елементи та взаємозв'язки між ними, їх властивості) та *поведінкою* (зміни системи в часі).

Для системології ці поняття є такими ж фундаментальними, як «простір» і «час» для фізики. У системології *під структурою розуміється інваріантна в часі фіксація зв'язків між елементами системи, що відображають певні властивості, і формалізується, наприклад, математичним поняттям «графа»*. *Під поведінкою системи розуміється її функціонування в часі*. Зміни структури системи в часі можна розглядати як її сукцесію, або еволюцію. Розрізняють **неформальну структуру системи** (як елементи цієї структури фігурують «первинні» елементи, аж до атомів) і **формальну структуру** (як елементи цієї структури фігурують системи нижчого ієрархічного рівня).

Складність системи на «структурному рівні» задається кількістю її елементів і зв'язків між ними. Дати визначення «складності» у цьому випадку вкрай важко: дослідник має справу з так званим «ефектом купи» (одна куля — не купа, дві кулі — не купа, три — не купа, а ось сто куль — купа, дев'яносто дев'ять — купа; то де ж межа між «купою» і «не купою?»). Крім того, відносність поняття «структура» (поділ на формальну та неформальну структури) примушує взагалі відмовитися від нього при визначенні складності системи.

5. Рефлексія	
4. Преадаптація	
3. Прийняття рішень	
2. Гомеостаз (зворотні зв'язки)	
1. Речовинно-енергетичний баланс	

Рис. 5.1. Принципи поведінки систем, що ускладнюються:
1—2 — прості системи, 3—5 — складні системи

Визначити, що таке «складна система» на «поведінковому рівні», представляється реалістичнішим. Б. С. Флейшман запропонував **п'ять принципів ускладнення поведінки систем** (рис. 5.1).

На **першому рівні** знаходяться системи, складність поведінки яких визначається лише *законами збереження* в рамках балансу речовини та енергії (наприклад, камінь, що лежить на дорозі); *такі системи вивчає класична фізика*.

На **другому рівні** розташовуються системи зі складнішою поведінкою. Для них справедливі закони першого рівня, але їх особливістю є наявність зворотних зв'язків, що і обумовлює складнішу поведінку; функціонування таких систем вивчає кібернетика. **Принцип гомеостазу** зберігається для всіх систем цього рівня.

Ще складнішою поведінкою характеризуються системи **третього рівня**: вони складаються з речовини та енергії, мають зворотні зв'язки, але їх особливістю є здатність «приймати рішення», тобто здатність здійснювати деякий вибір (випадковий, оптимальний або інший) з ряду варіантів поведінки («стимул — реакція»).

Системи **четвертого рівня** виділяються за здатністю здійснювати перспективну активність або проявляти випереджувальну реакцію («реакція — стимул»). Цей тип поведінки виникає на рівні біосистем, складніших, ніж найпростіші, але ще не таких, які мають інтелект. Рівень їх складності має перевершувати рівень складності середовища, і вони повинні мати достатньо могутню пам'ять (наприклад, генетичну). «Пам'ятаючи» результати своїх взаємодій із середовищем до даного моменту часу і «покладаючись» на те, що «завтра буде приблизно те саме, що і сьогодні», такі біосистеми можуть заздалегідь підготувати свою реакцію на можливий майбутній вплив середовища. Для особин цей принцип відомий як ефект *перспективної активності*, для популяцій — як ефект *преадаптації*. В останньому випадку гарним прикладом може слугувати «дзвоноподібний» характер розподілу чисельності популяції уздовж деякого градієнта середовища: значна частина популяції, близька до модального класу, «пам'ятає» про

типові зміни даного чинника, крайні (нечисленні) класи — про різкіші та значніші зміни.

Нарешті, вищий (на сьогоднішній день) — *п'ятий рівень* складності об'єднує системи, пов'язані поведінкою інтелектуальних партнерів, засновані на міркуваннях типу: «він думає, що я думаю» і так далі (класичний приклад — шахова партія та розрахунок суперниками можливих варіантів її розвитку). Мабуть, для екології цей тип поведінки не має безпосереднього відношення, але він стає визначальним при раціональному природокористуванні та особливо при врахуванні соціальних аспектів взаємодії «людина — природа», тобто для соціосистемології (Голубець, 2005).

Системи, що включають в якості хоча би однієї підсистеми систему, що має здатність до вирішення завдання (поведінці якої властивий акт рішення), називатимемо складними (системи 3—5-го рівнів; такі системи вивчає системологія). Прагнення системи досягти властивого для неї стану називатимемо цілеспрямованою поведінкою, а цей стан — її метою.

5.1.3. Екосистема — основний об'єкт екології

Концепція екосистем за Ю. Одумом є провідною у сучасній екології — саме на вивченні властивостей структури та динаміки екосистем мають бути сконцентровані зусилля екологів. Із цієї точки зору слід проаналізувати ряд визначень природних об'єктів, які, на думку дослідників, можуть претендувати на роль основних об'єктів, що вивчає екологія.

За визначенням Ю. Одума, екосистемою є *будь-яка одиниця, що включає всі спільно функціонуючі організми на даній ділянці і взаємодіє з фізичним середовищем таким чином, що потік енергії створює чітко визначені біотичні структури та кругообіг речовини між живою та неживою частинами* (Одум, 1976).

Подальший розвиток уявлень про екосистему та біогеоценоз привів до класифікації екосистем, де біогеоценоз є окремим ступенем організації екосистем, який маркується фітоценозом (Голубець, 2005). Біогеоценоз — екосистема в межах конкретного фітоценозу.

Поряд із визначенням екосистеми в країнах колишнього СРСР екологи широко використовували поняття «біогеоценоз». Цей тип біотичної системи вперше виділив В. М. Сукачов. За його визначенням, *біогеоценоз — сукупність на певній ділянці земної поверхні однорідних природних ланок (атмосфери, гірської породи та гідрологічних умов), що має свою особливу специфіку взаємодії компонентів, із яких вона складається, тип обміну речовиною та енергією між собою та іншими явищами*

природи і являє собою внутрішню діалектичну єдність, що знаходиться в постійному русі, розвитку (Сукачєв, 1964).

Підбиваючи підсумок цьому короткому порівнянню, відзначимо, що всі розглянуті об'єкти є системами взаємодіючих біоценотичних і екоотічних складових, а відмінності спостерігаються лише у визначенні меж цих систем у природі.

Все це змушує розглядати поняття «екосистема» у визначенні Ю. Одума як основний об'єкт екологічного дослідження. І нижню межу екосистеми можна встановити за наявністю біогенного кругообігу речовин.

5.2. Різноманіття живих систем

5.2.1. Роль живої речовини в утворенні середовища існування

Жива речовина — сукупність усіх форм життя у біосфері. Результати інтегрованої активності різних живих організмів виявляються не лише у вигляді їх пристосування до проживання в різних умовах, але й у зворотній дії на середовище, що призводить до зміни його характеристик. В основі цього лежить процес обміну речовин як специфічна властивість життя.

Сучасне середовище як сукупність абіотичних складових (атмосфери, клімату тощо) значною мірою зумовлене життєдіяльністю організмів, що мешкають у ньому. Живі організми, діючи та накопичуючись у вигляді мертвої органіки впродовж геологічної історії планети, докорінним чином змінили початкові хімічні та фізичні властивості середовища у бік, сприятливий для стійкого існування життя.

Як відомо, походження та властивості ґрунту в основному обумовлені діяльністю живих організмів. Тільки вони виробляють і розкладають органічну речовину, без якої гірські породи не мають специфічних властивостей ґрунту, зокрема родючості. Діяльність мікроорганізмів, рослин і тварин формує структуру ґрунтів, їх хімізм, сприяє процесу подальшого ґрунтоутворення.

У водному середовищі яскраво виражений вплив живих організмів на хімічний склад води. Різні групи організмів постійно виводять у водне середовище продукти метаболізму, зокрема іони солей, органічні кислоти, нітрогенвмісні речовини, сірководень тощо. Рослини — мешканці еуфотичної зони виділяють кисень, який частково залишається в розчиненому стані. Тварини-фільтратори, маса яких дуже велика, безперервно пропускають через свої організми величезну кількість води, вилучаючи з неї зважені органічні част-

ки та розчинені солі. Підраховано, що фільтратори Великого Бар'єрного рифу (Австралія) упродовж 5 років профільтровують весь об'єм Тихого океану. Масштаби водообміну, що створюється фільтраторами, нерідко перевершують природні гідрологічні процеси. Коефіцієнт водообміну Дніпровсько-Бузького лиману — 1,8, а молюски, що населяють його, протягом теплого сезону профільтровують воду лиману 5 разів!

Характерна для багатьох гідробіонтів вибірковість вилучення певних речовин із середовища, а також здатність накопичувати їх в організмі приводять не тільки до зміни хімізму середовища, а й до формування специфічних особливостей рельєфу, властивостей морського дна (наприклад, утворення коралових рифів, атолів, органогенних мулів тощо). Рельєф дна формується і під впливом великих тварин. Відомо, наприклад, що у північно-східній частині Берингова моря тихоокеанські моржі та сірі кити, живлячись бентосом, утворюють на дні ями та жолоби в такій кількості і таких розмірів, що за своїм впливом на рельєф вони можуть бути порівняні з геологічними процесами. Багатьом тваринам властиве накопичення певних солей, які акумулюються у складі скелетних утворень (*Ca*, *Si*, *Mg*, *P* тощо). Відмираючи, ці організми утворюють потужні відкладення вапняків, доломіту, кремнезему, формуючи таким чином геологічну структуру морського дна. Виникнення органогенних донних відкладень приводить до того, що ці речовини випадають із біотичного кругообігу і стають складовою частиною літосфери. Якщо життя в активній формі проникає в літосферу відносно неглибоко, то породжені ним шари осадових порід мають потужність порядку декілька десятків кілометрів (В. І. Вернадський, 1965).

Сучасний газовий склад *атмосфери* практично цілком визначається діяльністю живих організмів, головним чином через фотосинтез і дихання. Історія формування сучасної атмосфери достатньо складна. Вільний молекулярний кисень виділявся й у добіологічний період історії Землі. Його джерелом був процес фотодисоціації водяної пари. Але накопичення кисню в атмосфері в цей час не відбувалося; він негайно з'єднувався з оксидом Карбону вулканічних газів і з іншими речовинами, а частково створював у верхніх частинах атмосфери озоновий шар, який перешкоджав подальшому наростанню фотолізу пари.

У період до початку палеозою накопичення кисню в атмосфері йшло поволі й не перевищувало 10 % сучасного рівня. Тільки з появою наземної рослинності починається помітне підвищення рівня кисню в атмосфері; одночасно шар озону та накопичення у верхніх частинах атмосфери

CO_2 і водяної пари поступово екранували короткохвильову частину сонячного випромінювання й усували можливість подальшого утворення кисню шляхом фотолізу води.

Діоксид Карбону (CO_2) на ранніх етапах розвитку Землі мав переважно вулканічне походження, і вміст його в атмосфері був вище сучасного. У даний час значна частина CO_2 атмосфери має біологічне походження: він виділяється головним чином у процесі дихання живих організмів. Показано, наприклад, що на 1 га пшеничного поля за добу продукується 135 кг CO_2 , зокрема 75 кг мікроорганізмами та 60 кг корінням пшениці.

Вулканічний CO_2 становить лише соті долі відсотка; проте постійне надходження в атмосферу абіогенного діоксиду Карбону, на думку деяких вчених, компенсує високий рівень споживання його у біологічних процесах.

Сучасні властивості газової оболонки Землі мають істотне значення в її тепловому балансі. Значна частина сонячної енергії досягає поверхні Землі у видимій частині спектра. Земля випромінює отриману енергію (як відносно холодніше тіло) головним чином в інфрачервоній (довгохвильовій) частині спектра. Інфрачервоне випромінювання Землі екранується парами води, CO_2 та озоном. Це запобігає надмірній втраті тепла поверхнею Землі випромінюванням і сприяє підвищенню температури на поверхні планети. Підраховано, що без цього «парникового ефекту» температура в навколосемному шарі була б приблизно на 40 °C нижчою, ніж реєстрована нині. Природно, така температурна ситуація не сприяла б розвитку життя, принаймні у тих формах, в яких вона відома на Землі.

Поступове збільшення концентрації CO_2 в атмосфері, що відбувається в наші дні, пов'язане з промисловими викидами і може бути причиною наростання «парникового ефекту» та потепління клімату. У той же час, часткове руйнування озонного екрана, що спостерігається зараз, може певною мірою компенсувати цей ефект за рахунок збільшення витрат тепла з поверхні Землі. Одночасно збільшиться потік короткохвильового ультрафіолетового випромінювання, що небезпечно для багатьох живих організмів. Зрозуміло, що антропогенне «втручання» в атмосферу породжує непередбачувані й небажані наслідки.

На рівні конкретних екосистем формуються важливі деталі клімату. Відома роль рослинності в утворенні певного режиму температури та вологості. Наприклад, активна транспірація рослинами лісів і луків вологи впливає на кількість опадів. Так, у Німеччині саме за рахунок транспірації рослинами лісів кількість опадів збільшується.

Рослинність впливає також на вітровий режим, умови залягання снігового покриву та інші важливі кліматичні параметри. Загалом, на тлі фундаментальних географічних особливостей клімату, що визначаються астрономічними чинниками, рельєф і тип рослинності утворюють особливості мезо- та мікроклімату, що має велике значення у формуванні складних багатовидових угруповань живих організмів. У континентальних водоймах аналогічний ефект досягається за рахунок впливу рослинності на швидкість течії, температурний режим і хімізм водойми.

Таким чином, *сукупна діяльність усіх форм життя активно перетворює властивості основних середовищ його існування: повітряного, наземного, підземного, водного*. Сучасна біосфера (сфера живого) — продукт взаємодії живого та неживого (літосфери).

5.2.2. Біосфера як цілісна система

Біосфера — складна за генезисом, історією та будовою глобальна система. Згідно з визначенням М. А. Голубця (2006), яке базується на аналізі праць В. І. Вернадського, М. І. Будико, М. С. Гілярова, В. А. Ковун, Б. С. Соколова та багатьох інших, *біосфера — загальнопланетна оболонка, до складу якої належать нижні шари атмосфери, уся гідросфера та верхні шари літосфери. Її склад і будова зумовлені сучасною та минулою життєдіяльністю всієї сукупності живих організмів (живої речовини)*. Вона є наслідком взаємодії її живих і неживих компонентів, акумуляції та перерозподілу в ній величезної кількості енергії: термодинамічною, відкритою, самоорганізованою, саморегульованою, динамічно врівноваженою, стійкою, мозаїчною (дисиметричною) глобальною системою (Голубець, 2000).

Важлива функція біосфери — стійке підтримання життя, яке ґрунтується на безперервному кругообігу речовин, пов'язаному зі спрямованими потоками енергії. Як біологічний кругообіг відбувається на рівні окремих екосистем, так і кругообіги на рівні біосфери об'єднуються до біогенних циклів, час існування яких визначається тисячами, мільйонами років.

Живі організми та надорганізмові системи біосфери активно беруть участь у формуванні особливостей клімату, типів ґрунтів, варіантів ландшафту, характеру циркуляції вод і багатьох інших процесів, які на перший погляд не відносяться до категорії біогенних. Зрештою, різноманітні форми життя в їх глобальному взаємозв'язку визначають унікальні властивості біосфери як саморегульованої системи, гомеостаз

якої запрограмований на всіх рівнях організації живої матерії. Найтісніші функціональні зв'язки біологічних систем різних рівнів перетворюють дискретні форми життя на інтегровану глобальну систему — біосферу (І. А. Шилов, 1988; В. Є. Соколов, І. А. Шилов, 1989).

Біосфера, за В. І. Вернадським, як цілісна система має певну організованість і механізми саморегуляції. Це виражається в регуляції постійності газового складу атмосфери (а через озоновий екран — і фізичних умов на поверхні Землі), стійкого складу та концентрації солей Світового океану тощо.

Основа механізмів саморегуляції, організованості закладена у процесах біологічної природи: фотосинтез, дихання, регуляція водного та сольового обміну організмів тощо. У найбільш загальній формі можна вважати, що ці механізми ґрунтуються на таких фундаментальних властивостях життя, як його різноякісність (різноманіття) і системність. Саме на цих властивостях ґрунтується глобальна функція життя у біосфері — підтримання біогенного кругообігу речовин.

5.2.3. Різноякісність форм життя та біогенний кругообіг

Специфічна властивість життя — *обмін речовин із середовищем*. Будь-який організм повинен отримувати із зовнішнього середовища речовини як джерела енергії та матеріал для побудови власного тіла. Продукти метаболізму, вже непридатні для подальшого використання, виводяться назовні. Таким чином, кожен організм або безліч однакових організмів (популяція, вид) змінюють умови свого життя. Якби були відсутні організми, які використовують продукти метаболізму інших організмів, це призвело б до вимирання особин, популяцій і видів, але цього не спостерігається.

Фізіологічна різноякісність живих організмів — фундаментальна умова стійкого існування життя як планетарного явища. Теоретично можна уявити виникнення життя в одній формі, але в цьому випадку запрограмована кінетичність життя як явища, видоспецифічність обміну речовин неминуче призведе до вичерпання ресурсів і «забруднення» середовища продуктами життєдіяльності, які неможливо використовувати повторно.

Стійке існування життя можливе лише за багатоманітності, різноякісності його форм, специфіка обміну яких забезпечує послідовне використання продуктів метаболізму, що виділяються в середовище, формує генеральний біогенний кругообіг речовин. Спільна діяльність *продуцен-*

тів, консументів і редуцентів забезпечує вилучення певних речовин із зовнішнього середовища, їх трансформацію на різних рівнях у трофічні ланцюги і мінералізацію органічної речовини до складових, доступних для чергового включення у кругообіг. Таким чином, основними біогенними елементами, що мігрують по ланцюгах біологічного кругообігу, є Карбон, Гідроген, Оксисен, Нітроген, Калій, Кальцій, Силіцій, Фосфор тощо.

Продуценти — живі організми, *здатні синтезувати органічну речовину з неорганічних складових із використанням зовнішніх джерел енергії* (відзначимо, що отримання енергії ззовні — загальна умова життєдіяльності всіх організмів; за енергетикою всі біологічні системи — відкриті). Їх називають також *автотрофами*, оскільки вони самі забезпечують себе органічною речовиною. У природних угрупованнях продуценти виконують функцію виробників органічної речовини, що накопичується у тканинах цих організмів. Органічна речовина служить і джерелом енергії для процесів їх життєдіяльності; зовнішня енергія використовується лише для первинного синтезу.

Усі продуценти за характером джерела енергії для синтезу органічних речовин поділяються на *фотоавтотрофів* і *хемоавтотрофів*. Перші використовують для синтезу енергію сонячного випромінювання в частині спектра з довжиною хвилі 380—710 нм. Це головним чином зелені (хлорофілосні) рослини, але до фотосинтезу здатні і представники деяких інших царств органічного світу. Серед них особливе значення мають ціанобактерії (синьо-зелені водорості), які, мабуть, були першими фотосинтетиками в еволюції життя на Землі. Здатні до фотосинтезу також багато інших бактерій. Значна їх частина, правда, використовує особливі пігменти, бактеріохлорофіли, і не виділяє у процесі фотосинтезу кисень. Основні речовини, що використовуються для фотосинтезу, — діоксид Карбону та вода (основа для синтезу вуглеводів). Фототрофам потрібні також Нітроген, Фосфор, Калій та інші елементи мінерального живлення.

Створюючи органічні речовини на основі фотосинтезу, фотоавтотрофи, таким чином, зв'язують використану сонячну енергію, немовби акумулюючи її. Подальше руйнування хімічних зв'язків приводить до вивільнення акумульованої енергії. Це відбувається не лише під час їх використання рослиною на ріст, розмноження тощо, а передається у вигляді їжі по трофічних ланцюгах і приводить до виникнення потоку енергії в екосистемі та кругообігу речовин.

Хемоавтотрофи під час процесу окислення мінеральних речовин використовують енергію хімічних зв'язків. До цієї

групи відносяться тільки прокаріоти (бактерії, архебактерії та частково синьо-зелені водорості).

При всьому різноманітті конкретних форм продуцентів-автотрофів їх біосферна функція полягає у залученні елементів неживої природи до складу тканин організмів і таким чином до загального біологічного кругообігу. Сумарна маса автотрофів-продуцентів становить понад 95 % маси всіх живих організмів у біосфері.

Консументи — живі істоти, не здатні будувати своє тіло на основі використання неорганічних речовин. Вони вимагають надходження органічної речовини ззовні, у складі їжі, і відносяться до групи гетеротрофних організмів, що *живуть за рахунок продуктів, синтезованих фото- або хемосинтетиками*. Їжу, що вилучається тим або іншим способом із зовнішнього середовища, гетеротрофи використовують на побудову власного тіла і як джерело енергії для різних форм життєдіяльності. Таким чином, гетеротрофи використовують енергію, запасену автотрофами у вигляді хімічних зв'язків синтезованих ними органічних речовин. У потоці речовин, який відбувається під час кругообігу, вони займають рівень споживачів, облігатно пов'язаних з автотрофними організмами (консументи I порядку) або з іншими гетеротрофами, якими вони живляться (консументи II і III порядків).

До консументів відноситься величезна кількість живих організмів із різних таксонів. Їх немає лише серед ціано-бактерій і водоростей. Із вищих рослин до консументів відносяться безхлорофільні форми, що паразитують на інших рослинах. Роль консументів у підтриманні постійного біогенного кругообігу дуже велика.

У процесі метаболізму гетеротрофи розкладають отримані у складі їжі органічні речовини і на цій основі будують речовини власного тіла. Трансформація первинно продуктованих автотрофами речовин в організмах консументів приводить до збільшення різноманіття живої речовини. У свою чергу *різноманітність — необхідна умова стійкості будь-якої кібернетичної системи на тлі зовнішніх і внутрішніх збурень (принцип Ешбі)*.

Живі системи — від організму до біосфери в цілому — функціонують за кібернетичним принципом зворотних зв'язків. Тварини, які формують основну частину організмів-консументів, відрізняються рухливістю, здатністю до активного переміщення у просторі. Цим вони ефективно беруть участь у міграції живої речовини, дисперсії її по поверхні планети, що, з одного боку, стимулює просторове розселення життя, а з іншого — слугує своєрідним «гарантійним механізмом» на випадок винищення життя у будь-якому місці через ті або

інші причини. Це саме притаманне і автотрофам (у першу чергу, за рахунок насіння, яке завдяки різним чинникам поширюється на деяку відстань).

Прикладом такої «просторової гарантії» може слугувати широко відома катастрофа на о. Кракатау: у результаті виверження вулкана в 1883 році життя на острові було повністю знищене, але упродовж лише 50 років відновилося. Заселення йшло головним чином за рахунок територій, які не постраждали від виверження: Яви, Суматри та сусідніх островів, звідки різними шляхами рослини та тварини знову потрапили на вкритий попелом і застиглими потоками лави острів. При цьому першими (вже через 3 роки) на вулканічному туфі та попелі з'явилися плівки ціанобактерій. Процес становлення стійких угруповань на острові триває і досі; лісові біоценози ще знаходяться на ранніх стадіях сукцесії і мають спрощену структуру.

Надзвичайно важлива роль консументів і як регуляторів інтенсивності потоків речовини та енергії за трофічними ланцюгами.

Редуценти. До цієї екологічної категорії відносяться організми-гетеротрофи, які, *використовуючи як трофічний субстрат мертву органічну речовину (трупи, фекалії, рослинний опад тощо), у процесі метаболізму розкладають його до неорганічних складових.*

Частково мінералізація органічних речовин іде в усіх живих організмів. Так, у процесі дихання виділяється CO_2 , з організму виводяться вода, мінеральні солі, амоній та інші речовини.

До категорії редуцентів входять багато видів бактерій і грибів. За характером метаболізму це організми-відновники. Так, денітрифікуючі бактерії відновлюють Нітроген до елементарного стану, сульфатредуючі бактерії — сірку до сірководню. Кінцеві продукти розкладання органічних речовин — діоксид Карбону, вода, амоній, мінеральні солі. В анаеробних умовах розкладення йде далі — до водню; утворюються також вуглеводні.

Повний цикл редукції органічної речовини складніший і залучає більше учасників. Він складається з ряду послідовних ланок, у низці яких різні організми-деструктори поетапно перетворюють органічні речовини спочатку на простіші форми і лише після цього в неорганічні складові під впливом бактерій і грибів. У наземному середовищі основна частина процесу деструкції органічних речовин йде у підстилці.

Первинні стадії розкладання проходять за участю тварин, які подрібнюють тканини об'єктів живлення, у процесі

травлення розкладають складні молекули білків, вуглеводів та інших речовин на простіші, легко доступні для остаточної деструкції за допомогою бактерій і грибів. Біомаса найактивніших тварин — учасників розкладання органіки — досягає значних величин.

Активність організмів-деструкторів приводить до того, що річний опад органічних речовин повністю розкладається у тропічних дощових лісах протягом 1—2 років, у листяних лісах помірної зони — за 2—4 роки, у хвойних лісах — за 4—5 років. У тундрі процес розкладення може тривати десятки років. Інтенсивність мінералізації багато в чому залежить від температури, вологості та інших чинників.

5.2.4. Рівні організації живої матерії

Спільна активність продуцентів, консументів і редуцентів визначає безперервну підтримку глобального біологічного кругообігу речовин у біосфері. Цей процес забезпечується функціональними зв'язками між популяціями організмів, їх здатністю до саморегуляції, самовідновлення та розселення. Таким чином, поділ живих організмів на продуцентів, консументів і редуцентів — функціональний рівень біологічного різноманіття в екосистемі.

Будь-яка біологічна (у тому числі екологічна) система характеризується специфічною функцією, впорядкованими взаємовідносинами між її елементами (підсистемами) та регуляторними механізмами, що ґрунтуються на цих взаємодіях, вони ж визначають цілісність і стійкість системи на тлі зовнішніх умов, що змінюються.

Найвищим рівнем біосистем, що вивчається сучасною екологією, є біосферний рівень. Біосфера — оболонка Землі, що перетворюється діяльністю живих організмів. Альтернативне трактування цього поняття (біосфера як оболонка Землі, в межах якої трапляються живі організми, «поле існування життя» за В. І. Вернадським) виявляється набагато менш корисним. Біосфера є найбільшою екосистемою, тобто єдністю живих організмів і середовища їх існування. Її частини також є екосистемами. Найважливішою категорією екосистем, що має певний масштаб, є біогеоценози.

Біогеоценоз — угруповання різних видів мікроорганізмів, рослин і тварин, що заселяють певні місця існування і стійко підтримують біогенний кругообіг речовин.

Підтримання кругообігу в конкретних географічних умовах — основна функція біогеоценозу. Вона базується на трофічних взаєминах видів, що формують впорядковану трофічну структуру біогеоценозу. До складу біогеоценозу входять

продуценти, консументи та редуценти. Можливі випадки, коли продуценти відсутні (біогеоценози печер).

У конкретних біогеоценозах ці три групи організмів представлені популяціями багатьох видів, склад яких специфічний для кожного конкретного угруповання. Функціонально ж усі види належать до декількох трофічних рівнів: продуцентів, консументів I порядку, консументів II порядку, редуцентів. Взаємовідносини між видами різних рівнів утворюють систему трофічних ланцюгів, що лежить в основі загальної трофічної структури біогеоценозу.

Обмін речовин облігатно видоспецифічний. Тому різноманіття видів у складі кожного трофічного рівня, а отже й у складі екосистеми в цілому, має велике біологічне значення.

По-перше, цим забезпечується максимальна ефективність використання джерел і форм енергії для синтезу первинної продукції та трансформації речовини на різних етапах біогенного кругообігу, аж до повної мінералізації та повторного залучення до циклу.

По-друге, різноманіття подібних за функцією у біогеоценозі видів — один із потужних механізмів стійкості в них потоків речовини та енергії: у разі випадання окремих видів їх місце в перетворенні речовини та енергії може бути заміщене «аналогами» з того ж трофічного рівня.

Таким чином, на рівні біогеоценозів біологічне різноманіття реалізується через розширення набору видів, що приводить до підвищення стійкості та ефективності функціонування біоценотичних систем.

Біогеоценоз — субсистема біосфери. *Біогеоценоз — система взаємодіючих популяцій багатьох видів продуцентів, консументів і редуцентів (біоценоз), що функціонує в певному середовищі (біотоп) і постійно здійснює біогенний кругообіг речовин і потік енергії.*

Нижче екосистемного рівня, де досягається цілісність живого, розташований популяційний рівень. На рівні популяцій відбувається відтворення особин, їх еволюційна перебудова.

Популяції — природні угруповання особин одного виду, що заселяють спільні місця існування, пов'язані спільністю генофонду та закономірними функціональними відносинами. У сучасній екології популяцію розглядають як біологічну систему надорганізменого рівня, що характеризується специфічними функціями та структурою.

Функція популяції як системи неоднозначна. З одного боку, популяція — форма існування виду в конкретних умовах. У цьому плані основна її функція — збереження (вижи-

вання) та відтворення особин виду в даних умовах. Ця функція забезпечується загальною спрямованістю індивідуальних адаптацій особин, що складають популяцію (звідси спільність їх морфобіологічного типу), та формуванням закономірних взаємин, на основі яких підтримується і регулюється відтворення. Як наслідок, при безперервній зміні індивідів, що складають популяцію, вона як цілісна структурна одиниця практично незнищенна.

З іншого боку, популяція кожного виду входить до складу біогеоценозу як одна з його функціональних одиниць (субсистем). Біоценотична функція популяції — участь у біологічному кругообігу — визначається видоспецифічним типом обміну речовин.

Популяція у межах екосистеми представляє вид, а всі міжвидові взаємини у біогеоценозах відбуваються на рівні популяцій.

Особини у популяції при всій їх подібності (видовий морфофізіологічний тип) нерівноцінні за участю у загальнопопуляційних функціях. Можливості прояву властивих для виду форм життєдіяльності в особин у складі популяції певною мірою обмежені системою внутрішньопопуляційних відносин. Іншими словами, популяція структурована не тільки просторово, а й функціонально. Особини у популяціях постійно обмінюються інформацією, що є специфічним механізмом взаємодії живих організмів. Популяціям властиві авторегуляторні механізми, які функціонують на базі генетичної, а у вищих тварин — і поведінкової різноякісності особин, що їх складають.

Відмінна особливість популяційних систем полягає у тому, що всі форми взаємодії із середовищем, а також здійснення загальнопопуляційних функцій опосередковуються через фізіологічні реакції окремих особин. Це можливо лише при закономірних формах інтеграції діяльності окремих організмів: фізіологічні реакції здійснюються окремими індивідами, проте спрямованість їх така, що кінцевий ефект реалізується на рівні популяції як цілого. При цьому кінцевий ефект може бути інадаптивним для окремих особин. Іншими словами, фізіологія окремих організмів у складі популяції немовби вирішує подвійне завдання: фізіологічні процеси забезпечують, з одного боку, життя та адаптацію самої особини, а з іншого — стійке підтримання функцій цілісної популяції (ефект групи).

Отже, структурованість, інтегрованість складових частин (цілісність), авторегуляція та здатність до адаптивних реакцій — основні риси, властиві популяції як біологічній системі надорганізменого рівня.

Організм (особина) входить до складу популяції як структурно-функціональна підсистема, що займає певне положення у популяційних взаємозв'язках і виконує відповідні до цього положення функції у загальнопопуляційних процесах. Тільки організм — конкретна одиниця обміну речовин, і в цій функції він виступає як самостійна біологічна система, що знаходиться в тісних взаємозв'язках із зовнішніми умовами та з більшими біологічними системами.

Функція обміну речовин в організмі визначається узгодженою діяльністю різних систем органів, а регуляція метаболічних процесів лежить в основі адаптації життєдіяльності організму до мінливих умов середовища. Стійкість обмінної функції у глобальному масштабі визначена здатністю живих організмів до самовідтворення — унікальною функцією живої речовини.

У комплексі фізіологічних процесів на рівні організму можна виділити *два типи реакцій*, що розрізняються функціонально.

Перша група — фізіологічні процеси, що складають суть життя: перетравлення та засвоєння їжі, клітинний метаболізм, дихання, водно-сольовий обмін тощо. Ці процеси в сумі забезпечують життя організму, а в глобальному масштабі — функціонування відповідної видовій специфіці обміну ланки у трофічних ланцюгах біогенного кругообігу. У реальних умовах середовища здійснення цих фундаментальних функцій організму ускладнюється внаслідок різнопланових і динамічних змін середовища.

Друга група фізіологічних процесів спрямована на виживання організму у складних умовах середовища. Це механізми адаптації до дії чинників, що впливають на протікання життєво важливих процесів, направлені на забезпечення безперебійного здійснення фундаментальних фізіологічних функцій у складному та мінливому середовищі.

Інтегрований результат дії цих груп фізіологічних процесів виражений у підтриманні гомеостазу організму — у створенні відносної сталості умов його внутрішнього середовища.

Як бачимо, розмноження не включене до наведеного переліку, оскільки цей феномен виходить за межі підтримання життя окремого організму.

Здатність організму до гомеостазу створює передумови для використання його іншими живими істотами як місця постійного або тимчасового існування. Таким чином, жива речовина немовби створює для себе у біосфері ще одне, біотичне, місце існування.

Група живих організмів, що найповніше освоїла можливість проживання в інших організмах, — віруси. Надзви-

чайна простота їх будови — вторинне явище, яке виникло на базі освоєння особоною внутрішньоклітинного середовища в організмах інших таксонів. Свідчення цьому — високий ступінь складності та різноманіття генетичної системи вірусів. Спрощення будови, яке стало можливим завдяки облігатному зв'язку вірусів із хазяями, забезпечує стабільні умови життя й торкається навіть фундаментальних властивостей, характерних для переважної більшості форм життя: віруси не мають подразливості, позбавлені власного апарату синтезу білка. Вони не здатні до самостійного існування, їх зв'язок із клітиною не тільки просторовий. Формується жорсткий функціональний зв'язок, в якому клітина та вірус являють певну єдність.

Широко використовують сприятливі умови внутрішнього середовища організму паразити різних таксонів. Крім паразитів, сприятливі умови для життя в організмах інших видів знаходять симбіонти. Взаємини з хазяїном у цьому випадку не такі однозначні: співмешканці можуть бути нейтральні для нього, частково використовувати його ресурси живлення або ж, навпаки, забезпечувати його організм трофічними субстратами. В усіх випадках формуються певні взаємини, які можна охарактеризувати як коадаптації.

Можливість використання живого організму як місця існування інших живих істот немовби замикає коло загального взаємозв'язку на рівні біосфери як цілого. Виступаючи як перша ланка у циркуляції речовини у біологічних системах різного рівня, організм у той же час функціонує як специфічне середовище, в якому, у свою чергу, формуються та функціонують достатньо багаті угруповання живих організмів.

5.3. Екологія угруповань (синекологія) та екосистемологія

5.3.1. Регуляція біосистем

*Властивості систем можна розділити на дві групи: ті, які є сумою властивостей її частин, і ті, які виникають у системи як у єдиного цілого. Назвемо ці властивості. Адитивні властивості системи (латинське *additio* — збільшення) — сума властивостей її частин. Якісно нові властивості системи називаються емерджентними (від латинського *emergere* — спливати, з'являтися).*

Об'єкт дослідження екології угруповань (синекології) — різноманіття угруповань рослин, тварин і мікроорганізмів, трофічні зв'язки між ними, чи ширше, — речовинно-енергетичний обмін, форми симбіотичних, паразитичних, мутуаліс-

тичних або протокоопераційних співіснувань в системах типу «хижак — жертва», «паразит — господар», «продуцент — консумент» тощо (Голубець, 2000).

Окремими розділами синекології доцільно вважати фітоценологію, гідробіоценологію, паразитоценологію тощо.

Життя ґрунтується на безперервних змінах, в яких, проте, зберігаються постійними більшість важливих властивостей живих систем. Так, усього за рік у тілі кожної людини змінюється більшість атомів, а сама людина залишається практично такою, як була. Упродовж століть у лісі змінюються всі організми, що населяють його, але важливі властивості лісу зберігаються постійними. Які властивості біосистем забезпечують таку стійкість у ході змін?

Для відповіді на це питання важливі кібернетичні поняття прямого та зворотного зв'язку. *Прямий зв'язок — вплив якогось чинника на систему, що вивчається, управління нею* (приклад: повертаючи кермо, водій змінює напрям руху автомобіля). *Зворотний зв'язок — залежність управляючого впливу від стану самої системи* (приклад: зміна руху автомобіля впливає на повороти водієм керма). Таким чином, *зворотний зв'язок — управління системою з урахуванням її стану, залежність управляючої дії від її результатів*.

Виділяють два типи зворотних зв'язків. Позитивні зворотні зв'язки посилюють відхилення регульованої величини від початкового стану, а негативні — повертають систему до попереднього стану. Інакше кажучи — позитивні зворотні зв'язки — взаємна стимуляція двох процесів, а зворотні — пригнічення відхилень керованого процесу.

Розглянемо класичний приклад: над вогнищем, що жарко горить, кипить казанок із водою. Якщо вогонь горить дуже сильно, частина води вихлюпується, частково заливає вогнище та зменшує інтенсивність горіння. Коли вогонь затухає, вихлюпування припиняється, і вогонь поступово розгорається знову. У даному прикладі відхилення регульованої величини (інтенсивності горіння) викликає така зміна дії регулюючого чинника (вихлюпування), яка здійснює на регульовану величину дію, протилежну (негативну за знаком) початковому відхиленню. Значить, у даному випадку ми маємо справу з негативним зворотним зв'язком.

А в якому випадку у наведеному прикладі зворотний зв'язок виявиться позитивним? Якщо в казанку замість води буде гас! При цьому чим яскравіше горітиме вогнище, тим сильніше вихлюпуватиметься гас, що ще більше підсилюватиме горіння вогнища.

Істотно, що у прикладі з казанком позитивні зворотні зв'язки швидко виведуть систему з її початкового стану (казанок спорожніє), а негативні (якщо в казанку — вода) приведуть до збереження її властивостей відносно постійними. *Негативні зворотні зв'язки стабілізують систему, а позитивні — переводять її в інший стан (тобто «руйнують» колишню структуру взаємозв'язків).* Наявність альтернативних режимів функціонування біосистем визначається комбінаціями двох типів зворотних зв'язків: *негативні стабілізують кожний режим, а позитивні забезпечують перемикання між такими режимами.*

5.3.2. Екосистеми та біогеоценози

Екосистеми взагалі, а біогеоценози зокрема (як окремий ступінь організації екосистем) вивчає екосистемологія, об'єктом досліджень якої є екосистеми всіх розмірів і ступенів складності — від консортивних до біосферної, тобто живі системи, в яких сукупність живих істот і абіотичного середовища їх існування творять функціональну єдність (Голубець, 2000).

Екосистема — «сукупність комплексів організмів із комплексом фізичних чинників, які їх оточують, тобто чинників місцеперебування у широкому сенсі» (А. Тенслі).

Розвиваючи підхід А. Тенслі, можна сказати, що *екосистема — сукупність живих організмів і місця їх існування, в рамках якого здійснюється кругообіг речовин і перетворення потоку енергії. Екосистема складається з біоценозу та місця його існування (біотопу, неживої частини).*

Поняття «біогеоценоз» уведене видатним ботаніком, екологом і лісівником Володимиром Миколайовичем Сукачовим. Для створення нового терміна у нього були певні підстави. Уявлення про біогеоценоз витікало із досліджень рослинних угруповань, що мають певну протяжність і цілісність. В. М. Сукачов скористався терміном «біоценоз», запропонованим для опису взаємопов'язаних сукупностей живих організмів ще у XIX столітті, і розробив концепцію біогеоценозу. Ще раз наведемо його визначення.

Біогеоценоз — сукупність на певному просторі однорідних природних явищ (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу та світу мікроорганізмів, ґрунту та гідрологічних умов), що має свою особливу специфіку взаємодії цих компонентів, певний тип обміну речовинами й енергією між собою та іншими явищами природи і що є внутрішньо суперечливою єдністю, яка знаходиться у постійному русі, розвитку (Сукачов, 1964).

На відміну від підходу А. Тенслі, В. М. Сукачов звертає особливу увагу на *взаємообумовленість і відносну однорідність* компонентів біогеоценозу.

Структурно біогеоценоз складається із біоценозу та екотопу. Біоценоз, за В. М. Сукачовим, *складається з фітоценозу, зооценозу та мікробоценозу*. Екотоп включає *едафотоп* (компоненти, пов'язані із ґрунтом і підстилаючими породами) *та кліматоп* (компоненти, пов'язані з атмосферою та гідросферою).

Існує два погляди на співвідношення понять «екосистема» та «біогеоценоз». Іноді їх вважають ідентичними або вельми подібними. Проте вірніше вважати поняття екосистеми більш загальним, позамасштабним, а біогеоценозом називати екосистеми, у яких основу формує автотрофний блок і які завдяки цьому мають визначені межі. Важлива думка, що належала В. М. Сукачову та його науковій школі, полягає в тому, що інтегруючим елементом біогеоценозу є його рослинність — фітоценоз. Отже, межі біогеоценозів слід проводити по межах фітоценозів. «*Біогеоценоз — екосистема, обмежена фітоценозом*» (Лавренко, Диліс, 1968).

5.3.3. Компоненти екосистем

Ґрунтуючись на наведеному вище визначенні екосистем, неважко уявити, що вони, як складні системи, мають цілий ряд складних підсистем, які отримали назву компоненти. На які ж компоненти можна розділити екосистему? Можна використовувати той самий поділ, що й у біогеоценозі:

біогеоценоз = (фітоценоз + зооценоз + мікробоценоз) + (едафотоп + кліматоп),

а можна й інший: неорганічні речовини, які використовуються у біологічному кругообігу (наприклад, H_2O , CO_2 , NH_4^+ тощо). У такій класифікації основна увага звертається на походження окремих компонентів.

А якщо більшою мірою цікавитися функціонуванням екосистеми, можна виділити в її складі такі компоненти:

- 1) органічна речовина (детрит);
- 2) середовище (повітряне, водне, субстратне);
- 3) продуценти (організми, що синтезують органічну речовину з неорганічної);
- 4) консументи (організми, основна роль яких полягає у перетворенні органічної речовини з однієї форми на іншу);
- 5) редуценти (організми, основна роль яких полягає у руйнуванні органічної речовини до неорганічної).

Приклади екосистем. Екосистемами є ставок і луки, поле, ліс, болото, пустеля, парк, скелі, море, океан тощо. Живі організми та середовище їх існування в усіх екосистемах знаходяться у тісній функціональній взаємозалежності.

У воді домінують мікропродуценти, а на суходолі — макропродуценти (значна частина організму складається з транспортної та опорної тканин). Органічні рештки на суходолі важче руйнуються, і тому тут накопичується більша кількість детриту порівняно з водними системами.

Особливостями урбоекосистем (тобто екосистем, які є в місті, — парки, сквери, водойми, квітники, окремі дерева тощо) є дуже інтенсивний обмін енергії, велика потреба в надходженні різноманітних речовин, потужний і різноманітний потік відходів. Щорічні енергетичні витрати на підтримання в необхідному стані квадратного метра галявинки перед будинком такі самі, як і на підтримання квадратного метра кукурудзяного поля. Площа забезпечення екосистем міста живленням повинна перевершувати площу самого міста в 30—100 разів і більше, а експлуатовані ним водозбірні басейни мають бути ще більшими.

Екосистема поля належить до агроєкосистем, які займають істотну частину площі планети (рослинництво — приблизно 10 %, пасовища — ще 20 %). Вони характеризуються вкрай нестабільними станами, які підтримуються вкладенням м'язової енергії (40 % полів) або енергії викопного палива (60 %). Основні відмінності агроєкосистем від природних екосистем — знижене різноманіття, наявність штучно створених компонентів.

5.3.4. Природа та характеристики угруповань

Природно, що найрізноманітнішим за складом і функціональними зв'язками в екосистемі є біоценоз (угруповання). Власне, в межах угруповань взаємодіють популяції видів різних систематичних груп, утворюючи досить складні ланцюжки. Ось лише один приклад, що давно став класичним. Ч. Дарвін виявив, що джмелі з їх довгим хоботком — єдині комахи, здатні запилювати глибокі трубчасті квітки червоної конюшини. Із цього він зробив висновок, що розповсюдження червоної конюшини в Англії пояснюється великою кількістю джмелів. При цьому, посилаючись на одну з ентомологічних робіт, він вказує, що частіше за все гнізда джмелів трапляються поблизу міст і сіл, де їх менше розоряють нориці, які поїдають личинок і лялечок. З іншого боку, чому ж в околицях міст і сіл мало нориць? Та тому, що там багато кішок, які сильно знижують чисельність популяцій нориць.

У результаті спільної еволюції різні компоненти угруповання пристосовуються один до одного. Внаслідок цього багато типів угруповань мають характерний видовий склад і цілком певне співвідношення організмів, що належать до різних екологічних груп.

Чи є угруповання окремими об'єктами, що чітко відрізняються від інших? Зрідка — так, частіше — ні. На початку ХХ століття між американськими екологами розгорілася дискусія про природу угруповань. Ф. Клементс та інші прихильники організмової концепції екосистем розглядали угруповання як надорганізми, а межі між ними дискретними. Навпаки, Х. Глізон, Л. Г. Раменський та інші прихильники індивідуалістичної концепції розглядали угруповання як конгломерати видів зі схожими вимогами до середовища, а межі між угрупованнями — континуальними.

Суперечка точиться і донині. З одного боку, градієнтний аналіз (тобто вивчення поширення видів уздовж градієнтів зміни якихось важливих, у першу чергу кліматичних, чинників) показав, що межі розповсюдження окремих видів не обов'язково співпадають з межами угруповань, тому останні змінюються поступово. Чим контрастніші градієнти умов, тим чіткіші межі розповсюдження видів. Межі розповсюдження видів-домінантів чіткіші, ніж межі поширення випадкових видів. З іншого боку — оскільки угруповання мають здатність до саморегуляції, а їх межі визначити досить складно, то в природі ми в основному визначаємо межі поширення едифікаторних і характерних видів.

Угруповання — реальна екологічна система, функціонування якої забезпечується взаємодією між собою та середовищем популяцій різних видів. Ефективність функціонування угруповання, його стабільність збільшуються пропорційно тому, наскільки злагоджені, еволюційно «пристосовані» популяції, що складають його. Приклад такої «пристосованості» популяцій різних видів в угрупованні один до одного — реакція угруповань на інтродуцентів (вселенців). Найчастіше інтродуценти не можуть увійти до складу цілісних угруповань і вимирають, але іноді дають спалахи чисельності, змінюючи функціонування угруповань.

Угруповання можуть бути повночленними (включають продуцентів, консументів і редуцентів) і неповночленними.

Для відображення взаємин між різними типами угруповань існує декілька способів, серед них два основні: *ординація* — розташування в якомусь просторі у певному порядку та *класифікація* — розподіл за відокремленими одна від одної групами (класами або таксонами). Ординація підкреслює континуальність змін властивостей, класифікація — диск-

ретність розривів. Можлива і багаторівнева ієрархічна класифікація угруповань. Угрупування можна характеризувати також за рядом ознак.

Склад угруповання (таксономічна структура) — таксони, із представників яких складається угруповання. Часто тип угруповання визначається яким-небудь основним (декількома основними) видом. Такі види називаються едифікаторами. Зазвичай навколо окремих особин едифікаторів розвивається комплекс щільно пов'язаних із ним видів-консортів.

Щільність — кількість особин на одиницю площі або об'єму середовища існування.

Частота видів — частка особин певного виду від загальної чисельності особин.

Видове багатство — кількість видів у межах угруповання. Воно тим вище, чим більша кількість видів, і тим нижче, чим більше особин кожного виду трапляється в окремій вибірці.

Видова насиченість — кількість видів на одиницю площі.

Різноманіття угруповання — інтегральна характеристика, що враховує співвідношення таксонів за чисельністю. Її розраховують за допомогою спеціальних індексів (Шеннона, Пієлу, Сімпсона тощо).

Просторова структура — особливості розташування особин одна відносно іншої. Розрізняють *вертикальну структуру (ярусність)* і *горизонтальну (мозаїчність)*. Ярусність характерна для фітоценозів, що складаються з рослин, які розрізняються за висотою.

Приклад ярусності в лісі: I — дерева першої величини (ялина, сосна, дуб, береза, осика), II — дерева другої величини (горобина, черемха), III — підлісок із чагарників (ліщина, бруслина, шипшина), IV — підлісок із високих чагарничків і великих трав (багно, голубика, верес, молінь, віник), V — низькі чагарнички та дрібні трави (чорниця, брусниця, конвалія, кислиця), VI — мохи, надґрунтові лишайники.

Екологічна структура — співвідношення основних екологічних груп організмів, а також різних життєвих форм.

Періодичність — добова, сезонна, багаторічна, вікова.

5.3.5. Екологічний баланс

Виникнення життя на Землі і його підтримання — результат перетворення незначної частини сонячної енергії. Живі організми можуть існувати, тільки використовуючи протікаючий через них потік енергії.

Головною групою організмів на Землі, які мають здатність акумулювати сонячну енергію, можна вважати фототрофи —

бактерії і рослини, здатні до фотосинтезу. Вони отримують необхідну енергію прямо з випромінювання Сонця і переводять її у форму, доступну для інших організмів. Для гетеротрофів (багатьох бактерій, грибів і тварин) основна форма отримання речовини та енергії — різноманітні органічні сполуки, які містять як автотрофи, так і гетеротрофи.

Складніші механізми існування хемотрофів. Розглянемо, наприклад, біоценоз «чорного курця» — місця виходу з надр Землі на дні океану гарячої води, що містить сірководень. Там, де вода, що містить сірководень, змішується з океанською водою, що містить кисень, мешкають бактерії-хемотрофи, які отримують енергію завдяки окисленню сірководню. Вони живуть не тільки у воді, а і населяють тіла великих двостулкових молюсків і червоподібних тварин типу погонофор — рифтій. Цими та іншими тваринами живляться ракоподібні та риби. Чи можна прийти до висновку, що така екосистема існує незалежно від потоку сонячної енергії?

Звичайно, ні. Екосистема «чорного курця» використовує розчинений у воді кисень — результат фотосинтезу. Використовуючи сонячну енергію, фототрофи створили різницю окислювально-відновних потенціалів між кисневою атмосферою та надрами, які мають відновний характер. Саме з цієї різниці хімічних потенціалів черпають енергію хемотрофи. Виходить, що якимось чином фототрофи «годуєть» хемотрофів.

Оскільки автотрофи та гетеротрофи нерозривно пов'язані між собою, цим і забезпечується найважливіша характеристика біосфери: створення та розклад органіки. Це співвідношення називається екологічним балансом.

Фундаментальна властивість біосфери — позитивний підсумок балансу. Киснева (тобто окислювальна), а не відновна атмосфера на Землі — результат зміщення балансу на користь переважання фотосинтезу. Частина кисню, що виділяється під час цього процесу, витрачається на окислення речовин-відновників, що надходять із надр Землі, а також розсіюється в космічному просторі.

Що ж відбувається з еквівалентною цьому кисню органікою? Вона накопичується в екосистемі у вигляді детриту (від латинського *deterere* — роздробляти) — органічної речовини у процесі розкладання. Компонент детриту — гумус — один із продуктів розпаду органіки. Завдяки тому, що в екологічному балансі фотосинтез переважає над диханням, у земній корі накопичилася значна кількість органіки, що має біогенне походження, а до атмосфери надійшла відповідна кількість кисню. Еквівалентний накопиченій органіці кисень витрачався на окислення різноманітних відновників, що були

на земній поверхні, а також розсіявся в космосі. Це означає, що людство принципово не може спалити всі запаси органічних речовин, накопичені в земній корі, — йому просто не вистачить для цього кисню в атмосфері.

5.4. Консорції як елементарні екосистеми

У західній науковій літературі під екосистемою розуміється система, що створюється за рахунок взаємодії угруповання живих організмів з компонентами середовища на певній території. Тому екосистема може мати дуже різні розміри: від невеличкої калюжі до океану чи материка, а наша біосфера є найбільшою екосистемою планети. Більш коректне визначення цього терміна потребує обов'язкового врахування критерію присутності кругообігу речовин у такій системі. За уявленнями М. А. Голубця (2000), цій умові відповідає найменша за розмірами екосистема — автотрофна індивідуальна консорція.

5.4.1. Історія виникнення і розвитку вчення про консорції

Уявлення про консорцію введене в екологію майже одночасно завдяки роботам зоолога В. М. Беклемішева та ботаніка Л. Г. Раменського. В. М. Беклемішев (1951) зазначав, що «...кожен організм зазвичай входить до складу біоценозу не сам по собі, а в складі якого-небудь консорція, що складається з однієї особини виду-едифікатора консорція та цілого ряду особин епібіонтів і ендобіонтів, що оселяються на тілі або в тілі едифікатора». Як приклад він наводить консорцію сосни з її мікоризними та паразитичними грибами, епіфітними мохами та лишайниками, із членистоногими, а також полівку з її екто- та ендопаразитами. Згідно з його поглядами, едифікатором консорції є не популяція виду, а особина будь-якого досить великого автотрофного або гетеротрофного організму. Основним критерієм для виділення консорції він запропонував **топічні зв'язки** організмів, тобто зв'язки місця проживання. Зауважимо, що автор вживав цей термін у чоловічому роді, а пізніше, за пропозицією Є. М. Лавренка (1959), стали вживати цей термін у жіночому роді.

Л. Г. Раменський (1952) запропонував розглядати консорцію як «поєднання різнорідних організмів, тісно пов'язаних один з одним в їх життєдіяльності відомою спільністю їх долі». У його розумінні консорції — деревні породи (ялина, береза, липа, дуб) разом із притаманними їм паразитами, сапрофітами, епіфітами, симбіонтами, шкідниками, переносни-

ками пилку, насіння тощо. На відміну від В. М. Беклемішева, він вважав, що як едіфікатор консорції можна розглядати **тільки автотрофну**, при цьому не епіфітну рослину. Таким чином, він розумів консорції значно ширше, вводячи до їх складу і переносників пилку, насіння та інших організмів, що стикаються з центральним видом на порівняно короткий час і не пов'язані з ним топічно. Спільне для цих двох авторів те, що до складу консорцій входять лише види, безпосередньо пов'язані з центральним видом. Надалі центральний організм у консорції стали називати **ядром, детермінантом, або центральним організмом консорції**.

Відповідно до уявлень В. М. Беклемішева, детермінантом консорції може бути як автотрофний, так і гетеротрофний організм. Тобто, залежно від того, який тип живлення має центральний організм, **консорції можуть бути автотрофними або гетеротрофними**. Спроби виокремлення консорцій на неживих субстратах, наприклад на трупах організмів, чи будь-яких мертвих рештках (сапротрофні консорції) суперечать класичним визначенням В. М. Беклемішева та Л. Г. Раменського.

Значний внесок у розвиток теорії консорцій вніс В. В. Мазінг (1966, 1976). Він розширив обсяг консорції, включивши до неї не тільки особини видів, безпосередньо пов'язаних із ядром, а й інші — пов'язані з ядром через консортів першого порядку (опосередковано). При виділенні консорцій, на відміну від В. М. Беклемішева, В. В. Мазінг використовував **як топічні, так і трофічні зв'язки**. Під консорцією він розумів сукупність усіх організмів, пов'язаних в їх життєдіяльності з певним автотрофним неепіфітним вищим рослинним організмом. Важливим кроком у розвитку поняття консорції було запропоноване ним схематичне зображення консорції у вигляді ядра консорції та пов'язаних із ним консортів, що утворюють ряд **концентрів** (рис. 5.2).

Перший концентр автотрофно-детермінованої консорції утворюють організми, пов'язані безпосередньо з детермінантом консорції тільки трофічно (тварини-фітофаги), тільки топічно (епіфіти, ліани, птахи) або трофічно та топічно (симбіонти, паразитичні організми). Організми, що належать до першого концентру, отримують енергію безпосередньо від детермінанта консорції.

До другого концентру належать організми, трофічно пов'язані з особинами першого концентру. За таким самим принципом виокремлюються організми третього та наступних концентрів. При цьому консорти другого та наступних концентрів безпосередньо не використовують енергію автотрофних детермінантів, але впливають на них через зміну чисельності фітофагів і фітопаразитів. У цілому розподіл ор-

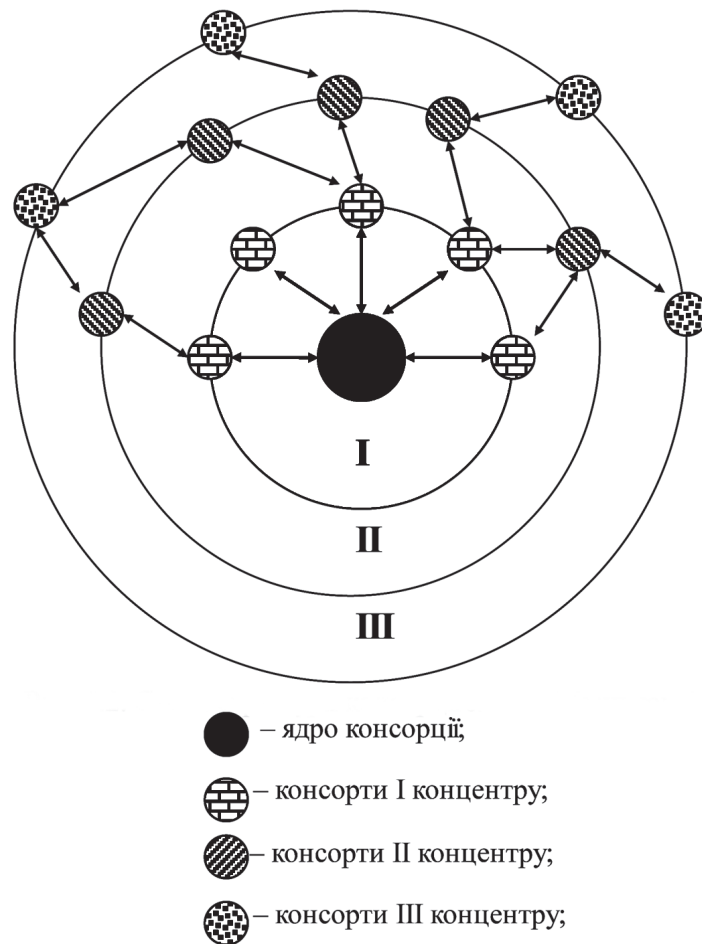


Рис. 5.2. Схема структури консорції за В. В. Мазінгом (1966):
 ● — ядро консорції; I, II, III — концентри

ганізмів за конценраами деякою мірою умовний, оскільки деякі консорти можуть бути одночасно членами як першого, так і наступних концентрів.

Приклад: синиця може знаходити на дубі гусінь п'ядунів, листовійок, які згризають його листя, — виступає як консорт другого концентру, або ж знаходить і з'їдає тут їх лялечкових паразитів — тоді слід говорити про неї як про консорта третього концентру, і, нарешті, якщо цей птах зів'є на цьому дереві своє гніздо — тоді це свідчить про нього як про консорта першого концентру за топічним і, може, фабричним зв'язками.

Зауважимо, що не можна консорційні відносини зводити лише до ланцюгів живлення або ставити знак рівності між ними. По-перше, тому, що у консорціях, крім **трофічних**, існують ще й **топічні** (зв'язки місця мешкання), **фабричні** (використання органів рослин для побудови жител), **форичні** (перенесення пилку, насіння тощо) зв'язки. По-друге, в основі консорції лежить завжди центральний, досить великий організм, який може забезпечити енергією всю консорцію і створити специфічне середовище для консортів. У цьому сенсі слід нагадати про те, що **разом із повітряним, водним**

і ґрунтовим існує четверте середовище — організмене, у межах якого можуть мешкати інші, дрібніші організми.

Серед консортів першого концентру можна виділити три типи організмів:

- **біотрофи**, що використовують енергію живих органів автотрофів;

- **сапротрофи**, енергетично залежні від мертвих органів рослин;

- **екскрецієтрофи**, що використовують енергію прижиттєвих виділень центрального організму.

Із самого початку досліджень з'явилися два підходи до розуміння консорції — індивідуалістичний, запропонований В. М. Беклемішевим, у якому виокремлення консорції відбувається за окремою особиною виду — едифікатора консорції, та популяційний, коли за основу приймається сукупність особин едифікатора. Ці розбіжності призвели до того, що у біогеоценозній екосистемі стали виділяти різні групи консорцій. У результаті тепер виділяють такі основні види консорцій:

1) **індивідуальна консорція**, за В. М. Беклемішевим (1951), — конкретна одиниця біоценозу, що являє собою сукупність організмів, пов'язаних з одним індивідумом будь-якого виду детермінанта;

2) **популяційна консорція**, за Є. М. Лавренком (1959), — сукупність організмів, пов'язаних із певною популяцією вищої рослини;

3) **видова консорція** — сукупність видів організмів, пов'язаних із певним видом — її едифікатором.

Зауважимо, що в основі виокремлення цих та інших груп лежить організм-детермінант, або ядро консорції, тому **всі види консорцій — похідні від елементарної, надалі неподільної одиниці — індивідуальної консорції**. Таким чином, *популяційна консорція за своєю суттю — сукупність індивідуальних консорцій детермінанта на території його популяції. Відповідно, видова консорція представляється як сукупність популяційних консорцій на видовому ареалі її детермінанта.*

Вагомі теоретичні узагальнення та розвиток вчення про консорції пов'язані з ім'ям видатного вітчизняного вченого, академіка НАН України М. А. Голубця. У своїй фундаментальній праці «Актуальні питання екології» (1982), а також інших роботах він розглядає індивідуальну консорцію як елементарну екологічну систему, що має основні властивості, притаманні системам екосистемного рівня організації життя. Виходячи з аналізу багатьох літературних джерел і власних теоретичних узагальнень, М. А. Голубець та Ю. М. Чорнобай дають їй таке визначення: «Під консорцією слід розуміти таку

сукупність особин різноманітних видів, у центрі якої знаходиться особина будь-якого автотрофного чи гетеротрофного виду, компоненти якої пов'язані з цим центром трофічно, топічно, фабрично або форично і під впливом якої формується специфічне мікросередовище» (Голубець, Чорнобай, 1983).

На рисунку 5.3 видно, що до складу консорції входять не тільки ядро та пов'язані з ним трофічно, топічно, форично і фабрично дрібні організми консорти, але й середовище їх спільного існування. Таким чином, було внесено істотне доповнення до схеми В. В. Мазінга. Саме в такому поданні автотрофна індивідуальна консорція може вважатися елементарною структурно-функціональною одиницею біогеоценозу, або елементарною екосистемою. Однак треба мати на увазі, що **елементарною повночленною екосистемою може бути тільки автотрофна індивідуальна консорція**. Навіть такі могутні тварини, як слон чи кит, разом із дрібними організмами на них і в них не є елементарними екосистемами, оскільки в їх межах нема завершення циклу кругообігу речовин. Як відомо, цей кругообіг забезпечується динамічними зв'язками між усіма п'ятьма функціональними блоками екосистеми: продуценти, консументи, редуценти, неорганічні та органічні речовини (Івашов, 1991).

У водних екосистемах, де автотрофні організми в основному дрібні і не можуть забезпечити існування багатьох інших організмів у них або на них, можна говорити лише про ланцюги живлення, що починаються з них. У той же час досить великі водні тваринні особини, як концентратори речовин та енергії, створюють такі умови, що і в них і на них може мешкати досить багато різних дрібних організмів. І дійсно, як писав один із класиків вчення про консорцію Л. Г. Раменський, вони поєднані між собою «відомою спільністю їхньої долі». Якщо така тварина гине, то з нею разом гинуть або залишаються без умов існування її консорти.

Значних успіхів як у теоретичному відношенні, так і в дослідженнях окремих об'єктів у консорціях останнім часом досягли українські екологи. Завдяки їх численним працям сформувалося сучасне розуміння поняття консорції.

Дослідження консорцій **львівської школи екологів** представлені у роботах М. А. Голубця, М. П. Козловського, К. А. Малиновського, М. П. Рудишина, Й. В. Царика, І. Й. Царик, Ю. М. Чорнобая. Зокрема, великий цикл робіт присвячений теоретичним узагальненням у цій галузі, комплексним дослідженням мероконсорцій та індивідуальних консорцій сосни гірської (*Pinus mugo*), а також різноманітним компонентам консорції щавлю альпійського (*Rumex alpinus*).

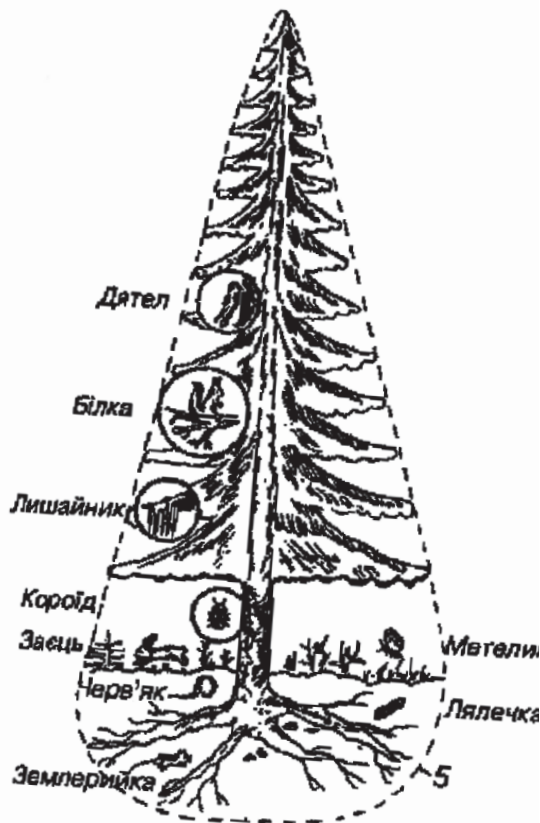


Рис. 5.3. Зміст і будова консорції, яка включає ядро консорції, всіх облігатних консортів і середовище їх співіснування (Голубець, 2000)

Дніпропетровська екологічна школа отримала свій розвиток завдяки роботам О. Л. Бельгарда, М. П. Акімова, А. П. Травлеєва, Н. А. Білової, В. М. Зверковського, Н. М. Цветкової, В. Л. Булахова, В. С. Гавриленка та інших дослідників. Значна кількість робіт цієї школи присвячена детальному опису структури і функцій біогеоценозів, консорційних зв'язків з окремими едифікаторами консорцій, їх порівняльному аналізу, питанням динаміки консорційних зв'язків, пізнанню співвідношення структури консорцій та рівня біорізноманіття, змінам характеру консорційних зв'язків, а також самому процесу їх трансформації у біогеоценозах степового Придніпров'я.

Дещо інший характер мають дослідження консорцій, що проводяться кримською школою екологів (Івашов А. В., Симчук А. П., Бойко Г. Є., Демиденко Л. А., Савушкіна І. Г.). При цьому особливу увагу приділено питанням взаємодії між детермінантом консорції та консортами. Об'єктами в цих дослідженнях були консорції дубів пухнастого (*Quercus pubescens*) і скельного (*Q. petraea*) та зелена дубова листовійка (*Tortrix viridana*) як представник першого концентру цих консорцій. Зокрема, розглянуто питання біохімії та генетики цих консорційних взаємодій. Досить фундаментальне дослідження Л. А. Демиденко присвячене гетеротрофній консорції каспійського тюленя.

5.4.2. Індивідуальна консорція як елементарна екологічна система та загальнобіологічне явище

Індивідуальна консорція з автотрофним ядром як екологічна система має ті ж самі функціональні блоки, що і біогеоценоз. Жива частина (біоценоз або угруповання) включає живі організми, що належать до таких трьох функціональних блоків: 1) продуценти, 2) консументи, 3) редуценти. Нежива

(екотоп) включає неживі тіла, до складу яких входять неорганічні та органічні речовини, а значить і два функціональних блоки: 1) неорганічні речовини, 2) мертва органіка. У ній також здійснюються процеси біотичного кругобігу речовин і трансформації речовин та енергії. Як і будь-яка екологічна система, вона складається із структурних частин, тобто має структурований характер. Такими частинами для індивідуальної консорції можуть бути органи центрального організму, з якими тісно пов'язані консорти.

Сукупності консортів, пов'язаних із певними органами або частинами детермінанта консорції, називають мероконсорціями.

Наприклад, комахи-листогризи на дубі належать до мероконсорції листя, а стовбурові мешканці відповідно — до мероконсорції стовбура, також існують і консорти гілок та коренів.

Поняття індивідуальної консорції пов'язане з цілою низкою біологічних явищ. По-перше, воно пов'язане з організменним рівнем інтеграції живого (в її центрі індивідуум), по-друге, з популяційним рівнем (оскільки мікропопуляція кожного консорта в ній — це частина його популяції) і, по-третє, — з екосистемним рівнем (мікроугруповання на чолі з центральним організмом разом із неорганічними та органічними речовинами середовища утворюють елементарну екосистему). Наведена на рисунку 5.4 схема демонструє положення індивідуальної консорції серед біосистем різного рівня інтеграції життя. На ній видно, що консорція має аспекти, пов'язані з трьома основними рівнями інтеграції або організації життя.

Загальноприйнято, що біосистеми надорганізованого рівня інтеграції мають стохастичну, тобто імовірнісну, природу. Індивідуальні консорції також не є винятком. Як вказував Т. О. Работнов (1974), консорція — результат тривалого еволюційного процесу. Кожна консорція формувалася разом зі становленням виду детермінанта у взаємодії з видами організмів, пов'язаних із ним. Таким чином, відбувалася спряжена еволюція, яка супроводжувалася взаємопристосуванням виду детермінанта та його консортів. В результаті взаємних пристосувань досягнуто стохастично (імовірнісно) обумовленої взаємовідповідності між усіма учасниками консорції.

Саме на рівні індивідуальної консорції здійснюється адаптивна взаємодія детермінанта та його консортів. Центральний організм консорції (детермінант) визначає характер середовища проживання для організмів-консортів. Ядро консорції впливає на консортів різних центрів безпосередньо та опосередковано і є чинником їх природного добору. Як по-

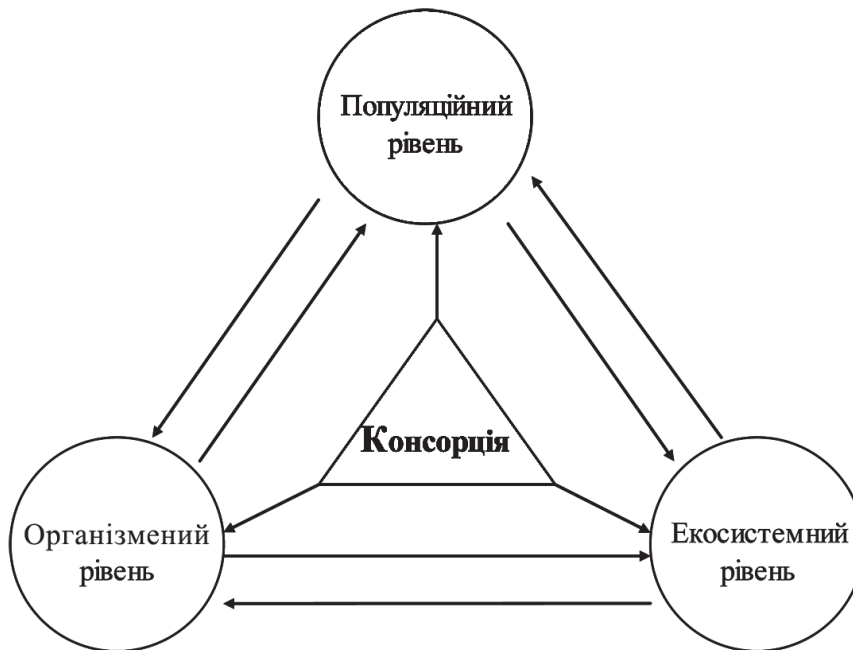


Рис. 5.4. Положення індивідуальної консорції відносно систем різного рівня інтеграції життя (Івашов, 2001)

казали численні дослідження, індивідуальна консорція є інформативним і цікавим об'єктом вивчення для найширшого кола фахівців. Інтерес до такого роду досліджень останнім часом значно зріс не лише в Україні, а й за кордоном. Досить навести той факт, що аналізу мікроугруповань фітофагів на окремих деревах був присвячений окремий випуск журналу *Ecology* (Vol. 84, № 3, 2003).

5.4.3. Роль генетичного фактора в консорційних зв'язках

Постановка цього питання впливає безпосередньо з теоретичних розробок українського вченого академіка НАН України М. А. Голубця (1982, 1997, 2000), які знайшли своє логічне завершення в концепції **генопласта**. Відповідно до цієї концепції у будь-якій екосистемі слід виокремлювати регуляторну підсистему — *генопласт*, який являє собою сукупність усіх генотипів, що входять у популяційні генофонди угруповання або біоценозу.

За уявленнями А. В. Івашова *генопласт екосистеми можна розглядати як сукупність стохастично (ймовірно) взаємодіючих генотипів особин усіх видів, що входять до складу її угруповання* (Івашов та ін., 2008). Оскільки індивідуальна консорція являє собою елементарну екосистему, то вона має таку саму підсистему, і до її складу входять *генотип центральної особини та всі генотипи консортів*. Цілком очевидно, що всі матеріально-енергетичні процеси, які там протікають,

обумовлені генетичною інформацією ядра та консортів. На сьогодні накопичена хоч і не зовсім повна, але вже досить значна інформація про взаємини між центральним організмом індивідуальної консорції та його консортами. Зокрема встановлено, що *між ядром консорції та генотипами консортів є певна відповідність*. Такі асоціативні зв'язки виявлені, наприклад, при вивченні взаємодії дерева-хазяїна (сосни дугласії) і каліфорнійської щитівки (Edmunds, 1973). При цьому показано, що кожне дерево має свою власну мікропопуляцію щитівок, яка специфічно адаптувалася саме до цього дерева. На генетично подібних інших деревах сосни відзначені такі самі мікропопуляції щитівок. Подібні взаємини встановлені також між особинами рослини-хазяїна та різними фенотипами сірої модриної листовійки в Європі (Baltensweiler, 1968): чотири форми цього виду поширені відповідно на чотирьох видах хвойних дерев-хазяїв. Показано, що генетичні зв'язки між кормовою рослиною та консортами-фітофагами можуть бути досить стабільними і виявлятися в декількох поколіннях. Наприклад, жуки *Phratova vitellinae* надають перевагу тим особинам тополі, на яких переважно жили особини попереднього покоління. Така перевага зберігалася і в наступних поколіннях (Finet, Gregoire, 1981).

Цікаві дані за цим напрямом за останні два десятиліття отримані в Криму (Івашов та ін., 2008). Як модельні об'єкти дослідники обрали індивідуальні консорції дубів пухнастого та скельного. Дослідження листогризів, як консортів першого концентру, в індивідуальній консорції дуба пухнастого в Криму можна бачити на рисунку 5.5. Із дубами асоційовані сотні видів-консортів. Основну увагу звернено на представника першого концентру цих консорцій, широко розповсюдженого шкідника дубів — зелену дубову листовійку. Генетична структура мікропопуляцій листовійки на окремих деревах може відрізнятися в тому випадку, якщо ці дерева розрізняються за характером розподілу pH , хімізму та жорсткості листя (Simchuk et al., 1999). Встановлено, що дуби мають у своєму листі білки-інгібітори травних ферментів, які не дають листогризам перетравлювати згризене листя. Але гусінь листовійки адаптувалася у ході еволюції до цих білків, і їх протеази (Pts) не потерпають від цих білків-інгібіторів (Ivashov et al., 2001). Листя дубів захищене від поїдання деякими листогризами ще й тим, що містить дубильні речовини, які також перешкоджають перетравленню білків листя. Але гусінь листовійки має набір ферментів естераз (Est), які розщеплюють ці фенольні сполуки. Таким чином, у ході еволюції листогриз пристосувався до споживання листя дуба, незважаючи на протидію дерева. Оскільки кожне дерево має

свої особливості накопичення певних захисних речовин, на них і виживають найкраще ті особини листовійки, в яких є гени, що забезпечують кращу адаптацію до хімізму листя цих дерев. Таким чином, встановлено, що ядро консорції через його фенологію та якість кормового листя істотно впливає на генотипічний склад популяції зеленої дубової листовійки. У межах самого дерева різні генотипи листовійки розподіляються за мікронішами — листям дуба з різною жорсткістю та pH (Симчук, Івашов, 2005).

У таблиці 5.1 наведено значення коефіцієнтів генетичного різноманіття та частки рідкісних генотипів листовійки за трьома генетичними локусами. Pts-4 — локус у хромосомі, де розташований ген, що кодує фермент протеазу, та локуси Est-4 і Est-3, в яких розташовані гени, що кодують інші ферменти — дві різні естерази. Тут бачимо, що дерево за номером 56 характеризується набагато більшим різноманіттям генотипів і наявністю рідкісних генотипів за вказаними трьома локусами.

Таблиця 5.1.

Коефіцієнт генетичного різноманіття та частка рідкісних генотипів у двох індивідуальних консорціях дуба пухнастого на Південному березі Криму поблизу Ведмідь-гори (Івашов, 2000)

Генетичний локус	Показники мікропопуляції	Дерево 55	Дерево 56
Pts-4	μ h	$7,6 \pm 1,9$ $0,16 \pm 0,06$	$13,0 \pm 1,5$ $0,19 \pm 0,05$
Est-4	μ h	$7,6 \pm 2,3$ $0,16 \pm 0,06$	$13,1 \pm 1,9$ $0,18 \pm 0,05$
Est-3	μ h	$1,0 \pm 0,6$ $0,00$	$6,5 \pm 0,9$ $0,28 \pm 0,06$
Число проаналізованих особин		33	66

Примітка: μ — коефіцієнт генетичного різноманіття; $\mu = (\sum p_1 + \sum p_2 + \dots + \sum p_m)^2$; h — частка рідкісних генотипів; $h = 1 - \mu / m$ (Животовський, 1982).

Як видно з даних таблиці 5.2, дерево за номером 56 значно багатше також і за комплексом паразитів лялечок листовійки — консортів другого концентру. Таким чином, підтверджується відома теза про те, що **різноманіття породжує різноманіття**. Генетична зумовленість зв'язків між ядром консорції та консортами дозволила дійти такого узагальнення.

Подібно до того, як генофонди популяцій у кожний конкретний момент часу представлені асоціаціями генів у вигляді генотипів особин одного виду, так і генопласт екосистеми



Рис. 5.5. Збір гусені листогризів в індивідуальній консорції дуба пухнастого на Південному березі Криму поблизу Ведмідь-гори (Івашов та ін., 2008)

в кожний конкретний момент часу представлений у вигляді асоціацій генотипів різних видів.

Вважається, що пам'ять консорційних, як і інших екосистем, міститься в їх генопластах (Голубець, 1982) і вона, так би мовити, «записана» у вигляді міжвидових асоціацій генотипів.

Таблиця 5.2.

Частки п'яти видів паразитів лялечок зеленої дубової листовійки у двох індивідуальних консорціях дуба пухнастого на Південному березі Криму поблизу Ведмідь-гори (Івашов та ін., 2008)

Паразити лялечок листовійки	Дерево 55	Дерево 56
<i>Phaeogenes invisior</i> Thunb.	0,22	0,21
<i>Cyclogastrella deplanata</i> Nees	0,11	0,18
<i>Itopectis maculator</i> F.	0,67	0,47
<i>Brachimeria intermedia</i> Nees	—	0,11
<i>Tachinidae</i> sp.	—	0,03

5.4.4. Гетеротрофні консорції

Досліджень гетеротрофних консорцій значно менше, ніж автотрофних. Із цього погляду цікаве дослідження консорційних зв'язків каспійського тюленя, виконане представником Кримської школи екологів і паразитологів Л. А. Демиденко. Каспійський тюлень (*Phoca caspica* Gmelin) — морський ссавець, маса якого сягає 50—85 кг, довжина тіла — 130—140 см. Його місце у трофічній мережі екосистеми Каспійського моря показане схематично на рисунку 5.6. У ній каспійський тюлень, споживаючи певні види риб, як третя або четверта чи навіть п'ята ланка, замикає багато трофічних ланцюгів. У той же час у ньому та на ньому живиться ціла низка гельмінтів-консортів.

При цьому гельмінтам каспійського тюленя притаманна широка експансія. Більшість із них мають декілька різних хазяїв, як остаточних (дефінітивних), так і проміжних. Таким чином, ці паразити поєднують ядра багатьох консорцій, якими є хребетні тварини екосистеми Каспійського моря. Тим самим вони інтегрують угруповання організмів Каспійського моря в єдине ціле. Більше того, багато гельмінтів каспійського тюленя пов'язані у своїх життєвих циклах із наземними тваринами. Таким чином, за рахунок них здійснюються **міжекосистемні зв'язки**. Отже, складні цикли розвитку гельмінтів, у яких беруть участь хазяї, що належать до різних видів морських, річкових і наземних тварин, дозволяють їм охоплювати широкі ареали, які виходять за межі екосистеми Каспійського моря.

На рисунку 5.7 можна бачити, як круглий черв ексізіус поєднує зовсім різні ядра консорцій, якими слугують, поряд із каспійським тюленем, вобла каспійська, судак звичайний, водна олігохета варієгатус і баклан великий.

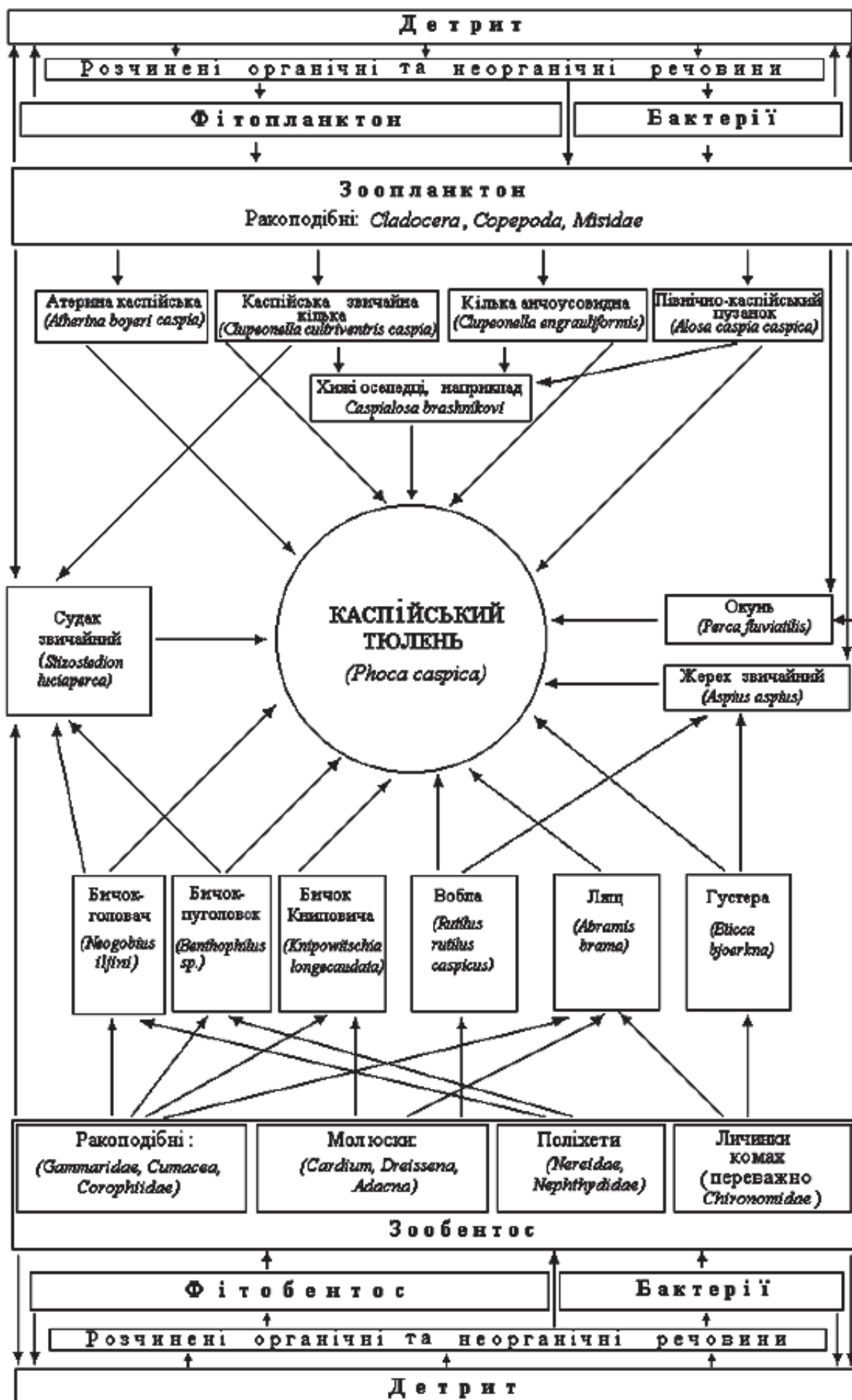


Рис. 5.6. Схема трофічних зв'язків каспійського тюленя в екосистемі Каспійського моря (Демиденко, 2005)

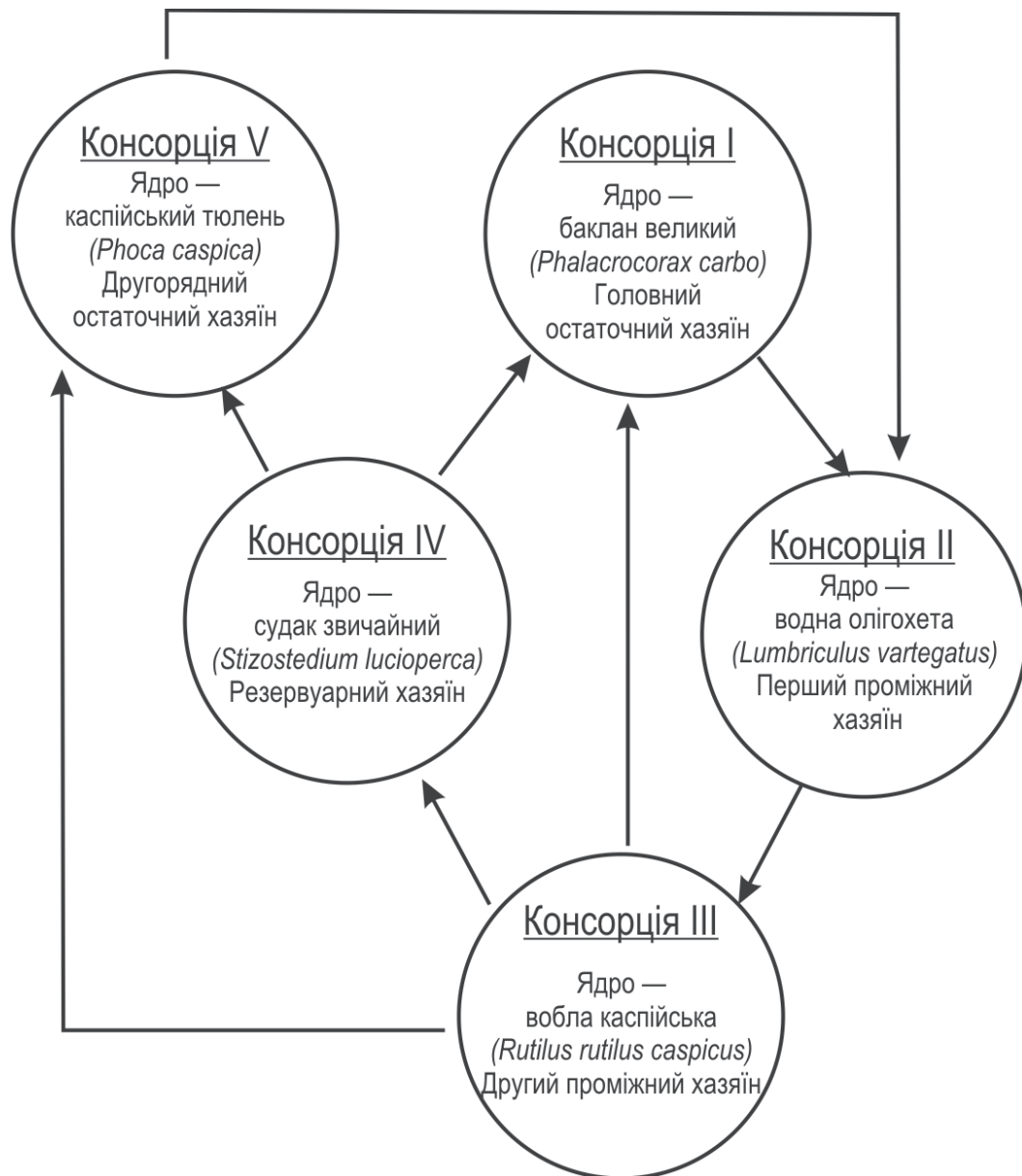


Рис. 5.7. Взаємозв'язки між консорціями, ядра яких — різні хазяї гельмінта-консорта ексцизуса (*Eustrongylides excisus*) (Демиденко, 2005)

Загалом до складу консорції каспійського тюленя входять 23 види консортів — гельмінтів із переважанням круглих червів. Із 50 досліджених каспійських тюленів не виявилось жодної вільної від гельмінтів особини. Кожна з них містила певний їх комплекс — від 3 до 7 видів (Демиденко, 2005). І серед людей (детермінантів гетеротрофних консорцій) може бути досить незначний відсоток осіб, що зовсім не мають паразитів-консортів.

З'ясувалося, що до **мероконсорцій** печінки, жовчного міхура, підшлункової залози каспійського тюленя входить тільки один вид гельмінтів — *Pseudamphistomum truncatua*. Але найпривабливіший орган для гельмінтів — тонкий кишечник. Його мероконсорція освоєна аж 10 видами, що належать

до різних класів гельмінтів. Серед них домінують трематоди *Ciureana badamschini* та *Mesorchis advena*. Не дуже привабливі для гельмінтів мероконсорції шлунка та товстої кишки: у них трапляються тільки по два види паразитів.

Таким чином, у процесі еволюції становлення консортивних зв'язків у мероконсорціях каспійського тюленя відбувалося у складному середовищі і призвело, врешті-решт, до розподілу консортів — гельмінтів за різними субнішами, або субконсорціями за М. А. Голубцем (2000). Наслідок цього процесу — відмінності якісного та кількісного складу консортів.

Будь-яка людина з усіма бактеріями, найпростішими, вірусами, мікроскопічними грибами, паразитичними червами, кліщами чи іншими організмами, що мешкають у ній і на ній, може слугувати прикладом індивідуальної гетеротрофної консорції. Генетична схильність людини до таких консортів доведена на багатьох прикладах, але оселення їх в людині чи на людині відбувається шляхом потрапляння із зовнішнього середовища, у тому числі з інших консорцій. Лікарі добре розуміють, який вплив на здоров'я людини справляють її консорти-паразити і, якщо треба позбавити хворого від них, призначають антибіотики. Разом із цим зазвичай призначають і препарати, що містять корисні для людини бактерії (наприклад, молочнокислі), щоб нормалізувати таким чином порушену антибіотиком кишкову мікрофлору. Їм добре відомо, що нормальна мікрофлора, яка входить до складу мероконсорції кишкового людини, корисна, забезпечує її багатьма вітамінами. Нормальна кишківникова мікрофлора створює свій невеличкий, але дуже важливий мікробіоценоз, або, як кажуть медики, «біоценоз кишкового».

Таким чином, будь-яка автотрофна чи гетеротрофна *індивідуальна консорція* — просторово виражена єдність різних організмів, своєрідний вузол, зона концентрації життя, в якій навколо достатньо великого центрального організму (детермінанта) формується специфічний склад живих і неживих компонентів із характерним речовинним, енергетичним та інформаційним обміном.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Беклемишев В. Н. О классификации биогеоценологических (сифизиологических) связей // Бюлл. МОИП. Отд. биол. — 1951. — Т. 65, вып. 2. — С. 3—30.

Голубец М. А. Актуальные вопросы экологии. — К.: Наук. думка, 1982. — 158 с.

Голубець М. А. Екосистемологія. — Львів: Поллі, 2000. — 316 с.

Голубець М. А., Чорнобай Ю. М. Консорція як елементарна екологічна система // Укр. ботан. журн. — 1983. — Т. 40, № 6. — С. 23—28.

Демиденко Л. А. Консортивні зв'язки *Phosa caspica* з його гельмінтофауною в екосистемі Каспійського моря. — Рукопис. Дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 — екологія. — Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т ім. Олеся Гончара, 2005. — 170 с.

Животовский Л. А. Показатели популяционной изменчивости по полиморфным признакам // Фенетика популяций. — М.: Наука, 1982. — С. 38—55.

Ивашов А. В. Биогеоценотические системы и их атрибуты // Журн. общ. биол. — 1991. — Т. 52, № 1. — С. 115—128.

Ивашов А. В., Симчук А. П., Савушкина И. Г. Консортивные связи листогрызущих насекомых в индивидуальных консорциях дуба пушистого (аккумуляция и миграция тяжелых металлов, роль генетических факторов). — Симферополь: Фактор, 2008. — 140 с.

Ивашов А. В. Генетичні особливості мікропопуляцій зеленої дубової листовійки в індивідуальних консорціях дубів скельного і пухнастого // Доп. НАН України. — 2000. — № 10. — С. 196—201.

Лавренко Е. М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения // Полевая геоботаника. — М.; Л., 1959. — Т. 1. — С. 13—75.

Мазинг В. В. Консорции как элементы функциональной структуры биогеоценозов // Тр. МОИП. — 1966. — Т. 27. — С. 117—126.

Работнов Т. А. Консорция как структурная единица биогеоценоза // Природа. — 1974. — № 2. — С. 26—35.

Раменский Л. Г. О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники // Ботан. журн. — 1952. — Т. 37, № 2. — С. 181—202.

Симчук А. П., Ивашов А. В. Эколого-генетические аспекты дифференциации трофических предпочтений некоторых насекомых-филлофагов в микросообществах дуба // Журн. общ. биол. — 2005. — Т. 66, № 6. — С. 191—199.

Baltensweiler W. The cyclic population dynamics of the grey larch tortrix *Zeiraphera griseana* Hubner (*Semasia diniana* Guenee) (Lepidoptera: Tortricidae) // Symposium Royal Entomol. Society. — London, 1968. — Vol. 88, № 4. — P. 97.

Edmunds G. F. Jr. Ecology of black pineleaf scale (Homoptera: Diaspididae) // Environmental Entomol. — 1973. — Vol. 2, № 5. — P. 765—777.

Finet Y., Gregoire J. C. A study of population resistance to *Pnyllodecta vitellinae* L. (Col., Chrysomelidae). 1. Greenhouse experiments // Z. Ang. Ent. — 1981. — Vol. 91. — P. 355—367.

Ivashov A. V., Simchuk A. P., Medvedkov D. A. Possible role of inhibitors of trypsin-like proteases in the resistance of oaks to damage by oak leafroller *Tortrix viridana* L. and gypsy moth *Lymantria dispar* L. // Ecological Entomologie (UK). — 2001. — Vol. 26. — P. 664—668.

Simchuk A. P., Ivashov A. V., Companytsev V. A. Genetic patterns as possible factors causing population cycles in oak leafroller moth, Tortrix viridana L. // Forest Ecology and Management. — 1999. — Vol. 113. — P. 35—49.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Що таке система?
2. Що дає можливість визначити відносини між елементами системи порівняно з відносинами з іншими елементами або системами?
3. Які існують складові частини складних систем?
4. Що таке формальна та неформальна структура системи?
5. Назвіть п'ять принципів ускладнення поведінки систем за Б. С. Флейшманом.
6. Що таке екосистема з погляду Ю. Одума?
7. Чи є біогеоценоз окремим ступенем організації екосистем, який маркується фітоценозом?
8. Чи є відмінності між поняттями «біогеоценоз» і «екосистема»?
9. Яким чином можна встановити нижню межу екосистеми?
10. Дайте визначення поняття «жива речовина».
11. Чи бере участь в утворенні середовища існування жива речовина?
12. Які властивості газової оболонки Землі мають істотне значення в її тепловому балансі?
13. Наведіть приклади впливу живих організмів на хімічний склад води.
14. Які існують гіпотези щодо утворення атмосфери в процесі еволюції живих організмів?
15. Яка роль рослинності в утворенні на певній території особливостей мікроклімату?
16. Дайте сучасне синтетичне визначення поняття «біосфера».
17. Які основні механізми саморегуляції та організованості біосфери?
18. Що є фундаментальною умовою стійкого існування життя як планетарного явища?
19. У чому полягає закономірність, відома під назвою «принцип Ешбі»?
20. Наведіть функціональні особливості будь-якої біологічної (у тому числі екологічної) системи.
21. Яке значення має різноманіття видів у складі трофічного рівня, у складі екосистеми?
22. Дайте визначення поняття «популяція».
23. Яким чином на популяційному рівні відбувається взаємодія з навколишнім середовищем?
24. Що є першою ланкою в циркуляції речовини у біологічних системах різного рівня?
25. На які групи можна поділити властивості систем?
26. Що є об'єктом дослідження екології угруповань?
27. Що таке прямий зв'язок у системі?

28. Наведіть приклади зворотних зв'язків у системі.
29. Наведіть визначення поняття «екосистема» за А. Тенслі.
30. Що лежить в основі визначення біогеоценозу за В. М. Сукачовим?
31. Дайте визначення консорції.
32. Які консорції можна вважати повночленими, які — не-повночленими?
33. На які компоненти можна розділити екосистему?
34. Які особливості характерні для урбоекосистем?
35. У чому полягають особливості «організменної» концепції екосистем?
36. За якими ознаками можна характеризувати угруповання?
37. Що розуміли під консорцією зоолог В. Н. Беклемішев і ботанік Л. Г. Раменський?
38. Яку схему має консорція за В. В. Мазінгом?
39. Що нового вніс у вчення про консорцію видатний український еколог акад. М. А. Голубець?
40. Чому тільки автотрофно детермінована консорція може вважатися елементарною екосистемою?
41. Що таке мероконсорція?
42. Чому важливо знати генетику консорцій?
43. Що входить до складу генопласту консорції?
44. Які генетичні показники зеленої дубової листовійки вивчено в індивідуальних консорціях дуба пухнастого на Південному березі Криму?
45. Як впливає різноманіття консортів першого концентру на те саме у консортів наступних концентрів (приклад)?
46. Чому індивідуальні консорції дуба пухнастого різняться між собою?
47. Назвіть приклади гетеротрофної консорції.
48. Дайте характеристику місця каспійського тюленя в екосистемі Каспійського моря за трофічними зв'язками.
49. Що характерне для консорційних зв'язків каспійського тюленя з гельмінтами-консортами?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Скільки відомо принципів ускладнення поведінки систем:
а) три; б) п'ять; с) сім?
2. Зміни системи в часі називаються: а) поведінка; б) структура; с) функціонування?
3. Якщо як елементи структури фігурують первинні елементи, то структура системи: а) формальна; б) неформальна; с) інше?
4. Системам якого рівня притаманна здатність виявляти випереджувальну реакцію («реакція — стимул»): а) другого; б) четвертого; с) шостого?
5. Будь-яка одиниця, що включає всі спільно функціонуючі організми на даній ділянці і взаємодіє з фізичним середовищем таким чином, що потік енергії утворює чітко визначені біотичні

структури та кругообіг речовини між живою і неживою частинами, має назву: а) екосистема; б) біоценоз; с) біогеоценоз?

6. Визначення «Екосистема — сукупність комплексів організмів із комплексом фізичних чинників, які їх оточують, тобто чинників місцепроживання в широкому сенсі» сформулював: а) Одум; б) Лібіх; с) Тенслі?

7. Сукупність елементів зі зв'язками між ними має назву: а) підсистема; б) система; с) надсистема?

8. Концентри входять до складу: а) консорцій; б) популяцій; с) біоценозів?

9. Система взаємодіючих популяцій багатьох видів продуцентів, консументів і редуцентів, що функціонує у певному середовищі і стійко здійснює біогенний кругообіг речовин, має назву: а) біоценоз; б) біогеоценоз; с) екосистема?

10. Поділ живих організмів на продуцентів, консументів і редуцентів є рівнем біологічної різноякісності: а) першим; б) другим; с) третім?

11. Пригнічення відхилень керованого процесу — це зворотні зв'язки: а) послаблюючі; б) негативні; с) позитивні?

12. Угруповання, що включають до свого складу продуцентів, консументів і редуцентів, мають назву: а) неповночленні; б) повночленні; с) гетерочленні?

13. Елементи системи та зв'язки між ними мають назву: а) поведінка; б) структура; с) функціонування?

14. Біокосна відкрита система, що є частиною біосфери, знаходиться під впливом зовнішніх відносно неї чинників, характеризується властивою їй взаємодією складаючих її біотичних і абіотичних компонентів, а також певним типом обміну речовиною й енергією між ними та компонентами інших біокосних і косних систем, межі якої визначаються межами властивого їй фітоценозу, це: а) екосистема; б) біоценоз; с) біогеоценоз?

15. Співвідношення між створенням і розкладенням органіки має назву: а) екологічний баланс; б) енергетичний баланс; с) біоценотичний баланс?

16. Центральний організм консорції — це: а) детермінант; б) ядро; с) ядро або детермінант.

17. Автотрофна консорція — така, в якій детермінант — це: а) організм з автотрофним типом живлення; б) організм із гетеротрофним живленням; с) організм із будь-яким типом живлення?

18. Як правило, консортами індивідуальної консорції є: а) організм будь якого виду; б) мікропопуляції певних видів організмів; с) трофічні зв'язки організмів?

19. Кит не може бути елементарною екосистемою тому, що він: а) не може забезпечити кругообіг речовин; б) не може забезпечити енергією консортів; с) не є гетеротрофом?

20. Найбагатшою за видовим різноманіттям у людини є така мероконсорція: а) печінка; б) тонкий кишковик; с) шлунок?

21. До складу генопласта індивідуальної консорції входять: а) генотип ядра; б) генотипи консортів і детермінанта; с) гени центральної особини?

22. Генопласт консорції — це: а) сукупність генотипів усіх організмів, що входять до складу консорції; б) цілісна ймовірнісна асоціація генотипів консортів і детермінанта; с) сукупність генів різних консортів?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	b	7	b	13	b	19	a
2	a	8	a	14	c	20	b
3	b	9	b	15	a	21	b
4	b	10	a	16	c	22	b
5	a	11	b	17	a		
6	c	12	b	18	b		

Розділ 6 ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Слід зазначити, що серед екологів існує цілком усталена думка, згідно з якою вся екологія є функціональною. Але, відзначаючи сучасні тенденції в екологічній науці (існує навіть науковий журнал «Functional Ecology»), більшість авторів цього підручника все ж таки вважають за доцільне надати саме таку назву цьому розділу, який розглядає роль компонентів надорганізмених систем в їх функціонуванні.

Основна ідея. Біотична регуляція навколишнього середовища можлива завдяки взаємодії між організмами та середовищем. Правильна оцінка цієї взаємодії дозволяє розробити достовірні методологічні підходи до збереження та покращення екологічної обстановки у випадку порушення її на всіх екосистемних рівнях, аж до глобального.

Смислові зв'язки. Функціональна роль атмосфери, гідросфери, ґрунту — біогеоценотична роль фітоценозу — мікроорганізми ґрунту — мікробні біоценози — функціональна роль зооценозу у біосфері та екосистемах.

Ключові терміни. Функціональна властивість, функціональна структура, продукційна роль фітоценозу, утворення первинної продукції, продуктивність фітопланктону, шельфова область, утворення вторинної біологічної продукції, трофофункціональне угруповання, ріюча активність ссавців.

Мета — усвідомити, що головна властивість життя у біосфері — функціональна діяльність видів із підтримання тих умов навколишнього середовища, які придатні для існування біоти на будь-якому екосистемному рівні.

6.1. Роль кліматопу у функціонуванні екосистем

6.1.1. Загальні особливості кліматопу

Вивчення функціональної біосфери та її структурних розділів — екосистем — є основою сучасної екології. На сучасному етапі розвитку екології все активніше формується погляд на екосистеми як на надорганізмену живу систему з необхідними для існування структурними функціональними елементами, які забезпечують її життєздатність і прояви загальних функцій. Правомірно тут порівняти існування окремого живого організму з так званою надорганізменою системою. У першому та другому випадках головний чинник їх існування — кругообіг речовин (для організменого рівня використовується термін «обмін», для екосистемного — «кругообіг»). В обох випадках життєздатність організменої та екологічної систем визначається специфічною роллю складових, які виконують особливу роботу в системі і забезпечують її сталість. Образно можливо порівняти компоненти та елементи екосистем з органами та системами органів в організмі. Як неможливе нормальне існування організму з порушенням роботи того чи іншого органу, так неможливе існування екосистеми з втратою чи послабленням активності якоїсь складової екосистеми, що забезпечує її нормальне функціонування. І таких загальних ознак, що споріднюють системи у їх складному житті, можна навести багато. Тому наші уявлення про біосферу чи екосистему мають ґрунтуватися на пізнанні ролі окремих її складових, які зумовлюють їх створення, перебудову, функціонування та існування.

У розділах про організацію біосфери та екосистем вже вказувалось на дві їх складові: біотоп і біоценоз. Біотоп у свою чергу включає кліматоп і для наземних систем — едафотоп, для водних — гідротоп. Біоценоз поділяють на фітоценоз, зооценоз і мікробоценоз, які у проявленні своїх загальних функцій визначаються як продуцентна, консументна та редуцентна частини біоценозу. Розглянемо їхню роль у функціонуванні біосфери і екосистем.

Найважливіший чинник кліматопу — променева сонячна енергія, яка зумовлює всі найважливіші біогеоценотичні процеси. Крім енергії Сонця, важливу роль у житті біогеоценозу відіграють такі компоненти, як агросфера та гідросфера,

зумовлюючи формування та функціонування найрізноманітніших екосистем, забезпечуючи їх газами та водою. У різних елементах і підсистемах екосистеми формуються особливі аерокліматопи, гідрокліматопи та термокліматопи.

Атмосфера як компонент кліматопу своєю нижньою частиною (тропосферою) входить до приземної сфери і характеризується найбільшою щільністю газових мас, найбільшою динамічністю свого фізичного стану та найбільш сформованими тісними взаємовідносинами з едафотопом, гідротопом і біоценозом. Вона — складне газове тіло, провідник енергії, осередок великих матеріальних ресурсів для організмів і чинник формування клімату на Землі.

Вплив атмосфери на інші компоненти екосистем здійснюється через ряд факторів, з яких основне значення має світло, вода, газовий склад і рух повітря. Вона різноманітно трансформується іншими компонентами екосистем, завдяки чому співвідношення її з ними утворює найтісніші, органічні взаємодії. На думку В. І. Вернадського (1927), ця взаємодія, крім безпосереднього контакту, своїми результатами поширюється далеко за межі контактної зони аж до озонового шару. Найважливіше функціональне значення атмосфери — її участь у балансі сонячної радіації, створення матеріальної основи для продукційного та метаболічних процесів.

6.1.2. Сонячна радіація

Під впливом радіації знаходяться всі процеси, що здійснюються на поверхні Землі. Від неї залежить освітленість, терміка, рух повітряних мас, зволоженість, хід хімічних реакцій і фізичних перетворень, всі біологічні явища. Потужність потоку променевої енергії називають інтенсивністю радіації і визначають у калоріях на 1 см^2 за хвилину. Безпосередньо від Сонця на Землю надходить 358 кал/см^2 .

При проходженні через атмосферу або через крону деревостану частина сонячної радіації і, відповідно, теплового балансу поглинається атмосферою, перетворюється на інші види енергії, розсіюється хмарами, відбивається кроною деревостану тощо (рис. 6.1). Інтенсивність радіації, яка досягає поверхні Землі, різноманітна і залежить від висоти стояння Сонця над горизонтом, географічної широти, щільності атмосфери, її товщини, хмарності, водяної пари, рельєфу місцевості.

Атмосфера розсіює прямі промені Сонця молекулами газів, поглинає промені деяких областей спектра з відповідними змінами складу сонячної радіації. Озон, що знаходиться у верхніх шарах атмосфери, майже цілком поглинає

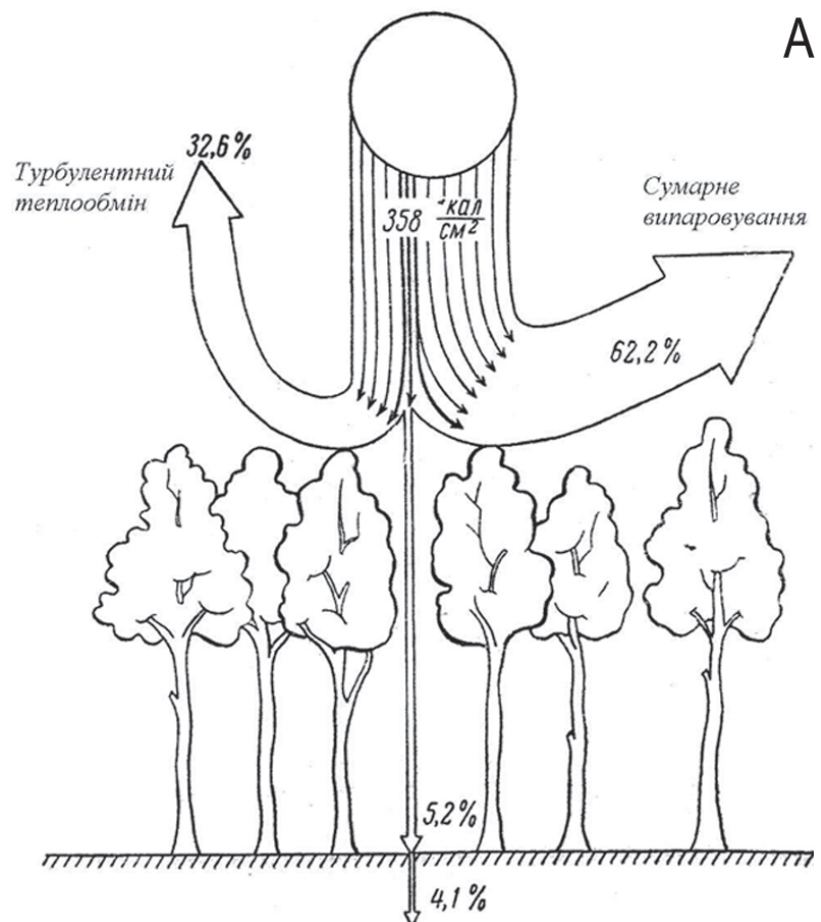
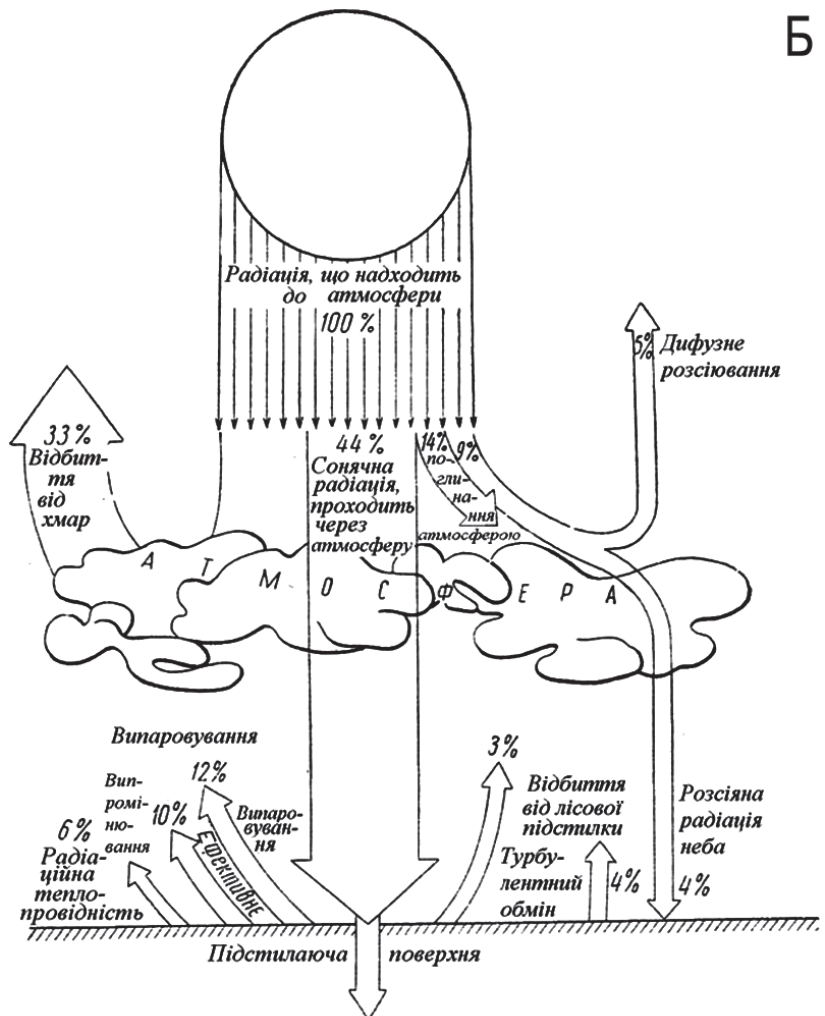


Рис. 6.1. Роль атмосфери та лісового насадження у формуванні балансу сонячної радіації: А — загальний баланс сонячної енергії в екосистемах, Б — середній тепловий баланс за день у червні—серпні в тридцятирічному дубовому насадженні (Молчанов, 1964)

найкоротші та найнебезпечніші ультрафіолетові промені. Водяні пари атмосфери змінюють спектральний склад сонячної радіації, поглинаючи до 20 % усієї променистої енергії. Сонячна енергія — одне із джерел енергії, яка доступна зеленій рослинності для синтезу органічних речовин. У прямих сонячних променях до 35 % припадає на долю активних для фотосинтезу променів. Максимальною фізіологічною активністю відрізняються помаранчево-червоні промені довжиною хвилі 600—700 нм, які поглинаються хлорофілом. Удвічі менша ефективність спостерігається при опроміненні рослин синьо-фіолетовими променями (400—500 нм). Але вони відіграють важливу роль у затримці під час переходу до цвітіння, сприяють синтезу білків, визначають хімічний склад рослин. Найкоротші ультрафіолетові промені (300—400 нм), які досягають рослин, запобігають надмірному витягуванню рослин, але за межами 300 нм смертельні для всього живого. Інфрачервоні промені (750—1000 нм) поглинаються пігментами рослин, але мають досить незначний вплив для фізіологічних процесів у рослин. Інфрачервоні промені довжиною хвилі понад 1000 нм в основному поглинаються водою тканин листя. Вони впливають на швидкість фізіологічних процесів із різною корисною дією: позитивною — до +20°C, негативною при вищих температурах (Клешнін, 1954). Мінімальною активністю відрізняються зелені промені (500—600 нм). У прямих променях Сонця активність фізіологічної радіації менша, ніж у розсіяному світлі, на 50—60 %. У розсіяній радіації послаблення інтенсивності освітлення компенсується покращенням фізіологічної якості світла.

Використання фізіологічної радіації рослинами характеризується малою ефективністю. Наприклад, у лісовому біогеоценозі при оптимальній структурі деревостану на утворення органічної речовини використовується лише до 3 % енергії, а від повної радіації удвічі менше — близько 1,5 %.

6.1.3. Газовий склад атмосфери та роль її складових у біосфері

Газовий склад атмосфери на всій поверхні планети майже однаковий, попри масове використання її окремих елементів різноманітними живими організмами (наприклад, кисню) і у ході різноманітних абіотичних реакцій окиснення. Стабільність складу атмосфери ґрунтується на тому, що поряд із поглинанням її елементів відбувається еквівалентне відтворення їх у ході інших процесів. Унаслідок турбулентного обміну між різними шарами атмосфери повітря повністю змішується і його склад вирівнюється. У складі атмосфери спостері-

гається наступне співвідношення компонентів: 78,08 % азоту, 20,95 % кисню, 0,93 % аргону, 0,03 % вуглекислого газу та мізерна кількість (0,01 %) інших газів.

Газоподібний азот в екологічних процесах має порівняно мале значення. Більшістю організмів він не засвоюється, й у кругообіг залучається лише незначна кількість його деякими мікроорганізмами. Однак у ґрунт з атмосферними опадами надходить 3,0—4,5 кг/га зв'язаного нітрогену (в основному — амонію).

Найбільше функціональне значення для найважливіших екологічних процесів мають кисень і вуглекислий газ. У біологічному кругообігу саме вони беруть переважну участь і складають основу матеріального обміну між атмосферою та всіма компонентами біогеоценозу.

Кисень — основне джерело енергетичного балансу організмів в екосистемах, забезпечує їх активний спосіб життя. Вуглекислий газ використовується угрупованнями зелених рослин, один із компонентів синтезу органічної речовини хлорофілом. Інші компоненти екосистем лише виділяють його в атмосферу. У зв'язку з нерівномірністю споживання вуглекислоти протягом доби і року концентрація CO_2 у приземному шарі повітря буває доволі різною. Головні джерела вуглекислоти у повітрі — дихання рослин і тварин, розклад органічних речовин бактеріями.

Крім участі вуглекислого газу в утворенні первинної продукції, він відіграє важливу роль у створенні своєрідного екрана, який пропускає теплові промені до Землі, але затримує ті, що йдуть від Землі. При збільшенні вмісту вуглекислоти у повітрі при зростанні промислового та сільськогосподарського виробництва може утворюватися так званий «парниковий ефект», що призводить до потепління та погіршення природних умов.

6.1.4. Вологість атмосфери

Вологість атмосфери має важливе значення в регуляції метаболічних процесів між усіма компонентами екосистем. Найщільніші взаємозв'язки вологості атмосфери спостерігаються з фітоценозом і едафотопом. При сприятливій вологості повітря транспірація рослин і вологообмін відбуваються в оптимальному режимі. При недостатній зволоженості повітря відбувається порушення транспіраційних можливостей рослин, що спричиняє їх в'янення. Особливо негативні явища відбуваються у період суховіїв, які настають при відносній вологості нижче 30 % і температурі повітря до +30 °С. Стійкості рослин у цих випадках може допомогти вологість

грунту, яка має запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0—20 см понад 20 мм.

Значний вплив на біогеоценотичний метаболізм здійснює високий вміст водяної пари в атмосфері. Він знижує як фізичне випаровування води, так і транспіраційні можливості рослин.

6.1.5. Рух атмосфери

Рух повітря у тропосфері відіграє значну роль у біосфері. Народжений нерівномірним прогріванням атмосфери на різних широтах, материках і океанах, рух повітряних мас пом'якшує контрасти осередків тепла та холоду, вологості та сухості, вирівнює газовий склад повітря, формує клімат Землі, визначає погодні умови. Вітер, з одного боку, розсіює водяні пари повітря, які виділяються фітоценозом, приносить сухі маси повітря, посилюючи випаровування та транспірацію, з іншого — несе повітря, насичене водяною парою, що послаблює транспірацію. У той же час вітер аерує водні маси, збагачуючи їх на кисень, і сприяє пасивній міграції планктону. Особливу роль рух повітря виконує у запиленні квіткових рослин, беручи активну участь у відтворювальних процесах, а також у розповсюдженні плодів і насіння, поширюючи їх у просторі та утворюючи нові фітоценотичні угруповання (наприклад, островні ліси на степових просторах тощо). Таке розповсюдження може здійснюватися на десятки кілометрів. Вітер також переносить листя дерев з одного лісового біоценозу в інший або в навколишній простір (степ, галявини тощо), сприяючи обміну органічної речовини між екосистемами.

У зимовий період біогеоценотична роль руху повітря полягає у формуванні снігового покриву, що може гальмувати промерзання ґрунту, визначати виживання рослин і тварин під час зимівлі під снігом, а навесні — формування запасів ґрунтової вологи.

Швидкість повітря за спостереженнями А. А. Молчанова (1964) понижує приріст сухої речовини рослин через водний дефіцит. При швидкості повітря до 0,5 км/год водний дефіцит не перевищує 4,5 %, при 15 км/год — до 12,5 %, 38 км/год — до 18,0 %. Відповідно до цього на одне соснове дерево приріст сухої речовини складає 23,19 та 9 г.

6.1.6. Атмосферні опади

Атмосферні опади утворюються з водяної пари над певними територіями та за рахунок надходження вологи з інших територій. Оскільки горизонтальний рух повітря значно пе-

ревищує вертикальні переміщення, атмосферні опади спостерігаються найчастіше з повітря, яке переноситься з інших місць. Так звані місцеві опади можуть спостерігатися лише у районах вологих тропіків. Кількість опадів, які випадають у тій чи іншій місцевості, має великі межі коливання — від 0 до понад 5000 мм. У районі лісової зони північної Євразії випадає до 150—550 мм за рік, на Чорноморському узбережжі — до 2000 мм.

Велике значення опадів для біогеоценотичних процесів має хід випадання їх протягом року та у вегетаційний період. Особливо важливі опади у вигляді дощу та снігу, які становлять найбільшу частину вологи земної поверхні і виконують головну функцію у взаємодіях з усіма компонентами екосистем, особливо із фітоценозом.

Опади, що надходять у ґрунт, розчиняють різноманітні мінеральні речовини, переміщують їх у латеральному та радіальному напрямках, сприяють підвищенню ефективності мінерального живлення, забезпечують потреби рослин і мікроорганізмів у волозі, формують водний, термічний і аераційний режим ґрунту. Також атмосферні опади приносять у ґрунт деякі органічні та неорганічні речовини з атмосфери (у тому числі й небезпечні — так звані кислотні дощі, утворені техногенно), зокрема і з поверхні рослин, одночасно очищуючи їх, поліпшують фотосинтетичний процес.

Значна кількість опадів сприяє не лише зволоженню ґрунту, а й утворенню поверхневих стоків. Залежно від поверхні рельєфу, типу ґрунту, щільності покриття ґрунту рослинним покривом поверхневі стоки приносять або виносять органічні та неорганічні речовини із ґрунтового покриву, утворюючи механізм матеріального обміну між екосистемами. На рівнинних місцевостях, на супіщаних і піщаних ґрунтах ці втрати не перевищують поверхневі стоки і складають до 1 % за рік. Значно вищі вони на ґрунтах, де відсутня рослинність, на суглинкових і важкосуглинкових ґрунтах.

6.2. Функціональна роль ґрунту та підстилки

Ґрунт — самостійне природне тло, яке виникає, розвивається, безперервно змінюється у часі та просторі, має свою історію. Він являє собою природно-історичне тіло (рівнозначно розумінню: рослина, мінерал, тварина). В. В. Докучаєв (1885) уперше дав всеосяжне визначення його суті: «...ґрунт — поверхневі мінерально-органічні утворення, які завжди мають своє особисте походження; вони завжди і всюди є результатом спільної діяльності материнської гірської поро-

ди, живих і віджилих організмів (як рослини, так і тварини), клімату, віку та рельєфу місцевості». Іншими словами, ґрунт являє собою результат багаторазових і безперервних змін, яких зазнає материнська порода під впливом діяльності різних організмів, клімату, історії формування природних умов і рельєфу. Тобто ґрунт — біокосне тіло, один із найсуттєвіших компонентів біосфери, який визначає, відображає у своїх ознаках і властивостях особливості формування та розвитку окремих екосистем.

Із біогеоценотичного погляду під ґрунтом слід розуміти «поверхневий шар літосфери, який бере участь у біологічному кругообігу і набуває властивостей природного компонентного тіла із безперервним для нього обміном речовин і енергії, що зумовлюють його утворення, плодючість, закономірності формування та еволюцію» (Зонн, 1964).

Виходячи із наведених визначень, можна підкреслити, що *ґрунт — та базисна основа, фундамент, на якому виникають, розвиваються і функціонують різноманітні наземні екосистеми.* Потужність ґрунту як компонента екосистем і вертикальні межі його просторового розповсюдження обмежені згори зовнішньою, прилеглою до приземного шару повітря, поверхнею підстилки (мертвого рослинного опаду), а знизу — глибиною граничного розповсюдження кореневих систем фітоценозу. Ця товща ґрунту забезпечує організми вологою, елементами живлення й одночасно знаходиться під їх впливом. Ґрунт має також фізичні властивості, які найбільшою мірою задовольняють потреби рослин, тварин і мікроорганізмів (щільність, аерація, температура тощо). Потужність поверхневого шару Землі, який бере участь у ґрунтоутворенні, відповідає потужності біогеоценотичного покриву, у межах якої розміщені тіла, що беруть участь у кругообігу речовин і потоці енергії. Ця потужність різноманітна у різних природних зонах (рис. 6.2).

Таким чином, у межах суходолу головна область розвитку життєвих процесів представлена ґрунтом разом із прилеглою до нього частиною атмосфери. Ґрунтовий покрив утворює на планеті особливу біогеохімічну оболонку Землі — педосферу. Вона займає площу 122,5 млн км². Як жива частина біосфери, він являє собою область найбільшої концентрації живих організмів і продуктів їх життєдіяльності та розкладу. Практично вся рослинність суходолу та увесь тваринний світ щільно пов'язані з ґрунтом як із субстратом і необхідним джерелом живлення.

Важлива функціональна властивість ґрунту — його родючість, здатність забезпечити необхідні умови для розвитку рослин. Найбільше значення у родючості ґрунтів відіграє гу-

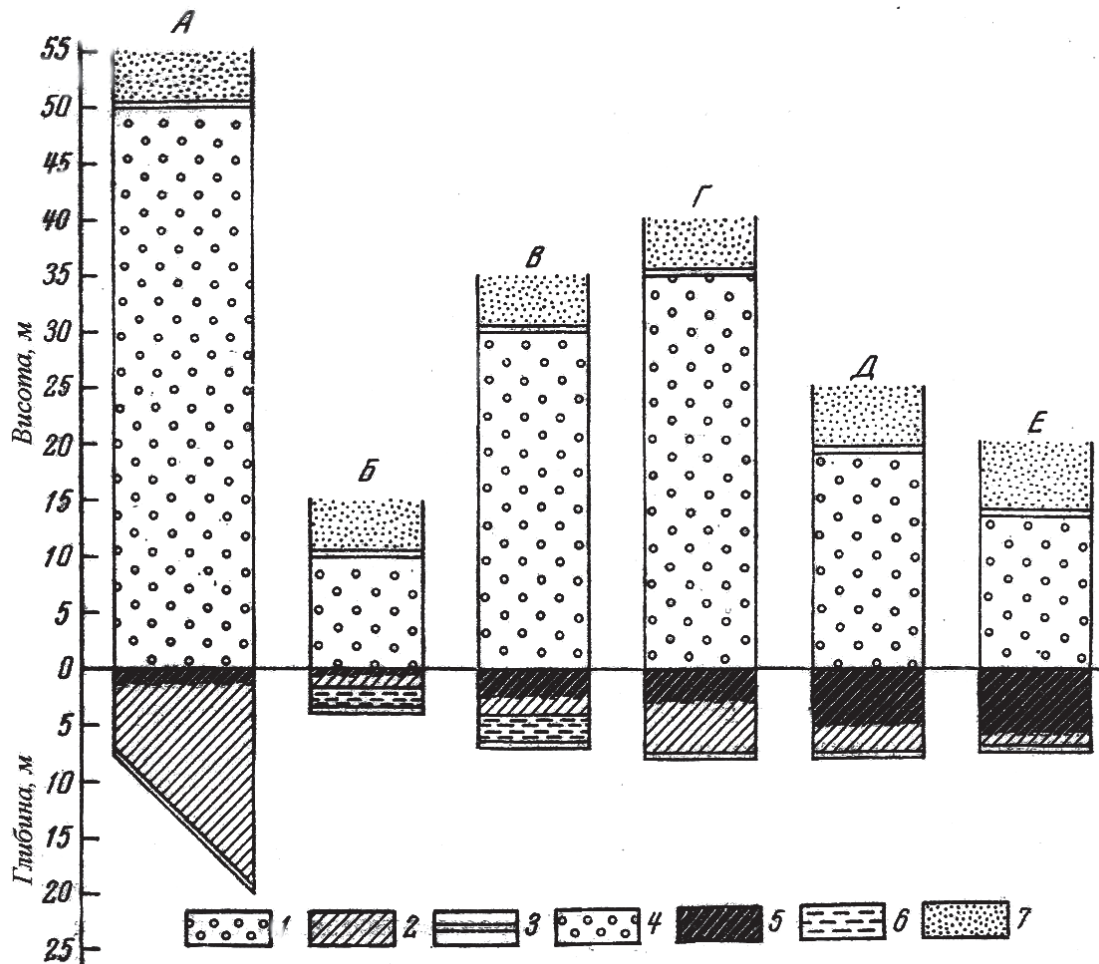


Рис. 6.2. Узагальнена схема будови і зональної зміни потужності ґрунту та екосистем: яруси екосистем: 1 — надземний, 2 — підземно-ґрунтовий, 3 — межі екосистем, 4 — рослинні і тваринні організми, 5 — ґрунт, 6 — ґрунтові води, 7 — атмосфера, А — вологі тропічні ліси, Б — лісотундра, В — тайга, Г — лісостеп, Д — степ, Е — напівпустеля (Зонн, 1964)

мус, що утворюється із продуктів біохімічного розкладу решток організмів. Кількість гумусу визначає наявність у верхніх шарах ґрунту сполук Нітрогену, Фосфору, Калію, Сульфору, Кальцію та мікроелементів — необхідних елементів живлення рослин.

Важливі процеси матеріального обміну між літосферою, атмосферою та гідросферою обумовлені різними фізичними фазами: твердою фазою, утвореною мінеральними та органічними сполуками; рідинною фазою, сформованою ґрунтовою водою, вологою; та газовою фазою — ґрунтовим повітрям (аерація).

Запаси органічних речовин та енергії у педосфері досить значні. Сумарні запаси гумусу у сухопутних ґрунтах складають $2,4 \cdot 10^{12}$ т, або 160 т/га. Перерахунок на потенціальну енергію показує, що запаси енергії, які містяться у гумусі педосфери, становлять 10^{19-20} Ккал. Ця величина співмірна тій

кількості енергії, яка міститься у надземній частині біомаси рослинності земної кулі. Після урахування коріння рослин і живих організмів, що мешкають у ґрунті, ця величина стає переважаючою.

Ґрунти виконують функцію середовища для багатьох організмів: від мікроорганізмів, водоростей, найпростіших до багатьох груп безхребетних і хребетних тварин. За даними В. А. Ковди, лише біомаса мікроорганізмів, яка використовує ґрунт як середовище існування, оцінюється у 10^{8-9} т. У ґрунтах різних екосистем і природних зон на коріння рослин припадає в середньому до 50 % усієї наземної фітомаси. Лише у лісових біогеоценозах біомаса деревостою переважає біомасу коріння. У трав'янистих рослин частка біомаси коріння значно переважає надземну фітомасу. А у холодних пустелях тундри та на гірських плато це співвідношення може становити до 95—97 %.

Біомаса різноманітної ґрунтової фауни у різних екосистемах також значно переважає наземну. Безпосередньо у ґрунтовому горизонті на різних широтах вона коливається у межах 85—93 %, у підстилковому прошарку, який займає проміжне положення між ґрунтом і надземним горизонтом, — 1,5—4,5 %, у надземному горизонті — 2,5—13,5 %, де на безхребетних тварин припадає 91—99 %.

Важливий функціональний компонент — проміжний шар між ґрунтом і наземним середовищем — підстилка, утворена рослинним опадом. Цей опад — основне джерело живлення більшості ґрунтових тварин і мікроорганізмів. Це «первинна фабрика» ґрунотвірного процесу, де відбувається перетворення органічних решток на гумус і мінеральні речовини. З опадом повертається до ґрунту значна частина спожитих рослинами мінеральних речовин і нітрогену — матеріально-енергетичної основи для ґрунтоутворення та інших біогеоценотичних процесів, зокрема як захисний блок у збереженні ґрунтового середовища для біорізноманіття та утворення сприятливіших умов від промерзання у північних і помірних широтах.

Підстилка (калдан) являє собою специфічне органогенне утворення, яке вкриває поверхню ґрунтів шаром різної потужності і пов'язане як із живим населенням, так і з атмосферними умовами. Вона утворюється з рослинного опаду (із тієї його частини, що не встигає розкластися протягом вегетаційного періоду). На відміну від опаду, який складається з відмерлих частин рослин, зберігаючи свою первісну форму, підстилка складається з органічної речовини, різною мірою розкладеної. Вона має високий вміст Нітрогену та необхідних для рослин поживних ре-

човин, особливо P , K , Ca , Mg тощо. У ній розподіляється маса дрібного коріння, роблячи її одним з основних джерел живлення рослин. У цьому відношенні, будучи однією зі стадій перетворення опаду на гумусові речовини, вона характеризується подібним до гумусу ґрунтів складом органічних сполук. Існують два типи перетворення опаду на гумусові речовини: 1) опад — підстилка — гумус (помірно холодні та помірно теплі області); 2) опад — гумус (теплі сухі та жаркі вологі області).

Накопичення підстилки — біогеоценотичний процес, який залежить не лише від кількості опаду, а і від сформованої взаємодії з мікробо- та зооценозом і фізичними особливостями середовища (вологою та температурою). Розклад і мінералізація органічної речовини підстилки супроводжується виділенням газоподібних продуктів, серед яких найбільше значення мають CO_2 , O_2 та NH_3 . Виділення CO_2 — один із чинників продуктивності рослин. За даними В. Н. Смирнова (1955), продуктивність деревини у різних екосистемах знаходиться у прямій залежності від виділення CO_2 .

Таким чином, *ґрунт разом із підстилкою, які щільно пов'язані функціонально, виконують важливу біогеоценотичну роботу в наземних екосистемах:*

- утворюють фундаментальну основу для формування та функціонування екосистем;
- забезпечують живлення рослинних організмів поживними речовинами та необхідним матеріалом для створення первинної продукції;
- концентрують і забезпечують вологою фізіологічні процеси рослин і утворення сприятливих умов для життєдіяльності мікроорганізмів і ґрунтової фауни;
- створюють необхідне середовище для формування та існування 85—90 % надземного біорізноманіття;
- формують захисний блок від перегріву або перемерзання едафотопного середовища, забезпечуючи нормальні умови існування у різні пори року;
- утворюють основу кругообігу речовин і потоків енергії, стають основним із критеріїв установлення типів екосистем, базою для їх просторового обмеження.

6.3. Функціональна роль гідросфери

Водне середовище було першим, у якому виникло і розповсюджувалося життя. Як середовище існування воно має ряд специфічних властивостей, як-от: велика щільність на відміну від надземної, значні перепади тиску, відносно малий вміст кисню, слабе поглинання сонячних променів тощо.

Водойми відрізняються за розмірами, сольовим складом, швидкістю горизонтальних переміщень, вмістом суспендованих (завислих) часток, типом донних відкладень тощо.

Загальний об'єм води на Землі складає 1460 млн км³, із них у Світовому океані — 1370 млн км³ (тобто 93,84 %). Вільної гравітаційної води у земній корі до глибини у 5 км — 60 млн км³, усіх озер — 0,75 млн км³, льодовиків і вічних снігів — 29, ґрунтової та підґрунтової вологи — 0,065, вологи в атмосфері — 0,014 млн км³, у річках — 1,2—2,0 тис км³.

Світовий океан. Головну масу гідросфери Землі складають води Світового океану. Займаючи 2/3 поверхні земної кулі, Світовий океан поглинає основну масу сонячної радіації, яка надходить на планету. Завдяки високій теплоємності вода поглинає на 25—50 % більше тепла, ніж поверхня суходолу, розташована в тих самих широтах. Зміни температури у полярних басейнах не перевищують 14—15 °С, у жарких — 2—3° С. У середніх і високих широтах у літній період водні маси акумулюють тепло, узимку — віддають його до атмосфери, в екваторіальних областях — сприяють охолодженню повітря. Тепло, яке поглинається океаном у низьких широтах, переноситься течіями у більш високі широти і навпаки: із полярних морів до екваторіальних вод, охолоджуючи їх.

Випаровування води з океану обумовлює постійний обмін між водами суходолу та атмосфери. Щорічно з океану випаровується близько 449 тис. км³ води. Більша її частина (411,6 тис. км³) випадає знову в океан, решта виноситься на континенти та випадає над суходолом. Ці опади живлять озера та річки, з яких повертається до океану 37 тис. км³.

Океанічна вода спричиняє значний вплив на клімат усієї планети, беручи активну участь у його формуванні. Течії, які утворюються у Світовому океані, є природним транспортним засобом перенесення планктонних організмів, що значною мірою обумовлює різноманіття трофічних ланцюгів і біопродуктивність акваторій.

Велике значення має також вертикальна циркуляція води. Вона створює умови, необхідні для живлення планктонних водоростей мінеральними сполуками, що виносяться з глибин у поверхневі шари. Там, де вертикальна циркуляція інтенсивніша, відмічається і бурхливий розвиток планктону (рослинного, а за ним і тваринного).

Світовий океан відіграє надзвичайно важливу роль в обміні речовин і потоках енергії у планетарному масштабі. У процесі первинної продукції щорічно виділяється у повітря понад 36 млрд т кисню, споживається 4 млрд т нітрогену, 0,5 т фосфору, 1,2 т заліза, які компенсуються редуцентною

діяльністю величезної кількості бактерій, утворюючи їх стабільний склад у всій системі.

Світовий океан — середовище існування великої кількості представників рослинного та тваринного світу і світу мікроорганізмів. Нині засвідчено понад 160 тис. видів тварин і близько 15 тис. водоростей (із кожним роком ці показники зростають у зв'язку з відкриттям нових видів).

Найбільшим видовим різноманіттям серед тварин відрізняються молюски (65 тис.), ракоподібні (25 тис.), риби (понад 20 тис.), найпростіші та голкошкірі (11 тис.), кишковопорожнинні (10 тис.), вільноживучі черви (6 тис.), губки (5 тис.), моховатки (2,7 тис.), нижчі хордові (2 тис.). Водні хребетні в основному представлені ссавцями, які налічують близько сотні видів.

Океан відіграв величезну роль у походженні сучасних вищих таксонів тваринного й рослинного світу. С. А. Зенкевич (1951) визначив у відсотках походження класів і підкласів сучасної фауни та флори (табл. 6.1).

Таблиця 6.1.

Відносне значення (%) головних середовищ у походженні класів і підкласів рослин і тварин

Царство	Області походження			
	океан	прісні водойми	суходіл	усі області
Тварини	76	6	18	100
Рослини	50	8	42	100

Внаслідок еволюції та розповсюдження організмів у різних екосистемах біосфери протягом сотень мільйонів років збереглося й дотепер переважання організмів вищих таксонів (класів) у Світовому океані, де мешкає в середньому 74 % сучасних класів рослин і тварин, 59 % — у прісних водоймах і лише 44 % на суходолі. У той же час *видове різноманіття організмів на суходолі перевищує океан у 100 разів.*

Залежно від морфології, незважаючи на розмір, водні організми (від мікроскопічних одноклітинних до гігантських — розмірами понад 30 м і вагою понад 100 т — тварин і від мікроскопічних водоростей до гігантських сланей макроцистісу у 60—80 м довжиною) за способом життя поділяють на три головні групи: **планктонні** (ті, що пасивно пересуваються у водному середовищі, — наприклад дрібні ракоподібні, одноклітинні, які мешкають у товщі води), **нектонні** (ті, що рухаються активно, — наприклад риби, китоподібні) та **бентосні** (ті, що живуть на поверхні

чи в донному субстраті або прикріплені до твердого донного субстрату, — наприклад корали, більшість двостулкових молюсків, плечоногі тощо).

Океан значно розширює межі біосфери по вертикалі. Організми сягають глибини 11 км від поверхні води. Якщо на суходолі товщина шару біосфери може коливатися у межах 24—26 км, то з урахуванням глибини океану вона збільшується до 28—30 км, тобто на 23—25 %.

Таким чином, головна **функціональна роль Світового океану** перш за все полягає у:

- формуванні клімату на планеті;
- значному поглинанні й утилізації сонячної енергії та перерозподілі її у біосфері;
- постійному обміні між водами суходолу та атмосфери через випаровування;
- створенні своєрідних середовищ існування для всіх груп організмів;
- розширенні меж біосфери;
- походженні та розвитку життя на планеті у часовому просторі;
- розподілі планктонних організмів, обумовленому горизонтальними течіями та вертикальною циркуляцією води;
- в утворенні первинної та вторинної біологічної продукції, рештки якої є основним джерелом постачання продуктів харчування у суспільстві.

Прісноводні водойми. Прісноводні екосистеми займають за своїми обсягами у біосфері незначне місце. Вся прісна вода складає 6,16 % загального її обсягу. Але та, що утворює функціонально найактивніші екосистеми, розташовані на континентах, складає лише 0,053 % загального обсягу води (0,84 % від прісної води). Серед прісноводних екосистем озера значно переважають (99,73 % обсягу води, річки — лише 0,27 %). Проте роль річкових долин у планетарному масштабі значна. Вони утворюють глобальний стік на поверхні планети із значної маси мінерало-органічних сполук в океан, збагачуючи поживними речовинами субекваторіальну зону та інтенсифікуючи біопродукційний процес. Прісноводні екосистеми утворюються й існують за рахунок постійного поповнення атмосферних опадів, танення снігів і льоду, підземних джерел. Прісноводні водойми утворюють оптимальне середовище для існування **лімфофільних** (в озерах, водосховищах, ставках) і **реофільних** (у річках) організмів. В озерних екосистемах, подібно до морських, утворюється вертикальна екологічна зональність, у кожній з яких формуються особливі системи з відповідними флористичними та фауністичними угрупован-

нями — **пелагічними** та **бентосними** організмами. У річкових екосистемах, завдяки наявності течії та високому ступеню перемішування водних мас, вертикальна структура майже не виражена. У поперечному профілі чітко розрізняють прибережну зону — **риналь** і відкриту — **медіаль**. У риналі швидкість течії сповільнена, часто утворюються затоки, формуються зарості водних макрофітів — вищих водних рослин. **Супраліторальна зона** часто заливається сезонними повенями. Медіаль характеризується значним турбулентним обміном водних мас, відсутністю вищих водних рослин і пануванням реофільних організмів.

Річкові екосистеми відіграють значну роль у відтворенні рибних запасів для **лиманів**, утворених гирлами річок, що мають перехідну екологічну зону між річками та морями з солонуватою водою, і для **морів**. Із них на розмноження піднімаються так звані **напівпрохідні** та **прохідні риби**, нерестові ділянки яких знаходяться на відстані декількох сотень або тисяч кілометрів від основного місця їх існування. Після розмноження відбувається приплив молоді риб (личинок, цьоголіток) у лимани та моря, що постійно поповнює їх запаси. Особливу роль відігравали річкові екосистеми до їх зарегулювання у відтворенні найцінніших промислових риб — осетрових, а на Далекому Сході — лососевих. Подібну роль виконують річки у системі великих озер.

Озерні екосистеми мають різні масштаби: від незначних (1—2 га) до кількох сотень квадратних кілометрів. Біогеоценотична **вертикальна зональність** проявляється в озерах помірних широт. У водній масі — пелагіалі виділяють три горизонти: поверхневий горизонт (5—8 м), де відбувається активний фотосинтез (**епілімніон**), середній горизонт (8—14 м), де фотосинтез загальмовується (**металімніон**) і нижній горизонт (від 14—15 до максимальних глибин), де фотосинтез припиняється (**гіполімніон**). В епілімніоні вода влітку добре прогрівається й перемішується; біомаса здебільшого представлена продуцентами та консументами. Металімніон являє собою перехідну екологічну зону з переважанням консументів. У гіполімніоні автотрофні організми відсутні, гетеротрофна частина біоценозу збіднюється і стає одноманітнішою з переважанням редуцентів.

У **латеральному плані** озерні екосистеми поділяються на **супраліторальну**, **літоральну** та **профундальну зони**, де мешкають, відповідно, напівводяні макрофіти, занурені макрофіти та плаваючі мікрофіти.

Озерні екосистеми характеризуються високою біологічною продуктивністю та створенням значних запасів води, яка

інтенсивно використовується у водному балансі наземних екосистем.

У прісноводних водоймах розвиваються напівводні організми: від прибережних фітоценозів до напівводяних і водно-болотних угруповань тварин, які використовують прісноводні екосистеми на різних етапах свого індивідуального розвитку (розмноження, нагул), формуються **механізми міжекосистемного обміну речовиною та енергією**, функціонально пов'язуючи водні та наземні екосистеми. Таким чином, прісноводні водойми відіграють важливу функціональну роль в утворенні механізмів міжекосистемних зв'язків між наземними та водними екосистемами, у формуванні вологостійкого режиму, багатого біорізноманіття в континентальних водоймах, у створенні сприятливих умов середовища для існування напівводяних і наземних водно-болотних рослин і тварин, утворенні потужного стоку водних мас із вмістом речовин, відтворенні запасів напівпрохідних і прохідних риб для лиманних і морських екосистем.

Морські екосистеми. Подібний розподіл у морських екосистемах обумовлений розмежуванням по вертикалі та латералі. У товщі води формуються умови для існування планктонних організмів. Група **планктонних організмів** найбільша за кількістю видів, виконує провідну роль у продукційному процесі. Планктон складається з рослинних (фітопланктон) і тваринних організмів (зоопланктон), не здатних до самостійного руху або малорухомих. Основна маса фітопланктону зосереджена у поверхневому 50—80-метровому шарі води океанів і морів, куди проникає необхідне для фотосинтезу сонячне світло. На глибині близько 200 м світла недостатньо для існування фітопланктону.

Поверхня води завдяки дії молекулярних сил утворює плівку зі щільністю, яка деяким організмам дозволяє користуватися нею як твердим субстратом. Такі організми утворюють так звані **плейстон** і **нейстон**. До першої групи відносяться напівводяні форми, які мають на тілі газові пухирі — пневматофори, що дозволяє їм рухатись активно або пасивно (за допомогою вітру) по поверхні води (фізаліси, деякі черевоногі молюски). До другої групи належать організми, що мешкають на поверхні води (морські комахи — клопи галобатеси, які бігають по поверхні води), до третьої — різноманітні організми, які мешкають безпосередньо під поверхнею води (гілки водоростей, саргасові водорості, личинки та ікра кефалі, анчоусів, саргана, плаваючий краб — порнутус, різні веслоногі та рівноногі ракоподібні).

6.4. Роль фітоценозу в екосистемах

Фітоценоз — невід’ємна частина кожної екосистеми. Фітоценоз включає на певній території всі види вищих і нижчих рослин, здатних до фотосинтезу (з яких абсолютна більшість представлена автотрофними організмами). Фітоценоз — єдиний компонент — утворювач органічної речовини та головний накопичувач енергії, за рахунок якої існують гетеротрофні організми.

6.4.1. Роль фітоценозу у наземних екосистемах

Біогеоценотична роль фітоценозу. Головний продукт існування фітоценозу — його фітомаса, яка порівняно з іншими компонентами екосистеми має найскладніший, різноманітний і специфічний характер, визначаючи явища планетарного масштабу і займаючи центральне положення у системі біогеоценотичних компонентів і трансформації енергії та речовин на земній поверхні. Біогеоценотична роль фітоценозу включає:

- поглинання з інших компонентів екосистем різноманітних речовин і енергії, утворення на їх основі органічної речовини;
- виділення у довкілля продуктів своєї життєдіяльності (O_2 , CO_2 , H_2O тощо) і частини енергії у процесі дихання, транспірації та інших виділень (ароматичних речовин тощо);
- повернення частини поглинутих речовин і енергії через опад і розклад його;
- утворення умов для існування інших компонентів біоценозу.

Через синтез зеленими рослинами органічних речовин, ріст тіла, їх дихання, поглинання мінеральних речовин і вологи, транспірацію фітоценоз прискорює, розширює й ускладнює міграцію речовин та енергії на поверхні Землі, утворює нові ланцюги матеріально-енергетичних перетворень, біологічний кругообіг, формує нові природні процеси (грунтоутворення, газоутворення), фітоклімат, зменшує ентропію сонячної радіації у космічний простір, забезпечує життєдіяльність гетеротрофів (зооценозу, більшості видів мікробіоценозу), перебудовує характер зв’язків між компонентами біогеоценозу.

Уся біомаса автотрофних організмів (фітомаса) суходолу складає 1725—1769 млрд т сухої речовини, утворює за рік 120 млрд т чистої первинної продукції. У перерахунку на сумарну площу Землі в середньому становить 8,15 т (3,0—11,0)

сухої речовини на 1 га. Головна кількість припадає на долю фітомаси лісів — 1509 млрд т, або 85 % усієї маси рослинного світу (табл. 6.2).

Таблиця 6.2.

Фітомаса суходолу та її річна продукція (Рябчиков, 1972)

Групи типів рослинності	Річна продукція фітомаси		Жива фітомаса		Відношен- ня річної продукції до біомаси
	загальна, т сухої маси	т/га	загальна, т сухої маси	т/га	
Тропічні ліси	$45,0 \cdot 10^9$	30	$750 \cdot 10^9$	500	0,06
Ліси помірної зони	$25,3 \cdot 10^9$	10	$759 \cdot 10^9$	300	0,03
Чагарники та дрібнолісся	$13,0 \cdot 10^9$	10	$130 \cdot 10^9$	100	0,10
Трав'янисті асоціації (стеги, луки, савани)	$17,5 \cdot 10^9$	9	$58,5 \cdot 10^9$	30	0,30
Польові культури	$6,0 \cdot 10^9$	5	$6,6 \cdot 10^9$	6	0,91
Сади та рослинність по узбіччях полів і шляхів	$7,0 \cdot 10^9$	10	$35,0 \cdot 10^9$	50	0,20
Рослинність напівпустель, пустель і тундр	$6,0 \cdot 10^9$	2	$30,2 \cdot 10^9$	10	0,20
Рослинний покрив усього суходолу	$120,0 \cdot 10^9$	0,55	$1770 \cdot 10^9$	8,15	—

Простежується велика роль фітоценозу і в утворенні первинної продукції в лісах: 58 % усієї річної рослинної продукції, або 40 % сумарної річної продукції всіх фотосинтезуючих організмів біосфери. Найменшою продукцією (у середньому 2 т/га сухої речовини за рік) характеризуються напівпустелі, пустелі, тундри та високогір'я.

Головна особливість фітоценозу наземних екосистем у продукційному процесі — поступове накопичення живої біомаси протягом року (у трав'янистої рослинності) або протягом багатьох років (у деревної та чагарникової рослинності). Тому жива біомаса фітоценозу в наземних екосистемах перевищує його річну продукцію у багато разів: у різних відкритих ландшафтах — у 3—5 разів, у лісових екосистемах — у 10—30 разів (відношення продукції до біомаси дорівнює відповідно 0,20—0,30 і 0,03—0,06).

Головна особливість фітоценозу у продукційному процесі і формуванні фітомаси та, що його жива **біомаса накопичується поступово.**

Рослинний світ біосфери у процесі фотосинтезу виділяє близько 430—470 млрд т кисню, на долю наземного фітоценозу припадає 394—434 млрд т, або 91,6—92,6 % усієї кількості O_2 .

Якщо процес утворення первинної продукції — позитивна частина у балансі органічної речовини, то **дихання** — навпаки. При диханні рослин виділяється енергія у вигляді тепла. Вивільнення енергії при диханні рослин відбувається поступово і може бути використане на пов'язаний із диханням біосинтез. Головну роль у перенесенні енергії у процесі дихання відіграє система макроергічних фосфатних зв'язків. Енергія дихання необхідна також для активного поглинання коренями рослин води та мінеральних елементів. Процес дихання рослин, на відміну від фотосинтезу, не має спеціалізованого органа для свого здійснення. У диханні беруть участь усі живі тканини, але з різною інтенсивністю.

Рослинність наземних екосистем — важлива дієва сила у перерозподілі атмосферних опадів, яка послаблює, а у ряді випадків навіть повністю запобігає ерозійному процесу, сприяє гальмуванню утворення ярів. Рослинність відкритих ландшафтів оптимізує температурний режим довкілля, зменшує випаровування та послаблює негативний вплив вітрів.

Значну роль відіграє фітоценоз у забезпеченні кругообігу води, зменшує винесення мінеральних речовин із ґрунтів, очищає стокові води від різних домішок. У процесі транспірації фітоценоз виділяє в атмосферу найчистіші пари води.

В умовах посиленого техногенного впливу на довкілля фітоценози (особливо у лісових екосистемах) запобігають забрудненню атмосфери, зменшують відкладення пилу та інших забруднювачів на поверхню ґрунту. Вуглекислота, яка надходить у довкілля в результаті виробництва промислових підприємств, значною мірою використовується рослинами, що сприяє оптимізації її вмісту в атмосфері. У процесі фотосинтезу та дихання рослин здійснюється активний кругообіг вуглекислоти та кисню, а за допомогою мікроорганізмів і ґрунтової фауни забезпечується кругообіг нітрогену. Природна лісова, лучна та степова рослинність виконує важливу водоохоронну та ґрунтозахисну функцію, тому потребує всебічної охорони для збереження довкілля.

Із вищезазначеного можна усвідомити надзвичайну роль фітоценозу у наземних екосистемах і вплив різних рослинних асоціацій на довкілля. Це важливо для розробки заходів щодо спрямованого його формування (особливо у порушених екосистемах) та оптимізації.

6.4.2. Роль фітоценозу у водних екосистемах

Головну роль у формуванні первинної продукції у водних екосистемах відіграють одноклітинні водорості — фітопланктон. На долю вищих рослин припадає незначна частина, помітна лише у прісноводних водоймах у прибережній зоні та на мілководдях. Розповсюдження фітопланктону залежить від властивостей водойм, обумовлених наявністю течій, і глибини. Течії розносять фітопланктон на значні відстані, а глибини визначають інтенсивність фотосинтезу залежно від освітлення.

У той же час формування біомаси фітопланктоном не викликає її значного накопичення. По-перше, як було зазначено, через постійну зміну його просторового розподілу, а по-друге — через короткий термін його існування та інтенсивне споживання консументами. *Продуктивність фітопланктону перевищує його фітомасу у сотні разів.* За даними В. Г. Богорова (1974), продукція фітопланктону за рік у Світовому океані перевищує загальну його біомасу у 367 разів (табл. 6.3): водорості розмножуються щоденно. Якщо загальна біомаса фітопланктону у Світовому океані складає лише 1,5 млрд т, то його продукція сягає 550 млрд т.

Таблиця 6.3.
Біомаса та продуктивність рослинності Світового океану
(Богоров, 1974)

Водорості	Загальна біомаса, млрд т	Річна продукція, млрд т	Відношення річної продукції до біомаси
Фітопланктон	1,5	550	366,7
Фітобентос	0,2	0,2	1,0
Усього	1,7	550,2	323,6

Відносно фітопланктону фітобентос значно поступається біомасою й особливо продуктивністю. За рік показники продукційного процесу близькі до показників наземних екосистем. Загальна фітомаса морських екосистем складає 1,7 млрд т, а річна продукція — 550,2 млрд т. Порівняно з біомасою водної рослинності Світового океану її споживачі (різні консументи) складають 31,5 млрд т, що перевищує її запаси приблизно у 18 разів. Це пояснює відсутність постійного її накопичення, а консументи існують за рахунок значної продуктивності фітопланктону. Швидкість деструкції фітопланктону обумовлюється значним перевищенням продукції редуцентних бактерій порівняно з фітомасою планктону (у 46,6 раза).

У результаті впливу різних кліматичних і гідрологічних чинників високопродуктивні за фітопланктоном зони займають близько 10 % акваторії Світового океану, за фітобентосом — до 1 % площі дна. У районах із високою продуктивністю фітопланктону утилізація сонячної енергії складає 0,33 %, із бідною продуктивністю фітопланктону — лише 0,02 %. Середня величина утилізації сонячної енергії фітопланктоном океану дорівнює приблизно 0,04 %.

Найбільшим багатством і різноманіттям відзначається продуктивність фітопланктону в умовах **материкових мілин або в шельфових областях** океану з глибинами до 200 м. Вода тут добре перемішується, містить значну кількість поживних речовин і найбільше пронизується сонячним світлом. Бурі та червоні водорості формують зарості, в яких утворюються умови для заселення їх великою кількістю різноманітних тварин.

Зі збільшенням глибин різко припиняється продуктивність фітопланктону. В **абісальній зоні** вона повністю відсутня. Тварини та бактерії тут існують за рахунок мертвого органічного опаду та організмів, що потрапляють сюди з верхніх горизонтів, у тому числі і фітопланктону.

Значна продукція фітопланктону становить базу для формування продукції зоопланктону (53 млрд т), зообентосу (3 млрд т) і нектону (6,2 млрд т), які у свою чергу формують продукцію вищих консументів (в основному — рибні ресурси).

Рослинність водних екосистем — важливий фактор створення умов для існування інших компонентів як у водних, так і — через утворення трофічної піраміди — у навколоводних наземних екосистемах.

Інтенсивність продукційного процесу залежить також від сезону, стоку річок, наявності льодового покриву, географічного поширення (рис. 6.3).

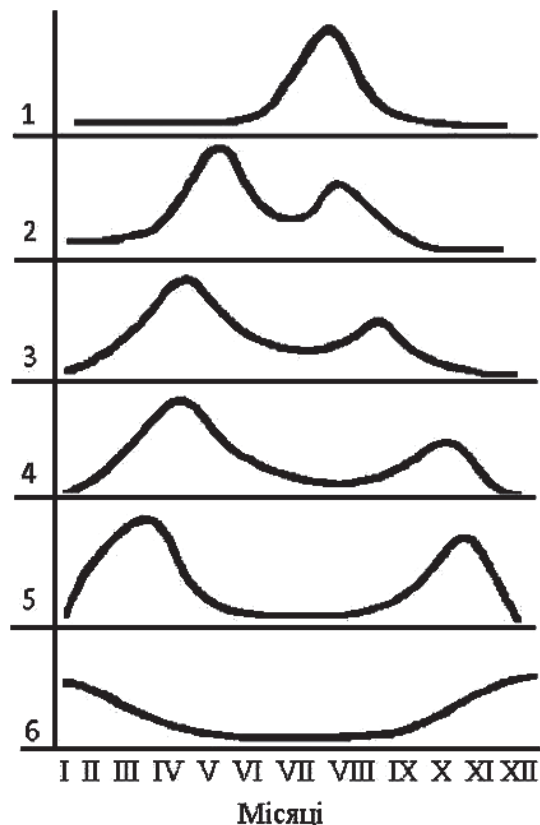


Рис. 6.3. Сезонні зміни кількості фітопланктону на різних широтах (Богоров, 1969): 1 — високоарктичні полярні моря, 2 — південна частина полярних морів, 3 — північна частина бореальних морів, 4 — південна частина бореальних морів, 5 — субтропічні моря, 6 — тропічні моря; вертикальний масштаб умовний

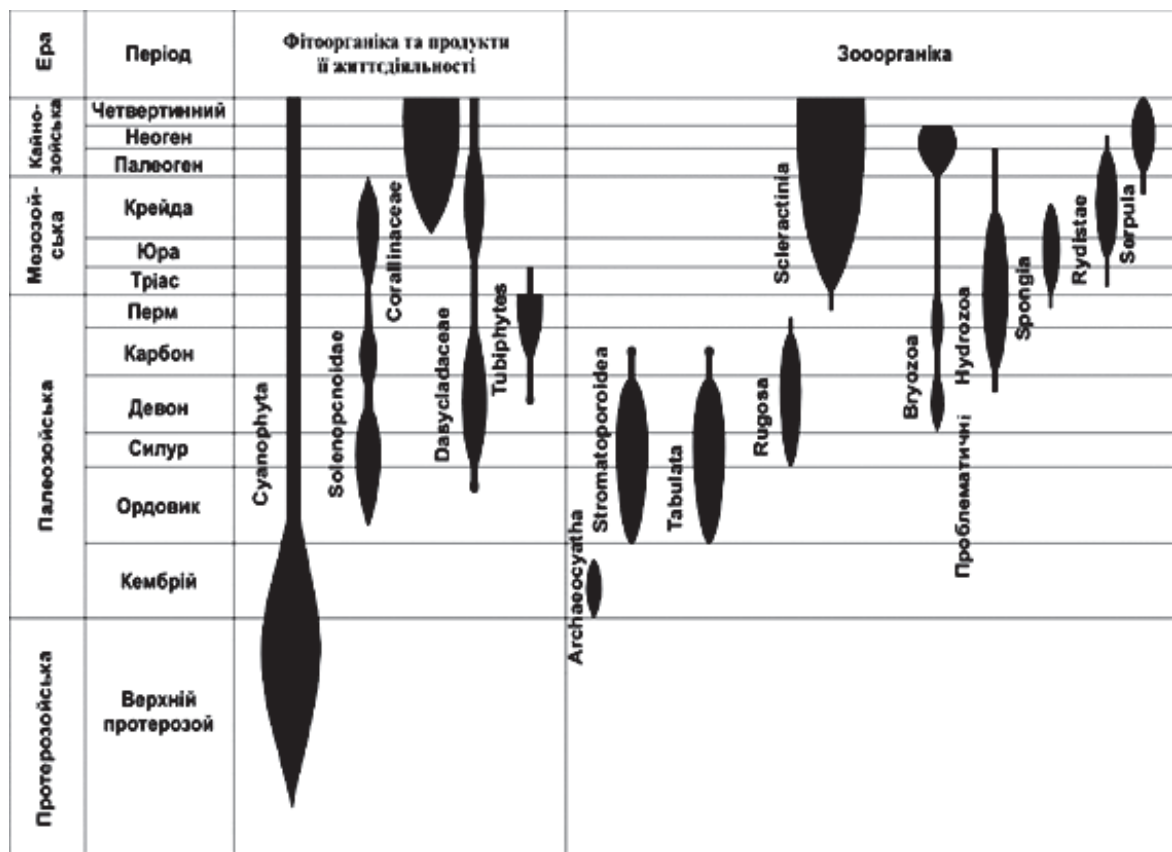


Рис. 6.4. Схема еволюції головних біотичних «будівників» органо-генних «будівель» (Осадча, Краснов, 1977)

У процесі первинного продукування Світового океану до біосфери надходить понад 36 млрд т кисню. У процесі мінерального живлення до кругообігу залучається до 4 млрд т нітрогену, 0,5 млрд т фосфору та 1,2 млрд т заліза.

Значну функціональну роль фітопланктон океану відіграє в утворенні донних відкладень. Геологічними та палеонтологічними дослідженнями встановлено, що між еволюцією рослинних організмів та біогенним накопиченням донних відкладів океану існує залежність. У докембрійський період головна роль в утворенні донних відкладів належала одноклітинним рослинним організмам. Ці відклади (особливо на ранніх етапах еволюції) відіграли певну роль у формуванні земної кори.

У минулі часи у процесі еволюції такі систематичні групи, як *Cyanophyta*, своїми продуктами метаболізму відігравали особливо значну роль в утворенні органогенних порід у верхньому протерозої та у кембрії (рис. 6.4). Потім, із першої чверті ордовіка до кінця крейди, відчутну роль почали відігравати інші групи. Нині особливу активність в утворенні осадових порід виявляють представники червоних водоростей родини *Corallinaceae* (із початку крейдового періоду) та з незначною інтенсивністю — уже згадані *Cyanophyta* й зелені водорості родини *Dasycladaceae*.

Також велике значення в утворенні підводних рифів мають вапняні водорості. Вони цементують окремі колонії коралів, черепашки молюсків, інші скелети тварин в єдиний масив. Ті ж *Corallinaceae*, які нині представлені родом літотамініум, виділяють вапно і самостійно утворюють рифи.

Таким чином, рослинні організми Світового океану — важливий функціональний елемент в утворенні первинної продукції автотрофів, збалансуванні кисневого вмісту водного та наземного середовищ, здійсненні масштабного біологічного кругообігу, формуванні основи для трофічної піраміди та формуванні необхідних умов для вторинної продуктивності океану, утворенні умов існування водних і навколоводних консументів, водних редуцентів, породотвірних процесів на планеті.

У прісних континентальних водоймах (особливо лімно-подібного типу) спостерігається подібна функція фітопланктону та фітобентосу, яка відіграє, разом із бактеріями, значну роль в утворенні первинного трофічного ланцюга для личинок і молоді риб, і риб-фітопланктонофагів. Значнішої ролі у прісних водоймах набувають мілководні зарості макрофітів (напівзанурені та занурені) — особливо як природна кормова база для багатьох видів консументів.

6.5. Роль мікробоценозу в екосистемах

Мікроорганізми — один із важливих функціональних компонентів, які виконують функцію редуцентів і консументів (паразитичні форми), входять до складу біоценозу. Вони відіграють значну роль в утворенні складних трофічних ланцюгів, зокрема у поєднанні біологічного кругообігу, перетворюючи органічні рештки на неорганічні у складному редукційному чи мінералізаційному процесі. До складу мікробоценозу включають віруси, бактерії, актиноміцети, гриби, водорості та найпростіших тварин.

6.5.1. Роль бактерій у наземних екосистемах

У формуванні та життєдіяльності наземних екосистем важливу роль виконують мікроорганізми. Мікробний ценоз — найбільша одиниця класифікації мікробних угруповань. Мікробний ценоз ґрунту в ієрархії біологічних систем можна розглядати як систему нижчого рангу у рамках системи вищого рангу — біогеоценозу.

Великий вклад у розробку вчення про ґрунт зробили В. В. Докучаєв, П. А. Костичев, С. М. Виноградський, В. Р. Вільямс та інші. Засновником ґрунтової мікробіології

по праву вважається С. М. Виноградський. Він довів, що родючість ґрунту визначається наявністю не лише неорганічних і органічних речовин, а й діяльністю різних видів мікроорганізмів, які зумовлюють якісний склад ґрунту.

Серед природних середовищ ґрунт — найпридатніше утворення для розвитку організмів мікроскопічних розмірів (прокаріотичних та еукаріотичних). Його хімічний і фізико-хімічний стан регулюють чисельність і видовий склад мікробних біоценозів, до яких входять бактерії, гриби, найпростіші та бактеріофаги. Але ґрунт — не тільки середовище існування, а й продукт життєдіяльності мікроорганізмів.

Виділяють **три фази ґрунту: тверду, рідку** (ґрунтовий розчин) і **газоподібну** (ґрунтове повітря). Кожна з них — екологічна ніша для формування мікробного угруповання певного складу. Співвідношення цих трьох компонентів у ґрунтах різних типів визначають якісний склад мікробного біоценозу. Ґрунтове повітря містить певну кількість газів, що забезпечує розвиток **аеробних, факультативних анаеробних** чи **анаеробних** мікроорганізмів. Для твердої фази ґрунту характерна певна температура, що визначає розвиток **психрофільних, мезофільних і термофільних** мікроорганізмів. Насиченість органічними та мінеральними речовинами забезпечує переважний розвиток **гетеротрофів** або **літотрофів**. Підвищені концентрації солей у ґрунтовому розчині забезпечують сприятливі умови для розвитку **галофільних** бактерій.

Верхні шари ґрунту містять більше органічних речовин, ніж нижні, тому і насиченість мікроорганізмами (особливо гетеротрофами) в них значно більша. На глибині 5—15 см (верхній шар ґрунту) виявляється понад 10^6 мікробних клітин у водному грамі ґрунту. У глибоких шарах (понад 1,5 м) трапляються поодинокі мікробні клітини. Вони знаходяться і в артезіанській воді, в родовищах нафти (де здатні асимілювати парафіни), в інших родовищах корисних копалин.

Для мікроорганізмів ґрунту характерна **зональність** не тільки при переміщенні з верхніх у більш глибокі шари. Вони **розміщені у вигляді невеличких колоній в окремих зонах** і не утворюють суцільної мікробної плівки. Певні мікроорганізми розташовуються на поверхні ґрунтових агрегатів (тверда фаза), інші містяться всередині агрегатів, частина мікробів знаходиться у ґрунтовому розчині, у плівковій воді на поверхні агрегатів, у ґрунтових капілярах. Причому бактерії заселяють агрегати різних розмірів, а міцеліальні організми — стрептоміцети та гриби — опановують в основному великі за розміром агрегати, пронизуючи їх.

Динамічність і гнучкість мікробного ценозу забезпечує йому певну стійкість та надійне функціонування в умовах непо-

стійності абіотичних факторів середовища. Рухливість і гнучкість мікробного ценозу проявляється у **сезонних, місячних, добових і навіть внутрішньодобових коливаннях чисельності мікроорганізмів**. У процесі освоєння будь-якого субстрату, при зміні температури, вологості, хімічного складу ґрунту спостерігаються закономірні зміни кількості та якісного складу мікроорганізмів, спрямованості та напруженості мікробіологічних процесів.

Мікробний ценоз не має визначеної зовнішньої та просторових меж. Компоненти одного мікробного ценозу можуть накладатись на інші, створюючи складну структуру. Мабуть, тому у різних авторів, які досліджують мікробні ценози певних ґрунтів, наводяться приклади різних представників домінантних груп мікроорганізмів. На таксономічну структуру мікробценозу впливають значною мірою й абіотичні фактори, а саме техногенні полютанти, внесення мінеральних і біологічних добрив, кліматичні зміни тощо.

Мікроорганізми ґрунту — не інертна маса клітин. Вони є фондом біологічно важливих елементів живлення рослин, **джерелом поживних речовин** для багатьох представників ґрунтової фауни, акумулятором енергії у біогеоценозі, трансформатором речовин у природі.

У ґрунтах в основному **переважають сапрофітні мікроорганізми**, живлення яких забезпечується за рахунок розкладання решток відмерлих рослин і тварин. Між ними встановлюються симбіотичні відносини за типами **коменсалізму, мутуалізму, антагонізму**. **Паразитизм** характерний для патогенних мікроорганізмів. Для більшості патогенних видів ґрунт — несприятливе середовище, хоча збудники деяких інфекційних хвороб можуть виживати у ґрунті тривалий час (декілька місяців, а іноді й років). До таких мікроорганізмів відносяться збудники чуми, туляремії, бруцельозу, туберкульозу, холери, шигели дизентерії, сальмонели, черевного тифу. Трапляються у ґрунтах також паразити рослин і тварин.

Основне завдання **санітарного нагляду ґрунтів** — встановлення та оцінка фекального забруднення. Для цього у ґрунтах визначають чисельність санітарно-показових мікроорганізмів: наявність у ґрунті певної кількості *Escherichia coli* та *Enterococcus faecalis* вказує на свіже забруднення, бактерій родів *Citrobacter* і *Enterobacter* — на несвіже, а *Clostridium perfringens* — на давнє фекальне забруднення.

Таксономічна структура мікробного ценозу залежно від географічної зональності. Під таксономічною структурою мікробного ценозу розуміють склад мікробних угруповань ґрунтів на рівні видів, родів чи класів, їх чисельність і співвідношення. Для аналізу таксономічної структури мікробних біоценозів

дослідники часто застосовують ряд кількісних показників, що використовуються у загальній екології: частота виявлення видів, показники домінування, видового різноманіття, подібності тощо.

Таксономічна структура мікробних ценозів усіх без винятку ґрунтів представлена двома основними групами мікроорганізмів: **бактеріями** (у тому числі актиноміцетами) та **мікроміцетами** (мікроскопічними грибами). Однак за якісним складом і кількісним співвідношенням цих груп мікробні угруповання різних ґрунтів різняться. Можна виділити специфічні мікробні угруповання з відповідними для них типами ґрунтів:

- тундра — тундрово-глеєві ґрунти;
- тайга — глеєво-підзолисті (лісові) ґрунти;
- лісо-лучна зона — дерново-підзолисті ґрунти;
- лучний степ і степ — чорнозем;
- сухий степ — каштанові ґрунти;
- пустельний степ — бурозем і сірозем;
- напівпустеля — солонці.

Відповідно до теорії Є. М. Мішустина при переміщенні з півночі на південь збільшується чисельність мікроорганізмів і відбуваються перебудови мікробних угруповань. Для мікробних комплексів **північних ґрунтів**, бідних на органічні речовини, характерний **високий вміст неспороносних форм бактерій**: від сотень до мільйонів клітин у 1 г ґрунту.

У **бідних чорноземах** північної частини Європи також виявляється **багато неспороносних бактерій**. Серед домінантних форм дослідники відмічають представників родів *Pseudomonas*, *Bacterium* і *Micrococcus*, для деяких інших бідних північних чорноземів домінантною групою є **мікобактерії** (Гантимурова, 1974; Клебенська, Гантимурова, 1979). **Бацилярні** (споротвірні) форми бактерій трапляються у ґрунтах півночі у значно меншій кількості, ніж неспороносні бактерії. Найрозповсюдженіші види — *Bacillus agglomeratus*, *B. cereus*, *B. mycoides*. Трапляються також *B. virgulus*, *B. idosus* та інші.

До складу мікробних ценозів **північних ґрунтів**, окрім бактерій, входять також **актиноміцети та гриби**. Заслугує на особливу увагу група грампозитивних бактерій актиноміцетів, і зокрема рід *Streptomyces*. **Стрептоміцети** посідають суттєве місце у природних субстратах, оскільки відіграють важливу роль у формуванні ґрунтів, утворенні їх родючості, а також беруть участь у деструкції токсичних сполук — продуктів людської технологічної діяльності. Здатність стрептоміцетів до декомпозиції органічних речовин практично безмежна завдяки синтезу різноманітних ферментів, що розкладають деревину, лігнін, целюлозу, хітин, віск, смоли та мікробні клітини. У північних ґрунтах актиноміцети представлені

в основному *Streptomyces albus*, *S. griseus*, *S. candidus*, *S. sterilis*, *S. ruber*. Однак їх кількість невелика: від десятків до сотень тисяч КТО (колонієтвірних одиниць) на 1 грам ґрунту.

Щодо **мікроміцетів**, то у ґрунтах північної зони вони представлені невеликою кількістю (0,7—12 тис. клітин/г ґрунту) мікроорганізмів, серед яких переважають представники родів *Penicillium* і *Dematium*, інколи трапляються *Trichoderma*, *Mucor* та інші.

Бактерії роду *Azotobacter* трапляються у високородючих ґрунтах різних географічних зон. Але вони дуже чутливі до дефіциту вологи, тому в незрошувальних чорноземах, сіро-земах і каштанових ґрунтах розмножуються тільки навесні.

Із просуванням від північних ґрунтів до південних збільшується чисельність мікроорганізмів і змінюється їх якісний склад. Підвищення кількості бацил і стрептоміцетів у **південних ґрунтах** пояснюється їх здатністю утворювати спори та, завдяки цьому, переносити умови низької вологості, що часто виникають на півдні. Питома вага спороносних бактерій збільшується, хоча неспороносні бактерії родів *Pseudomonas*, *Bacterium* і *Mycobacterium* теж трапляються у великих кількостях.

Мікроміцети (мікроскопічні гриби) зменшують чисельність у південних ґрунтах, збільшуючи своє таксономічне різноманіття. У південних ґрунтах зменшується вміст мукорових грибів і триходерми. Пеніцили однаково рясно представлені у північних і південних ґрунтах, тоді як аспергили значно більше розповсюджені у південній географічній зоні.

Дріжджі — одноклітинні мікроскопічні гриби, які відрізняються малою чутливістю до низьких температур і високою потребою у зволоженні, тому трапляються всюди, де є відповідні умови. У північних районах вони знаходяться у тісному зв'язку з рослинами, у лісових біогеоценозах їх більше у підстилці (до 3 млн кл./г субстрату, виявляється до 17 видів) і на порядок менше у верхньому гумусовому горизонті (8—9 видів). У мікробних ценозах лісових ґрунтів вони відіграють важливу роль у процесах деструкції рослинного опаду. У лісових ґрунтах превалюють представники таких родів дріжджів, як *Candida*, *Cryptococcus*, *Lypomyces*. У Приазовському степу через низьку вологість кількість дріжджів не перевищує 0,5 тис. кл./г ґрунту. Крім указаних родів дріжджів, у степових чорноземах можуть зустрічатися також представники роду *Rhodotorula* (Баб'єва, Головльова, 1963).

Склад мікробоценозу ґрунтів достатньо лабільний, змінюється не тільки за географічною зональністю, а й залежно від пори року, наявних гідротермічних умов, глибини відбору зразків ґрунту, характеру рослинності, ступеня використання

ґрунтів у сільському господарстві, зрошення, внесення мінеральних і органічних добрив, інших факторів. Значний вплив на формування мікробоценозу справляє рослинний покрив. Ця дія проявляється залежно від ступеня розвитку кореневої системи та кількості опаду. Саме ці фактори відіграють вирішальну роль у формуванні якісного складу мікробоценозу.

Функціональна структура мікробоценозу. Під функціональною структурою мікробоценозу розуміють сукупність зв'язків між мікроорганізмами, що здійснюють різні функції у біогеоценозі, а також між ними та навколишніми біотичними й абіотичними факторами.

Уперше функціональну структуру мікробного біоценозу почав досліджувати С. М. Виноградський (1952). Він запропонував поділити ґрунтову мікрофлору на дві альтернативні за своїми функціональними властивостями групи — зимогенну та автохтонну мікрофлору. **Зимогенна мікрофлора** ґрунту опановує свіжу органічну речовину. **Автохтонна мікрофлора** розвивається за рахунок перегною. Окрему групу складають **автотрофні мікроорганізми**, здатні синтезувати біополімерні сполуки, використовуючи енергію світла (**фотоавтотрофи**) або енергію, що виробляється при окисненні хімічних речовин (**хемоавтотрофи**).

Уявлення про функціональну структуру мікрофлори ґрунту у різних авторів суттєво різняться. Існує багато підходів до розглядання структури мікробоценозів з погляду їх функцій. Можна розділити весь ценоз на **аеробів і анаеробів, автотрофів і гетеротрофів, сапрофітів і паразитів** із подальшим поділом відповідно до джерела енергії, утворення ферментів, здатності до розкладу або синтезу тощо.

Мікроорганізми становлять найрізноманітнішу групу щодо використання зовнішніх енергетичних ресурсів та сполук Карбону, Нітрогену, Фосфору, а також інших хімічних елементів для біосинтетичних процесів. Згідно з сучасними уявленнями, для мікроорганізмів, зокрема ґрунтових, подібно до всіх живих істот, відомі **три типи зовнішніх енергетичних ресурсів**: електромагнітне випромінювання, енергія реакцій окиснення неорганічних сполук, енергія окиснення органічних сполук. Відповідно до способу отримання енергії виділяють три основні групи мікроорганізмів: *фототрофи*, *літотрофи*, *гетеротрофи*.

Фототрофи використовують електромагнітну енергію видимого світла і представлені п'ятьма основними групами фотосинтезуючих анаеробних бактерій: **сірчані та несірчані пурпурові бактерії, сірчані та несірчані зелені бактерії**, а також **галобактерії**. Крім того, до групи фототрофів відносяться **ціанобактерії, водорості та зелені рослини**.

Відомі два типи фотосинтезу: окисигенний та аноксигенний. **Окисигенний фотосинтез** характерний для вищих рослин, водоростей і ціанобактерій. Джерелом відновних еквівалентів у вигляді протонів і електронів є вода, яка перетворюється до кінцевого продукту — кисню, що виділяється у навколишнє середовище. **Аноксигенний фотосинтез** характерний для пурпурових і зелених бактерій. Він відбувається в анаеробних умовах і не пов'язаний із виділенням кисню; донор протонів і електронів — неорганічні та органічні сполуки.

Як **системи уловлювання світлової енергії** виступають пігменти, що поглинають світло. Набори цих пігментів специфічні для кожної групи фотосинтезуючих організмів. У рослин, водоростей і ціанобактерій це хлорофіл, у пурпурових та зелених бактерій — бактеріохлорофіл. Усі хлорофіли поглинають світло у видимій та інфрачервоній частині спектра (300—1100 нм). У ціанобактерій зустрічаються червоні та сині пігменти — фікобіліпротеїди. Каротиноїди являють собою додаткові пігментні системи, які уловлюють світло в синьо-зеленій області спектра і запобігають фотоокисненню хлорофілу.

Літотрофи (неорганотрофи, хемолітотрофи, хемосинтетики) отримують енергію при окисненні неорганічних речовин. Цей спосіб одержання енергії зустрічається винятково у бактерій. Бактерії отримують енергію шляхом окиснення водню, азоту, сірки, заліза, а іноді і за рахунок окиснення CO до CO_2 . До літотрофних бактерій відносяться **водневі, нітрифікувальні, тіонові (сірчані), залізобактерії та карбокси-добактерії**. Більшість із них пристосовані до наземних субстратів, зокрема ґрунтів.

Гетеротрофи — найрізноманітніша група живих організмів, до якої, крім тварин, відносяться гетеротрофні бактерії. Гетеротрофні бактерії — найчисленніша група мікроорганізмів. Вони значно поширені у біосфері, входять до складу різних біоценозів: ґрунту, води, повітря, організму рослин, тварин, людини тощо. Будь-яка органічна речовина може бути для них субстратом, однак утилізація певних сполук вимагає наявності додаткових специфічних ферментних систем. Поряд із цим, основні реакції утилізації субстратів збігаються з магістральними шляхами деградації трьох класів найважливіших біополімерів: білків, ліпідів і вуглеводів.

Залежно від способу отримання енергії та типу метаболізму, що забезпечується наявністю певних ферментних систем, ґрунтові мікроорганізми можуть виконувати різні функції: **розкладати органічні та окиснювати (або відновлювати) неорганічні речовини, сприяти формуванню гумусу, фіксації атмосферного нітрогену, продукувати біомасу, здійснювати**

конверсію енергії тощо. Далі детальніше розглянемо функції мікрофлори ґрунтів.

Редукційна роль. Необхідну енергію для будівництва клітин і фізіологічних процесів бактерії отримують при окисненні (аероби) та бродінні (анаероби) різних речовин. Завдяки бактеріям у ґрунті відбуваються різноманітні процеси перетворення речовин (мінералізація та синтез). Ці процеси здійснюються бактеріями шляхом послідовних і щільно пов'язаних між собою реакцій. Виділяючи у процесі реакцій різні ферменти, бактерії розкладають складні органічні речовини до простіших, які використовуються як мікроорганізмами, так і рослинами. У зв'язку з цим, велика роль бактерій полягає у постачанні до рослин елементів живлення. У природних умовах більша частина поживних речовин знаходиться у недоступних рослинам складних органічних і мінеральних сполуках. Бактерії мінералізують органічні речовини і поступово переводять завдяки утворенню кислот і CO_2 важкорозчинні мінеральні сполуки у легкозасвоювану форму.

При розкладанні органічних речовин у ґрунті спостерігається **поступова зміна мікрофлори**. На початку найбільшу активність виявляють **неспороносні бактерії та гриби**, які швидко розмножуються. Домінантна роль **споротвірних бактерій і актиноміцетів** починається на пізніших стадіях розкладання, вони мають потужніший ферментативний апарат і здатні до засвоєння стійкіших форм органічних сполук.

У лісових екосистемах розкладання органічних сполук особливо інтенсивно відбувається у підстилках, а також у верхньому шарі ґрунту, де сконцентрована основна маса органіки. Частина поживних речовин, що переробляються бактеріями, іде на побудову їх клітин. Після смерті бактерій вони розкладаються і знову перетворюються на сполуки, доступні рослинам. Отже, мінералізуючи мертвий опад (в основному підстилку), бактерії виступають активним функціональним компонентом ґрунотвірних процесів, особливо **сприяючи утворенню гумусу**. Редукційна роль бактерій полягає також у руйнуванні шкідливих продуктів життєдіяльності рослин, відмерлих часток рослин, трупів різноманітних тварин і токсичних речовин. Цим певною мірою виконується санітарна функція та очищення довкілля.

Процеси, які здійснює мікробоценоз у ґрунті, характеризуються певними особливостями.

Розкладання нітрогеновмісних сполук відбувається у процесі амоніфікації білків, сечовини, сечової та гіпурової кислот. Із відмерлими рештками рослин і тварин до ґрунту надходить значна кількість органічної речовини. Вона постійно

розкладається на простіші сполуки з утворенням амонію. Розкладання білків здійснюється амоніфікуючими бактеріями, актиноміцетами та грибами. Цей процес відбувається як в анаеробних, так і в аеробних умовах. У першому випадку беруть участь в основному бактерії. Розкладання сечовини здійснює численна група бактерій — уробактерії. Гіпурова кислота розкладається як бактеріями, так і грибами. Хітин мінералізується неспоровими бактеріями, актиноміцетами, мікобактеріями та грибами. При цьому утворюється глюкоза та оцтова кислота, які використовуються як джерело Карбону.

Розкладання безнітрогенових органічних речовин. Розклад клітковини здійснюють в основному аеробні целюлозоруйнівні мікроорганізми: міксобактерії (*Cytophaga*, *Polynigium*, *Mixococcus*), вібріони (*Celvibrio*, *Cellfalcicula*), гриби (*Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* тощо), а також шапинкові гриби та актиноміцети (*Actinomyces cellulosa*, *A. violaclus*, *Proactinomyces cyrophaga*) і багато інших. Розкладання целюлози починається з її гідролізу під впливом ферменту целюлази, що виділяється мікробними клітинами назовні.

Пектинові речовини — складні сполуки рослин, які через ряд послідовних стадій розкладаються мікроорганізмами до вуглекислоти та води. Активну участь у цьому процесі беруть анаероби (*Clostridium*) й аероби (*Bacillus macerans*, *B. subtilis* та інші). Доволі енергійно розкладають пектинові речовини також гриби (*Mucor*, *Aspergillus*, *Cladosporium*).

Розкладання цукрів (моно- та дисахаридів), крохмалю та органічних кислот здійснюється різноманітними мікроорганізмами, серед яких спостерігаються спеціалізовані деструктори (*Clostridium*, *Endosporus*, *B. cereus*). Багато бактерій, які розкладають клітковину та пектини, здатні мінералізувати також крохмаль. Такі властивості мають і азотобактерії.

Редуценти жирів — неспороутворюючі бактерії, гриби *Penicilium*, *Aspergillus* і багато актиноміцетів.

Окиснення мінеральних сполук. Нітрифікація. Амоній, який утворюється при розкладанні органічних нітрогеновмісних сполук, зазнає подальшого окиснення: спочатку до азотистої кислоти, потім до азотної. Цей процес — результат послідовних дій двох груп мікроорганізмів: до першої належать різні види роду *Nitrosomonas*, до другої — бактерії роду *Nitrobacter*. Всі нітрифікувальні бактерії — аероби, більшість із них — автотрофи (Виноградський, 1952).

Окиснення сірководню, який утворюється при розкладанні білків сірки, викликається своєрідними мікроорганізмами — сіркобактеріями. Утворена ними сірчана кислота сприяє переведенню важкорозчинних сульфатів у розчинні сполуки,

завдяки чому кількість мінеральних сполук, доступних для рослин, зростає, покращуються умови їх живлення.

Відновлення мінеральних речовин. Денітрифікація. Процес денітрифікації викликається в основному факультативними денітрифікуючими бактеріями (*Bacillus stuuzei*, *B. denitrificans*). Вони використовують кисень нітратів для окиснення органічних речовин, відновлюючи азотну кислоту до азотистої або до N_2 .

Десульфолофікація проходить при одночасному руйнуванні органічних речовин, із яких мікроорганізми отримують енергію. При цьому як кінцеві продукти утворюються сульфіди, розкладання яких призводить до зменшення кислотності ґрунтів.

Засвоєння атмосферного нітрогену. Біологічна фіксація — один з основних процесів, які відбуваються у ґрунті. Роль нітрогенфіксуючих організмів дуже важлива. Дослідниками доведено, що кількість нітрогену лише з вільноживучих фіксаторів нітрогену на сучасних полях майже дорівнює кількості цього елемента, що вноситься з добривами. Американські дослідники підраховали, що за рахунок внесення органічних добрив у ґрунт надходить 2,60 млн т нітрогену; за рахунок мінеральних добрив — 0,48 млн т; із дощами — 3,57 млн т; у результаті життєдіяльності вільноживучих нітрогенфіксуючих бактерій — 4,37 млн т, завдяки життєдіяльності симбіотичних бактерій — 5,46 млн т.

Мікроорганізми також беруть участь у **перетворенні сполук фосфору** шляхом перетворення їх на солі фосфатної кислоти, переведення сполук заліза у розчинний стан. Важливу роль відіграють бактерії у руйнуванні силікатів і вивільненні з них калію (*Bacillus mucilanginosus*). Значна роль в утворенні CO_2 належить мікроорганізмам ґрунту та ризосфери. Розкладаючи органічні речовини, мікроорганізми постійно поповнюють вуглекислим газом атмосферу. Г. Люндергард (Ludergard, 1924) вважає, що $2/3 CO_2$, який знаходиться у ґрунті, утворюється бактеріями, а $1/3$ — коренями рослин.

Продукційна роль. Мікроорганізми мають велике значення у продукційному процесі. Серед них відзначають більшість гетеротрофів, певну кількість літотрофів і незначну — авто-трофів. Чисельність бактерій величезна. Вона залежить від конкретних умов: температури, вологості, кількості органічних і мінеральних речовин тощо. Вона може коливатись від десятків тисяч до мільйонів клітин на грам ґрунту. Біомаса мікроорганізмів складає значну величину. За даними різних досліджень, вона може коливатись від 0,1 до 8 т/га залежно від типу ґрунту. За іншими даними — 0,7—2,4 т/га. Загальна біомаса мікроорганізмів складає 0,03—0,28 % маси ґрунту. Біомаса грибів коливається в межах 1,0—1,5 т/га, актино-

міцетів — 0,7 т/га. Біомаса актиноміцетів і грибів складає 2—8 % загальної маси мікроорганізмів у ґрунті.

Біомаса мікроорганізмів являє собою активну живу речовину з величезною потенцією перетворення речовин і енергії. Головна маса мікроорганізмів (понад 99 %) сконцентрована у поверхневих шарах ґрунту, у найактивнішому горизонті для розвитку фітоценозу. Накопичення біомаси мікроорганізмів протягом тривалого часу не відбувається. Вона постійно змінюється приростом. Життя бактерій триває від 2—3 годин, іноді до 2—3 діб. Відношення продукції бактерій до їх біомаси складає 1000—1500. Величезна продуктивність і біомаса — первинна основа для живлення ґрунтових найпростіших і мікроартропод — важливих функціональних елементів у ґрунтовому та підстилковому блоках екосистем.

6.5.2. Роль бактерій у водних екосистемах

Вода — ідеальне середовище для заселення мікроорганізмами. Вона — найкращий розчинник для більшості біологічно важливих речовин (кисню, двоокису Карбону, неорганічних солей та органічних сполук). Унаслідок цього водне середовище **значно менш гетерогенне** за умовами, ніж ґрунт.

Більша частина води на Землі міститься в морях і океанах. Прісна вода складає малу частину всієї води, більша її частина зв'язана у вигляді полярних льодів. Із прісних середовищ найпридатніші для життя ґрунтові води, внутрішні озера, річки, атмосферна вода. До водних екосистем відносять **різноманітні водойми**: прісні та солоні озера, ставки, річки, болота, води морів та океанів, гарячих гейзерів тощо. За умовами вони розрізняються. Це можуть бути **солоні та прісні, прозорі та мутні, мілкі та глибокі, стоячі та проточні, гарячі та льодяні водойми**.

Кількісний і якісний склад мікробоценозів водойм залежить від безлічі факторів: **хімічного складу води** (вмісту органічних і неорганічних речовин), **температури, кислотності, насиченості киснем і вуглекислим газом, глибини, швидкості течії, сонячного випромінювання, флори та фауни, надходження стічних вод тощо**. Обмежувальними факторами для розвитку водної мікрофлори на поверхні води є ультрафіолетове випромінювання сонця, на глибині — високий тиск, нестача кисню та низька температура.

Мікробні біоценози, подібно до ґрунтових, включають **гетеротрофні, літотрофні та фотосинтезуючі форми мікроорганізмів**. Їх співвідношення залежить від насиченості води органічними та мінеральними речовинами, а також від ступеня освітлення водойми.

Прісні озера, хоча і не мають великого значення у загальному балансі води, належать до найкраще вивчених водних екосистем. Більшість мікроорганізмів потрапляє у прісні водойми з ґрунту, із дощовими та стічними водами. **Постійні мешканці** більшості прісних озер — представники родів *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Cytophaga*, а також родів *Proteus*, *Micrococcus*, *Spirillum*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Nitrobacter* та деякі інші. **У водоймах із великим вмістом органічних речовин** часто виявляються представники родів *Clostridium*, *Spirochaeta*, *Vibrio*. Співвідношення чисельності вільноплаваючих бактерій і бактерій, асоційованих із частками, варіює від 0,3 до 3, причому тенденція до утворення агрегатів клітин більше виражена в озерах, бідних поживними речовинами. Детрит, що формується із продуктів лізису фітопланктонних організмів, включаючи фекалії планктонних організмів, у вигляді часток повільно осідає на дно озера, де розкладається під дією мікробів.

У водоймах, багатих на сірководень, розвиваються аноксигенні фотосинтезуючі пурпурові та зелені бактерії. Їх масовий розвиток залежить від інтенсивності світла та концентрації сірководню. Зелені сіркобактерії (родина *Chlorobiaceae*) накопичуються в озерах завжди нижче пурпурових сіркобактерій (родина *Chromatiaceae*), оскільки вони ефективніше використовують світло та стійкіші до сірководню.

Кількість бактерій **залежно від глибини** значно варіює. Так, найбільша кількість мікроорганізмів у 1 мл озерної води, за даними М. В. Федорова, виявлена на глибині 5, 10 і 20 м (відповідно 142, 197, 147 мікробних клітин), у той час як на поверхні вона становила 73, а на глибині 54,5 м — тільки 6 мікробних клітин. За даними іноземних вчених, отриманими шляхом прямого підрахунку мікробних клітин після флуоресцентного фарбування, чисельність мікроорганізмів у мезотрофних прісних озерах значно більша: варіює в межах 10^4 — 10^6 кл./мл.

Дуже багаті на мікрофлору **мули річок, озер, ставків, очисних споруд**, де у грамі субстрату містяться мільйони мікробних клітин залізо- та сіркобактерій (в основному, у поверхневому шарі мулу), анаеробних бактерій, здатних до бродіння (у глибоких шарах мулу), сульфатредуючих бактерій, нітрифікаторів і денітрифікаторів.

Океани вкривають приблизно 70 % поверхні Землі, складаючи більшу частину біосфери. Безумовно, це найбільші та найстабільніші середовища, заселені мікроорганізмами, але звичайно бідні поживними речовинами. Чисельність і якісний склад мікробоценозів морів і океанів достатньо багаті. Мікроорганізми названих екосистем характеризуються знач-

ною стійкістю до високого тиску, здатністю пристосовуватись до сильно солоних середовищ. Є достовірні відомості, що на глибинах понад 3000 м живуть бактерії, адаптовані до високого тиску: **облігатні барофіли**, не здатні рости в умовах нормального тиску. Мікроорганізми виявляють і **в найглибших западинах Світового океану** на глибині понад 10 тис. м, з температурою 2,5 °С і тиском понад 1000 атмосфер.

Максимальна глибина продуктивної зони морів і океанів складає 50—100 м. Первинна продуктивність мікроорганізмів **у районах шельфу та багатих поживними речовинами зонах апвелінгу** у 10—20 разів вища, ніж у відкритому океані. Чисельність бактерій у поверхневому шарі океанічної води, за даними прямого підрахунку, становить 10^4 — 10^6 кл./мл, подібно до кількості мікроорганізмів у прісних озерах.

В антарктичних та інших областях Світового океану значну частину мікробних популяцій поверхневого шару води складають **невідомі типи архей**, про що свідчать дослідження з використанням рРНК-зондів. У морських глибинах мікроорганізми асоційовані в основному з осідаючими пластівцями — «морським снігом» із неорганічних карбонатів і силікатів, а також із включенням детриту.

Більша інтенсивність продукції, споживання та мінералізація характерна для прибережних районів, особливо на просторах засолених маршів (припливно-відпливна територія), де морська вода приносить у великих кількостях поживні речовини. Саме на територіях маршів під тонкою плівкою води утворюються **мікробні мати** — щільні утворення з вираженими шарами, в яких як структурна основа домінує *Microcoleus chthonoplastes*. Виявлена типова картина зміни шарів у матах: темно-зелений шар представлений ціанобактеріями, далі вниз — рожевий шар пурпурних фототрофних бактерій, тонкий шар фототрофних зелених бактерій і нарешті — шар сульфідних осадів. Шаруватість цих мікробних угруповань обумовлена зменшенням концентрації сірководню знизу вгору та зворотно спрямованими градієнтами кисню й освітленості. Таким чином, розвивається **сульфуретум** — мікробне угруповання зі складною структурою та інтенсивним обігом сполук сульфуру й органічної речовини. Осадження карбонатів і силікатів у мікробних матах веде до їх закам'яніння та утворення строматолітів. Уздовж берегів Чилі знайдені структуровані мікробні мати товщиною декілька сантиметрів, утворені **нитчастими морськими сіркобактеріями** роду *Thioploca*, що окислюють сульфід.

У прибережних районах океанів на глибинах понад 100 м сульфід, що виділяється з анаеробних донних осадів, окислюють не фототрофні, а **хемолітотрофні бактерії**. У таких зонах

масово розмножуються морські види *Beggiatoa*, що утворюють білий донний осад товщиною 0,5—1,0 мм.

На великих глибинах у місцях розломів земної кори навколо гідротермальних виходів при температурах до 350 °С на океанському дні у повній темряві утворюються **екстремальні біоценози** прокаріот і тварин, які існують **на основі бактеріального хемосинтезу**. Літотрофні бактерії цих біоценозів окислюють водень, сірководень, відновлене залізо, манган. Вільноживучі форми метилотрофних бактерій окислюють метан та інші метильні сполуки. Вони можуть бути симбіонтами тварин і, продукуючи органічні речовини, забезпечують тварин джерелами Карбону та енергії.

У гарячих гейзерах знайдені невідомі раніше віруси та термофільні бактерії, здатні існувати при температурі понад 90 °С, і навіть розмножуються за таких екстремальних умов.

Функціональна роль бактерій у водних екосистемах подібна до наземних. Як і в наземних екосистемах, вона полягає у розкладанні органічних решток рослин і тварин. Вони беруть активну участь у амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації, десульфюфікації та інших важливих процесах. Особливо значну роль бактерії відігравали на перших етапах еволюційного формування донних відкладень у Світовому океані.

Значна функціональна роль бактерій у водних екосистемах полягає в їх продуктивності. Загальна біомаса бактерій у водних екосистемах порівняно з наземними значно менша — 700 млн т (для всього океану), проте щорічна продукція складає 70 млрд т. Відношення продукції до біомаси дуже високе і дорівнює 1000. Таким чином, моментальна біомаса бактерій завжди дуже значна.

Водна бактеріофлора — важлива стартова основа для формування складної трофічної піраміди та розвитку біорізноманіття гідроекосистеми. Бактеріями безпосередньо живляться найпростіші та багато дрібних ракоподібних (особливо зоопланктон). Для останніх бактерії — головне джерело живлення. У подальшому зоопланктон слугує трофічним об'єктом для великої кількості риб-планктонофагів. Крім того, бактерії для багатьох видів личинок риб — перший трофічний матеріал. При розкладі величезної маси решток фітопланктону бактеріями утворюється біогенна мінеральна база для живлення водоростей.

Таким чином, мікроорганізми — важливий функціональний блок біогеоценозів біосфери. Вони — **первинна ланка в утворенні всіх системних зв'язків у біосфері**. Мікроорганізми замикають біологічний кругообіг, розкладаючи органічні рештки, створюючи умови для живлення наземних і водних екосистем, обумовлюють утворення природної кормової бази для багатьох гетеротрофів, беруть участь у формуванні дон-

них відкладень, створенні біологічного контролю над розвитком біокомпонентів екосистеми, збалансовують, урівнюють можливості для існування всіх організмів у довкіллі.

6.6. Функціональна роль зооценозу в екосистемах

6.6.1. Продукційна роль тварин

Зооценоз як головний гетеротрофний компонент у біосфері є важливим функціональним елементом у різних біогеоценотичних процесах: продукційних, енергетичних, середовищотвірних, зв'язкотвірних, ремедіаційних (тих, що пов'язані з відновленням порушених компонентів), епізооційних.

У продукційному процесі тварини беруть участь:

- в утворенні вторинної біологічної продукції, що відіграє значну роль у подальшому формуванні складних трофічних зв'язків, за рахунок яких утворюються екологічні умови для фіто-, зоо- та мікробоценозу.
- в утворенні екологічного механізму захисту первинної біологічної продукції автотрофів, що обумовлює загальну стійкість екологічних систем;
- у розповсюдженні первинної і вторинної продукції за межі консорцій та екосистем, що забезпечує внутрішньо- і між-екосистемний обмін речовин і енергії.

Утворення вторинної продукції. Створена тваринами вторинна біомаса оцінюється приблизно у 20 млрд т сухої речовини, що складає лише 0,67—1,43 % усієї біомаси Землі. Причому *біомаса тварин континентів порівняно з океаном більша у 4,7 рази* — складає 82,1 % (відповідно 16,5 і 3,5 млрд т).

У наземних екосистемах біомаса тварин в основному **сконцентрована у ґрунтовому блоці**: від 85 до 99 % із найбільшими показниками у лісових і меншими у степових екосистемах. Загальну масу тварин складають, в основному, безхребетні (90—97 %), які домінують у ґрунтовій фауні.

Продуктивність тваринних організмів значно поступається автотрофним організмам: вони складають **лише 1 % щорічної первинної продукції Землі** — $73 \cdot 10^{15}$ ккал.

Величина утвореної тваринними організмами біомаси залежно від типу екосистем дуже відрізняється (табл. 6.4). **Найбільша вона у тропічних і помірних лісах** — 184—301 т/км². Середні величини характерні для тайгових і болотяних екосистем — 100—134 т/км², дуже низькі — у піщаних пустелях, озерах і річках — 0,13—0,53 т/км². У решті екосистем — 4—40 т/км². Біомаса тварин в океанічних екосистемах у середньому складає 9,75 т/км². Чиста вторинна продукція за співвідношенням в основному відповідає біомасі: її межі становлять 0,03—25,1 т/км². Виняток — озера та річки, у яких

питома продукція (коефіцієнт «продукція/біомаса») найбільша — 4,72, чиста продукція — до 2,5 т/км². Питома продукція також значна у земель, які обробляються, — 1,06. У решти екосистем вона знаходиться у межах 0,08—0,56.

Враховуючи масштаби територій різних континентальних екосистем на Землі, загальна біомаса коливається в межах 3,00—5,92 млрд т, а чиста вторинна продукція — від 70 тис. до 470 млн т. Загальна вторинна продукція всіх континентальних екосистем складає близько 2 млрд т, океанічних — близько 6 млрд т.

Таблиця 6.4.

Роль тварин в утворенні вторинної продукції екосистем Землі (Whittaker, 1975; Богоров, 1974 з доповненнями)

Головні екосистеми	Показники для окремих екосистем			Показники для земної кулі		
	середня біомаса, т/км ²	середня чиста продукція, т/км ²	продукція / біомаса	біомаса, млрд т	чиста продукція, млрд т	продукція / біомаса
Дощові тропічні ліси	301,5	25,1	0,07	5,92	0,47	0,08
Сезонні тропічні ліси	234,5	18,9	0,07	2,54	0,20	0,08
Хвойні помірні ліси	201,0	17,2	0,7	1,87	0,17	0,09
Листопадні помірні ліси	184,0	18,3	0,10	2,11	0,21	0,10
Тайга	134,0	11,5	0,06	2,31	0,21	0,09
Рідколісся з чагарниками	40,2	7,0	0,17	0,54	0,09	0,17
Савана	26,8	9,1	0,34	0,61	0,21	0,34
Степи	10,7	6,3	0,59	0,09	0,05	0,59
Тундра	4,1	1,4	0,35	0,03	0,01	0,35
Пустельні та напівпустельні чагарники	4,7	0,9	0,20	0,09	0,02	0,19
Піщані, скелясті та льодові пустелі	0,1	0,03	0,23	0,003	0,0007	0,23
Оброблювані землі	6,1	6,5	1,07	0,10	0,11	1,06
Болота	100,5	20,1	0,20	0,26	0,05	0,19
Річки та озера	0,53	2,5	4,72	0,005	0,02	4,72
Океани	9,71	16,8	1,72	3,52	6,05	1,72

Біомаса різних трофофункціональних угруповань тварин розподілена теж непропорціонально. У степових і лісостепових лісах сапрофаги складають 84—95 %, фітофаги 4—12 %, зоофаги — 1,2—3,5 %, що в основному відповідає структурі екологічної піраміди наземних екосистем. У степових екосистемах в основному спостерігається ця закономірність, лише біомаса фітофагів більша (до 6 %), а зоофагів значно менша (0,4—1,0 %).

Вторинна біомаса — важлива функціональна частина екосистем. Вона утворює природну кормову базу для існування тваринних організмів — консументів другого та третього порядків, відіграє важливу роль у формуванні біотичних взаємовідносин, в гомеостазі, потоках енергії та кругообігу речовин, у середовищевірних процесах. Біомаса вторинної продукції — необхідна ланка, яка активно використовується людиною для **розвитку харчової промисловості, забезпечення суспільства продовольчими тваринами та різною сировиною** тваринного походження. Людина використовує тваринні ресурси як із природних екосистем (мисливство, рибальство), так і з так званих субсидованих екосистем, тобто екосистем, збагачених добривами, кормами й де впроваджені захисні заходи, наприклад прісноводних водойм (ставки, водосховища, озера), різних мисливських господарств. Субсидування продукційного процесу у прісноводних водоймах збільшує вихід чистої продукції — риби: лише з внесенням добрив — у 4—5 разів, а з активною підкормкою — у 25—38 разів. Щорічний вилов риби у прісних водоймах (субсидованих і несубсидованих) становить близько 3 млн т, в океані — 60 млн т (кальмари, ракоподібні, риби, китоподібні). Порівняно з океаном тварини наземних екосистем як трофічний ресурс використовуються людиною у кількості лише 1,2—2,5 млн т щорічно.

Вплив тварин на продуктивність автотрофів. Участь тварин у формуванні первинної продуктивності здійснюється наступними шляхами:

- впливом тварин-фітофагів на продукцію автотрофів;
- зміною радіаційного режиму в наземних екосистемах;
- впливом тварин на фізичні чинники екосистеми;
- участю тварин у формуванні хімічних властивостей ґрунтів;
- участю тварин у процесі деструкції органічної речовини та прискоренні біологічного кругообігу;
- утворенням захисного блоку, спрямованого на збереження первинної біологічної продукції та механізмів екологічної стійкості екосистеми.

Вплив фітофагів на продуктивність автотрофів. Фітофаги представлені як значним фауністичним різноманіттям, так і великою чисельністю. До них належать із **безхребетних** представники більшості рядів комах (найактивніші види лускокрилих (*Lepidoptera*), перетинчастокрилих (*Hymenoptera*), твердокрилих (*Coleoptera*), клопів (*Hemiptera*), двокрилих (*Diptera*), рівнокрилих хоботних (*Homoptera*), прямокрилих (*Orthoptera*) тощо), кліщі (*Acarina*), нематоди (*Nematoda*) та деякі інші. У процесі живлення вони споживають листя, хвою, тканини стовбурів, пагони, насіння, генеративні органи. За споживанням різних частин рослин безхребетні-фітофаги розподіляються на **первинних фітофагів** (ектофагів), які переважно знаходяться ззовні рослин, і **вторинних** (ендофагів), які живляться у стовбурах, гілках, стеблах тощо (короїди, вусачі, нематоди) і довершують знищення пошкоджених рослин. **Хребетні-фітофаги** представлені численними ссавцями (гризуни, зайці, парнокопиті, непарнокопиті, хоботні, деякі сумчасті, деякі рукокрилі тощо), птахами (гусеподібні, голуби, багато горобцеподібних тощо) та плазунами (сухопутні черепахи, деякі ящірки).

Комплекс фітофагів здатний значно знижувати продуктивність різних наземних екосистем. За даними численних досліджень, рослиноїдні тварини можуть вилучати із продукційного процесу в різні роки від 3 до 30 % первинної продукції (із середніми показниками від 6 до 10 %). Найбільші масштаби вилучення біомаси автотрофів припадають на роки **масового розмноження комах і гризунів**. У звичайні для розвитку фітофагів роки вони вилучають із автотрофного циклу у тундрових екосистемах від 0,8 до 1,4 ц/га первинної продукції, у роки масового розвитку — до 3,4 ц/га. У різних степах — відповідно 3,8—6,3 і 15,1 ц/га, у саванах — 3,6—6,3 і 21,8 ц/га. Найбільших збитків від впливу фітофагів зазнають лісові екосистеми. У середньому (з урахуванням тропічних, помірних, степових, тайгових, степових лісів) у них комплексом фітофагів вилучається 11,4—19,0 і 45,6 ц/га. Найменші збитки первинної продукції простежуються у пустелях — 0,02—0,07 ц/га. В умовах України у степових і лісових екосистемах втрати сумарної первинної продукції складають 5—11 ц/га.

Величина відчуження складається не лише з безпосереднього споживання рослин у їжу, а й з **кормових залишків, витоптування та інших дій тварин**, що подвоює або потроює втрати первинної продукції. За матеріалами численних досліджень, у різних зонах цілісність фітоценозу може зберігатися при 60 % втрат їх продукції від фітофагів. Часто відчуження в указаних масштабах (особливо вегетативних

органів), навпаки, може сприяти росту рослин за рахунок активізації їх вегетативного розвитку. Так, у пустелі Каракуми при помірному випасанні споживання рослин досягло 54 % урожаю рослинності, при цьому підвищення кількості первинної продукції становить більше ніж 1,5 раза порівняно з ділянками, на яких відсутній випас.

Зміна радіаційного режиму та продуктивність. Трофічний тиск на рослини сприяє зменшенню їх продуктивності через пошкодження фотосинтетичного процесу. Внаслідок об'їдання тваринами рослин асиміляційна поверхня пошкодженого ярусу екосистем зменшується. Наприклад, у лучному степу площа листової поверхні у колонії нориць знижується у 3—4 рази, а у дібровах, в осередках масового розмноження комах-фітофагів — у десятки разів. Період дефоліації триває до місяця. Але внаслідок більшого сонячного опромінення в нижніх ярусах відбувається активізація фотосинтетичного процесу: на степових ділянках утричі, на лісових — у 5—6 разів. Цим обумовлюються сприятливі умови у нижньому ярусі, де відчувається радіаційне «голодування».

Зміна фізичних чинників і продуктивність. Температура. Внаслідок зростання радіаційного режиму на ділянках пошкодження ці ділянки більше прогріваються вдень і охолоджуються вночі. Зміни температурного режиму (відповідно на 2—10 °C і на 0,5—2 °C) сприяють інтенсифікації фотосинтезу в денний час і зменшенню витрат на дихання, які понижують продукційні процеси. Велике значення мають зміни **вологості повітря**. Зміни ходу температури супроводжуються змінами вологості повітря у приземному горизонті. У денні години вологість повітря зменшується на 3—5 %, у нічні — на 2—8 %. Такі перепади інтенсифікують процес випадання роси, сприяючи покращенню водного режиму для транспіраційних процесів рослин на 10 %. Дефоліація рослинного верхнього ярусу та підвищення температури ґрунтів забезпечує зростання в них запасів продуктивної вологи. Так, наприкінці вегетаційного періоду запаси вологи у кореновому шарі на 25 % більші, ніж у місцях без впливу тварин. Також у ґрунт унаслідок дефоліації надходить більше атмосферних опадів (на 17—50 %). Ріюча активність тварин-ґрунторіїв (дощові черви, мурахи, нориці, кроти, сліпаки, землекопи, гофери тощо) сприяє збільшенню та збереженню польової вологи ґрунтів, їх водопроникності. Так, у дібровах внаслідок ріючої активності землеріїв вологість ґрунту збільшується на 2—23 % (рис. 6.5), що сприяє процесам вегетації.

Значну роль у продукційних процесах автотрофів відіграє **газовий режим**, найсуттєвіший чинник якого — концентрація

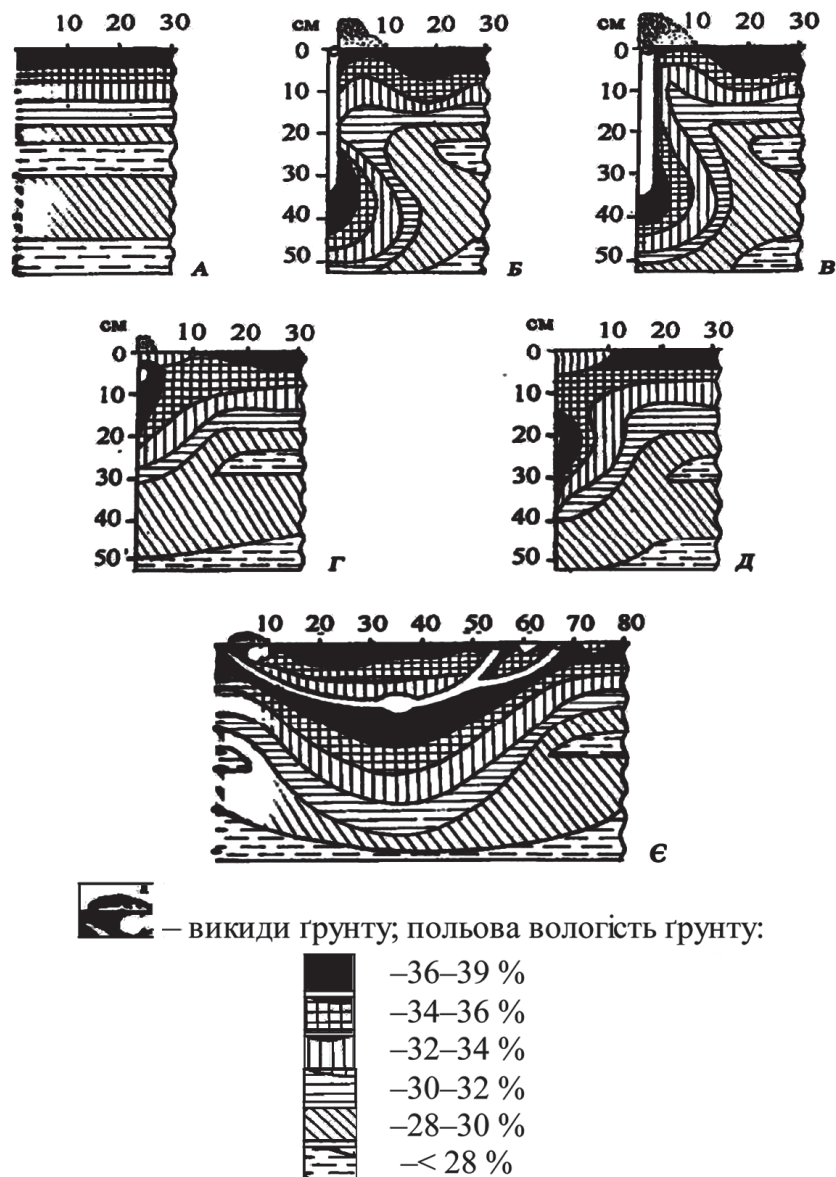


Рис. 6.5. Формування польової вологості ґрунту під впливом різних типів норіння ссавців у липо-ясеневій діброві через 6—8 годин після дощу: А — контрольні ділянки (без порушення ґрунту ссавцями), Б — вертикальна нора крота з відкритим отвором (віддушиною), В — вертикальна нора крота із закупореним ґрунтом отвором, Г — поверхневий хід (нора) крота, Д — глибинна нора крота з ухилом, Е — нора рудої нориці; Б — Д — поперечний розріз із зображенням правої частини, Е — поздовжній розріз.

вуглекислоти у приземному ярусі. Одне із джерел постачання CO_2 — безпосереднє його виділення тваринами у процесі дихання, а також інтенсифікація ґрунтового «дихання» у процесі їх риючої та екскреторної активності. У першому випадку в місцях високої концентрації тварин на поверхні ґрунту за добу у метровій товщі приземного шару повітря кількість CO_2 збільшується на 10 %. Ґрунтові тварини, за підрахунками Ю. Б. Бизової (1986), у різних зонах і екосистемах сприяють збільшенню концентрації CO_2 на 2—3 %. Риюча активність лише ссавців-ґрунторіїв сприяє зростанню кількості CO_2 на

25—200 %, а екскреторна — на 21—128 % порівняно з непо-
рушеними ґрунтами.

Зміна хімічних властивостей ґрунтів і продуктивність. Риуча та екскреторна активність тварин значною мірою впливає на хімічні властивості ґрунтів, сприяючи збагаченню ґрунту поживними речовинами. Тварини-ґрунторії зумовлюють вертикальну міграцію елементів і сполук і виводять у поверхневі родючі шари речовини з недоступних для рослин горизонтів. У пориях внаслідок змін аерогідротермічного режиму та перемішування ґрунту з підстилкою інтенсифікується процес гумусоутворення. Загальна кількість гумусу на всій площі наземних екосистем зростає на 12—38 %. У місцях надходження екскреторного опаду хребетних (гризунів, парнокопитих та інших) кількість гумусу зростає на 10—32 %. У той же час екскреторний опад — постачальник цінних органічних і мінеральних добрив. З екскреціями лише хребетних тварин у ґрунт степових дібров надходить до 10 кг/га органічних речовин і до 16 кг/га зональних елементів (Булахов, Пахомов, 2006). Під дією екскреторного опаду відбувається зниження кислотності ґрунтів. У степових лісах зростає значення *pH*. Таким чином, інтенсифікація гумусоутворення, зменшення кислотності ґрунтів значною мірою зумовлюють зростання первинної біологічної продукції.

Зоогенна деструкція та продуктивність. Участь тварин у деструктивному циклі кругообігу досить вагома. У ґрунтовому блоці та підстилці сконцентрована основна біомаса тварин (85—99 %). У лісостепових дібровах вони на основі лише живлення переробляють до 80—90 % трофічного матеріалу, що значно перевищує у цьому плані мікрофлору — у 8—9 разів. Суттєву роль у деструкції мертвої органіки відіграє риуча та екскреторна активність тварин. У результаті цієї дії зростає кількість редуцентних мікроорганізмів і редуційний процес інтенсифікується в 1,5—2,0 рази. Також у процесі живлення фітофагів переробляється значна частина біомаси рослин, яка частково (до 20—70 % споживаної маси) повертається в опад у вигляді екскрецій і рослинних решток. За рахунок цього в основу добрива надходить 200—500 кг/га екскрецій. У місцях надходження екскрецій інтенсивність мінералізаційного процесу прискорюється на 4—15 %. Таким чином, тварини — важливий функціональний чинник у сприянні продукційному процесу автотрофним блоком екосистем.

Зоогенне відтворення автотрофів. Тваринні організми — дієві функціональні чинники у відтворювальних (репродукційних) процесах автотрофів. Основою природного відтво-

рення є, насамперед, можливість реалізації репродукційного процесу. Це **вегетативне та генеративне розмноження**. Перше важливе в основному для степових екосистем, друге — для лісових.

Роль тварин у заплідненні автотрофів. У процесі еволюційного розвитку біоти утворилися гармонійні зв'язки між рослинами та тваринами, які значною мірою забезпечують репродуктивне відтворення шляхом запліднення за допомогою тварин-запилювачів. Рослини, що пов'язані в цьому процесі з тваринами, називаються зоофільними. Серед них переважають ентомофільні рослини. Крім них, виділяють ще орнітофільні та теріофільні рослини. *Лише 19—25 % рослин запилюються вітром, решта — різними тваринами.*

Комахи-запилювачі. Лише у європейській флорі спостерігається не менше 80 % покритонасінних рослин, які запліднюються комахами. Уперше це явище відкрив у 1793 році Конрад Шпренгель і далі детально дослідив Чарльз Дарвін. Останній довів, що у результаті природного добору утворилися досконалі взаємні пристосування, які з одного боку забезпечили живлення комах пилом і нектаром, а з іншого — успішне перехресне запилення квітучих рослин. Рослини, які запилюються нічними комахами, мають квіти білого кольору, дуже пахучі. Денні запилювачі приваблюються різнокольоровим забарвленням. Квіти, які запилюються лускокрилими та перетинчастокрилими, мають нектар у глибоких вмістилищах і пилок, що знаходиться відкрито. Квіти, які мають запах падла, запліднюються за допомогою падальних і м'ясних мух. У комах утворилася відповідна будова ротових придатків, розвинувся кольоровий зір, а у бджіл — особливої будови задні кінцівки. Значення цих адаптацій настільки важливе, що більшість рослин без спеціальних комах-запилювачів розмножуватися не може.

Найдосконаліші симбіотичні відносини склалися між великою групою бджіл (*Apoidea*), які налічують 25—30 тис. видів, і багатьма десятками тисяч видів покритонасінних рослин. Хоча біомаса бджіл у ландшафтах суходолу відносно мала, результати їх трофічної активності у репродукційному процесі рослин величезні. Підраховано, що одна бджола здатна на собі нести 75—100 тис. пилових зерен. За місяць вона здійснює до 368 тис. відвідувань, а лише за одну добу бджолина сім'я запилює до 36 млн квітів. До активних запилювачів належать різноманітні джмелі. Серед інших комах активну участь у запиленні квітів беруть лускокрилі та двокрилі комахи (рис. 6.6).

Птахи-запилювачі. До птахів-запилювачів належать в основному численні різноманітні колибри (*Trochilidae*), некта-



Рис. 6.6. Комахи-запилювачі: Перетинчастокрилі (*Hymenoptera*): 1 — бджола медоносна (*Apis mellifera*), 2 — бджола евцера довговуса (*Eucera longicornis*), 3 — бджола тесляр (*Xylocopa valga*), 4 — джміль садовий (*Bombus hortorum*), 5 — джміль пахучий (*B. fragrans*), 6 — сіра м'ясна муха (*Sarcophaga carnaria*); Двокрилі (*Diptera*): 7 — дзюрчалки (різні): зліва — сирф (*Syrphus ribesii*), справа — джмелевидка (*Volucella bombylans*), зверху — прозора (*V. pellucens*), знизу — міотропа (*Myatropa florea*), 8 — дзюрчалка (*Eristalis tenax*), 9 — дзижчала велика (*Bombilius major*); Лускокрилі (*Lepidoptera*): 10 — зірочка (*Anthocharis cardamines*), 11 — данаїда (*Danaus plexippus*), 12 — бражник бузковий (*Sphinx ligustri*)

ринці (*Nectarinidae*), квіткарниці (*Dicaeidae*), американські квіткарниці (*Coerebidae*), гавайські квіткарниці (*Drepanidae*), медососові (*Meliphagidae*) та папуги-лорі (*Trichoglossidae*). Нараховується близько 1600 видів птахів, які беруть участь у запиленні понад 500 видів рослин субтропічної та тропічної зон (рис. 6.7). Орнітофільні рослини не мають запаху.



Рис. 6.7. Птахи-запилювачі: Стрижоподібні (*Apodiformes*): 1 — колибрі вимпеловий (*Trochilus polytmus*), 2 — колибрі широкодзьобий (*Cyananthus latirostris*), 3 — колибрі лазуровий (*Campylopterus falcatus*); Горобцеподібні (*Passeriformes*): 4 — нектарниця червоногруда, або сенегальська (*Nectarinia senegalensis*), 5 — нектарниця зеленоспинна (*N. mariquensis*), 6 — медосос сережчатий (*Anthochaera chrysoptera*), 7 — гавайська чорно-червона нектарниця (*Vestiaria coccinea*), 8 — квіткарниця-бананоквіт (*Coereba flaveola*); Папугоподібні (*Psittaciformes*): 9 — лорикет райдужний (*Trichoglossus haematodus*)

Вони приваблюють птахів лише забарвленням (переважно червоним, жовтим, помаранчевим, рідше — білим). У птахів-запилювачів, як і в комах, у результаті коадаптації відбулися значні морфологічні зміни: довгий дзьоб і язик (часто язик має трубкоподібну будову).

Ссавці-запилювачі. Певну роль у заплідненні квітів відіграють і деякі ссавці. Це насамперед представники тропічних сумчастих (*Marsupialia*) і рукокрилих (*Chiroptera*). Серед них цікавий мешканець Австралії — опосум-медоїд (із родини кускусових, *Phalangeridae*), який своєю будовою нагадує птахів-медососів. Живиться нектаром, пилком, бруньками та дрібними комахами. Язик його являє собою своєрідний пензлик для збирання пилку, а видовжене у вигляді хоботка рило

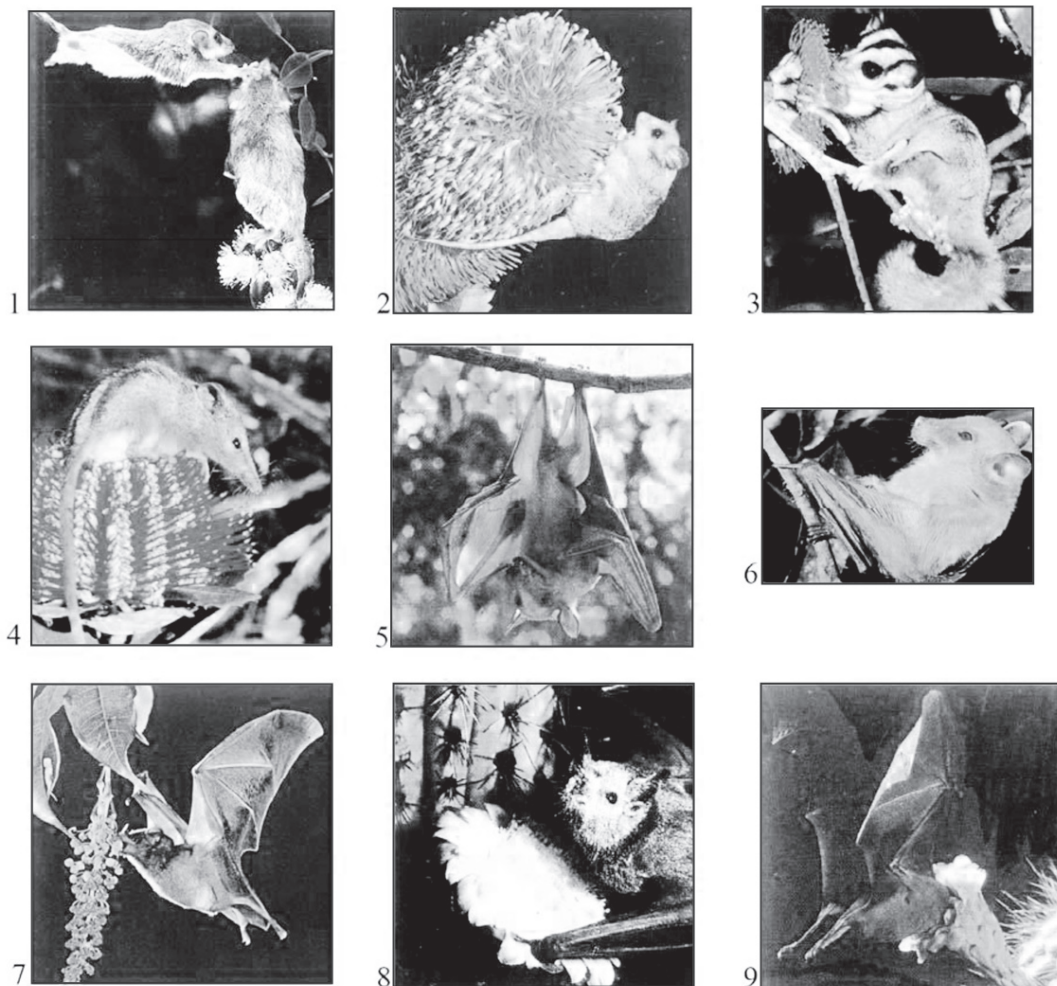


Рис. 6.8. Ссавці-запилювачі: Сумчасті (*Marsupialia*): 1 — кускус карликовий летючий (*Acrobates pygmaeus*), 2 — кускус товстохвостий (*Cercartetus nanus*), 3 — полетуха сумчаста (*Petaurus breviceps*), 4 — кускус хоботноголовий (*Tarsipes spenserae*); Рукокрилі (кажани): 5 — крилан еполетовий (*Epomophorus gambianus*), 6 — крилан квітковий довгоносий (*Syconycteris australis*), 7 — листоніс довгоязикий (*Glossophaga soricina*), 8 — листоніс Соссюра (*Leptonycteris nivalis*), 9 — листоніс Санборна (*L. sanborni*)

виконує роль трубки для втягування нектару. Мешканець Бірми, Індокитаю та Великих Зондських островів — крилан карликовий із групи довгоязикових криланів (*Pteroidae* — Криланові) та представники довгоязиків кажаноподібних Центральної та Південної Америки — листоноси землерийкоподібний та довгоязиковий і довгоязик безхвостий (родина *Phyllostomatidae* — американські листоноси) мають відповідну будову ротового апарату для збирання пилку та нектару. Хоча звірки знищують певну кількість нектару та пилку, але одночасно здійснюють функцію перехресного запилення (рис. 6.8).

Експериментальні дослідження шляхом ізоляції дерев (яблуні, вишні, груші) у період цвітіння від комах-запилювачів довели, що роль комах дуже важлива. У вільних для доступу комах яблунь врожайність удесятеро вища, у ви-

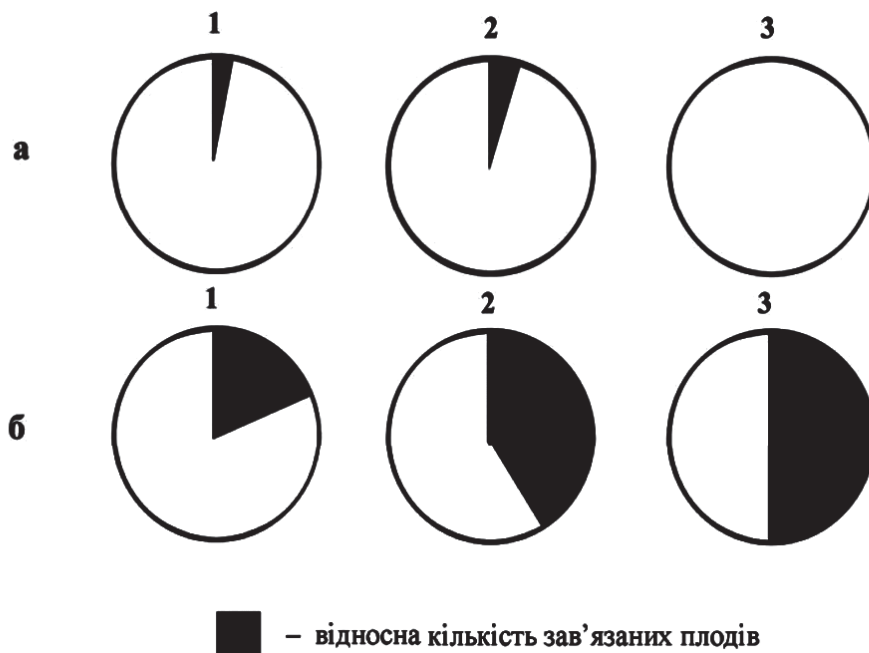


Рис. 6.9. Ефективність впливу комах-запилювачів на зав'язування плодів яблуні (1), вишні (2) та груші (3) на ізольованих від комах деревах (а) і за вільного доступу комах (б) (Єкимов, 1959)

шень — у 13 разів. У ізольованій груші запліднення не відбулось (рис. 6.9).

Зоохорна роль тварин у продукційних процесах. Важливу роль виконують тварини у розповсюдженні та розселенні як у межах їх місцеперебувань в екосистемах, так і за їх межами, збагачуючи різноманіття та продуктивність. Наземні рослини за способом розповсюдження насіння поділяють на **автохорні** (самі розкидають насіння), **анемохорні** (розсіювання насіння вітром) та **зоохорні** (де головними агентами розповсюдження виступають тварини). За допомогою зоохорів швидко розселяються дерева навіть з важкими плодами (дуб, сосна кедрова тощо). Розповсюдження плодів і насіння сприяє опануванню рослинами нових територій, розширенню їх ареалу, збагаченню генофонду, підвищенню шансів у боротьбі за виживання. За способом перенесення зоохорію поділяють на ектозоохорію, або епізоохорію, ендозоохорію та синзоохорію.

Ектозоохорія — перенесення насіння та спор на тілі тварин за допомогою спеціальних пристосувань (гачків, зачіпок, щетинок, клейкої речовини тощо), а також на кінцівках. Розповсюдження багатьох степових і лучних рослин здійснюється переважно ссавцями, рідше — птахами, у незначному обсязі комахами. Розповсюдження деревних порід — переважно птахами.

Ендозоохорія — одна з найпоширеніших форм зоохорії. Насіння багатьох рослин спершу потрапляє у травний тракт при живленні тварин (птахи, ссавці), а потім з екскреціями

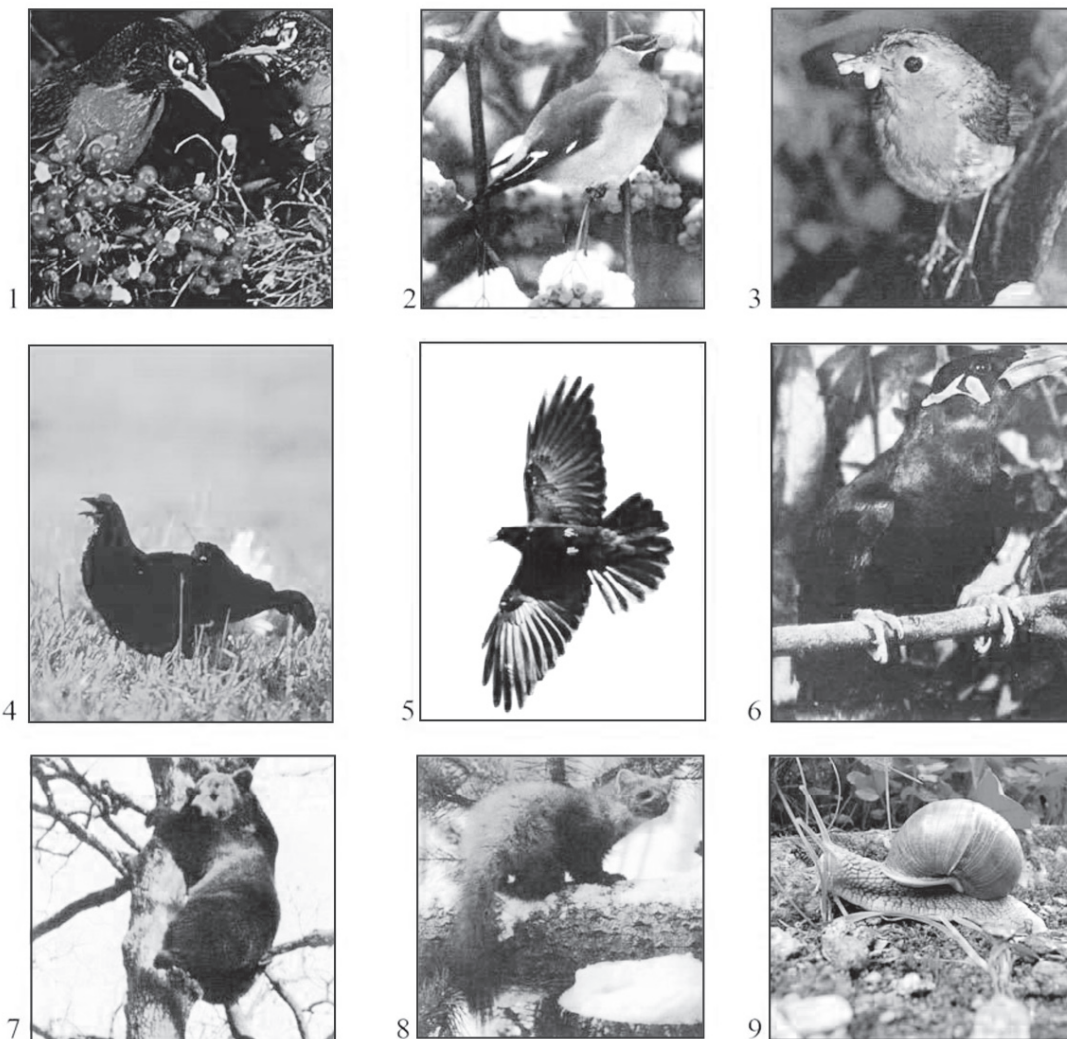


Рис. 6.10. Типові представники ендозоохорів: Птахи: 1 — дрізд мандрівний, 2 — дрізд-омелюх, 3 — вільшанка, 4 — тетерук, 5 — галка альпійська, 6 — індійська майна; Ссавці: 7 — ведмідь євразійський, 8 — куниця лісова; Молюски: 9 — слимак виноградний

розповсюджується у просторі. У такого насіння утворилася певна стійкість до травних соків тварин. Сучасні дослідження свідчать, що шлунковий сік навіть сприяє проростанню насіння, яке у таких випадках проходить травну стратифікацію. Відомо декілька сотень видів так званих орнітохорних рослин, які розповсюджуються таким способом. Лише дрозди розносять до 30 видів ягідних рослин. Крім них, активну участь у такому розповсюдженні рослин здійснюють омелюхи, вільшанки, синиці, вороніві, горобці, тетеруки та багато інших (рис. 6.10).

Результати цієї дії тварин досить значні. Так, у соснові насадження Савальського лісництва Воронежської області орнітохори занесли 18 видів чагарників. Дрізд-омелюх у Талаському Алатау за півроку розносить до 30—60 тис. насінин шишкоягід ялівцю гірського (арчі). На Гавайських островах широке розповсюдження завезеного з Мексики чагарника латанти відбулося лише після акліматизації на островах індійської майни.

У степових екосистемах активними ендозоохорами виступають в основному копитні, у лісових — ведмеді, зайці. Насіння, яке розноситься таким чином, крім вказаних пристосувань, дрібне, отже все подрібнюється зубами. Насіння різних трав зберігає здатність до проростання у 26—70 %.

Синзоохорія — активне розповсюдження плодів і насіння у процесі утворення тваринами запасів кормових об'єктів. Не всі запаси знаходяться або повністю використовуються за призначенням. У такому разі насіння проростає і утворює нові рослинні асоціації за межами асоціацій автотрофів. Особливим прикладом можуть бути сойка та горіхівка із родини воронових (*Corvidae*). Перенесення сойкою жолудів із-під пологів лісу до інших, більш відкритих місць сприяє розвитку нових лісових утворень. Так, у аренному борі в Присамар'ї (Дніпропетровська область) на ділянках від 400 до 1000 м² сойки за сезон висаджують 110—230 дубків, із яких згодом утворюються острівні судіброви. Горіхівка таким чином розповсюджує плоди кедрів сибірського.

У розселенні насіння багатьох трав'янистих рослин беруть участь мурашки. **Мірмекохорія** — одна з форм синзоохорії. У так званих мірмекохорних рослин (наприклад, чистотіл великий, деякі види фіалок) насіння має особливі придатки, багаті на олійні речовини, які приваблюють мурашок. Мурашки збирають насінини, переносять їх у свої сховища, де багато з них проростає.

У результаті спільної дії всіх форм зоохорії екосистеми збагачуються за рахунок нових рослин. Особливо успішною у цьому аспекті є роль зоохорії як активного екологічного чинника у *реабілітації відпрацьованих гірничими розробками земель*. Зоохори сприяли спонтанному формуванню вторинних екосистем на землях після маантанових розробок на Дніпропетровщині, що прискорило їх екологічну реабілітацію. Утворені вторинні екосистеми вже через 10—15 років як за біорізноманіттям, так і за продуктивністю поступалися природним непорушеним екосистемам лише на 20—30 %.

Роль тварин у природному лісовідновленні. Вплив середовищевірної активності тварин сприяє процесу природного лісовідновлення. Існування лісових екосистем залежить від певного темпу відновлення едіфікаторів. Це пов'язано зі створенням сприятливих умов для проростання насіння та подальшого розвитку підросту в умовах, що забезпечують рівень виживання в конкуренції за простір, світло, поживні речовини тощо. Ці умови у багатьох випадках забезпечуються

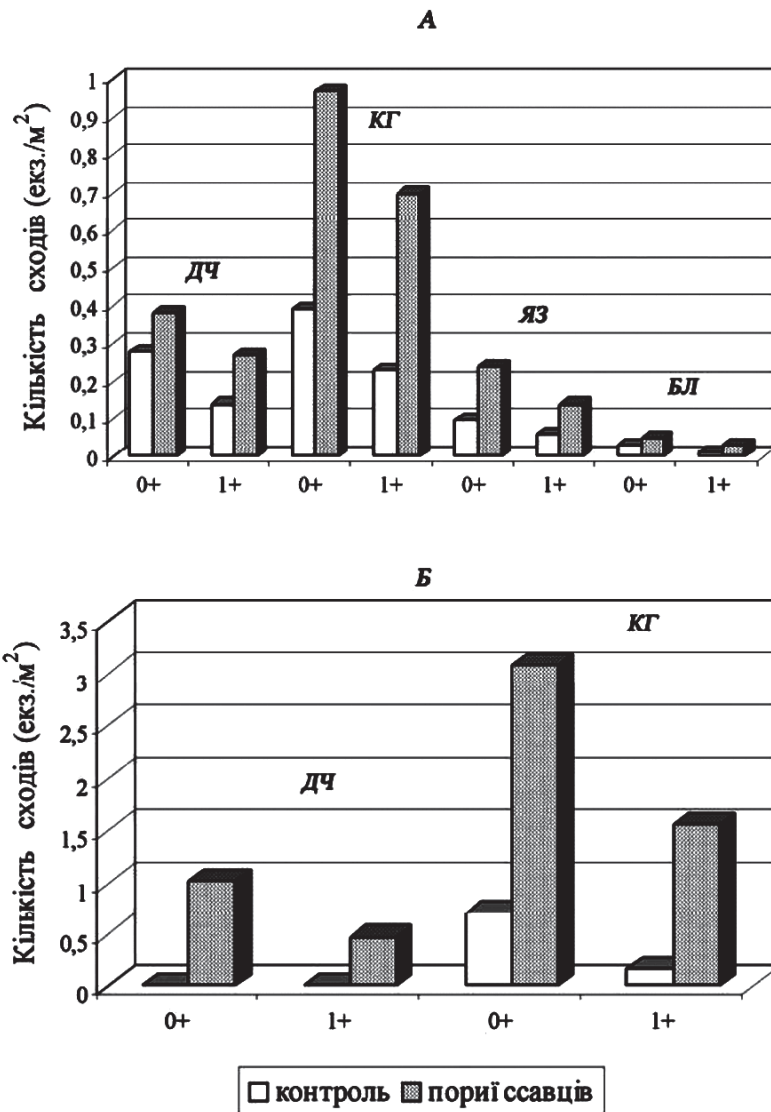


Рис. 6.11. Вплив риючої активності ссавців (узагальнені ґрунто-рії) на процеси відновлення головних едифікаторів: А — заплавні діброви, Б — штучні дубові насадження на плакорі в Присамар'ї; ДЧ — дуб черешчатий, КГ — клен гостролистий, ЯЗ — ясень звичайний, БЛ — берест листовидний

середовищетвірною активністю тварин. Серед агротехнічних прийомів людиною широко використовуються різного типу оранки, боронування, внесення добрив. У лісових екосистемах цю функцію виконують тваринні організми. Завдяки різним видам риючої активності вони розпушують ґрунт, сприяють його збагаченню поживними речовинами за рахунок надходження екскрецій тварин, участі у мінералізаційних процесах.

Завдяки активності тварин-землеріїв значно поліпшуються умови для проростання насіння різних деревних порід. Зменшується твердість ґрунту, збільшується його вологість, зростає аерація, на перших етапах заростання поріїв зменшується покриття трав'яного покриву, який може зашкодити проростанню насіння дерев, часто таке насіння прикочується, що ототожнюється з посадкою. Особливо це

важливо для штучних лісових насаджень, де умови природного відновлення несприятливі й у багатьох випадках природне лісовідновлення не спостерігається. Порівняння ступеня природного лісовідновлення у місцях пориїв із непорушеним ґрунтом у заплавних дібровах і штучних лісових насадженнях на плакорі показало, що ріюча функція тварин (у середньому роль пориїв різних хребетних — нориць, кротів, сліпаків) — ефективний екологічний чинник у лісовідновленні (рис. 6.11).

Наведені діаграми свідчать, що у заплавних дібровах у степовій зоні кількість проростків у пориях збільшується у 1,5—2,2 раза (у ясеня звичайного — у 1,9—2,9 раза, у клена гостролистого — у 1,2—3,6 раза). У штучних дубових насадженнях, де умови проростання насіння занадто жорсткі (ґрунт дуже твердий, сухий, ущільнений), роль тварин-ґрунториїв — чи не єдиний чинник сприяння процесу лісовідновлення. На непорушених ділянках лісовідновлення дуба майже не відбувається, дуже слабе відновлення клена гостролистого. Тільки завдяки ріючій активності ссавців відбувається відновлення головних едифікаторів цих лісів. Таким чином, завдяки середовищевірній активності тварин значно зростає лісовідновлення у природних лісових екосистемах та штучних лісових насадженнях.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Абатуров Б. Д. Биопродукционный процесс в наземных экосистемах (на примере экосистем пастбищных типов). — М.: Наука, 1979. — 130 с.

Абросов Н. С. Некоторые принципы формирования микробных экосистем: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Красноярск, 1973. — 24 с.

Андреюк Е. И., Валагурова Е. В. Основы экологии почвенных микроорганизмов. — К.: Наукова думка, 1992. — 224 с.

Бабьева И. П., Головлева Л. А. Дрожжевая флора основных типов почв европейской части СССР // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. — С. 231—251.

Виноградский С. Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы. — М.: Изд-во АН СССР, 1952. — 792 с.

Влияние систематического применения гербицидов на почвенную микрофлору плодовых садов Араратской равнины АрмССР / Э. А. Акопян, А. А. Калантаров, М. А. Севумян, М. Ж. Аветисян // Биол. журн. Армении. — 1986. — Т. 39, № 4. — С. 357—358.

Гантимурова Н. И. Микробиологическая характеристика почв // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. — Новосибирск: Наука, 1974. — Т. 1. — С. 236—242.

Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. — 256 с.

Клевенская И. Л., Гантимурова Н. И. Микробные ассоциации почв ряда биогеоценозов Барабинской низменности // Микробные ассоциации и их функционирование в почвах Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1979. — С. 22—60.

Мікробіологія / М. Г. Сергійчук, В. К. Позур, А. І. Винников та ін. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2005. — 375 с.

Мишустин Е. Н. Эколого-географическое распространение азотобактера в почвах СССР // Тр. Ин-та микробиологии АН СССР. — 1954. — Вып. 3. — С. 81—97.

Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*. — М.: Наука, 1974. — 250 с.

Мишустин Е. Н., Мирзоева В. А. Соотношение основных групп микроорганизмов в почвах разных типов // Почвоведение. — 1953. — № 6. — С. 1—10.

Мишустин Е. Н., Мирзоева В. А., Громыко Е. П. Микрофлора черноземных почв // Микрофлора почв северной и средней части СССР. — М.: Наука, 1966. — С. 215—249.

Мосина Л. В. Распространение аэробных спорообразующих бактерий в почвах европейской части СССР // Изв. АН СССР. Сер. Биология. — 1974. — № 2. — С. 283—286.

Мятликова Е. А. Микробные ценозы заповедного и окультуренного чернозема Приазовья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — К., 1980. — 26 с.

Никитин Д. И., Никитина Э. С. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты бактерий (род *Bdellovibrio*). — М.: Наука, 1978. — 203 с.

Никитина З. И., Михайлов Э. Н. Микробиологические режимы в почвах степных геосистем // Изучение степных геосистем во времени. — Новосибирск: Наука, 1976. — С. 130—156.

Современная микробиология: Прокариоты: в 2 т. / под ред. Й. Ленгелера, Г. Дрекса, Г. Шлегеля. — М.: Мир, 2005. — Т. 2. — 496 с.

Теплякова З. Ф., Ситникова А. С., Карагуйшиева Д. Распространения азотобактера в некоторых почвах Казахстана // Микробиология. — 1953. — Т. 22, вып. 2. — С. 135—148.

Теннер Е. З. Микроорганизмы рода *Nocardia* и разложение гумуса. — М.: Наука, 1976. — 198 с.

Sokolova I. E., Kylochek T. P., Vinnikov A. I. A biosynthesis activity of soil streptomycete // Мікробіол. журн. — 2004. — Т. 66, № 6. — С. 10—17.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Одум Ю. Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с. (<http://www.yugzone.ru/x/osnovy-ekologii>).

Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с. (<http://www.yugzone.ru/x/ekologiya>).

Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера (<http://philos.omsk.edu/libery/index/m.htm>).

Каттон У. Р. Конец техноутопии (<http://biospace.nw.ru/books/overshoot.pdf>).

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. У чому полягає охоронна роль тварин у продукційних процесах?
2. Яким чином сприяє процесу природного лісовідновлення середовищевірна активність тварин?
3. Від яких факторів залежить кількісний і якісний склад мікробіоценозів водойм?
4. Які форми мікроорганізмів включають мікробні біоценози?
5. Яке значення мають мікроорганізми у продукційному процесі?
6. Якими особливостями характеризуються процеси, що їх здійснює мікробіоценоз у ґрунті?
7. Які специфічні мікробні угруповання можна виділити у відповідних для них типах ґрунтів?
8. Чому мікробний ценоз не має визначеної зовнішньої форми та просторових меж?
9. Доведіть, що рослинні організми Світового океану — важливий функціональний елемент в утворенні первинної продукції автотрофів.
10. В яких умовах найбільшим багатством і різноманіттям відзначається продуктивність фітопланктону?
11. Як запобігають забрудненню атмосфери фітоценози в умовах посиленого техногенного впливу на довкілля?
12. Що включає біогеоценотична роль фітоценозу?
13. У чому полягає головна функціональна роль Світового океану для біосфери?
14. Яке значення опадів для біогеоценотичних процесів?
15. У чому полягає біогеоценотична роль руху повітря у формуванні снігового покриву в зимовий період?
16. Яке значення має вологість атмосфери в утворенні метаболічних процесів між усіма компонентами екосистем?
17. Через які фактори здійснюється вплив атмосфери на інші компоненти екосистем?
18. Структура біосфери та екосистем як основа функціональної екології.
19. Споріднені ознаки у проявленні функцій живого організму та надорганізмених систем.
20. Назвіть найважливіші особливості кліматопу, охарактеризуйте вплив на інші компоненти екосистем і біосфери.
21. Атмосфера, її склад, головні властивості та функціональне значення у формуванні біоценозу та його компонентів.
22. Біотоп і його головні складові у формуванні екотопу та біоценозу.
23. Біоценоз і його функціональні компоненти як основа екосистем і біосфери.
24. Ґрунт як базисний функціональний компонент екосистем.
25. Підстилка як функціональний блок екотопу у ґрунтотвірних процесах.

26. Гідросфера: її склад, властивості та роль у формуванні клімату в планетарному кругообігу води.
27. Гідросфера як природне середовище для розвитку, життєдіяльності та формування біоценозів.
28. Ґрунт і підстилка як природне середовище для розвитку, життєдіяльності та формування живих організмів.
29. Океан як екосистема.
30. Прісні водойми як екосистеми.
31. Фітоценоз: формування первинної біологічної продукції на планеті.
32. Фітоценоз: природне середовище для розвитку, існування та функціонування консументів і редуцентів.
33. Мікробіоценоз як функціональний компонент екосистем.
34. Біорізноманіття та його значення у функціонуванні екосистем і формуванні їх стійкості.
35. Консорції як основа організації екосистем.
36. Трофічна структура екосистем. Екологічна піраміда.
37. Зооценоз як структурний компонент екосистем.
38. Роль тваринних організмів у створенні вторинної біологічної продукції.
39. Роль тварин у формуванні первинної біологічної продукції.
40. Роль тварин у створенні захисного блока для автотрофів.
41. Роль тваринних організмів у ґрунтових процесах.
42. Роль тварин у створенні консортивних зв'язків, їх місце у структурі консорцій.
43. Роль тварин у створенні екологічного буфера проти забруднення екосистем та екологічної реабілітації відпрацьованих земель.
44. Продуктивність океану та континентальних екосистем.
45. Розподіл вторинної продукції у різних блоках континентальних екосистем.
46. Середовищевірна функція наземних тварин як екологічний чинник захисного блока екосистем.
47. Середовищевірна функція водних тварин як екологічний чинник захисного блока біогідроценозів.

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Значення опадів для біогеоценотичних процесів.
2. Функціональна роль Світового океану в біосфері.
3. Біогеоценотична роль фітоценозу.
4. Продуктивність фітопланктону в умовах материкових обмілин або шельфових зон океану.
5. Вплив атмосфери на інші компоненти екосистем.
6. Мікробні біоценози.
7. Роль тварин у заплідненні автотрофів.
8. Рослинні організми Світового океану — важливий функціональний елемент в утворенні первинної продукції автотрофів.

9. Зооохоронна роль тварин у продукційних процесах.
10. Синзоохорія.
11. Роль тварин у природному лісовідновленні.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Безпосередньо від Сонця на Землю надходить: а) 158 кал/см²; б) 258 кал/см²; с) 358 кал/см²; d) 458 кал/см²?
2. Уперше дав визначення суті ґрунту: а) А. Тенслі; б) В. В. Докучаєв; с) Е. Геккель; d) В. М. Сукачов.
3. Сумарні запаси гумусу у ґрунтах суходолу складають: а) 80 т/га; б) 120 т/га; с) 140 т/га; d) 160 т/га?
4. Загальний обсяг води на Землі складає: а) 1260 млн км³; б) 1360 млн км³; с) 1460 млн км³; d) 1560 млн км³?
5. Сьогодні у Світовому океані мешкає видів тварин понад: а) 140 тис.; б) 160 тис.; с) 180 тис.; d) 200 тис.?
6. Організми в океані досягають глибини від поверхні води: а) 11 км; б) 12 км; с) 13 км; d) 14 км?
7. У річкових екосистемах у поперечному профілі чітко розрізняють прибережну зону: а) медіаль; б) рипаль; с) батіаль; d) пелагіаль?
8. Уся біомаса автотрофних організмів (фітомаса) суходолу утворює за рік чистої первинної продукції: а) 110 млрд т; б) 120 млрд т; с) 130 млрд т; d) 140 млрд т?
9. Загальна біомаса фітопланктону у Світовому океані складає: а) 0,5 млрд т; б) 1,0 млрд т; с) 1,5 млрд т; d) 2,5 млрд т?
10. Загальна продукція фітопланктону у Світовому океані сягає: а) 150 млрд т; б) 250 млрд т; с) 350 млрд т; d) 550 млрд т?
11. Кисню у процесі первинного продукування Світового океану до біосфери надходить понад: а) 16 млрд т; б) 26 млрд т; с) 36 млрд т; d) 46 млрд т?
12. Основне завдання санітарного нагляду ґрунтів — встановлення та оцінка: а) комунального забруднення; б) техногенного забруднення; с) фекального забруднення; d) харчового забруднення?
13. Оксигенний фотосинтез не характерний для: а) вищих рослин; б) водоростей; с) ціанобактерій; d) зелених бактерій?
14. Процес денітрифікації викликається в основному факультативними денітрифікуючими бактеріями: а) роду *Nitrobacter*; б) роду *Nitrosomonas*; с) *Bacillus stuuzeri*, *B. denitrificans*; d) *Bacillus mucilanginosus*?
15. Створена тваринами вторинна біомаса оцінюється приблизно (у сухій речовині): а) 10 млрд т; б) 20 млрд т; с) 30 млрд т; d) 40 млрд т?
16. У місцях надходження екскреторного опаду хребетних (гризунів, парнокопитих та інших) кількість гумусу зростає на: а) 10—32 %; б) 40—80 %; с) на 100—150 %; d) на 150—200 %?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	с	5	б	9	с	13	д
2	б	6	а	10	д	14	с
3	д	7	б	11	с	15	б
4	с	8	б	12	с	16	а

Розділ 7

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

У розділі розглядаються ключові типи природних екосистем: тропічні, неморальні, бореальні ліси, степи (прерії), луки та болота, їх екологічні відмінності, специфіка. На конкретних прикладах показано, що складні взаємозв'язки між елементами в екосистемах, їх адаптація до зовнішнього середовища — результати тривалого еволюційного розвитку.

Основна мета — сформувати уявлення про те, як організовані й функціонують природні екосистеми, про їх складність, екологічну специфіку, значимість і роль у підтримці функціонування та розвитку біосфери. Це необхідно не лише для формування широкого кругозору фахових екологів, а й для уявлення про те, які підходи, принципи повинні використовуватися для охорони того чи іншого типу екосистем.

Основна ідея. Природні екосистеми забезпечують життя на планеті, тому розуміння суті їх складної організації та функціонування, взаємозв'язків між окремими складовими важливе для підготовки спеціалістів-екологів.

Ключові терміни. Екосистема, біота, структура, організація, функціонування, розвиток, блоки екосистем, адаптація, біомаса, приріст, накопичення та трансформація енергії.

Мета — засвоєння та практичне використання основних екологічних законів, їх вірне тлумачення потребує оперування конкретними об'єктами, відповідною базою знань, що формується на основі уявлень про реально існуючі у природі екосистеми, їх організацію, функціонування, розвиток, складні взаємозв'язки між елементами.

7.1. Класифікація екосистем

Щоб «зрозуміти» екосистему, ще недостатньо знати, в яких умовах вона знаходиться. Необхідно проникнути в суть того, як вона побудована і яка її структура, — писав відомий німецький ботанік-еколог Г. Мойзель (1935).

Усе різноманіття екосистем за їх структурою, накопиченням і трансформацією енергії, специфікою кругообігу речовин можна поділити на дві великі групи: водні та наземні, що характеризуються цілим рядом відмінностей.

Одна з найсуттєвіших відмінностей полягає в тому, що наземні екосистеми характеризуються накопиченням величезних запасів біомаси, енергії в автотрофному блоці, і це визначає їх спосіб організації та функціонування. Автотрофний блок представлений рослинами, прикріпленими до ґрунту (горизонтальна фіксація), і характеризується певним типом розміщення у повітряному просторі та ґрунті (вертикальна фіксація). Така морфологічна структурованість визначає всі процеси, які відбуваються на суші.

У систематичному відношенні представники наземного автотрофного блоку характеризуються вищим і більш спеціалізованим ступенем розвитку, ніж водні організми. На відміну від останніх (представлених різними класами водоростей, а квіткові — лише окремими таксонами), автотрофи наземного блоку мають набагато вищу таксономічну диференціацію: водорості, лишайники, мохи, хвощеподібні, плауноподібні, папоротеподібні, насінні рослини, які досягли свого розквіту. Особливість автотрофного блоку суходолу в тому, що він часто формує складні взаємозв'язки з іншими організмами (мікориза, симбіоз у лишайників, запилення квітів, розповсюдження плодів тваринами тощо). У водних біоценозах теж формуються складні взаємозв'язки між організмами, але вони зовсім іншого характеру.

Завдяки функціонуванню автотрофного блоку на земній поверхні у результаті взаємодії з літосферою сформувався ґрунт, який є одним із депонентів і регулятором енергетичних потоків. Разом із тим ґрунт — це субстрат, до якого кріпляться рослини, і резервуар, з якого вони отримують поживні речовини. Ґрунт у поєднанні з наземним атмосферним блоком забезпечує функціонування наземних екосистем.

Результат взаємин автотрофного блоку з атмосферним середовищем через процеси дихання, транспірації забезпечує киснево-вуглекислий баланс, що впливає на рух повітряних мас, їх властивості (опади, температурний режим, характер розподілу).

Структура наземних екосистем залежить від характеру літосфери, атмосфери, кліматичних особливостей і чутливо реагує на такі зміни. Один із найважливіших екологічних чинників — гідротермічний режим, який визначає глобальні закономірності розподілу екосистем. Іншим таким чинником є родючість (трофність) ґрунту. На відміну від океану, де середовище змінюється поступово, наземні екосистеми мають чіткіше розмежування.

Все це визначає організацію наземних екосистем, їх функціонування, диференціацію і потребує розробки відповідних підходів, методів досліджень. Для оцінки різноманіття екосистем необхідна їх класифікація, що має фундаментальне значення і відображає структуру наших знань про об'єкти, є методом пізнання, організації та узагальнення.

Класифікація наземних екосистем ґрунтується на аналізі автотрофного блоку рослинності. Існує декілька підходів до класифікації рослинності: *фізіономічний* — на основі специфіки життєвих форм; *флористичний* — на основі характерних видів (Браун-Бланке) та *домінантний* — на основі домінантних видів. Використання того чи іншого підходу великою мірою залежить від поставленої мети, результату, якого ми хочемо досягти, детальності аналізу даних. Для класифікації одиниць найвищого рангу в межах земної кулі використовують фізіономічний підхід, в основі якого лежить розподіл видів за життєвими формами (біоморфами). При класифікації біотопів Європи, де добре вивчено флору і де відносно невисоке флористичне різноманіття ценозів, використовують флористичну класифікацію Браун-Бланке. На величезній території СНД використовують домінантний підхід, що дає можливість візуально й швидко класифікувати угруповання.

Оскільки ми даємо характеристики екосистем на найвищому рівні, то використаємо їх класичну класифікацію, яка ґрунтується на ознаках біоморф. Відповідно, об'єктом такої класифікації є ліси, степи (савани, прерії), пустелі (солончаки), болота, наскельні угруповання та вторинні рудеральні й сегетальні угруповання. Для оцінки значимості екосистем наводимо дані щодо їх величини та площі на земній кулі (табл. 7.1).

Найбільше біомаси концентрують наземні екосистеми, зокрема вологі тропічні ліси. При цьому біомаса лісових екосистем становить 90 % від усієї біомаси, а їх площа — лише 22 % від площі земної кулі. Це означає, що саме ці екосистеми визначають енергетичний баланс біосфери.

Таблиця 7.1.
Розподіл первинної продукції та біомаси
у різних типах екосистем (біомах) земної кулі (Krebs, 1997)

Тип екосистеми	Площа, млн км ²	Величина первинної про- дукції, г/м ²		Глобальна первинна продукція млрд т/рік	Біомаса, кг/м ²		Глобальна біомаса, млрд т
		межа	середня		межа	середня	
Вологі тропічні ліси	17,0	1000—3500	2200	374	6—80	45	765
Листопадні тропічні ліси	7,5	1000—2500	1600	12,0	6—60	35	260
Вічнозелені ліси по- мірного поясу	5,0	600—2500	1300	6,5	6—200	35	175
Листопадні листяні ліси помірного поясу	7,0	600—2500	1200	8,4	6—60	30	210
Ліси бореальні	12,0	400—2000	800	9,6	6—40	20	240
Зарості та чагарники	8,5	250—1200	700	6,0	2—20	6	50
Савана	15,0	200—2000	900	13,5	0,2—15	4	60
Трав'яні угруповання помірного поясу (пре- рії, степи, луки)	9,0	200—1500	600	5,4	0,2—5	1,6	14
Тундра та альпійські угруповання	8,0	10—400	140	1,1	0,1—3	0,6	5

Рослинність пустель і напівпустель	18,0	10—250	90	1,6	0,1—4	0,7	13
Екстремальні угруповання пустель, скель, пісків і льодовиків	24,0	0—10	3	0,07	0—0,2	0,02	0,5
Сільськогосподарські угіддя	14,0	100—3500	650	9,1	0,4—12	1	14
Болота	2,0	800—3500	2000	4,0	3—50	15	1130
Озера та річки	2,0	100—1500	250	0,5	0—0,1	0,02	0,05
Континенти разом	149	—	1773	115	—	12,3	1837
Відкритий океан	332,0	2—400	125	41,5	0—0,005	0,003	1,0
Апвелінг	0,4	400—1000	500	0,2	0,005—0,1	0,02	0,008
Шельф континентальний	26,6	200—600	360	9,6	0,001—0,04	0,01	0,27
Водні луки та рифи	0,6	500—4000	2500	1,6	0,04—40	2	1,2
Естуарії	1,4	200—3500	1500	2,1	0,01—6	1	1,4
Океани в цілому	361	—	152	55,0	—	0,01	3,9
Біосфера разом	510	—	333	170	—	3,6	1841



Рис. 7.1. Основні біоми Землі:

■ — тундри, ■ — тайга, ■ — широколистяні ліси, ■ — степи, ■ — субтропічні ліси, ■ — савани, ■ — сухі тропічні ліси, ■ — дошові тропічні ліси, ■ — гори

7.2. Класифікація біомів

7.2.1. Визначення біома

Уперше в біологічну літературу поняття «біом» для позначення сукупності біоценозів територіальної одиниці (зони, області, регіону) увів Ф. Клементс (1916). Пізніше різні автори по-різному використовували цей термін і встановлювали для нього різні об'єми поняття.

Основною ознакою біомів, завдяки якій їх можна розділяти, є життєва форма рослин (чагарники, трави, дерева, чагарнички), кліматичні та едафічні клімакси, а також його складові — едафічні клімакси, стадії розвитку рослинності, в яких можуть домінувати певні життєві форми, склад тваринного населення.

Можна собі уявити, що *біом* — **великий тип біогеоценозів, який характеризується схожим характером рослинності і займає певні регіони планети. Біоми регулюються макрокліматом і, в першу чергу, кількістю опадів та температурою.**

Біоми мають певну цілісність. Наприклад, між зонами листопадних лісів і степів розташована лісостепова зона, де трапляються біоми лісу та степу. При теперішньому кліматі на території лісостепу можуть бути стійкими обидва типи біогеоценозів. Ліс вимагає більшої кількості води, ніж степ, але лісовий ґрунт ефективніше утримує її, ніж степовий. Там, де вже існує ліс, у ґрунті затримується достатньо вологи для існування лісу. Там, де розташовується степ, — для розвитку лісу води виявляється недостатньо. При зміні вологості або температури відбувається поступова зміна межі лісу та степу. Посушливий ліс змінюється степом, а зволожений степ заростає лісом. Проте залишається широка смуга, де мозаїчно чергуються два типи екосистем. Навколоводні ділянки, балки, діброви виявляються залісненими, а ділянки з піщаним ґрунтом, схили, що добре прогріваються, покриваються степовою рослинністю. Характерний тип рослинності залежить від ґрунту та клімату і впливає на них, а також визначає практично весь склад угруповань, що розвиваються в тому або іншому місці.

Відповідно до розташування біомів вони мають величезне значення у продукції органічної речовини: забезпечують кругообіг речовини та перетворення енергії на планеті (рис. 7.1).

7.2.2. Наземні біоми

Тундра. Біом холодного вологого клімату, який характеризується негативними середньорічними температурами, кількістю опадів близько 200—300 мм на рік і, найчастіше, наявністю шару вічної мерзлоти. Виділяють арктичну зону,

розташовану у високих широтах, та альпійську, розташовану у високогір'ях. Рослинність — низкорослі багаторічники: лишайники, мохи, трави та чагарнички.

Таблиця 7.2.

Біомаса та чиста первинна продукція основних біомів (у перерахунку на суху органічну речовину)

Біоми	Площа, %	Біомаса, г/м ²	Продук- ція, г/м ² за рік	Усього, млрд т/рік
Дощовий тропічний ліс	11,4	45 000	2200	37,4
Сезонний тропічний ліс	5,0	35 000	1600	12,0
Листопадний ліс	4,7	30 000	1200	8,4
Степ	6,0	1600	600	5,4
Пустелі	16,1	20	3	0,1
Озера і річки	1,3	20	250	0,5
Землі, що обробляються	9,3	1000	650	9,1
Сумарно для суходолу (29,2 % планети)		12 300	773	115,0
Відкритий океан (пелагіаль)	92,1	3	125	41,5
Континентальний шельф	7,4	10	360	9,6
Зарості водоростей та рифи	0,1	2000	2500	1,6
Зони апвелінгу	0,1	20	500	0,2
Естуарії	0,4	1000	1500	2,1
Сумарно для океану (70,8 % планети)		10	152	65,0
Сумарно для земної кулі		333	170	170,0

Тайга. Лісовий біом холодного клімату з довгою тривалою багатосніжною зимою та кількістю опадів, що перевищує випаровування. Основні лісоутворюючі породи — голчасті, видове різноманіття дерев невелике (1—2 домінантних види).

Листопадний ліс. Ліси помірного поясу. Розвиваються в регіонах із помірно теплим літом і відносно м'якою зимою з морозами. Характерний рівномірний розподіл опадів, відсутність посух, перевищення опадів над випаровуванням. Восени в міру скорочення тривалості світлового дня відбувається листопад. Листопадні ліси відносно багаті видами, характеризуються складною вертикальною структурою (нааявністю декількох ярусів).

Степ. Територія трав'яної рослинності у напівпосушливій зоні помірного клімату. Найчисленніші трави — злаки та

різнотрав'я, багато з них утворюють щільну дернину. Потенційне випаровування перевищує кількість опадів. Характерні багаті органічною речовиною ґрунти — чорноземи. Синоніми — прерія, пампа, вельд.

Савана. Тропічні злаково-деревні угруповання, що розвиваються в областях зі стійким чергуванням сухого та вологого сезонів. Окремі дерева або масиви чагарників розкидані між відкритими трав'яними ділянками.

Пустеля. Достатньо різноманітна група біомів, розташована в областях із вкрай посушливим кліматом або (у разі арктичної чи альпійської пустелі) вкрай низькими температурами. Відомі піщані, кам'янисті, глинисті, солончакові та інші пустелі. Типовими для пустель є середньорічна кількість опадів менше 25 мм або умови, що забезпечують дуже швидке випаровування вологи.

Субтропічні ліси та чапараль. Твердолисті вічнозелені деревні та чагарникові зарості у середземноморському кліматі з м'якою дощовою зимою та посушливим літом. Характеризується значним накопиченням сухої деревини, багатим видовим складом травостою.

Сезонний тропічний ліс. Поширений в областях зі спекотним кліматом і великою кількістю опадів, причому опади розподілені протягом року нерівномірно, з наявністю сухого сезону. Надзвичайно багатий трав'янистими видами.

Вічнозелений дощовий ліс. Найбагатший біом, розташований у регіонах із великою кількістю опадів (>2000 мм) і майже постійною температурою (близько +26 °C). У цих лісах зосереджено 4/5 усіх видів рослин Землі, переважає деревна рослинність.

7.2.3. Прісноводні біоми

Лентичні (стоячі) води. Калюжі, стариці, природні та штучні ставки, озера та водосховища. Умови життя визначаються у першу чергу глибиною (та освітленістю) і кількістю біогенів. Обмін біогенами та газами між поверхнею і глибиною часто утруднений.

Лотичні (текучі) води. Струмки, потоки та річки. Умови залежать від швидкості течії. Здатні переміщувати значні кількості води та інших неорганічних і органічних речовин, тісно пов'язані з навколишніми наземними екосистемами.

Болота. Специфічні біоми, які по суті не є водоймами. Мають велику кількість органіки, розкладання якої уповільнюється внаслідок нестачі у воді кисню; в основному характерні для помірного та помірно холодного клімату.

7.2.4. Морські біоми

Пелагіаль. Відкритий океан і морські глибини далеко від узбережжя. Продуценти (у першу чергу фітопланктон) зосереджені у відносно тонкому приповерхневому шарі води, куди легко проникає світло. Характерне безперервне опускання біогенів від поверхні на глибину.

Континентальний шельф. Прибережна зона морів і океанів, що сягає приблизно глибини 200 м. Багата видами та різноманітними морськими угрупованнями. Найрізноманітніші екосистеми характерні для коралових рифів, що також відносяться до континентального шельфу. «Гарячі плями» різноманіття характерні і для великих глибин, наприклад для місць виходу в морську воду вулканічних газів («чорні курці» та інші феномени).

Зони апвелінгу. Відносно невеликі за площею зони океану, де відбувається підйом на поверхню глибинних вод, збагачених біогенами. Здійснюють винятковий вплив на продуктивність усього океану в цілому.

Естуарії. Зони змішування річкових і морських вод, що утворюються в морях навпроти гирл великих річок. Характеризуються значною кількістю органіки, яку виносять у моря річки, та постійними коливаннями солоності.

7.3. Лісові екосистеми

7.3.1. Загальні риси лісів

Ліс — одна з ключових найпотужніших екосистем на планеті, яка забезпечує фіксацію, багаторічне депонування та подальше перетворення сонячної енергії, кругообіг речовин і складових елементів таким чином, що формується відповідний баланс у планетарному масштабі. Загальна площа лісів становить 48,5 млн км² (9,5 % площі поверхні планети), а запас їх біомаси — 1650 млрд тонн (89,6 % біомаси земної кулі). Це свідчить про те, що ліси — той глобальний чинник, який визначає геологічну роль біоти у функціонуванні біосфери, характер її стабільності та еволюції. Функціонування лісових екосистем сприяє перерозподілу атмосферної вологи, регуляції підземного та надземного стоку, акумуляції ґрунту та поживних речовин у ньому, протидії процесам ерозії. Лісові екосистеми забезпечують живлення потужного блоку консументів — лісових тварин, а також розвиток людського суспільства. Протягом тривалого часу ліс був основним джерелом палива, будівельних матеріалів, меблів, паперу тощо. Тепер його функції не менш значимі. Ліси мають

важливе санітарно-гігієнічне, бальнеологічне, рекреаційне значення.

На земній кулі ліси представлені великим різноманіттям біоценозів, які характеризуються різною структурою. Неодмінний атрибут лісів — наявність ярусу дерев (фанерофітів), який може сягати висоти від декількох до 50 м, має різний ступінь зімкнутості (0,1—1,0), диференціацію на яруси. Деревостани можуть бути представлені одним видом (монодомінанти) або бути настільки різноманітними, що на кожній ділянці трапляються сотні видів дерев, тому дерева одного виду ніколи не ростимуть поруч. Стовбури та кроки дерев — оселище для різноманітних типів ліан, птахів, звірів, комах. У тропіках на стовбурах у тріщинах кори накопичується велика кількість поживних речовин — субстрат для поселення епіфітів, серед яких багато високоспеціалізованих видів орхідних, бромелієвих, папоротеподібних. У помірній зоні стовбури дерев заселяються мохами та лишайниками. Листя одних дерев функціонує круглий рік, інших — певний сезон, що зумовлено нестачею опадів чи зниженням зимових температур. У результаті листопаду формується опад, що має важливе значення для існування консументів і ґрунотвірних процесів. Коренева система дерев має не лише різну глибину, а й різну структуру, тому функції її різноманітніші, ніж у трав.

Усе це свідчить, що лісові екосистеми, попри, можливо, бідніший флористичний склад угруповань, характеризуються значно більшим екологічним гіперпростором, що представлений великою кількістю різноманітних типів еконіш, які не притаманні трав'янистим біоценозам.

7.3.2. Вічнозелені дощові тропічні ліси

Тропічні дощові ліси займають площу 17 млн км² (11,4 % поверхні континентів, або 3,3 % поверхні планети); їх загальна біомаса становить 765 млрд тонн, або 41,5 % біомаси планети. Саме ці ліси визначають енергетичний потенціал планети, її характер розвитку та стабільний стан (Krebs, 1997). Найбільші масиви цих лісів сконцентровані в басейні р. Амазонка, на Західному узбережжі Африки, у тропіках Азійського континенту та на островах Океанії.

Тропічні дощові ліси — досить просторово складні, багаторусні системи з таким розподілом навіть рослинних організмів, що багато з них уже не мають контакту з ґрунтом. Це визначає велике різноманіття консортивних зв'язків і еконіш елементів біоценозу, високу спеціалізацію останніх, що є «вінцем» еволюції.



Рис. 7.2. Вертикальна ярусність деревостану тропічного дощового лісу (Річардс, 1961)

Деревостани тропічних лісів, як правило, триярусні (рис. 7.2). Верхній ярус має висоту 35—42 м, зімкнутість крон невисока.

Стовбури дерев, як правило, прямі, відносно тонкі, часто ребристі або жолобчасті, гілки розташовані високо, тому крона широка і дещо сплюснена. Кора тоненька (декілька мм), гладенька, світлого кольору, як правило, не тріскається, а відпадає маленькими клаптиками. Якщо в помірних лісах розгалуження в кронах досягає 5—8, то у тропічних — 2—3 ступеня. Характерна особливість — формування порослевих пагонів, які швидко ростуть угору, й у процесі росту крона з гострої, видовженої у міру проникнення у верхні яруси розширюється. Середній ярус має висоту близько 20—25 м. Його дерева ніби закривають «вікна» першого ярусу. Крони округлі або овальні, їх ширина приблизно дорівнює висоті. Нижній ярус висотою до 14 м, суцільний. Крони дерев цього ярусу довгі, загострені, конічні, хоча гілки відходять під прямим кутом від стовбура. Нижче цих ярусів розташовані невисокі деревця, кущі, молодий підріст дерев, трави, що у свою чергу диференційовані на два яруси.

Дерев та кущі тропічних лісів мають листя, котре відрізняється за формою, розміром, структурою, характером розташування, способом розпускання та ступенем захисту бруньок,

що свідчить про високу адаптивну спеціалізацію цих органів. Більшість дерев має не захищені плівкою чи лускою бруньки, в інших є форми захисту (волоски, виділення смоли або слизу). При розкриванні бруньок з'являються бліді, червоні або малинові, без хлорофілу, листки, що нагадують осінні кольори лісів помірної зони. Такі листки ще не мають механічних тканин, вони ніби зів'ялі. Молоді листки дерев верхніх ярусів нерідко досить сильно відрізняються від дорослих за розміром, формою та іншими ознаками. У «дорослому» віці більшість видів мають цілісні склерофільні листки «лаврового» типу темно-зеленого кольору від продовгуватого до еліптичної форми із гладенькими або дрібнозубчастими краями. Вершина пластинки має загострений кінчик.

Залежно від ярусів листові пластинки дещо змінюються. Від верхніх до нижніх ярусів спостерігається збільшення середніх розмірів листових пластинок, а щільність їх зменшується. Якщо у дерев верхніх ярусів кінчик листка короткий або відсутній, то у нижніх він загострений або видовжений, що пояснюється вертикальним градієнтом змін опадів і пристосуванням до швидкого осушення пластинки в умовах підвищеної вологості.

Особливості квітування дерев тропічного лісу полягають у наявності каліуфлорії — появи квітів на гілках та стовбурах. При цьому більшість видів запилюється комахами (ентомофілія), а також птахами (орнітофілія). Навіть представники вітрозапильних родин (анемофілія) мають запахи, що приваблюють дрібних комах. Що стосується поширення насіння та плодів, то у верхніх ярусах вони розносяться вітром (анемохори), у той час як у нижньому такий спосіб поширення відсутній.

Для тропічних дерев характерне велике різноманіття кореневих систем: *ходульні* — придаткові, часом досить зігнуті корені, що відходять від основи стовбура на висоті до 1 м і характерні для дерев нижніх ярусів заболочених місць; *крилоподібні* — плескаті трикутні пластини, розташовані між стовбуром і боковими коренями, характерні для дерев високих ярусів; *дошкоподібні* — гострі вирости в нижній частині стовбура, що мають різну форму і розширюються до основи. Ці корені формуються при різній вологості та багатстві ґрунтів, але в умовах малої їх потужності. Їх значення полягає в утриманні високих стовбурів. У дерев, що зростають на болоті, розвиваються *пневматофори* — кореневі вирости у вигляді колін, петель, що розташовуються над поверхнею ґрунту і забезпечують дихання.

Трав'яний покрив тропічних лісів за своєю структурою та фізіологічними властивостями характеризується високим

ступенем адаптації. Густи́й покрив формується на відкритих місцях, уздовж стежок, по берегах річок, а під наметом густого деревостану цей покрив досить розріджений та бідний. Велику роль відіграють папоротеподібні (*Polypodiaceae*), плауноподібні (*Selaginella*), характерні представники родин *Rubiaceae*, *Poaceae*, *Araceae*, *Cyperaceae*.

Як правило, рослини мають довгі надземні пагони, що ростуть декілька років і місцями дерев'яніють. Форма та розміри листя у трав досить різноманітні, вони досить широкі навіть у злаків. Забарвлення листків різноманітне, часто строкате, наявні плями, смуги. Характерна особливість рослин — та, що квіти знаходяться низько над поверхнею ґрунту.

Одна з найхарактерніших рис тропічних лісів полягає у наявності різноманітних ліан, виткі стовбури яких сягають декількох десятків метрів і обвивають крони дерев. Уздовж багатьох тропічних річок ліани формують щільні завіси, які повністю закривають дерева, а у порушених місцях ліани ведуть себе агресивно. За видовим різноманіттям ліани в лісах становлять 5—8 % загальної кількості видів ділянки. Залежно від способу кріплення виділяються групи рослин, які підіймаються, в'ються й поширюються за допомогою коренів або причіпок, що мають найрізноманітнішу форму. Цілковито специфічна екологічна група — рослини-душители, що не мають аналогів у наших лісах (*Ficus*, *Schefflera*, *Clusia*, *Coussapoa* тощо). Спочатку такі рослини проростають на стовбурах інших дерев, ростуть як епіфіти, а потім так щільно обплітають дерево-господаря, що воно відмирає. Велику та досить різноманітну групу рослин становлять епіфіти, які прикріплюються до стовбурів, гілок дерев, ліан і навіть до їх листків, але не отримують від них поживних речовин. Такі екобіоморфи високого ступеня спеціалізації формують специфічні еконіші, що забезпечують оселища для деяких тропічних тварин, які відіграють важливу роль у функціонуванні екосистем цього типу. Зокрема, звисаючі корені заселяються деревними мурашками. У розетках і піхвах листків виводяться жаби, личинки молюсків та водні комахи. Для накопичення перегною або зберігання води в епіфітів існують різноманітні пристосування (сплетіння коренів, щільні обгортки листків тощо). Приклад високого ступеня спеціалізації епіфітів — епіфільні рослини (водорості, лишайники та мохоподібні), які розвиваються на живих вічнозелених листках, що мають довгу тривалість життя.

На відміну від наших лісів, де роль редуцентів виконують нижчі організми (бактерії, гриби), у тропічних лісах ця функція властива також судинним рослинам, хоча кількість їх невелика (*Burmanniaceae*, *Liliaceae*, *Orchidaceae*, *Gentianaceae*,

Polygalaceae тощо). Вони, як правило, ростуть у найбільш затінених і вологих місцях. У таких лісах трапляються також кореневі паразити *Balanophoraceae* та *Rafflesiaceae* (*Rafflesia* має найбільші розміри квітів — до 50 см в діаметрі) і епіфітні напівпаразити (*Loranthaceae*, що нагадують нашу омелу).

У середньому запаси деревини у тропічних лісах досить високі — до 400 т/га, а маса листя 2,5 т/га. Середня кількість річного опаду сягає близько 11,6 т/га, що становить близько 3 %, останній показник близький до показників лісів помірної зони.

Клімат, у якому формуються тропічні дощові ліси, характеризується високою (+20...+28 °С) і постійною температурою, рясними опадами (>2000 мм), які випадають протягом більшої частини року. Тому поширення цих лісів залежить не лише від широти, але й від обрисів континентів, їх положення відносно океану, що зумовлює стабільність клімату, температурні коливання якого не перевищують 5 °С, та постійно високу вологість повітря.

Ґрунти під такими лісами латеритного типу, червоного або жовтого кольору, кислі, бідні на поживні речовини. Латеритизація характеризується вилуговуванням, збідненням кремнезему SiO_2 та збагаченням глинозему Al_2O_3 , Fe_2O_3 , у той час як при опідзоленні, характерному для наших лісів, вимиваються глиноземи Al_2O_3 , Fe_2O_3 і ґрунти збагачені кремнеземом. При вирубуванні лісів латерити швидко деградують, втрачають родючість через швидку мінералізацію органіки, тому для ведення сільського господарства розчищають від лісу все нові території, а після отримання 2—3 урожаїв збіднені ділянки залишають для заростання. Такий тип називають підсічно-вогневим землеробством.

7.3.3. Неморальні ліси

В умовах помірного та достатньо вологого клімату формуються неморальні широколистяні ліси. Існують три великих ексклави таких лісів: Європейський, Північно-Східно-Американський та Східноазійський. Два останні флористично багатші, ніж Європейський. Останній ексклав має найширший діапазон уздовж узбережжя Атлантичного океану від півночі Піренейського півострова до південної Скандинавії (58° пн. ш.), а в глибину материка звужується, доходячи до Уральських гір. В Європі із заходу на схід спостерігається закономірна зміна суцільного поширення головних домінантних порід: *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* (західні області України) — *Carpinus betulus* (до Дніпра) — *Fraxinus excelsior* (до Волги) — *Quercus robur* (до Уральських гір) — *Tilia cordata*

і *Acer platanoides* (до Західного Сибіру). Ліси в цілому складені із чотирьох видів (бук, дуб, граб і липа), а останні — співдомінують. Більшість видів — анемофіли, лише липа та клен запилюються комахами. Деревостани одно-двоярусні, висотою до 25 м, часто монодомінантні. Головний фактор, який визначає конкуренцію цих порід, — світло. Залежно від потреб освітлення дерева ділять на тіньовитривалі та світлолюбні, що формують ряд: ялиця — бук — ялина — клен — граб — липа — в'яз — вільха — ясен — дуб — верба — сосна — береза — модрина. Для найбільш тіньовитривалих дерев необхідно до 30 % освітлення.

Лісові екосистеми характеризуються специфічним середовищем, обумовленим потужним впливом едіфікатора деревного ярусу. У зв'язку з цим у них формується специфічний, досить стабільний флористичний склад, відмінний від складу відкритих місць довкола. Неморальні види дерев мають широкі листові пластинки. Це впливає на освітлення у приземному шарі, що досягає 3—30 %, а також на розподіл опадів і поверхневий стік, який є низьким (1,6—4,0 %). Під густий намет дерев, при якому ще розвивається трав'яний покрив, проникає до 3 % світла. Крони дерев — регулятор усіх процесів, що відбуваються в лісі. Крім освітлення та опадів, крони регулюють і тепло: удень вони найбільше нагріваються, а вночі найбільше охолоджуються. Крони також регулюють проникнення води до ґрунту та вологість повітря. При опадах менше 5 мм густі крони не пропускають води до ґрунту, а крони ялини затримують 42—70 % опадів, бука — 13—21 % опадів. У дубовому лісі розвинутий ярус трав'яних рослин здатний затримувати вологу, яка дорівнює вазі рослин. Мохи затримують вологу в 3—30 разів більше своєї ваги, а підстилка затримує 7—10 % опадів. В результаті до ґрунту проникає 10—12 % загальної кількості опадів (Чубатий, 1968). Разом із цим, під кронами тримається висока вологість повітря, на 25 % вища, ніж на відкритих місцях.

У холодний період року крони втрачають свою регуляторну функцію. У цей період найвища температура фіксується у наземному шарі, а завдяки сніговому покриву, який тримається довше, ніж на відкритих місцях, ґрунт насичується вологою, яка потім, у міру розвитку крон, забезпечує вологість повітря під наметом. Усе це, з одного боку, сприяє формуванню середовища, яке суттєво відрізняється від навколишніх зовнішніх умов, а з іншого — уповільнює процеси, «гасить» флуктуаційні відхилення, тобто стабілізує стан екосистеми.

Такий режим визначає закономірності розвитку біоти протягом вегетаційного періоду. Весною, після танення сні-

гу, у багатьох типах листяних лісів формується ранньовесняна синюзія ефемероїдів-геофітів *Galanthus*, *Scilla*, *Gagea*, *Anemone*, *Corydalis*, *Dentaria*, *Allium ursinum* тощо. Весняні геофіти мають підземні запасуючі органи (кореневища, цибулини, бульби), розташовані недалеко від поверхні, тому навесні, коли поверхня ґрунту швидко прогрівається, вони інтенсивно розвиваються. Такий розвиток зумовлений не тільки хорошим освітленням, а й впливом інших чинників (достатнім запасом вологи у ґрунті, величиною асиміляції CO_2 , яка досягає максимуму при температурі $+5...+15\text{ }^{\circ}C$, а при температурі $+15...+25\text{ }^{\circ}C$ цей баланс стає від'ємним), що у другій половині весни зумовлює припинення їх росту та поступове відмирання наземної частини. Уже навесні до появи крон квітують інші види (*Carex pilosa*, *Pulmonaria*, *Viola*, *Galeobdolon luteum*, *Asperula odorata*). Пізніше з'являється листя на кущах, а потім — на деревах. При цьому на низьких деревах і підрості листя з'являється раніше, ніж на високих дорослих деревах відповідного виду. Такі види дерев, як клен, розкривають листя на два тижні раніше, ніж граб чи липа, але раніше й припиняється ріст пагонів, що надає їм переваги у розвитку.

Паралельно зі змиканням, формуванням густого намету крон ефемероїди відмирають, і в трав'яному покриві лісів залишається до 20 видів. До них належать *Aegopodium podagraria*, *Asperula odorata*, *Carex pilosa*, *Galeobdolon luteum*, *Stellaria holostea* та ще декілька видів. Однак серед них домінують 1—2 види, і загальне проективне покриття їх може бути високим (до 70 %).

У лісах при зрілих деревостанах (понад 100 років) фітомаса становить 240—300 і досягає 400 т/га. При цьому на листя припадає 2,0—4,5 т/га (1,3 %), гілки — 12—14 %, стовбури — 60—66 %, на кореневу систему — 14—20 %. Фітомаса трав'яного покриву складає 1—10 %, і найбільший показник вона має у старих лісах.

Важливим показником функціонування екосистем є її приріст — накопичення біомаси протягом року. При цьому у дерев спочатку спостерігається кульмінація приросту у висоту, пізніше — по діаметру, й в останню чергу — приріст біомаси деревини в цілому. У середньому річний приріст деревини стовбурів бука складає 6 т/га, а в окремих місцях досягає 8 т/га. В інших листяних порід цей показник нижчий. Найвищий приріст деревини у молодих лісах і знижується з їх віком. Так, у дубових лісах він досягає максимуму в 42—56 років, а потім знижується, і до 100 років він практично припиняється, а в 120 стає від'ємним, і саме в цьому віці слід дерева рубати.

У функціонуванні лісових екосистем, формуванні лісових ґрунтів велику роль відіграє підстилка. На відміну від тропічних лісів, де запаси її низькі й протягом року однакові, у неморальних лісах після опадів (середньорічний опад 4 т/га) її запаси в цілому досягають 5—15 т/га. У дуба листя розкладається через 2,5 року, ясеня, граба, липи, клена — через 1,5 року.

Ґрунти під листяними лісами сірі лісові, рідше такі ліси зростають на дерново-підзолистих, а в горах — на бурих ґрунтах (рис. 7.3). У цих ґрунтах вміст гумусу становить 1,0—3,5 %; при цьому співвідношення між гуміновими та фульвокислотами досягає 0,8—1,3, що свідчить про високу мінералізацію нітрогену. Це найважливіший показник мінералізації ґрунтів, що залежить від вологості ґрунту та запасів підстилки, яка розкладається мікроорганізмами до мінеральних форм амонію NH_4^+ або NO_3^- . Середня величина інтенсивності мінералізації гумусу становить 5 % на рік від його запасів і дорівнює 31 кг/га. Збагаченість гумусу нітрогеном середня та низька ($C:N = 9,7—11,0$). Нітрифікаційна здатність цих ґрунтів теж низька, що свідчить про дефіцит нітрогену, доступного для рослин. При високій вологості та поганій аерації частина нітрогену втрачається у формі газових сполук N_2 , яку рослини не засвоюють. При низькій вологості чи низьких температурах процес розкладу гумусу теж уповільнюється. Таким чином, максимум розкладу підстилки відбувається при достатньому зволоженні та високій температурі, тобто в літні місяці. Для нормального функціонування екосистеми дубового лісу необхідно 450 мм/рік опадів, які йдуть на транспірацію та проникають у ґрунт. Цей показник відповідає річній кількості опадів у лісостеповій зоні.

Процеси кругообігу речовин, трансформації енергії, перетворення органічних форм нітрогену на мінеральні забезпечує редуцентний блок екосистем — мікроорганізми. Останні представлені грибами (1,0—1,5 т/га), актиноміцетами (0,7 т/га) та бактеріями (0,1—0,3 т/га). При цьому груба підстилка розкладається грибами та бактеріями, а потім у процес включаються інші гриби (актиноміцети). Інтенсивність і специфіка цих процесів залежать від вологості, температури та кислотності ґрунту. При вологості ґрунту понад 96 % і відсутності повітря аеробні процеси стримуються, а процеси окиснення йдуть анаеробним шляхом. У кислих ґрунтах більшу роль відіграють гриби, а в лужних — бактерії. У сірих лісових ґрунтах бактерії чисельно переважають над грибами. Таким чином, мікроорганізми забезпечують ті функції екосистем, які відбуваються у ґрунті. Про інтенсивність діяльності мік-

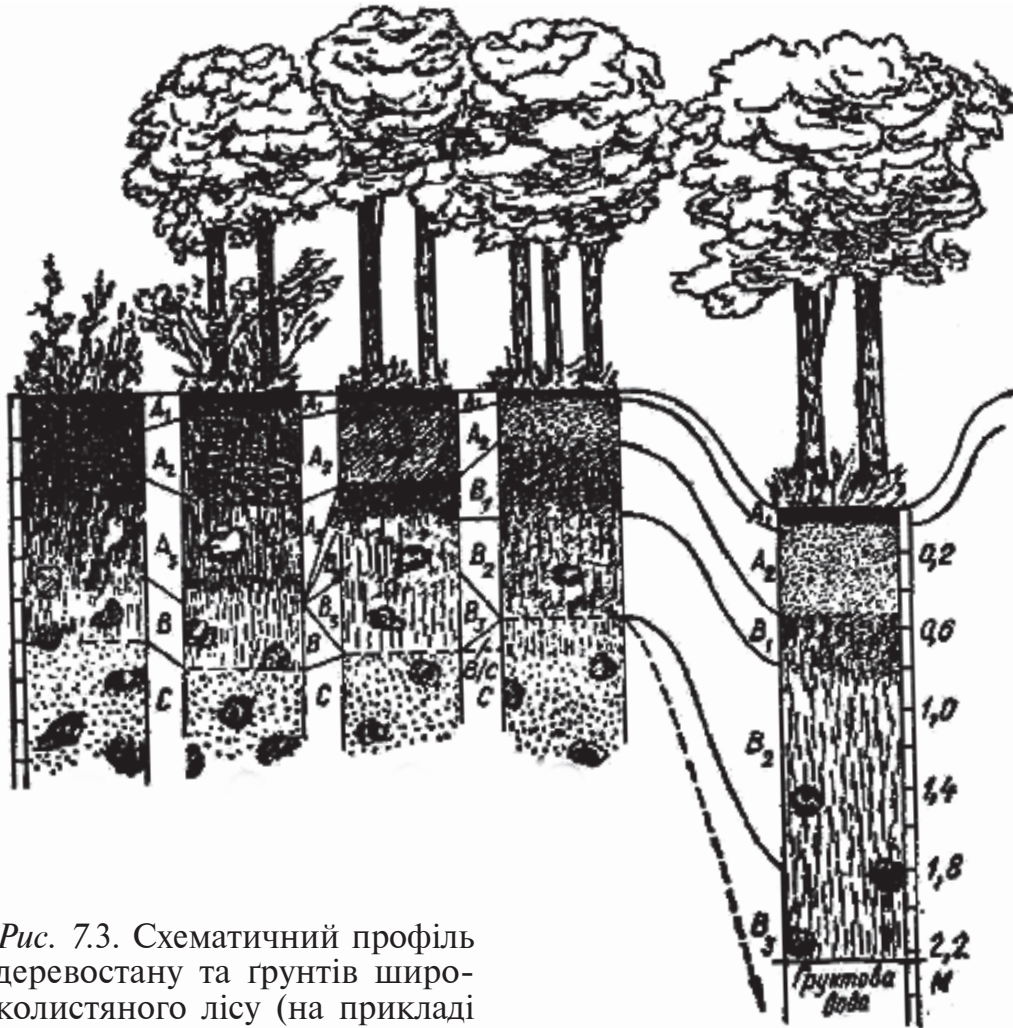


Рис. 7.3. Схематичний профіль деревостану та ґрунтів широколистяного лісу (на прикладі Чорного лісу) (Погребняк, 1993)

роорганізмів судять на основі виділення з ґрунту CO_2 . При цьому велику роль у цих процесах відіграють дощові черви. У кислому середовищі нітрифікація не відбувається, тому відбувається накопичення органіки у вигляді торфу.

Велику роль у функціонуванні лісових екосистем відіграють тварини-консументи, що живляться як живими, так і відмерлими рослинами, і таким чином прискорюють процеси трансформації органіки та забезпечують певний перерозподіл цих речовин по горизонтах і трофічних ланцюгах. Біомаса тварин у лісах у 1000 разів менша, ніж автотрофного блоку, тобто становить 0,1 % їхньої ваги. На експериментальних полігонах дубових лісів у лісостепу отримано такі показники: біомаса рослиноїдних ссавців (копитних і гризунів) становить 2,2, хижаків — 0,1, птахів — 0,2 кг/га; при цьому ссавці споживають 327 кг/га біомаси, що становить 5 % річного приросту. При цьому близько 8 % фітомаси підліску з'їдали лосі. Сьогодні ситуація у наших лісах суттєво змінюється, бо дикі травоядні копитні практично зникли; разом із цим в окремих масивах проводиться інтенсивне випасання свійських тварин, що суттєво впливає на хід сукцесій.

7.3.4. Хвойні ліси

Поширення цих лісів пов'язане з пониженням середньорічних і середньозимових температур, зменшенням тривалості періоду вегетації у високих широтах. Проте нерідко їх формування обумовлене едафічним фактором — бідністю ґрунтів (у таких умовах листяні породи не можуть конкурувати із хвойними). Тому масиви хвойних лісів в екстремальних умовах трапляються у різних зонах, включаючи тропіки. У горах Середземномор'я вони характеризуються домінуванням видів роду ялівець (*Juniperus excelsa*, *J. foetidissima*, *J. foenicea*), кипарис (*Cupressus*), кедр (*Cedrus atlantica*, *C. libanotica*), ялиця (*Abies*), сосни (*Pinus pinaster*, *P. brutia*, *P. nigra*).

Зона суцільного поширення хвойних лісів зветься бореальною і розміщена північніше неморальної. Хоча кількість опадів знижується з півдня на північ, але в умовах низької температури знижується також випаровування, що забезпечує високу вологість ґрунту, яка у цьому напрямку наростає. Тут середня температура понад +10 °С тримається лише 120 діб, що лімітує розвиток багатьох широколистяних порід, у той час як дрібнолистяні витримують такі умови. Так, для розвитку берези від появи листків до осіннього листопаду необхідно 114—145 діб (Rubnes, 1953). Бореальні ліси представлені темнохвойними ялинами (*Picea abies*, *P. obovata*, а в Північній Америці — *P. glauca*), смереками (*Abies alba*, *A. sibirica*, а в Північній Америці — *A. balsamea*), сосною сибірською або кедровою (*Pinus cembra*) та світлохвойними соснами (*Pinus sylvestris*) й модринами (*Larix europaea*, *L. dahurica*, *L. sibirica*). Модрини відрізняються від інших хвойних порід тим, що у них опадає хвоя.

Модринові ліси займають найбільшу площу, а модрина сибірська (*Larix sibirica*) зростає у найбільш суворих умовах Якутії, де зимові температури досягають —65 °С, а перепад між літніми та зимовими температурами досягає 100 °С.

Якщо відносно зміни температур рекордсменом є *Larix*, то відносно затінення — *Abies*, а едафічних умов — *Pinus*. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) зростає на бідних піщаних дюнах, верхових торф'яниках, кам'янистих осипах і крейдяних відшаруваннях, лише в оптимальних умовах на багатих ґрунтах вона поступається місцем конкурентнішим листяним породам. Натомість ялина (*Picea abies*) росте в умовах достатньо збагаченого вологого верхнього шару дерново-підзолистих, бурих чи торф'янистих ґрунтів, бо у неї поверхнева коренева система. По мірі зростання періоду вегетації, м'якої зими, океанічності клімату у ялини формуються широкі річні кільця, а опірність її деревини знижується. Проте, будучи

однією з найбільш тіньовитривалих порід, в оптимальних для неї умовах вона не має конкурентів.

Увесь цей комплекс факторів найкраще представлений у північних широтах, де хвойні ліси панують. Наявність вічнозеленого намету дерев визначає специфіку функціонування екосистем цього типу. Навіть узимку за позитивних температур хвоя дерев забезпечує функціонування фізіологічних процесів, пов'язаних із засвоєнням CO_2 і виділенням O_2 .

Вертикальна структура типових хвойних лісів триярусна. Перший ярус (18—25 м) формує доміантна деревна порода з невеликою домішкою декількох видів. Зімкнутість крон варіює у широких межах: від щільних темнохвойних, під якими освітленість сягає 3 % у *Picea abies*, до розріджених у *Pinus sylvestris* чи *Larix sibirica* на болоті, що втрачають властивості едифікатора. У хвойних дерев індекс листової поверхні вищий, ніж у листяних: для соснових лісів — 9,0—9,7, ялинових — 11, у той час як для листяних порід він дорівнює 4—7. Це означає збільшення у хвойних порід поверхні листових пластинок на одиницю площі, а відтак перехоплення ними опадів. Щільна крона ялини затримує понад 50 % опадів. У темнохвойних лісах чагарниковий ярус відсутній, а в соснових його утворюють декілька видів (наприклад, *Frangula alnus*, *Sambucus racemosa*, *Chamaecytisus ruthenicus*). Трав'яно-чагарничковий ярус формують вічнозелені хамефіти (*Thymus serpyllum*, *Calluna vulgaris*, *Antennaria dioica*, *Rhodococcum vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Lycopodium clavatum*) та гемікриптофіти, нерідко він суцільний. Це відрізняє його від травостою листяних лісів, у яких хамефіти трапляються рідко, але наявна синюзія ранньовесняних геофітів. У зв'язку з цим оптимум квітування та розвиток трав у хвойних лісах зсунутий на літній період, наземний ярус практично існує цілий рік, а фізіологічні процеси тут мають вимушену перерву через випадання снігу. Цей розвиток у хвойних лісах відбувається більш-менш рівномірно, без весняного «вибуху» та різкого осіннього відмирання. Цьому сприяє і те, що температура на поверхні ґрунту завдяки вічнозеленому деревостану не має таких різких коливань (на відкритих місцях лише на 2 °C вища, ніж під наметом). Такому стабільному режиму сприяє і те, що у хвойних лісах накопичується набагато потужніший (до 10—15 см) шар підстилки, який формується більш-менш рівномірно у результаті опадів хвої, а розкладається протягом 5—7 років. Підстилка сприяє тому, що ґрунт тут промерзає на місяць пізніше, а глибина промерзання на 40 % менша, ніж на відкритих місцях.

Неодмінний компонент хвойних лісів — лишайниково-моховий покрив, який може бути суцільним. При цьому

лишайники — атрибут сухих бідних лісів і зростають там, де інші види рослин вже існувати не можуть (види родів *Cetraria*, *Cladonia*), а мохи, по мірі зростання вологості та кислотності, змінюються від типових зелених (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum scoparium*, *Rhitiadelphus triquetrus*) до довгомошних (*Polytrichum commune*) та сфагнових (*Sphagnum sp.*) на болотах.

Усі ці особливості нівелюють, згладжують різкі зміни впливу зовнішніх факторів, тому такі екосистеми характеризуються високою стабільністю, урівноваженістю.

Поверхневий стік у таких лісах вищий, ніж у листяних: 15—26 % у ялинових і 7 % у соснових, у той час як у листяних лише 1,6—4,0 %. Разом із цим моховий покрив і підстилка затримує 18 % опадів, а до ґрунту проникає 24—40 % опадів, які утримуються у його верхніх шарах.

Середній запас біомаси у зрілих свіжих хвойних лісах становить 200—250 т/га, середня продуктивність (приріст) — 3—5 т/га, середній опад у соснових лісах досягає 4,0, ялинових — 5,0 т/га. При цьому запас наземного покриву постійний і сягає 14—19 т/га, тобто 7—8 % від загального, що значно вище, ніж у листяних лісах. Запас підстилки — 10—50 т/га, тобто у 3—5 разів вищий, ніж у листяних лісах, де він досягає максимуму восени і знижується до мінімальних показників улітку. Підстилка у хвойних лісах має кислу реакцію, характеризується нижчою інтенсивністю розкладу гумусу, ніж у листяних лісах. У ній менше бактерій, а більше грибів. У цих ґрунтах переважають фульвокислоти, у той час як у неморальних — гумінові: відношення в них Карбону $C_r:C_f$ знижується від 0,7 на півдні зони, до 0,2 на півночі. Її трансформація проходить швидше у верхніх горизонтах, ніж у нижніх: тут відбувається уповільнення процесу розкладу та формування потужного органічного шару грубого гумусу, а в сирих умовах — торфу. Оскільки в таких умовах сполуки нітрогену залишаються малодоступними для засвоєння рослинами, то цьому процесу сприяє мікориза грибів. У результаті у старих лісах, де приріст надземної біомаси припиняється, запаси підстилки нарастають. Під хвойними лісами формуються дерново-підзолисті ґрунти, в яких виділяються горизонти грубого гумусу (A_1) з високим його вмістом, підзолистий горизонт (A_e) та ілювіальний горизонт (B). Фульвокислоти сприяють вимиванню Fe_2O_3 та Al_2O_3 і накопиченню SiO_2 , що визначає власне процес опідзолення та формування елювіального підзолистого горизонту (A_e) та ілювіального горизонту (B) із колоїдами гумусу та згаданих сполук Fe_2O_3 та Al_2O_3 . Такий склад ґрунтів суттєво впливає на склад мікробіоти. У кислому середовищі з переважанням

фульвокислот домінують гриби, у той час як під листяними лісами — бактерії. Оскільки нижче при значній насиченості води кисню стає менше, то іржаво-вохристі окисли Fe_2O_3 змінюються зеленувато-синюватими сполуками FeO , що формують глеевий горизонт.

Таким чином, організація та функціонування екосистем хвойних лісів бореального типу суттєво відрізняються від листяних лісів неморального типу. Усі процеси (вегетація, формування опаду, розклад підстилки тощо), притаманні хвойним лісам, характеризуються згладженістю, а показники стабільністю, тобто меншою мірою, ніж у листяних лісах, реагують на сезонні зміни, що свідчить про вищу інертність перших і більшу динамічність других.

Усі лісові біоценози характеризуються тим, що їх енергетичний потенціал концентрується в біомасі, де і знаходиться регуляторний механізм, що визначає їх поведінку через формування потужного фітогенного поля. Функціонування цього типу систем характеризується стабільністю, високою інерційністю, прогнозованістю розвитку сукцесійних стадій. Кругообіг речовин відбувається за трьома циклами, що мають різну швидкість: однорічний (C_1) — щорічний опад травостою, листя; малорічний (C_2) — опад і розкладання гілок, підстилки; багаторічний (C_3) — відмирання деревини. Активність кругообігу (частка відчужуваної біомаси від загальної) досягає 8—10 %, тобто лісові екосистеми надзвичайно стійкі завдяки високій інерційності великих запасів енергії та низькій швидкості її трансформації. За нашими підрахунками, біомаса лісів України відновлюється протягом 28,5 року, тобто у 14 разів повільніше, ніж трав'янистих ценозів.

7.4. Трав'яні типи екосистем

7.4.1. Степи, прерії

У міру просування від Атлантики у глиб Євразійського та Північноамериканського континентів ксеротермна рослинність розширює площі і формує зони степів (прерій) і пустель. Як показали Г. Вальтер (1968), Ю. Одум (1986), лімітуючим фактором, що визначає таку зміну, є аридність, сухість клімату, зниження кількості опадів до 250—500 (750) мм і сезонний розподіл опадів, що спричинює період посухи у другій половині літа. Підкреслимо, що, власне, не стільки низька сума річних опадів, як характер їх розподілу протягом року формує умови, за яких дерева рости не можуть. На відміну від тропічних трав'янистих саван, степи та прерії мають ще й зимовий період спокою, зумовлений зниженням

температури. При низьких запасах вологи, постійних протягом року, дерева ростуть і в пустелі, але там, де відбуваються різкі сезонні коливання опадів, — ростуть трави. Крім того, впливають інші зовнішні фактори (випасання, пожежі тощо), інтегральна дія яких сприяє розвитку трав'янистих угруповань.

Домінантна рослинність степів — ксерофітні злаковники (*Stipa*, *Festuca*, *Bromopsis*, *Koeleria*) з участю різнотрав'я. Степові рослини — у більшості гемікриптофіти, бруньки відновлення яких переживають несприятливі умови водопостачання влітку та холодні зими на поверхні ґрунту, що дає можливість розвивати вегетативні органи максимально швидко. Нестачу вологи рослини переживають завдяки щільним згорнутим пластинкам листків (злаки) або опушенню, що знижує транспірацію. На відміну від лісових видів із широким листям, що не може змінити свою форму, багато степових видів реагують на зміну вологості ґрунту досить швидко, навіть протягом доби. Інтенсивність транспірації регулюється шляхом замикання продихів і згортання листкових пластинок. Водночас степові види в умовах дефіциту вологи можуть змінювати осмотичний тиск (всисну силу) у ширших межах, ніж лісові, що забезпечує їм досяжність води, недоступної для деревних рослин.

Степові угруповання ефективніше витрачають вологу та при витраті одного літра синтезують 7—11 г біомаси, тобто утричі більше, ніж ліси. Частина видів (однорічники, геофіти) мають максимальну транспірацію навесні, а потім різко скорочують і під час літньої посухи усихають, встигаючи дати насіння. Багато рослин мають форму «перекотиполя» (*Eryngium*, *Falcaria*, *Phlomis pungens*, *Gypsophila*) й у сухому стані, відриваючись, розносяться вітром у степу. Степові злаки характеризуються високою адаптованістю до впливу антропогенних чинників (випасання, пожеж і витоπτування, косіння) і можуть існувати саме в такому режимі. Вони добре відновлюються після відчуження біомаси, оскільки мають інтеркалярний ріст, що надає їм переваги перед іншими видами. Водночас у цих рослин переважає парцелярний тип розмноження, що забезпечує їм домінування у фітоценозі. При відмиранні рослин накопичується підстилка, яка швидко розкладається, а рясна мичкувата коренева система, яка знаходиться у верхньому шарі ґрунту, забезпечує формування потужного чорноземного ґрунту.

Зональна зміна степів відбувається з півночі на південь, а прерій — зі сходу на захід, що визначається характером зміни співвідношення показників гідротермічного режи-

му. У преріях зі сходу на захід по мірі зниження опадів від 750 до 300 мм, середньорічної температури з +11 до +8 °С, збільшується випаровуваність, що визначає зміну рослинного покриву. Виділяються три зони прерій:

1) високотравна (*Andropogon gerardii*, *A. scoparius*, *Stipa spartea*, *Sporobolus heterolepis*, *Panicum virgatum*, *Agropyron smithii*, видів родів *Anemone*, *Aster*, *Ranunculus*, *Lomatium*, *Solidago*, *Vernonia*);

2) змішана з високими та низькими злаками;

3) низькотравна з домінуванням *Bouteloua gracilis* та *Buchloe dactyloides*.

В євразійських степах спостерігається наступна закономірність зміни угруповань: у зоні лісостепу степові екосистеми представлені лучними степами з домінуванням *Poa angustifolia*, *Bromopsis (erectus, riparia)*, *Brachypodium pinnatum*, *Carex humilis* (на карбонатах) і багатим мезоксерофітним різнотрав'ям (*Filipendula vulgaris*, *Salvia pratensis* тощо), яке протягом вегетаційного сезону змінює аспекти (рис. 7.4). Південніше тягнеться смуга різнотравно-ковилових степів (*Stipa pennata*, *S. pulcherrima*, *S. capillata*, *S. lessingiana*, *Elytrigia stipifolia*) з участю ксерофітних рослин (*Crinitaria villosa*, *Salvia nutans*, *Astragalus sp.*, *Artemisia reptans*, *Caragana frutex*, *Amygdalus nana*). На півдні України в північному Причорномор'ї формується смуга бідних злакових ковилових степів із домінуванням *Stipa ucrainica*, *S. rubentiformis*, *Agropyron pectinatum*, *Artemisia taurica*, *A. boschnikiana* тощо. В усіх смугах нерідко домінантами виступають *Festuca valesiaca*, *F. rupicola*, *Medicago falcate*, *Galium verum* з участю багатьох видів родин *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Brassicaceae*, *Rosaceae*, *Apiaceae*.

У вертикальній структурі угруповання біомаса степів переважно сконцентрована близько поверхні ґрунту. У цьому вузькому діапазоні вона диференційована на яруси (під'яруси) — верхній більш розріджений 1,5—0,8 м, другий густіший — 0,4—0,8 м, третій основний — 0,2—0,4 м і надземний до 10 см. Інколи окремі яруси випадають. Коренева система — дво-τριαрусна. На глибині до 20 см концентрується густе переплетіння тонких мичкуватих коренів і бульб, цибулин геофітів (рис. 7.5). Інші види різнотрав'я мають глибшу кореневу систему — до 1,5 м, а окремі види проникають на глибину до 6 м. Співвідношення підземної до надземної біомаси становить 5:1 (рис. 7.6).

Ґрунти у степах — чорноземи — мають значну потужність (до 2 м) і змінюються від типових (знаходяться у лісостеповій та на півночі степової зони) до південних чорноземів. У вертикальному розрізі вони слабодиференційовані на горизонти,

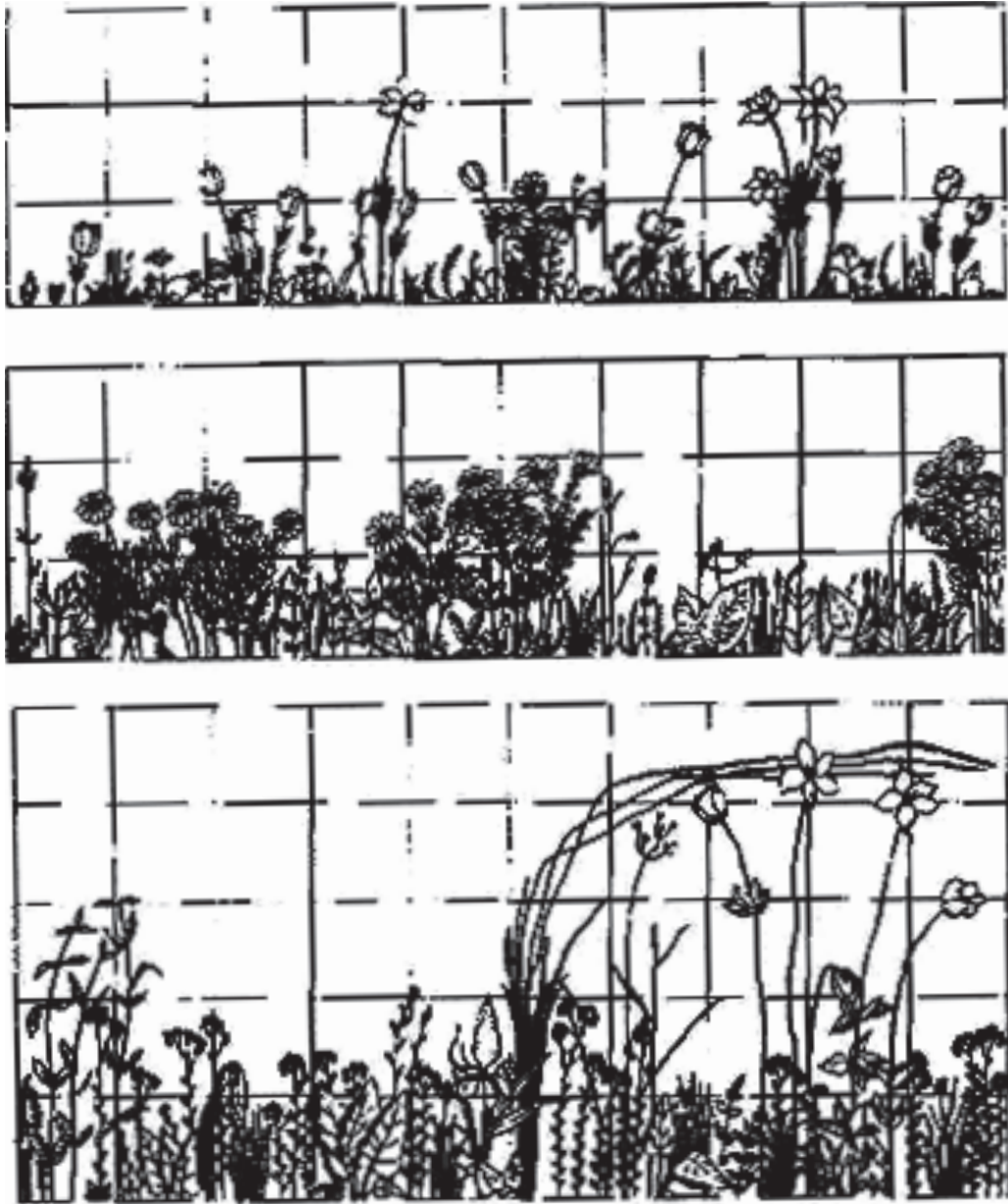


Рис. 7.4. Вертикальна проекція рослинного покриву степового біоценозу на різних стадіях вегетації (зверху — початок квітня, посередині — середина квітня, внизу — кінець травня) (Вальтер, 1975)

у яких вміст гумусу від верхніх темних (A_1) до нижніх світлих (A_{2-3}) знижується поступово до 10 разів. Чорноземи підстилаються лесом, тому поглинальний комплекс насичений карбонатами. Формуванню чорнозему сприяли як густа коренева система злаків, підстилки, що швидко розкладається, так і специфіка підстилаючих порід, хімічний склад, ґрунтова біота (як мікробний комплекс, в якому переважають бактерії, жовто-зелені, зелені водорості, так і дощові черви та інші безхребетні тварини).

У результаті реакції сполук Карбону з Кальцієм формується CaCO_3 , що у зоні проникнення води утворює «псевдоміцелій». Горизонт, куди проникають дощові води, характеризується скипанням CaCO_3 , який із просуванням із півночі на південь піднімається. Нижче «псевдоміцелію» у ґрунті формуються

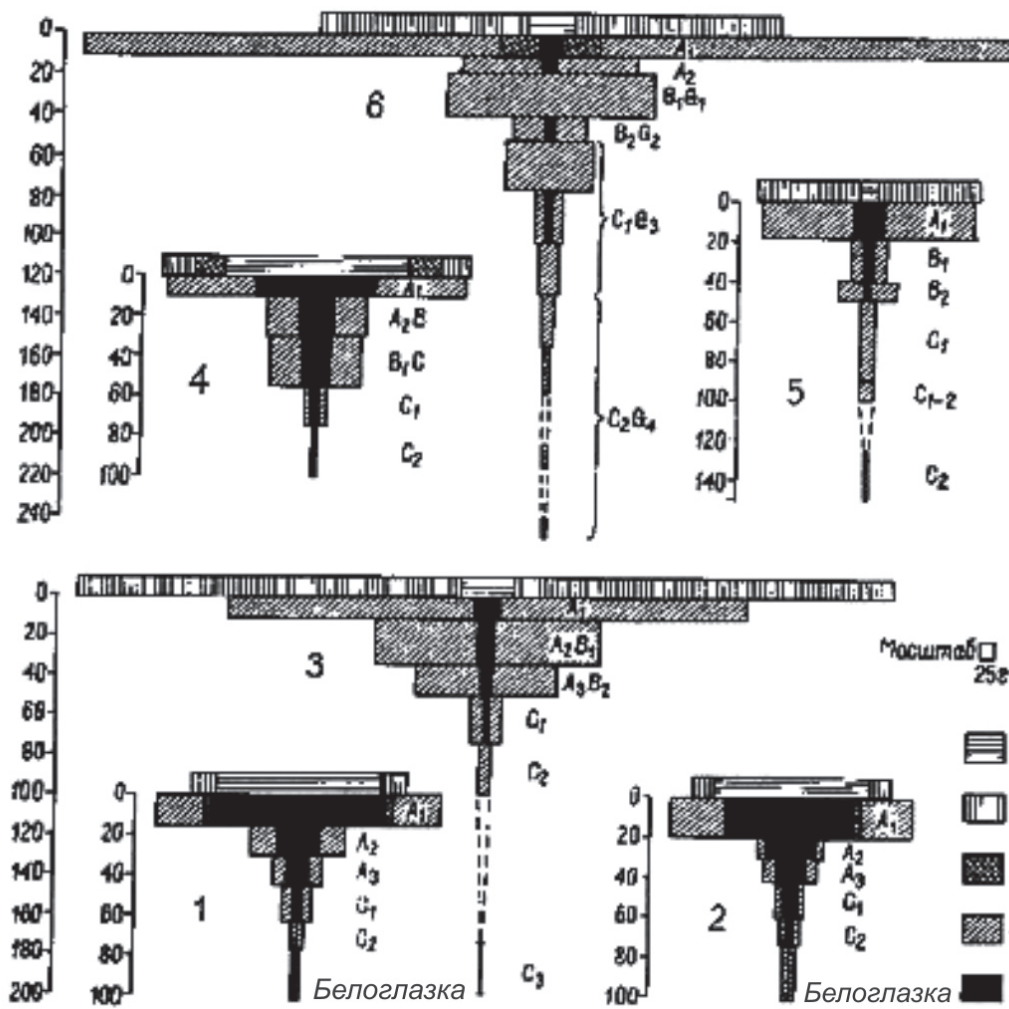


Рис. 7.5. Співвідношення надземної та підземної біомаси у різних типах степових екосистем (Шаліт): 1 — кострицево-ковилові угруповання Хомутовського степу, 2 — те саме з участю шавлії лучної, 3 — кострицевий степ Асканії-Нової, 4 — пустельно-ковилові угруповання Причорномор'я, 5 — напівпустельні угруповання з кострицею, 6 — засолені луки у подах Асканії-Нової

округлі біленькі конкреції CaCO_3 — «білозірка», а у південних чорноземах «псевдоміцелій» відсутній. Чорноземи характеризуються найвищим вмістом гумусу — від 5 % до 7—8 і навіть 12 %. Реакція ґрунту нейтральна або слабколужна ($\text{pH} = 6,8\text{—}7,3$). Енергетична ємність типових чорноземів становить $3,3\text{—}3,7 \times 10^{12}$ Дж/га, тобто удвічі-втричі вища, ніж сірих лісових ґрунтів.

Степові екосистеми якісно відрізняються від лісових. Сукцесії протікають за типом марківських ланцюгів, і кожна наступна стадія може розвиватись у декількох напрямках. Тому спрогнозувати кінцеву стадію практично неможливо. Ці системи чутливі до зовнішніх впливів. Запаси надземної біомаси незначні, але змінюються в досить широких межах — від 1,6 до 5,7 т/га сухої речовини — й учетверо нижчі за підземну. При цьому підстилка становить 100 % від надземної біомаси, а підземний відпад у 3—5 разів ниж-

чий біомаси підземних частин. Степи мають низький рівень запасів енергії в біомасі, слабку інертність, але за рахунок високої швидкості наростання біомаси, її відмирання та нагромадження забезпечується ефективність функціонування екосистем. Тобто степові екосистеми функціонують у режимі високої активності, максимального відчуження наземної біомаси та акумуляції енергії у підземній частині. Саме останній блок визначає характер функціонування екосистем, їх регуляцію. Хоча степи — динамічні екосистеми, проте у разі їх знищення вони відновлюються погано і не в повному обсязі. Період відновлення може тривати понад сто років.

Степи — біом, екологічні умови якого сприяють інтенсивному видоутворенню. Саме вони — центр розвитку багатих таксонів *Stipa*, *Astragalus*, *Centaurea*, *Allium*, *Dianthus*, *Oxytropis*, *Thymus*, *Salvia* та багатьох інших, серед яких чимало ендеміків і видів, занесених до «Червоної книги України» (2009).

Степи, що формували зональний тип рослинності на родючих чорноземах в Європі, були знищені, їх площа займає декілька відсотків від колишньої території. Типові плакорні степи збереглися у заповідниках, а невеликі ділянки — подекуди на схилах балок, курганів тощо. Враховуючи велике ландшафтне, ґрунтотвірне, біотичне значення, необхідна їх охорона.

7.4.2. Лучні екосистеми

Луки — угруповання багаторічних мезофітних трав (як правило, злаків), що розвиваються протягом усього вегетаційного періоду. Основними ознаками луків вважають високе, але не надмірне зволоження без вираженої літньої засухи. Ці біоценози формуються у широких межах зволоження та його зміни. В основному поширені в зоні із помірним кліматом (південь бореальної, широколистяна та лісостепова зони), але по заплавах річок проникають як до зони тундри, так і в степову зону. Луки мають вторинне походження, виникли у результаті господарської діяльності людини на місці лісів. Однак є первинні луки у субальпійському та альпійському поясах, або там, де різка змінність зволоження, засолення і дерева рости не можуть.

Луки — такі динамічні системи, на які сильно впливають погодні та гідрологічні умови. Цей вплив знаходить відображення у флуктуаціях — таких часових змінах травостою, коли у різні роки розвиваються різні домінанти. Велику роль відіграє безпосередньо людина, тому Т. О. Работнов вважав

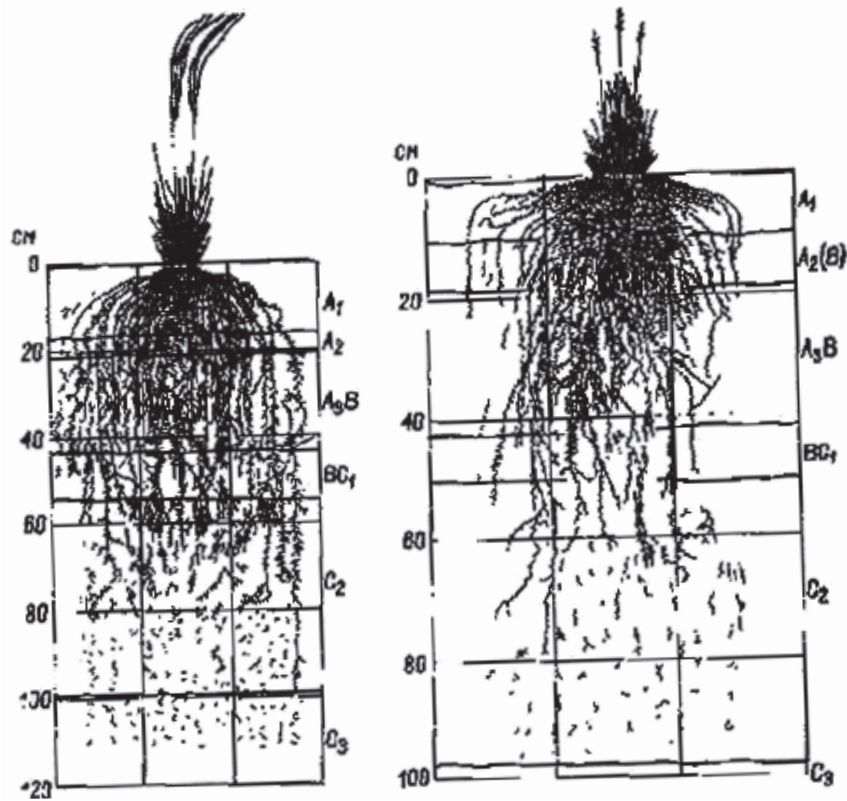


Рис. 7.6. Структура кореневої системи типових степових злаків: ковили Лессінга та костриці валіської

людину основним консортом (консументом), що визначає відчуження біомаси та енергії з лучної екосистеми.

Переважаючий тип біоморф лучних видів — гемікриптофіти-полікарпіки (85 %), але є однорічники та мало-річники. Хоча у гемікриптофітів бруньки відновлення на поверхні, однак у багатьох рослин є підземні бруньки відновлення на кореневищах і коренях. Підземні органи у лучних видів найбільш довговічні, характеризуються великим різноманіттям. За будовою кореневої системи вони стрижневі, мичкуваті, цибулинні, бульбо-клубневі. У багатьох видів характерне вегетативне розмноження як надземних пагонів — короткі, довгі, столони, так і підземні (короткі, довгі кореневища, кореневі виводки), що пояснюється рихлим ґрунтом, доброю аерацією. Багато видів — мікотрофів, що мають мікоризу, у тому числі у злаків, що покращує мінеральне живлення.

Ґрунти можуть бути кислуватими, нейтральними, лужними, інколи засоленими. У ґрунтах переважає дерновий процес, формується дерновий горизонт, де концентрується коренева система. Великий вплив на урожайність луків мають хімічні властивості ґрунту. Зокрема, традиційними є показники Нітрогену, Флюоров та Калію, які вносяться у вигляді добрив. Доступність елементів живлення залежить від вологості, температурного режиму ґрунту, забезпечення їх киснем, pH .

Луки класифікують за місцем розташування (заплавні, позазаплавні), водним режимом (болотні, справжні, степові, пустищні) та трофністю ґрунтів (торфовищні, засолені). У лучних ценозах домінують злаковники (злакові, осокові, ситникові). За кількістю видів переважають родини *Asteraceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Cyperaceae*, *Ranunculaceae*, *Scrophulariaceae*, *Apiaceae*, *Rosaceae*, *Caryophyllaceae*, *Lamiaceae*. На відміну від степів, процеси видоутворення набагато слабкіші, але вони проявляються в окремих таксонах (*Ranunculus*, *Pilosella*). В основному, в лучних угрупованнях нараховується по 30—40 видів трав.

Луки мають вищу продуктивність надземної біомаси, ніж степи, яка коливається від 0,1—0,9 т/га (пустищні), 2,0—3,0 (остепнені), 1,2—3,5 (справжні), 2,5—5,0 і навіть до 15,0 т/га (болотні). Зокрема дуже бідні карпатські луки з *Nardus stricta*, *Festuca rubra*, характеризуються біомасою 3 т/га. Підземна частина в лучних угрупованнях відносно надземної складової становить 1,0:2,3 — 5,0, тому в середньому показник загальної біомаси можна прийняти за 12 т/га. Підземні органи в окремих видів мають вагу від 2,7 (конюшина) до 10,0 т/га у злаків (тонконіг, райграс). Приріст лучних угруповань відносно високий, оскільки частина фітомаси поїдається консументами, хоча в кінцевому розрахунку фітомаса вирівнюється. У цілому сумарний приріст становить 150 % надземної біомаси (6 т/га), а підземної — оновлюється на 40 % (4,8 т/га) (Продуктивність ..., 1978). Швидкість розкладу невеликого шару підстилки нижча, ніж у степах, і становить один рік.

Сезонна динаміка на луках сильно виражена й досить різноманітна, що впливає на зміну їх продуктивності. Крім того, значними є флуктуаційні зміни, які відбуваються в різні роки і відрізняються від сукцесій різною орієнтованістю та циклічністю. При цьому річна продуктивність луків змінюється в 1—5 разів.

Один із провідних екологічних факторів розвитку лучних екосистем — затоплення, яке на лучні види впливає по-різному. При нетривалому (до 17 діб) урожай біомаси збільшується, а при тривалому — зменшується, хоча конкретні види реагують по-різному. Погіршується ситуація, коли затоплення супроводжується застоєм води, у якій мало кисню. Затоплення сприяє наноси мулу, що може мати як негативне, так і позитивне значення. У таких умовах найкраще почуваються рослини з довгими кореневищами або кореневивідкові. Вплив мулу залежить і від його фізичних характеристик: піщані наноси рослини переносять краще, ніж глинисті, які при пересиханні твердіють і тріскаються, що веде до зрідження травостою та випадання окремих видів.

Під материковими луками формуються опідзолені ґрунти, для яких характерний дерновий процес. Уміст гумусу становить 1—4 %. Залежно від ступеня вони бувають сильноопідзоленими (сірі та світло-сірі) та слабкоопідзолені (темно-сірі та чорноземи опідзолені), що, на відміну від інших чорноземних ґрунтів, мають безкарбонатний профіль. Для заплавних лук характерні різні групи гідроморфних лучних і алювіальних ґрунтів. Перші мають глибину гумусного горизонту від 25 до 100 см, їх профіль має добре виражені гумусово-акумулятивні, гумусово-перехідні та оглеєні горизонти. Алювіальні ґрунти мають глибокий, добре гумусований профіль акумулятивного типу, який постійно нарощується. У верхньому горизонті вміст гумусу сягає від 1—3 до 8—12 %, ємність поглинання основ від 10 до 30 мг-екв/100 г ґрунту. Вони мають близьку до нейтральної реакцію. При помірній зволоженості органіка у таких ґрунтах швидко гуміфікується і мінералізується, а при надмірній зволоженості розкладається гірше (Тихоненко та ін., 2005).

7.5. Болотні екосистеми

Поняття «болото» об'єднує різні типи екосистем — від лісових до трав'янистих і мохових і з різними типами живлення — від атмосферних опадів до мінеральних вод. Головна ознака болота — така надмірна вологість субстрату, за якої формуються поклади торфу понад 20 см (хоча існує думка, що є болота з відсутністю торфу).

Болота відіграють важливу роль у процесі функціонування біосфери. Від екватора до полюсів їх площа збільшується, і найвищий відсоток вони займають у зоні тундри. Відомо, що вони — акумулятори вологи, але останніми десятиліттями звертається увага на те, що болота депонують великі запаси сполук Карбону та Нітрогену й у кругообігу цих елементів відіграють вирішальну роль. При осушенні боліт відбувається додаткова емісія CO_2 : із депонентів Карбону вони перетворюються на забруднювачів.

У болотах акумулюються великі енергетичні запаси. Отже, їх геологічна роль полягає в тому, що вони забезпечують збільшення енергетичного балансу Землі.

Низинні болота розташовані у долинах річок і живляться безпосередньо за рахунок ґрунтових вод. Тобто ці болота розташовані у від'ємних формах рельєфу, де рівень ґрунтових вод завжди досягає межі, доступної для кореневої системи рослин, що знаходяться у верхньому шарі (рис. 7.7). За будовою та складом виділяють лісові (*Alnus glutinosa*), чагарникові (види роду *Salix*) та трав'яні (види роду *Carex*).

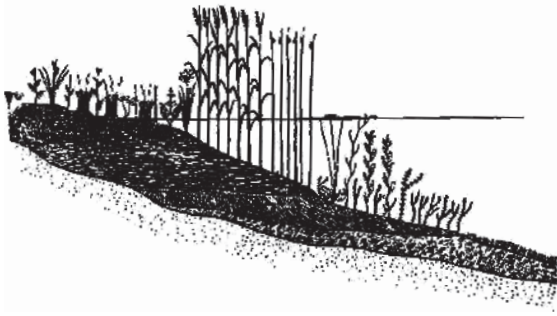


Рис. 7.7. Схема формування низинного болота на місці водойм

Характерна ознака цих трьох груп — зростання у них вологолюбних гігрофільних видів. Лісові болота мають чотири-ярусну будову. Деревостан до 20 м формує *Alnus glutinosa*, що часто зростає на високих — до 1 м — купинах-п'єдесталах. Зрідка у таких місцях можуть рости високі верби: *S. alba* та *S. fragilis*.

Чагарниковий ярус (до 3—5 м) буває дуже густим. Його формують *Salix cinerea*, *Padus avium*, *Frangula alnus*. Трав'яний ярус високий, має різну зімкненість і варіює у широких межах (20—80 %). Під густим наметом дерев розвиваються *Carex acuta*, *C. acutiformis*, *C. riparia*, *Filipendula ulmaria*, *Urtica galeopsifolia*, *Iris pseudoacorus*, *Lysimachia vulgaris* тощо. У цілому флористичний склад небагатий. Чагарникові болота представлені заростями верб, із таким самим флористичним складом трав і мохів, як у трав'янистих біоценозах. На трав'яних болотах можуть домінувати названі осоки, види різнотрав'я (*Filipendula ulmaria*, *Urtica galeopsifolia*), а також *Phragmites australis*.

Інтерес становлять болота, що формуються на карбонатних субстратах і поширені у західних областях України. Їхній флористичний склад досить специфічний. Домінантами виступають *Schoenus ferrugineus*, *Carex davalliana*, у них трапляються багато рідкісних видів *Cladium mariscus*, *Epipactis palustris* тощо. Лімітуючий фактор розвитку цих видів — не кислотність, а іони алюмінію, яких не витримують багато рослин.

Коренева система рослин низинних боліт, як правило, концентрується у верхньому горизонті торфу, залежить від його властивостей, і ярусність тут не виражена. Таким чином, у низинних болотах понад 90 % біомаси знаходиться у надземній сфері. Ґрунтові води мають різну реакцію (від слабокислотної до нейтральної, навіть слаболужної), що впливає на реакцію торфу, який в окремих випадках може бути насиченим карбонатами. Частка біомаси, яка восени відмирає, становить 90 %. Частина її розкладається, а частина переходить у торф. Таким чином, евтрофні болота — динамічні системи, функціонування яких регулюється водним режимом, за дефіциту якого розвиваються ліси.

Мезотрофні болота докорінно відрізняються від евтрофних. Хоча вони характеризуються змішаним типом живлення, як правило, вони розташовані за межами заплав, на плескатих рівнинах або знижених плакорах, в умовах застоювання

вод. Мезотрофні болота займають великі площі у бореальній зоні, зокрема трапляються на території України на Західному, рідше Центральному Поліссі, рідко в Розточчі, Карпатах і фрагментарно — по депресіях рельєфу в лісостеповій зоні. Характерна ознака мезотрофних боліт — наявність сфагнового покриву зі *Sphagnum cuspidatum*, *S. fallax*, осок (*Carex chordorrhiza*, *C. lasiocarpa*, *C. limosa*, *C. rostrata*) та інших болотних видів (*Scheuchzeria palustris*). Із дерев трапляються сосна (*Pinus sylvestris*) та береза (*Betula pubescens*). При цьому вважається, що мезотрофні болота не мають власних характерних видів. Частина з них характерна для низинних (евтрофних), а інша частина — для верхових (оліготрофних) боліт. Основу торфу цього типу боліт формують сфагні. Торф має нижчу зольність, низькі показники pH (4,5—5,7). Глибина торфу досягає 2—8 м.

Оліготрофні болота розташовані на плескатих або увігнутих формах невисоких плакорів, що перешкоджає стоку води. Живлення боліт не пов'язане з ґрунтовими водами і відбувається за рахунок атмосферних опадів, тому зрозуміло, що вони розвиваються в умовах достатньої кількості опадів і низького їх випаровування, а значить, при понижених температурах. Найбільші площі ці болота займають у зоні тундри та бореальній зоні, але фрагментарно трапляються південніше, зокрема на Поліссі та у Карпатах. У зв'язку з накопиченням торфу ці болота мають опуклу форму і можуть дещо підніматися над довкіллям.

У таких екстремальних, бідних умовах живлення росте невелика група рослин, серед яких едифікаторну роль відіграють білі мохи-сфагні, що характеризуються різними екологічними особливостями. Одні з них ростуть на купинах, які піднімаються на 50 см над поверхнею болота, інші — у западинах, що формує відповідний мікрорельєф і комплексний характер розподілу угруповань. На купинах ростуть *S. fuscum*, *S. rubellum*, *S. magellanicum*, *S. acutifolium*, у пониженнях росте *S. fallax*. Ці мохи поглинають воду як губка в кількості, що перевищує в десятки разів вагу власне рослин. Разом із цим рослина функціонує як гніт (сприяє капілярному підйому води, яка тримається досить високо). Сфагні нарастають верхньою частиною, а нижня відмирає, не мінералізується, а відкладається у вигляді торфу, потужність якого досягає декількох метрів. Такі торф'яники мають дуже кислу реакцію ($pH=3,5—4,5$). При високому ступені обводненості та відсутності вільного кисню органіка не розкладається. Глибше, в анаеробних умовах відбуваються процеси гниття, утворення газів H_2S , CH_4 , H_2 , N_2 , CO_2 , що потрапляють в атмосферу і ви-

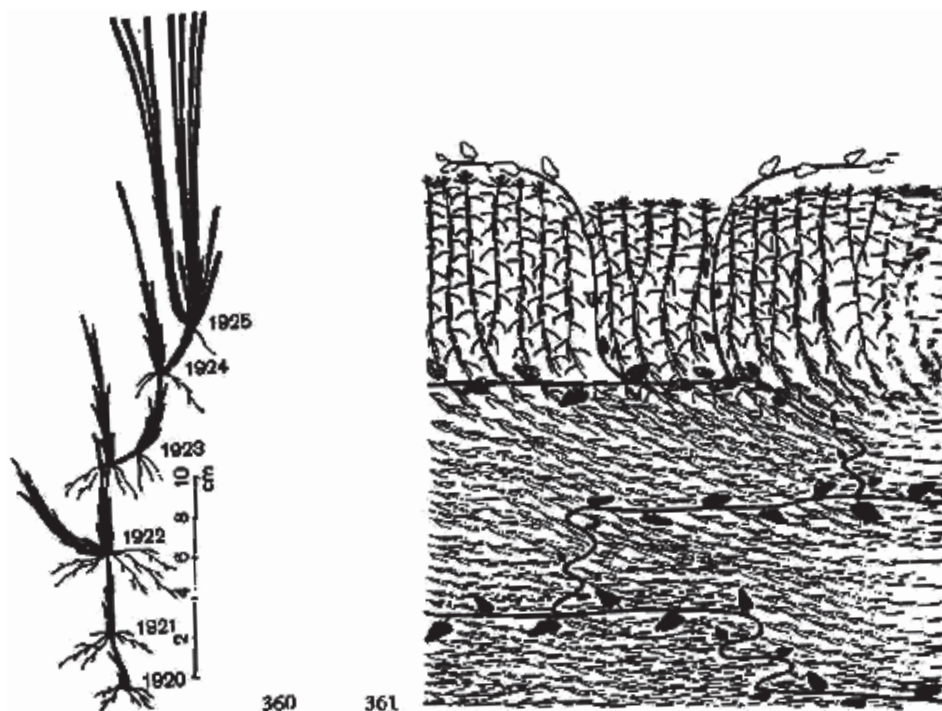


Рис. 7.8. Характер розподілу підземних частин рослин (*Carex fusca*, *Oxycoccus palustris*) у сфагновому торфі

водяться із кругообігу. На таких болотах ростуть невибагливі сосна (*Pinus sylvestris*) та береза (*Betula pubescens*), які займають вершини купин. Дерева навіть у віці понад 100 років досягають висоти не більше 5 м, стовбури у них тоненькі (до 15—20 см), зімкнутість крон низька ($<0,3$), і вони мають пригнічений вигляд. Флористичний склад боліт бідний і представлений невеликою групою видів, що мають вигляд «ксерофітів», бо пластинки листків у них опущені, асимілювальна поверхня слабо розвинута, є товстий шар епідермісу, хоча велика густота продихів, але пухкий мезофіл. Такі анатомо-морфологічні особливості протидіють перекачуванню води, яка тут у надлишку і в крайніх кислих оліготрофних умовах не містить поживних речовин, зокрема сполук Нітрогену, що є дефіцитним, лімітуючим фактором. У таких умовах зростають види (*Oxycoccus palustris*, *O. microcarpa*, *Andromeda polifolia*, *Empetrum hermaphroditum*), що характеризуються довгими горизонтальними кореневищами, які можуть наростати ввєрх відповідно до накопичення торфу, оскільки глибше, при високому ступені обводненості, настає кисневе голодування (рис. 7.8). Інші рослини (*Drosera rotundifolia*, *D. anglica*) живляться комахами.

Купина на певному етапі наростання не здатна забезпечувати відповідний водний режим, і на її вершині торф починає мінералізуватися. У таких місцях росте *Polytrichum strictum* і оселяються навіть лишайники (*Cladonia*, *Cetraria*), що формують субстрат для появи вересових (*Vaccinium uliginosum*,

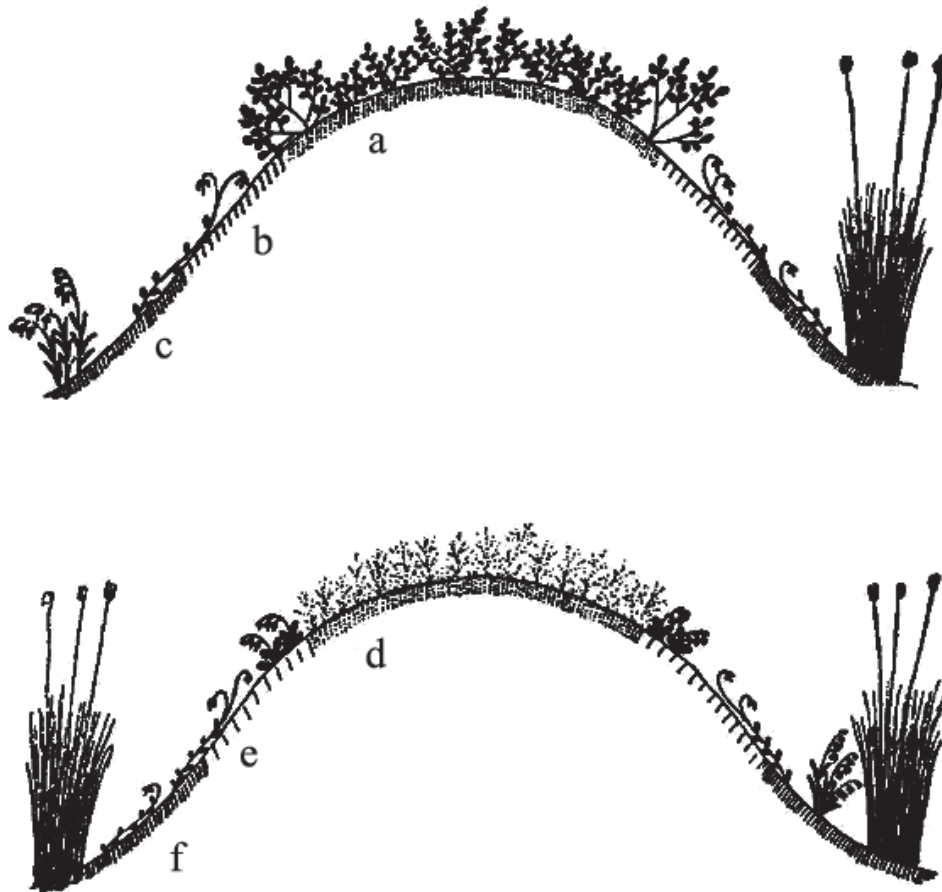


Рис. 7.9. Розподіл видів рослин на купинах верхового болота: *a* — *Entodon schreberii*, *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*; *b* — *Sphagnum pervifolium*, *Oxycoccus palustris*; *c* — *S. magellanicum*, *Andromeda polifolia*, *Eriophorum vaginatum*; *d* — *Polytrichum strictum*, *Calluna vulgaris*; *e* — *Sphagnum pervifolium*, *Oxycoccus palustris*, *Rhodococcum vitis-idaea*; *f* — *Oxycoccus palustris*, *Eriophorum vaginatum*

V. myrtillus, *Rhodococcum vitis-idaea*, *Calluna vulgaris*, *Ledum palustre*) (рис. 7.9). Ці рослини, як і згадані раніше представники *Ericaceae*, мають ендотрофну мікоризу, тобто симбіоз із грибами, що сприяє розширенню площ, спільних підземних органів і забезпеченню поглинання додаткових поживних речовин, якими так бідні торф'яники. У такому випадку, здавалося б, що від зміни зовнішніх умов найбільше страждають види на вершинах купин. Але в результаті досліджень доведено, що мохи мочарів (*S. cuspidatum*) чутливіші до літньої посухи, припиняють ріст і відмирають, що впливає на розвиток купин і характер функціонування болотної системи в цілому. При достатній вологості купини розростаються ще й у ширину, зникаються, і при підвищенні рельєфу формуються гряди і навіть «горби», що знайшло відображення у назві таких боліт — «горбисто-мочажинний комплекс».

У зв'язку з тим, що теплопровідність торфу низька, зимою болото не промерзає глибоко, але лід розтає повільно, й улітку субстрат залишається досить холодним, тому верхові болота характеризуються одним із найнижчих показників

терморезимув, високим показником континентальності, та розвиток рослинності тут дуже запізнюється. Встановлено, що в умовах Східної Європи мохи нарастають дуже повільно, при цьому мохи, що знаходяться на купині, нарастають повільніше (0,7—1,2 мм/рік), а в западинах — інтенсивніше (до 7,0 мм/рік). У цілому річна продуктивність мохів на купинах становить 2,0—3,2, а наростання боліт у висоту — 0,5—1,0 мм/рік.

Таким чином, верхові болота — стійкі екосистеми з високою інертністю, що дуже повільно розвиваються. Отже при їх порушенні виникають незворотні зміни, і вони не відновлюються, або таке відновлення вимагає великих витрат. Сьогодні в Європі розробляються програми відновлення боліт. У результаті меліорації боліт Полісся водний режим понизився і верхові торф'яники пересохли. Проблема полягає в тому, що такий торф не здатний більше абсорбувати вологу, і такі торф'яники мінералізуються, перетворюються на пустелі. Разом із цим торф має високу калорійність, і якщо в ньому виникає осередок займання, то його важко загасити, а процес тління може тривати місяцями.

Особливої уваги заслуговує охорона боліт, що знайшло відображення в Рамсарській угоді по збереженню водно-болотних угідь. Болотні екосистеми — оселище багатьох рідкісних видів тварин і рослин, акумулятор вологи, вони депонують величезні запаси Карбону, забезпечують кругообіг певних речовин і елементів на нашій планеті.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Вальтер Г. Растительность земного шара. — М: Прогресс. — Т. 1. — 1969. — 550 с.; Т. 2. — 1974. — 424; Т. 3. — 1975. — 428 с.

Krebs C. J. Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance, 1994.

Одум Ю. П. Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с.

Шабанов Д. А., Кравченко М. А. Материалы для изучения курса общей экологии с основами средоведения и экологии человека. — Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2009. — 292 с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Яку роль на планеті відіграють тропічні ліси? Чому потрібна їх охорона?

2. У чому полягає специфіка лісових екосистем?

3. Яке значення степів, і в чому полягають проблеми їх збереження?

4. Як впливають природні та антропогенні фактори на структуру та функціонування різних типів екосистем?

5. Які функції виконують болотні екосистеми та яка їх екологічна роль?
6. Охарактеризуйте структуру тропічних лісів. Які приклади адаптації видів ви можете навести?
7. Чим відрізняються тропічні ліси від лісів помірних широт?
8. Чим відрізняються неморальні листопадні ліси від хвойних?
9. Яке значення мають степи як екосистеми?
10. Як сформувалися луки?
11. Які типи боліт ви знаєте, й у чому полягає їх екологічна специфіка?
12. Що таке запаси біомаси та приріст?
13. Які екосистеми характеризуються найвищими запасами біомаси та найвищим приростом?
14. Як співвідносяться запаси енергії у різних типах блоків у різних типах екосистем?
15. Як залежить стійкість екосистем від їх енергетичного балансу та енергообміну?

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Вічнозелений дощовий ліс — найбагатший біом.
2. Морські біоми.
3. Прісноводні біоми.
4. Низинні болота, розташовані у долинах річок.
5. Провідні екологічні фактори розвитку лучних екосистем.
6. Переважаючий тип біоморф лучних видів.
7. Степові та лісові екосистеми.
8. Організація та функціонування екосистем хвойних лісів бореального типу.
9. Ґрунти у степах — чорноземи. Ще один вид біозабруднення.
10. Енергетичний потенціал лісових біоценозів.
11. Дерновий процес опідзолених ґрунтів.
12. Деревостани тропічних лісів.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Степові угруповання при витраті одного літра води синтезують біомасу: а) 7—11 г; б) 9—15 г; в) 11—18 г; г) 12—21 г.
2. У неморальних лісах середньорічний опад становить: а) 1 т/га; б) 2 т/га; в) 3 т/га; г) 4 т/га.
3. Середній запас біомаси у зрілих свіжих хвойних лісах становить: а) 100—150 т/га; б) 200—250 т/га; в) 300—350 т/га; г) 400—450 т/га.
4. У хвойних лісах накопичується шар підстилки до: а) 10—15 см; б) 20—25 см; в) 30—35 см; г) 40—45 см.
5. Деревостани тропічних лісів, як правило: а) однарусні; б) дворусні; в) триярусні; г) без'ярусні.
6. Біомаса тварин у лісах менша, ніж у автотрофного блоку: а) у 10 разів; б) у 100 разів; в) у 1000 разів; г) у 10000 разів.

7. Клімат, у якому формуються тропічні дощові ліси, характеризується постійними опадами: а) >500 мм; б) >1000 мм; в) >1500 мм; г) >2000 мм.

8. Загальна площа лісів становить: а) 28,5 млн км²; б) 38,5 млн км²; в) 48,5 млн км²; г) 58,5 млн км².

9. Запас біомаси лісів становить: а) 650 млрд т; б) 1650 млрд т; в) 2650 млрд т; г) 3650 млрд т.

10. Середній опад у ялинових лісах досягає: а) 2,0 т/га; б) 3,0 т/га; в) 4,0 т/га; г) 5,0 т/га.

11. Сумарний приріст надземної біомаси луків становить: а) 50 %; б) 75 %; в) 100 %; г) 150 %.

12. Реакція торфу (*pH*) оліготрофних боліт: а) 3,5—4,5; б) 4,7—5,3; в) 5,3—5,9; г) 6,0—6,5.

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питання	Відповідь	№ питання	Відповідь	№ питання	Відповідь
1	а	5	с	9	б
2	с	6	с	10	д
3	б	7	д	11	д
4	а	8	с	12	д

ЧАСТИНА ДРУГА

ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ

Розділ 8

ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛЮДИНИ

У розділі розглядаються екологічні особливості сучасної людини і сучасного людства й обговорюється механізм вироблення пристосувань до середовища, що характерний для нашого виду. Розглянуто демографічні особливості сучасного людства, механізми зростання його чисельності та причини сучасної екологічної кризи.

Основна ідея: Homo sapiens — один з багатьох видів тварин. За деякими ознаками — це типовий вид, відносно якого діють загальні закономірності. За іншими ознаками — цей вид є унікальним, його не порівняєш з будь-яким іншим. Щоб забезпечити стабільне існування людства, слід добре розуміти екологічну унікальність нашого виду.

Смислові зв'язки: систематичне положення людини — унікальні екологічні особливості нашого виду — культурне спадкування — механізми еволюції людини — динаміка чисельності — демографічний перехід — криза сучасності — екоконверсія.

Ключові терміни: поведінка, пристосування, культурне спадкування, вичерпні невідновні ресурси, енергетичні субсидії, криза, катастрофа, колапс, демографічний вибух.

Мета — сформулювати біологічні, природничо-наукові уявлення про біологічну природу людини, зрозуміти причини принципової нестабільності сучасного способу взаємодії людства з середовищем його існування.

8.1. Людина та тварини

Для сучасної суспільної свідомості звично проводити чітку межу між людиною та іншими тваринами. Але якщо ми хочемо зрозуміти, якою мірою загальноєкологічні закономірності стосуються людини, нам потрібно розглянути її місце серед інших тварин.

Перш за все слід підкреслити, що за своєю анатомією та фізіологією людина є досить типовим представником ряду Примати та класу Ссавці. Раніше вид Людина розумна (*Homo*

sapiens) розглядали у складі окремої родини *Hominidae*, а наших найближчих родичів серед інших приматів (шимпанзе, горил та орангутанів) відносили до родини *Pongidae*. Останніми роками за згодою більшості фахівців і наш рід, і три названих роди «людиноподібних мавп» відносять до родини *Hominidae*.

Із застосуванням сучасних технологій реконструкції філогенезу (шляху, який пройшла еволюція) можна досить точно встановити, коли розійшлися різні еволюційні гілки. Не викликає сумнівів, що наш вид походить з Африки. Генеалогічні лінії людини і шимпанзе розділилися близько 6 мільйонів років тому. Наша гілка була досить розгалуженою, до неї належало кілька родів та багато видів. Лише в останній геологічний час (приблизно в останні 30 тисяч років) лишився тільки один, наш вид нашого роду.

Чи образливо для людини те, що її відносять до тварин? Коли в повсякденному житті говорять про когось, що він «як тварина», зазвичай хочуть цим показати, що він діє не гідним людини чином. Багатьом з нас словосполучення «людина та інші тварини» здається неможливим або образливим. Але слід розуміти, що в констатації факту тваринної природи людини нема ніяких оціночних суджень. Це просто природничо-науковий факт.

Добре чи погано те, що людина є твариною? Задане питання не має сенсу. «Добре», «погано» — це етичні оцінки. Вони мають сенс у тих випадках, коли стосуються ситуацій, що допускають моральний вибір. Людина могла вдарити, а могла утриматися — ми можемо оцінити її вчинок як хороший або поганий. Ми є тваринами, тобто належимо до земних багатоклітинних еукаріотів, які живляться іншими організмами або їх частинами, поїдаючи їх у вигляді окремих часток, — тут ніякого вибору не існує. Як і інші природничо-наукові факти (що Земля обертається навколо Сонця, що молекула води складається з двох атомів водню та одного атома кисню, що жінки відрізняються від чоловіків тощо), ця обставина просто має місце — оскільки це впливає з наукової картини світу.

Слід особливо підкреслити, що обговорюваний факт також не є спробою спростувати віру. Наука і релігія принципово відрізняються одна від одної. Наука — спосіб побудови достовірного і практичного знання, заснованого на фактах. Строго кажучи, в науці не існує абсолютної істини, є лише узгоджені з фактами висновки, які заслуговують довіри. Те, що наш вид є одним з багатьох видів тварин, — не постулат, а єдине пояснення, що добре узгоджується з усією сукупністю природничих фактів. На відміну від науки релігія заснована на вірі і чудесному одкровенні. Головні для релігії питання

не можуть бути предметом перевірки. Оскільки нас цікавить наука, ми не будемо заходити на територію релігії і просто підкреслимо, що наші висновки і міркування відносяться до зовсім іншої області. Один з найвидатніших мислителів XVIII століття Іоганн Вольфганг Гете стверджував, що завжди існує два головних питання: «навіщо» і «як», і ці питання не треба змішувати. Друге питання повністю відноситься до компетенції науки.

Генетично, фізіологічно, біохімічно людина — плоть від плоті земної фауни (і, ширше, всієї біосфери). На сьогодні зібрано безліч доказів її поступового становлення в ході еволюції. Генеалогічне дерево людини виявилось набагато складнішим, ніж здавалося століття тому, бо наша група розвивалася декількома незалежними гілками. Приміром, 50 000 років тому на Землі жило не менше трьох (найімовірніше — чотири або більше) видів роду Людина.

Навіщо ми приділяємо стільки уваги цьому питанню? Вивчаючи світ, людина пізнає його через саму себе. Одне з визначень екології, яке ми дали на початку цього курсу, було таким: екологія — це наука про взаємозв'язки, що забезпечують існування організмів (включаючи людину) і надорганізмених систем: популяцій, екосистем і біосфери. Сьогодні існування людини під загрозою. Якщо ми хочемо вирішити поставлені перед нами завдання, ми повинні розглядати природу людини та її особливості, будучи вільними від будь-яких забобонів.

З появою на Землі глобального людства земна біосфера перейшла в новий стан. Як стане ясно з подальшого, людина має декілька принципових відмінностей від інших тварин, і, як не дивно, це не ті, про які люди думають у першу чергу. Щоб сформулювати принципи, спочатку розглянемо ті з них, які не є такими.

Безсумнівно, людина має чимало важливих кількісних особливостей. Наприклад, чисельність людства (а також його домашніх тварин) надзвичайно велика (рис. 8.1). Кількість людей приблизно в 100 000 разів перевищує «нормальну» для біосфери чисельність тварин з нашим розміром тіла! Кількість енергії, яку перетворює наш вид, незрівнянно вища за цей показник для будь-якого іншого виду.

Визнаючи важливість кількісних відмінностей, звернемо, проте, увагу на інші, принципові. З досвіду обговорення цієї теми можна розглянути деякі часто пропоновані відповіді.

Людина розумна. Нам складно дізнатися, що коїться в психіці ближнього, не кажучи вже про тварин. Так чи інакше, психіка високорозвинутих тварин, і людини в тому числі, забезпечує їх взаємодію з навколишнім середовищем і пристосування до нього. Те, що діється всередині цього

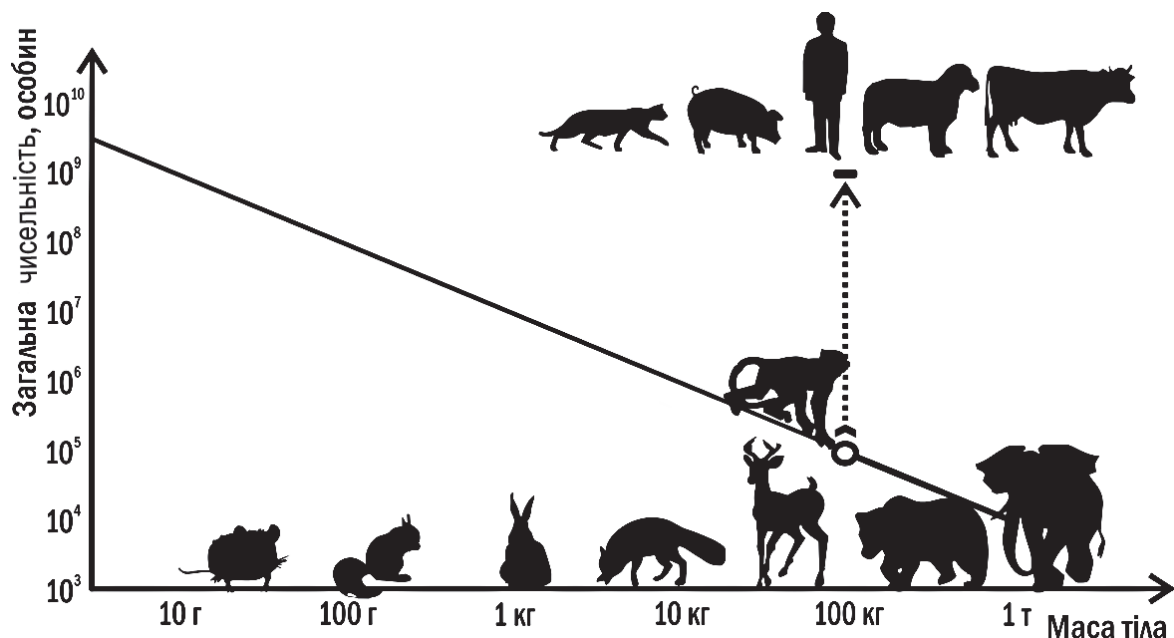


Рис. 8.1. Для ссавців характерна досить жорстка залежність між розміром тіла особини і чисельністю виду в біосфері. Наш вид і тісно пов'язані з ним домашні тварини відступають від цієї залежності на декілька порядків

«чорного ящика», описати і назвати вельми нелегко. Мабуть, ця відповідь правильна, але обмежуватися нею не слід. У яких особливостях, що проявляються зовні, виражаються унікальні властивості нашого виду?

Людина використовує абстрактні символи (другу сигнальну систему). Це характерно не лише для людини. Щоб повідомити іншим бджолам про місцезнаходження джерела їжі, бджола-розвідниця виконує особливий танець, бігаючи «по вісімці». Кількість коливань черевця при подоланні центральної частини фігури позначає відстань до джерела їжі, а кут нахилу цієї частини до вертикалі позначає кут напрямку польоту по відношенню до сонця з урахуванням поправки на його добовий рух!

Людина створює модель світу у своїй психіці і керується нею. З нахилу осі танцю бджіл можна встановити, де, за їх «розрахунками», знаходиться сонце. З'ясовується, що в їхній моделі світу сонце вдень рівномірно рухається зі сходу на захід над землею, а вночі — із заходу на схід під землею (бджоли «використовують» геоцентричну систему). Цим вони відрізняються, наприклад, від здатних орієнтуватися по сонцю риб, для яких воно вночі «рухається» із заходу на схід над землею, залишаючись невидимим.

Людина живе в суспільстві. У суспільстві живе також безліч видів тварин — від соціальних комах до зграйних і стадних ссавців. Громадська поведінка людини безліччю схожих рис пов'язана з поведінкою інших приматів.

Людина здатна вчитися. А ви бачили, як відрізняється дресирований собака від ненавченого? І хіба старий заєць не перевершує молодого в умінні рятуватися від хижаків?

Усі тварини змінюються самі, пристосовуючись до середовища, а людина змінює середовище. Бабак, що риє нору, змінює середовище в бажаному напрямку. Звикаючи за зиму до холоду, ми змінюємося самі — згадайте, при 0 °С восени холодно, а навесні — ні.

Людина здатна працювати. А що роблять оси, добуваючи для себе шматочки солодкої, а для своїх личинок — білкової їжі?

Людина створює штучні екосистеми. Бобри створюють греблі до кілометра завдовжки, затоплюючи привабливі ділянки лісу. Цим вони переслідують дві мети: дістатися до кормових рослин і захиститися від хижаків. Гребля залежить за своєю конструкцією від місцевих умов, постійно ремонтується та укріплюється гілками і брудом.

Людина може знищити середовище свого проживання. Задумайтеся про сумну долю дріжджів, що оселилися у виноградному соку. Вони переробляють цукор на спирт, доки проспиртоване середовище не стане непридатним для їхнього життя.

Людина будує міста і використовує інші види. Мурахи-листорізи заповнюють підземні приміщення своїх мурашників пережованим листям, вирощують там певні гриби (борючись з «бур'янами») і живляться їх плодовими тілами. Здатні мурахи і до «скотарства».

Дії людини доцільні. Людина здатна діяти як доцільно, так і здійснювати дивовижні помилки і просто безглузді дії. Те саме можна сказати про більшість видів тварин. Напевно, кожен з нас, звернувшись до власного досвіду, знайде масу підтверджень цієї думки.

Людина здатна завдавати шкоди своєму здоров'ю. У мурашниках можуть жити жуки ломехузи, що виділяють наркотичні речовини, від яких мурашки припиняють виконувати необхідні роботи. Мурахи всіляко піклуються про цих жуків і можуть розводити їх стільки, що це приводить до загибелі мурашника.

Людина відчуває дружні почуття по відношенню до близьких. Пуголовки жаб плавають зграями. Вони збираються в зграї, що складаються з їх родичів (причому рідні брати і сестри привабливіші двоюрідних), а з нерідних особин вибирають «знайомих» — тих, у чий спільноті перебували раніше.

То що ж, людина принципово не відрізняється від інших тварин? Ні, відрізняється, і дуже суттєво. Ці відмінності детально розглянуті далі.

8.2. Унікальні екологічні особливості людини

Щоб визначити унікальні особливості нашого виду, слід порівняти популяції людей і популяції будь-яких інших видів тварин екологічно — тобто з точки зору обміну речовиною, енергією та інформацією.

8.2.1. Глобальність (обмін ресурсами між популяціями)

Всі тварини мешкають у складі популяцій — сукупностей особин, що населяють певні місця й експлуатують їх ресурси. Це відноситься і до **видів-космополітів**, тобто видів, що трапляються майже по всій планеті. Людина — не просто вид-космополіт, а єдиний **глобальний вид**. Людство — не просто сукупність особин виду *Homo sapiens* (Linnaeus, 1758), а сутність із властивостями, відсутніми у її частин. Спробуйте уявити собі аналогічне поняття, що відноситься до будь-якого іншого виду!

Різниця між видом-космополітом і глобальним видом полягає не в широті розповсюдження, а в характері взаємодії між популяціями. Наприклад, сірий щур (пацюк) є космополітом і мешкає майже всюди, де є людина (а крім того, ще в деяких інших місцях). Але кожна популяція щурів існує лише за рахунок ресурсів свого конкретного ареалу. Спорожніє комора — зникне популяція щурів, що живе в ній. Частина особин загине, частина мігрує в інші місця. Але ніколи дві популяції щурів не будуть обмінюватися ресурсами. Вони можуть обмінюватися особинами, на розвиток яких були витрачені ресурси, але ніколи одна популяція щурів не буде передавати іншій невикористані ресурси.

Популяції людини функціонують зовсім інакше. Порахуйте кількість країн, в яких зроблені предмети щоденного вжитку? Обмін ресурсами між популяціями — типова особливість нашого виду. Ми знаємо різні форми такого обміну — від торгівлі до війни і навіть гуманітарної допомоги. Нині не *n* популяцій людини експлуатує ресурси *n* місць проживання, а єдине людство експлуатує біосферу в цілому.

Здатність передавати ресурси між популяціями — дуже давня особливість людини, що була притаманною навіть іншим представникам нашого роду (а не лише виду). У палеоархеологічних дослідженнях кам'яного віку встановлено, що люди могли використовувати знаряддя, які виготовлялися з каміння, що можна було добути лише у віддалених районах.

8.2.2. Використання викопної первинної продукції

Засвоївши обмін ресурсів, людські популяції частково подолали просторові обмеження, що стримували їх діяльність. Але ще дивнішим є те, що людство певною мірою пододало й деякі обмеження у часі.

Чи може популяція гетеротрофних організмів (тобто таких, що потребують отримання органічних речовин з їжею) споживати за рік більше енергії, ніж її накопичують автотрофні організми (ті, що можуть синтезувати органічні речовини з неорганічних) у їхньому місці перебування? Звісно, ні. Максимальна «стеля» потоку енергії, трансформованої усіма іншими тваринами, визначається поточною **первинною продукцією** (органічною речовиною, яку утворили автотрофні організми, тобто кількістю «зв'язаної» сонячної енергії). Але популяції людини можуть подолати цю межу. По-перше, це пов'язано з перерозподілом ресурсів між популяціями. А по-друге, людство в цілому перевершило таке обмеження! Це стало можливим завдяки використанню горючих копалин (первинної продукції минулих геологічних епох, що зберігається у вигляді вугілля, нафти, газу тощо).

Екологічний баланс (співвідношення між фотосинтезом та диханням в екосистемах та біосфері в цілому) не є врівноваженим: фотосинтез систематично переважає. Наслідком цього є накопичення органічної речовини на земній поверхні та кисню в атмосфері нашої планети. Кисень, що вивільнився в ході фотосинтезу, окислив у геологічній історії нашої планети всі відновники в атмосфері та на земній поверхні. Частина цього кисню розсіялася у космічному просторі. Органічну речовину, що відповідає кисню, який вивільнювався протягом земної історії, накопичено у земній корі, в осадових породах.

Людство використовує не лише сучасну первинну продукцію, а й викопну, у вигляді горючих копалин. Усі запаси викопної первинної продукції використати неможливо, оскільки в атмосфері недостатньо кисню, щоб їх спалити. Але для сучасного людства головним джерелом енергії є саме горючі копалини. Приблизно можна вказати, що людство за рік використовує стільки первинної продукції, скільки накопичувалося у земній корі за мільйон років.

8.2.3. Використання атомної енергії

Розглянемо інші джерела, з яких походить енергія, що використовує людство. Перш за все ми отримуємо енергію з нашої їжі. Ми — тварини, тобто гетеротрофні організми, що живляться іншими організмами або їх частками, отри-

муючи їжу шматками (а не у вигляді розчинів, як це роблять гриби). Ми живимось іншими гетеротрофами та автотрофами; якщо ми вживаємо у їжу гетеротрофів, ми отримуємо з ними ту енергію, яку вони отримали з автотрофів.

Найчисленніша група автотрофів — це організми, здатні до фотосинтезу. Вони синтезують органічні речовини з неорганічних із застосуванням енергії сонячного світла. А яку енергію несе світло? Енергію термоядерних реакцій Сонця.

Коли утворювався Всесвіт, утворилися і ядра хімічних елементів. Найпоширеніший елемент — Гідроген. Гравітація збирає розсіяну у Всесвіті речовину в зірки. Коли ядра Гідрогену стискаються з допомогою тяжіння до певної межі, вони перебудовуються. З двох ядер Гідрогену виникає одне ядро Гелію, і при цьому вивільняється значна кількість енергії. Ця енергія нагріває речовину зірок і надалі не дає ядрам наблизитися одне до одного. Зірка — це термоядерний реактор, що балансує між стисканням, яке викликає гравітація, та розширенням, яке викликає вивільнення енергії в термоядерних реакціях. Поверхня зірок гаряча (хоча й набагато холодніша, ніж їхні надра), і віддає енергію у вигляді електромагнітного випромінення — світла.

Таким чином, головне джерело енергії, яку ми використовуємо, — це термоядерні реакції, що перетворені фотосинтезом. Це стосується як первинної продукції сучасних рослин, так і продукції автотрофів інших епох, яку ми споживаємо у вигляді горючих копалин.

А яка за походженням енергія річок (яку отримують гідроелектростанції) та енергія вітру (яку отримують вітрові електростанції)? Це також енергія сонячного світла, але перетворена атмосферою та гідросферою. Сонячне світло нагріває земну поверхню нерівномірно, що викликає рухи повітря та води. Вода, що випаровується над океанами, переноситься вітром та випадає дощами на континенти. Вона опиняється на більшій висоті, ніж поверхня океану, і ця потенційна енергія підйому води є за походженням енергією світла. Вода стікає з континентів до океанів і переміщує при цьому значну кількість речовин. Цю енергію текучої води людина також використовує.

Якщо ріки безперервно переміщують речовини з континентів до океану, чому ж континенти ще не «розтанули»? Надра Землі є активними; внаслідок рухів напіврідкої мантії поверхнею нашої планети переміщуються тектонічні плити, вивергаються вулкани. Ці процеси забезпечують підйом речовин вище за рівень океанів. Яка енергія його викликає? Це та енергія, що забезпечила розігрів земних надр.

Земля утворювалася із залишків колишніх зіркових систем. Річ у тому, що коли термоядерне паливо у зірці закін-

чується, гравітаційні сили забезпечують її стискання. В цей час можуть починатися реакції між іншими елементами — наприклад, два ядра Гелію утворюють одне ядро Карбону. Іноді зірка переходить до іншого режиму функціонування, а іноді (це залежить від її маси та складу) — вибухає, перетворюючись на наднову. Речовина наднової зірки розлітається у космічному просторі; внаслідок бомбардування ядрами з високою енергією інших речовин можуть утворюватися ядра важких елементів.

Наша планета утворилася з космічного «мотлоху», який зібрала до купи гравітація. Після цього важкі елементи опустилися до центру планети, а легкі — впливли на її поверхні. Під час цієї гравітаційної диференціації земної речовини вивільнилася значна кількість енергії. Земля ще не встигла втратити цю енергію і тому лишається гарячою та активною.

Ще один процес, який відіграє роль у розігріві Землі, — це радіоактивний розпад важких елементів. Згадайте: ядра елементів, що легші за ферум, можуть зливатися при вивільненні енергії під час термоядерних реакцій; ядра елементів, що важчі за нього, розпадаються при вивільненні енергії під час ядерних реакцій.

Таким чином, земне середовище у стані, необхідному для існування складних організмів, підтримує енергія попередніх поколінь зірок. Це завдяки їй наша планета має складний елементний склад; це завдяки їй речовини, що осіли на дні океанів, з часом можуть піднятися на вершини гір і стати доступними для вивільнення. Можна вважати, що усі земні організми залежать від цієї материнської енергії нашої планети. Але людина використовує її незвичним способом.

Ця незвичність стосується не роботи нечисленних поки що геотермальних електростанцій і навіть не використання енергії припливів (що розсіюють материнську енергію системи Земля—Місяць). Лише наш вид, хоча й нещодавно (з XX століття), використовує ядерну енергію, яку вивільнює з важких елементів (як уран). Це є дуже незвичним для біосфери і є унікальною екологічною особливістю сучасного людства.

8.2.4. Залежність від вичерпних невідновних ресурсів

Ми встановили, що використання горючих копалин та ядерної енергії — унікальні екологічні особливості людства. Але треба звернути увагу на ще одну рису нашого виду.

Усі інші види гетеротрофів існують за рахунок продукції автотрофів. Якщо продуктивність автотрофів лишається

постійною, популяції гетеротрофів можуть експлуатувати їх потенційно безмежно. А для сучасного людства головними джерелами енергії є енергія горючих копалин та ядерного палива. Ці ресурси є вичерпними та невідновними. Рано чи пізно нам доведеться змінити спосіб життя й навчитися обходитися без них.

У 1956 році американський геофізик Кінг Хабберт описав динаміку нафтовидобутку. Колись нафту використовували зовсім мало. Потім вона стала «кров'ю» економіки, і її видобуток став зростати. Розвідувалися нові запаси, розширювався видобуток у відомих родовищах. Але з часом запаси починають скорочуватися. Підвищення цін на нафту викликає розробку все більш складних родовищ, але рано чи пізно нафтовидобуток зійде нанівець.

Раз якийсь процес зростає на початку своєї історії і знижується наприкінці, значить, десь посередині у нього є максимум. Хабберт припустив (загалом довільно), що крива нафтовидобутку повинна описуватися кривою Гаусса. Для території США пік Хабберта був пройдений в 1971 році, а для світу в цілому — як, здається, було припущено — у 2006-му. Невпевненість у датуванні піку пов'язана і з впливом світової економічної кризи, і з тим, що реальна крива нафтовидобутку таки має значно складнішу форму, ніж крива Гаусса.

Нафта закінчиться не так, як вода в крані, який відключили від водопостачання. Її видобуток буде все дорожчим і дорожчим, нових розвіданих запасів — усе менше й менше. Більш швидке зростання ціни видобутку, ніж ефективності використання, призведе до того, що видобуток зупиниться. І найкраще цю ціну вираховувати в одиницях енергії. Коли на одну калорію, добути з нафти, треба буде витратити одну калорію, яку, зрештою, теж отримують з нафти, людству доведеться злізти з нафтової голки.

Таким чином, надзвичайною особливістю людства є те, що наш сучасний спосіб життя є тимчасовим. Усе веде до того, що головні джерела нашої енергії зміняться.

8.2.5. Створення техносфери як головного споживача ресурсів

Ми зазначили, що головним джерелом ресурсів сучасного людства є викопне паливо. Енергоємність життя сучасного українця (а тим більше сучасного жителя США) є дуже високою. Але ж ми не їмо нафту та вугілля!

По-перше, як буде зазначено у наступному пункті, певною мірою ми їх їмо. Але, по-друге, ними живляться створені нами пристрої.

Порівняйте коня та автомобіль. І першого, і другого можна застосовувати для переміщення людей та вантажів. І те, й інше потребує для цього джерела енергії. Коня годують вівсом; органічні речовини, що містяться у кормі, окислюються киснем з вивільненням енергії. Частина цієї енергії витрачається на переміщення коня та вантажу.

Автомобіль живиться бензином і також окислює речовини, що в ньому містяться. Частина цієї енергії втрачається на переміщення автомобіля та вантажу. Кінь є результатом біологічної еволюції. Автомобіль — наслідок еволюції техніки. І кінь, і автомобіль з часом старіють і починають гірше виконувати свої функції. Між конем та автомобілем є й суттєві відмінності. Кінь потребує їжі, й коли перебуває у спокої; автомобіль, що не функціонує, не витрачає пального. Кінь «ремонтує» (підтримує у функціональному стані) себе сам, автомобіль потребує спеціального нагляду. Кінь розвився в онтогенезі, що почався у тілі його матері; ці процеси також використовували енергію корму. Автомобіль був зібраний у технологічному процесі з окремих частин. А кінь, на відміну від автомобіля, — живий!

Людство створило особливий світ технічних пристроїв — техносферу. Головні витрати енергії людства пов'язані з забезпеченням потреб техніки. Технічні пристрої, як і живі організми, потребують ресурсів і виділяють відходи. Вони змінюють середовище свого функціонування і навіть певним чином еволюціонують та розмножуються. Але, звичайно, вони є неживими. Техносферу можна вважати третім світом природи після неживого та живого світу.

Чим відрізняються технічні пристрої від знарядь, які можуть використати й інші тварини, окрім людини? Для їх функціонування необхідно, щоб через них текла енергія. Сокира або пила є чимось подібним до гілочки, якою в'юрок дістає комах з-під кори (хоча вони є набагато складнішими та технологічнішими знаряддями). Ці знаряддя зрушує енергія м'язів; вони зроблені для певного використання. На відміну від них бензопила або електропила працюють принципово інакше. Через них проходить потік енергії з іншого джерела.

Коли почалося використання людиною процесів, що самі перетворюють енергію? Вірогідно, першим кроком у цьому напрямі стало оволодіння вогнем. Ця здатність є набагато старшою за наш вид. Перші представники нашого виду з'явилися близько 200 тисяч років тому, а багаття представники нашого роду почали використовувати раніше, ніж мільйон років тому.

Одним з важливих наслідків створення техносфери є те, що людина викидає у середовище речовини, які раніше в ньому не існували, — ксенобіотики. В екосистемах відходи одних організмів є ресурсами інших. Ксенобіотики раніше не надходили в біосферу, і тому в ній відсутні їх споживачі.

8.2.6. Штучні біогеоценози — агросистеми, що субсидуються енергією з невідновних джерел

Одна з найхарактерніших особливостей людини — створення сільськогосподарських екосистем, агросистем. Це змінені природні екосистеми, які призначені для вирощування певних рослин чи тварин, отримання первинної або вторинної продукції. Чи є унікальною така здатність людини?

Як ми вже говорили, мурахи здатні вирощувати грибні сади та розводити попелиць. Діяльність бобрів змінює цілі екосистеми, перетворюючи ділянки лісу на ставки. Але людські агросистеми усе ж таки є чимось унікальним. Перелічимо кілька їх особливостей.

Перш за все агросистеми — це субсидовані енергією екосистеми. Згадайте, які процеси відбуваються на сучасному полі? Його орють трактори, що використовують паливо, отримане з горючих копалин. Його удобрюють добривами, виробленими завдяки енергії горючих копалин або, наприклад, атомної енергії. Різноманітна техніка проводить агрокультурні дії під час усього розвитку рослинності, і усі ці дії потребують енергії. Наприклад, коли поле поливають, енергія потрібна для того, щоб доставити воду та рівномірно розподілити її полем. Енергія зі сторонніх джерел є необхідною, щоб зібрати врожай, щоб його обробити та зберегти, щоб готувати та зберігати їжу і т. ін.

Вище ми сказали, що людина, як гетеротрофний організм, отримує з їжею первинну продукцію, в якій міститься перетворена енергія сонячного світла. Але певною мірою можна вважати, що ми з їжею отримуємо також і енергію горючих копалин. Річ у тім, що, наприклад, рослина пшениці на полі отримує не лише енергію сонячного світла, а й енергію горючих копалин. В інтенсивному сільському господарстві кількість енергії зі сторонніх джерел, яку отримують рослини, у кілька разів перевищує кількість енергії, отриманої від світла.

Архаїчне сільське господарство субсидувалося лише енергією м'язів людей, що обробляли поля, та енергією м'язів тварин (волів, на яких орали землю, та коней, на яких перевозили сільськогосподарські вантажі). На таких полях збирають значно менші врожаї, ніж на сучасних полях, що

субсидуються енергією горючих копалин, і саме цим пояснюється перехід сільського господарства на залежність від палива. А викопне паливо є вичерпним та невідновлюваним ресурсом.

Останніми роками поширилася реклама так званого «органічного» землеробства, при якому унеможлиблюється використання штучних добрив, отрутохімікатів та генетично модифікованих організмів. Прихильники таких технологій стверджують, що вони є особливо «екологічними». Ці міфи слід розглянути більш детально.

Особливістю будь-якої агросистеми є те, що з неї забирається частина продукції — органічних речовин, які будуть використані в іншому місці. З цією продукцією з агросистем забираються біогени — елементи, що входять до складу біомаси. Частина цих біогенів (С, Н, О) отримується з повітря та води. Інші біогени (Р, К, Fe тощо) отримуються з ґрунту, потрапляють у врожай і з ним вивозяться до місць споживання врожаю. Врешті-решт вони потрапляють до міських відходів, де перемішуються з елементами та речовинами, які є вкрай небажаними в агросистемах.

Нестачу біогенів необхідно компенсувати. Це можна робити з допомогою використання органічних добрив — залишків рослинної біомаси та відходів тваринництва. Біогени в цих добривах отримані з інших екосистем, де в свою чергу їх не вистачає. Цю нестачу доведеться компенсувати з допомогою штучних добрив. Таким чином, на певному «органічному» полі можна обійтися без «хімічних» (штучних) добрив, але це можливо лише завдяки збільшенню експлуатації інших ділянок землі. У тій частині, що стосується добрив, «органічне» землеробство є засобом отримання «чистих» продуктів для багатіїв, а це не вирішує сучасні проблеми сільського господарства.

Не менш складною є проблема отрутохімікатів. Якщо сьогодні ми відмовимося від цих речовин, наступного року почнеться голод. Але, без сумнівів, ми використовуємо значно більше отрутохімікатів, ніж це дійсно потрібно. Раціональні агротехнології здатні скоротити потребу в цих речовинах у кілька разів. Ці технології, у більшості випадків не потребують зростання енергетичних субсидій, а у деяких випадках сприяють їх скороченню.

Багато суперечок останніми роками точиться навколо генетично модифікованих організмів (ГМО). Без сумніву, значна частина пропаганди, спрямованої проти ГМО, заснована на дезінформації. Втім, деякі небезпеки, пов'язані з ГМО, заслуговують уваги. Для аналізу цих небезпек та розробки методів сертифікації ГМО слід розглядати кожную

категорію ГМО окремо. Наприклад, застосування ГМО-рослин, що є стійкими до пестицидів (отрутохімікатів, що спрямовані на бур'яни), призводить до значного збільшення забруднення середовища та врожаю. На відміну від цього випадку застосування ГМО-рослин, що є стійкими до шкідників і не потребують отрутохімікатів, сприяє скороченню забруднення.

Започаткований список можна продовжувати, однак він не може вичерпати специфічні характеристики людини. Ще кілька тисяч років тому перераховані особливості не були характерні для нашого виду, але він уже стояв осторонь інших тварин. За рахунок чого ж?

8.3. Біологічні особливості людини

На які спеціальності медичного вишу найважче потрапити? На гінекологію, стоматологію та хірургію. Фахівці цих галузей найбільш потрібні, тому що забезпечують функціонування систем, які перебудовувалися на останніх етапах біологічної еволюції людини. Для інтенсифікації культурного успадкування був необхідний гнучкий мозок, здатний до перепрограмування, а для його розміщення — об'ємний череп. Перебудови розвитку відбуваються в еволюції за рахунок дії регуляторів, які гальмують одні частини системи, що розвивається, і прискорюють інші. В ході еволюції людини розвиток лицьової частини загальмувався, а мозкової — прискорився. В лицьовому черепі виникли диспропорції, в результаті яких з'явилося підборіддя (анатоми і фізіологи довго намагалися встановити функції цієї частини тіла). Формування основи нижньої щелепи виявилось зрегульованим краще і загальмувалося менше, ніж зубної частини! На жаль, в результаті цих перебудов розвиток зубів виявився істотно розрегульований, що призвело до різкого зростання частоти їх хвороб. Зі збільшенням розміру головного мозку і черепа істотно ускладнилися пологи. Перехід до прямоходіння призвів до того, що таз, який обмежував органи черевної порожнини з боків, став чашоподібним і став підтримувати їх знизу. В результаті вихід із таза став вужчим, а пологи важчими. Вертикальне положення хребта змінило навантаження на нього. Частково їх компенсують вигини хребта, що виникають із розвитком опорної системи; але хребет все одно є джерелом багатьох проблем зі здоров'ям. Ймовірно, утиск тих чи інших нервів найчастіше є дійсною причиною багатьох хвороб.

Отже, людина «зроблена» з багатьма недоліками. Їх усунення загальмувалося: носії біологічних дефектів можуть

виживати і залишати нащадків завдяки культурним пристосуванням. Серйозною проблемою стало зростання в результаті успіхів медицини числа носіїв більш-менш серйозних аномалій.

Необхідність продовження періоду сприйнятливості до культурного успадкування призвела до затримки дорослішання людини і подовження її дитинства. Людина не може народжуватися з готовою структурою нейронних мереж головного мозку: вона повинна її сформувати в ході взаємодії з навколишнім середовищем та іншими людьми. Природно, в цьому процесі дуже важлива роль і спадкової компоненти. Ймовірно, ті чи інші спадкові задатки можуть істотно змінювати здатність мозку до навчання. Прикладом може бути синдром Тернера — генетична аномалія, при якій хворі мають лише одну статеву хромосому (жіночу) і розвиваються, як низькорослі безплідні жінки. Психічний розвиток таких хворих нормальний, але з характерним порушенням просторового мислення. Порушення функціонування мозку виявляється досить специфічним.

До речі, людям властива і ще одна дивовижна біологічна особливість. Людина — єдина з-поміж інших видів із постійним сексуальним потягом. Розмноження інших тварин тим чи іншим чином приурочене до певного проміжку часу. Так, для ссавців характерний естральний репродуктивний цикл самок. При ньому в момент овуляції (виходу яйцеклітини), тобто тоді, коли самка здатна завагітніти, відбувається еструс (тічка), що супроводжується відторгненням епітелію матки і характерними виділеннями. Ці зовнішні прояви служать сигналом для самців, стимулюючи боротьбу за статевого партнера і спарювання. Людині властивий менструальний цикл, при якому овуляція відбувається приховано, між менструаціями. Озброєні сучасним знанням люди вираховують момент овуляції (наприклад, з метою контрацепції) — і програють! Всупереч структурі цінностей сучасного суспільства, біологічне завдання організму — залишити нащадків. Менструальний цикл змушує самця (тобто чоловіка) регулярно вступати в сексуальні відносини з самкою (жінкою), «ловлячи» момент, коли вона здатна завагітніти. Отже, він повинен постійно жити з нею!

Нині важко точно сказати, на якому етапі еволюції людини виникла ця ознака, але певно вона тісно пов'язана зі створенням відносно стійкої сім'ї — соціальної структури, що створює сприятливі умови для культурного успадкування.

Оскільки чоловік піклується про нащадків жінки, з якою він живе разом, то повинен забезпечити, щоб це були його

нащадки (виросшуючи чужих дітей, чоловіки залишають менше своїх нащадків і зникають з популяції). Отже, він має запобігти її зв'язкам з іншими чоловіками. Для жінки подружня зрада біологічно припустима, адже вона в будь-якому випадку буде виховувати свою дитину. Якщо сторонній батько дитини життєздатніший за постійного співмешканця, це лише підвищить шанси дитини на виживання. Та й для чоловіка «зв'язок на стороні» вважають здебільшого прийнятним. Його біологічні витрати на дитину невеликі (не те що у жінки!). Якщо, крім дітей, виховуваних з постійною партнеркою, він буде мати потомство «на стороні», його внесок у прийдешні покоління лише збільшиться. Саме тому в суспільствах, де домінують такі погляди, панує подвійний моральний стандарт: зрада жінки — «це нищість», а чоловіка — «пригода» або «доблесть».

8.4. Культурне успадкування

Пристосуванням до якихось вимог середовища можуть бути і певні структури, і поведінкові реакції. На якій основі формується поведінка? Для більшості тварин на тій самій, що й інші ознаки. В ході розвитку, що проходить під генетичним контролем, у нервовій системі формується певна структура, що забезпечує необхідну поведінку. Бджола народжується готовою повідомляти про місцезнаходження їжі за допомогою танцю, а єнот-полоскун без усякого навчання схильний до полоскання їжі у воді.

Проте існує й інший спосіб надбання пристосувальних поведінкових ознак, названий культурним успадкуванням, тобто передачею ознаки в результаті навчання. Добре описаний приклад культурного успадкування в японських макак з острова Косімо. У 1953 році спостерігачі зареєстрували випадок, коли молода самка на прізвисько Імо впустила обліплену піском бульбу батату в воду і з'їла її вже чистою. Вона встановила зв'язок між цими подіями і стала мити у воді й інші батати. Частина її родичів (крім тих, хто був старшим від цієї самки за віком) «змавпувала» і перейняла цю звичку. Через якийсь час та ж самка спробувала кинути в воду і рис і відокремила його тим самим від піщинок. За час життя одного покоління ці ознаки поширилися серед усіх мавп даної популяції! Безсумнівно, що поширення цієї ознаки завдяки біологічному успадкуванню (як це спостерігається у єнотів-полоскунів) могло би відбутися лише під дією досить інтенсивного добору протягом тривалого часу.

В Англії кілька десятиліть тому були поширені молочні пляшки з кришечкою з жерсті. Торговці молоком

об'їжджали зранку будинки замовників і залишали біля їхніх дверей пляшки. Деякі синиці навчилися розкльовувати кришки молочних пляшок і з'їдати вершки. Незабаром такі випадки стали систематичними, і молокозаводам довелося переходити на інші типи пакування. Швидкість поширення нової ознаки однозначно доводить, що вона успадкувалася культурно, як успадковуються пісні у співочих горобиних птахів, деякі прийоми полювання у хижих ссавців і ряд інших ознак тварин.

Хоча культурне успадкування зустрічається у багатьох видів тварин, лише в людини та великих мавп (шимпанзе, горили та орангутанів), які належать до одної з нами родини, *Hominidae*, більшість ознак, що обумовлюють поведінку, передаються культурно, а не біологічно. Звісно, складність та кількість того, чого вчиться особина, набагато більша саме у нашого виду. Позбавлена багатьох специфічних пристосувань, людина еволюціонувала завдяки своїй здатності до гнучкої поведінки, пристосування до різноманітних умов середовища. У міру вдосконалення механізму культурного успадкування (яке відбувалося на біологічному фундаменті) пристосованість індивіда все більшою мірою визначалася не тим, що вона успадкувала біологічно, а тим, чого вона навчилася. Значною мірою на це впливає біологічно обумовлена здатність до навчання, але успадковується саме здатність освоїти певні форми поведінки, а не самі ці форми. Відношення біологічної та соціальної компонент у поведінці людини є приводом для дискусій. Наприклад, згідно з поглядами відомого мовознавця Ноама Хомського, люди мають вроджену здатність до засвоєння граматичних конструкцій мови (але, звісно, не володіють мовою без навчання).

Приблизно 40—50 тисяч років тому спрямована біологічна еволюція людини істотно сповільнилася, тривало лише відсіювання особин, що істотно відхиляються від біологічної норми, і зростала стійкість до інфекційних хвороб. Людина стала адаптуватися до середовища в основному культурно. Саме тому людина є біосоціальною істотою — вона має дві природи: біологічну і соціальну (культурно успадковану).

Зверніть увагу: біологічне (генетичне) успадкування в типовому випадку йде без спадкування набутих ознак, а соціальне, культурне — з їх спадкуванням!

Пояснимо це за допомогою схем. На рис. 8.2 показані шляхи передачі інформації у тварин, що не мають складної поведінки. Ознаки організму формуються під час онтогенезу (індивідуального розвитку), на який впливають як

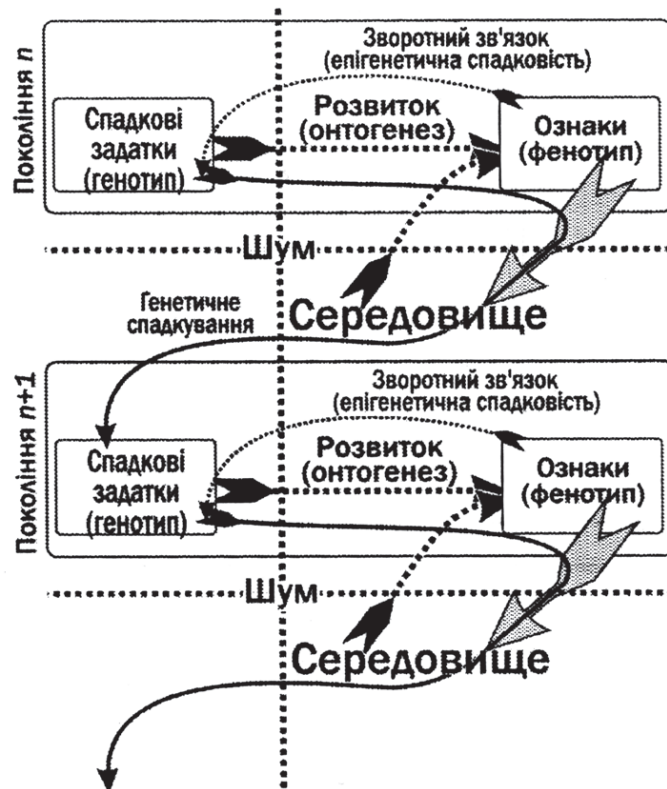


Рис. 8.2. Шляхи біологічної передачі інформації з покоління у покоління (пояснення у тексті)

генетичні задатки (генотип), так і середовище. Фенотип (сукупність ознак, що проявилися), що виникає у цьому процесі, взаємодіє із середовищем. Пристосовані (ті, що відповідають середовищу) фенотипи зберігаються і розмножуються, непристосовані відсіюються. Цей процес названо природним доборою.

На розвиток представників багатьох груп тварин (зокрема, ссавців) значною мірою впливає також явище епігенетичної спадковості. В залежності від впливу середовища одні з генів організму активуються, інші — деактивуються (це пов'язано з певними біохімічними модифікаціями ланцюжків ДНК). Ці зміни можуть передаватися нащадкам, сприяючи саме такому розвитку, який виявився пристосувальним у попередніх поколіннях. Епігенетичні зміни ДНК є відворотними й одними з досконалих механізмів керування онтогенезом.

Ви можете побачити на рис. 8.2 петлі зворотного зв'язку. Результат онтогенезу «перевіряється» середовищем і тим впливає на наступні онтогенези. Фенотип залежить від генотипу, але завдяки епігенетичній спадковості впливає на генотип.

За винятком епігенетичної спадковості, ознаки, що були набуті організмом під час його онтогенезу, не успадковуються. Вплив епігенетичної спадковості на поведінку, наскільки

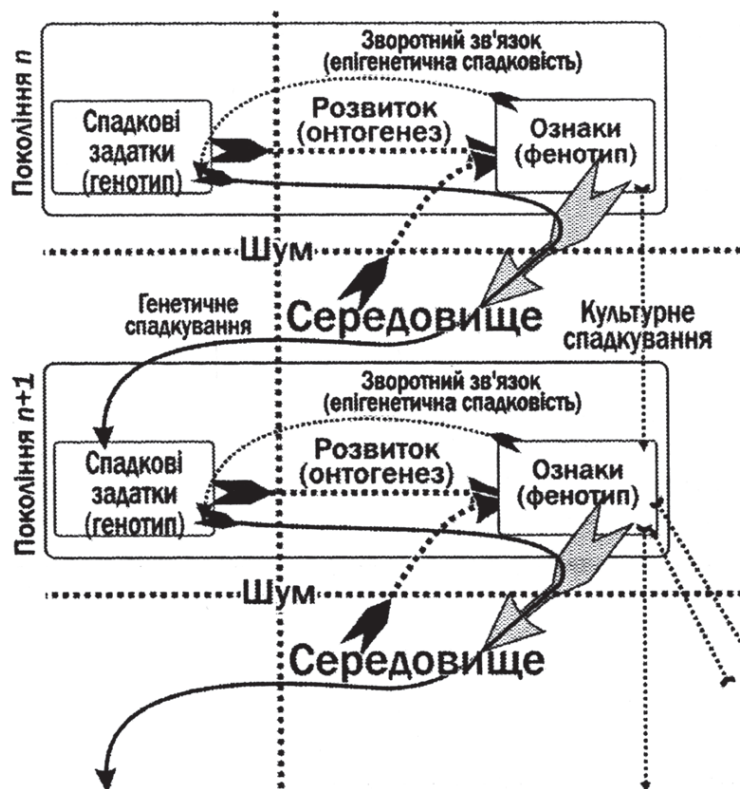


Рис. 8.3. До тих шляхів передачі інформації, що були показані на попередньому рисунку, додалися механізми культурного спадкування (пояснення у тексті)

про це можна судити на сучасному рівні знань, не є дуже важливим.

А як відбувається успадкування набутих ознак за допомогою культурного спадкування? Це показано на рис. 8.3.

Передача поведінкових ознак, яку забезпечує культурне успадкування, може проходити як від предків до нащадків, так і в інших напрямках. Механізм культурної передачі, що доданий до біологічної основи на рис. 8.3, є не лише виключно людським надбанням. Приклади японських макак або синиць в Англії, які обговорювалися вище, теж пояснюються саме цим механізмом.

Завдяки генетичній спадковості від організму до організму передаються інформаційні одиниці, які називаються генами. А як назвати одиниці передачі культурної інформації? Англійський еволюціоніст Річард Докінз запропонував для них слово «мем». Мемом є будь-яка одиниця, що передається культурно: вміння розкльовувати кришки молочних пляшок, спосіб поливати устриць лимонним соком, модне слівце, звичка припиняти роботу Windows командою Alt + F4, а не Shut Down і т. д. Культурний розвиток людства можна описувати, як зміну мемів. Деякі з мемів є дуже старими: найстарші, зареєстровані ще у неандертальців, поширені донині. Так (за поширеними поглядами, які, втім, ще лишаються

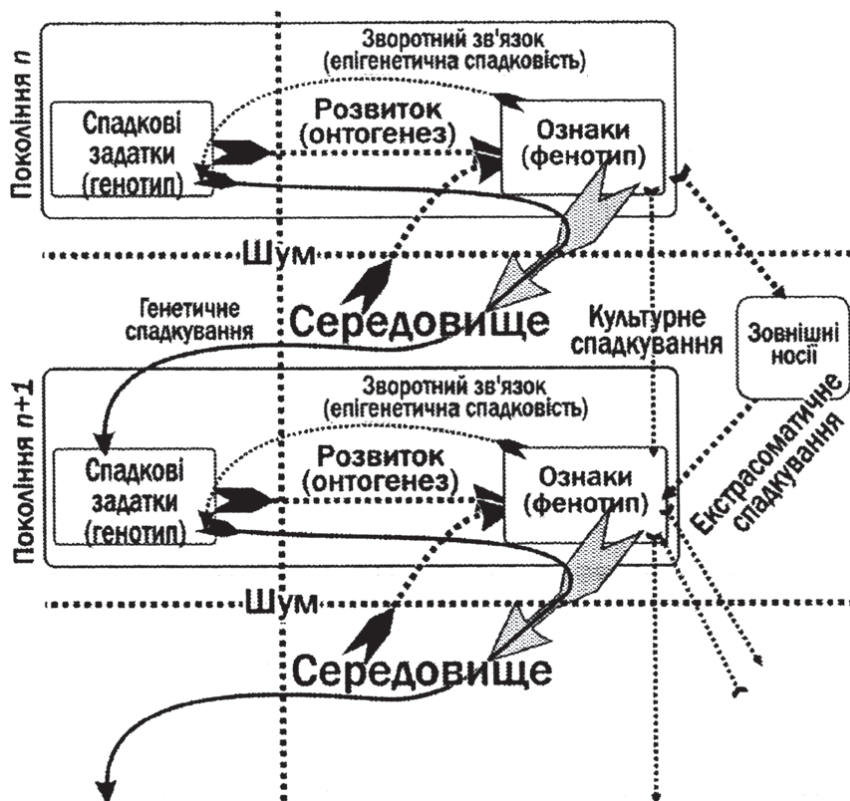


Рис. 8.4. Наступний, виключно людський етап розвитку культурного спадкування. До шляхів передачі інформації, що були показані на попередньому рисунку, додалося екстрасоматичне спадкування, що застосовує зовнішні інформаційні носії (пояснення у тексті)

дискусійними), неандертальці іноді ховали своїх мерців, використовуючи соснові гілки і квіти. Таким чином, вінки з гілля хвойних дерев та квітів, які ми приносимо на похорон, мають давню передісторію.

Чи існують принципові відміни між передачею мемів між людиною та іншими видами тварин? Існують, і дуже суттєві. Їх показано на рис. 8.4.

Лише у людини передача мемів може бути пов'язана не лише з контактом між особинами, а й із застосуванням зовнішніх інформаційних носіїв (паперу, засобів електромагнітного запису, обтічними дисками тощо). Ці носії дозволяють подолати відстань між особинами у просторі й у часі. Завдяки їм ми майже миттєво дізнаємося, що скоїлося в іншій земній півкулі, й отримуємо послання від людей, які вмерли багато сторіч тому.

Чи зупинився розвиток інформаційного обміну у людини на етапі, який показано на рис. 8.4? Вірогідно, ні. Фахівці-міметики, що розвивають підхід Докінза щодо вивчення мемів, дійшли висновку, що наступним етапом інформаційної еволюції стане виникнення та розвиток «т-мемів», які не потребують для появи та передачі людської свідомості. Т-меми мають передаватися від одного технічного пристрою

до іншого, минаючи людську психіку; процес їх розповсюдження можна назвати інтратехнічною рептикацією. Спірним лишається питання, чи виникнуть т-меми на сучасному етапі розвитку людства, чи їх поява є справою найближчого майбутнього.

В усякому разі, еволюція механізмів інформаційного обміну та розвитку пристосувальних ознак, що описана у цьому пункті, забезпечила стрімку еволюцію людства і зробила його діяльність найважливішим чинником у функціонуванні сучасної біосфери.

8.5. Екологічна криза сучасності

Всім нам доводилося неодноразово чути про те, що ми є свідками глобальної екологічної кризи. Що означає це поняття?

Перш за все слід розділити поняття кризи, катастрофи та колапсу. Криза є оборотним станом системи, в ході якого вона може як повернутися в нормальний стан, так і перейти в інший. Катастрофа пов'язана з руйнуванням механізмів регуляції, які підтримували колишній стан системи, і переходом в іншу якість. Колапс — необоротна зміна, що приводить до руйнування існуючої системи як такої. Екологічний колапс пов'язаний з переходом середовища в стан, який виключає існування організмів, що населяли його раніше. Отже, криза — порушення функціонування системи, катастрофа — її перебудова, а колапс — руйнування.

Слід розрізняти локальні, регіональні і глобальні кризи. Локальні пов'язані з проблемами окремих місць існування та окремих популяцій людини, регіональні охоплюють великі області, а глобальні поширюються на всю земну кулю.

Таким чином, говорячи про екологічну кризу, ми стверджуємо, що нинішня біосфера нестійка і може перейти в якийсь новий стан, що буде істотно відрізнятися від того, до якого пристосувалися ми й інші жителі нашої планети. З цієї точки зору екологічна криза — спостережувана нами даність. Ймовірно, завдання, що стоїть перед нами, — не «побороти» кризу, а уникнути переходу екологічної катастрофи в колапс біосфери.

Біосфера проходила через кризи та катастрофи задовго до появи людства. Широко відомим є масове вимирання (в палеонтології його називають «кризою», хоча в наведеному вище сенсі ясно, що мова йде про катастрофу) на кордоні крейди і палеогену. Ще масштабнішою була катастрофа на кордоні пермі і тріасу. Те, що палеозойська, мезозойська і кайнозойська ери поділяються саме за цими

катастрофами, зовсім не дивно: кожна з них означала перехід біосфери в нову якість. Однак говорячи про ці кризи і катастрофи, треба зауважити, що їх тривалість становила не менше десятків і сотень тисяч років. Особливість нинішньої кризи — у її швидкоплинності (за мірками історії біосфери).

Численні кризи доводилося переживати і нашому виду. Наприклад, популяційно-генетичні дослідження свідчать, що на якомусь етапі нашої історії (ще до розселення *Homo sapiens* за межі Африки) чисельність всього нашого виду знижувалася до декількох десятків особин. В популяційній генетиці такі падіння чисельності називають проходженням через «пляшкове горлечко», його наслідком є суттєве зниження генетичної різноманітності. Як не дивно, незважаючи на расові та національні відмінності, представники нашого виду генетично набагато одноманітніші, ніж, приміром, шимпанзе. Можна припустити, що шанси на вимирання у нашого виду в той момент були досить великі.

В епоху роздробленості (до того, як стати глобальним) людство не раз проходило через локальні екологічні кризи та катастрофи (а можливо, і через колапси окремих екосистем). Ці катастрофи викликалися як незалежними від популяцій людини причинами, так і були наслідком його діяльності. До перших можна віднести локальні екологічні катастрофи, викликані нашествям сарани, або колапс середньовічних поселень норвежців Гренландії, викликаний похолоданням клімату. Однак несприятливі наслідки людської діяльності були куди масштабнішими.

Наш вид був сформований способом життя неспеціалізованого хижака і збирача африканських саван. У міру вдосконалення механізмів взаємодії членів у групі і планування своїх дій представники нашого виду стали найефективнішими мисливцями, яких знала історія Землі. Розселяючись по планеті, люди починали експлуатувати різноманітні популяції великих копитних. У міру зростання їх чисельності росла їх здатність скорочувати чисельність своїх жертв. Криза вибухнула приблизно 10—12 тисяч років тому, коли можливості для підтримки такого способу життя були вичерпані. Зросла чисельність людства, інтенсивне полювання та кліматичні зміни, що не залежали від дій людини, призвели до повного вимирання або різкого скорочення фауни великих ссавців. Найбільшою мірою ця зміна торкнулася Євразії, але не оминула також Африку, Австралію й Америку. Чисельність людства скоротилася в кілька разів. Ймовірно, багато популяцій стародавньої

людини загинуло. Тим не менш, людству вдалося вийти з кризи, докорінно змінивши свій характер відносин із середовищем. Рішенням посталої перед людством проблеми став перехід до землеробства і скотарства, що призвело до різкого скорочення мисливського навантаження на природні екосистеми. Цей перелом в історії людства отримав назву неолітичної кризи, або неолітичної революції.

Описаний перехід відбувався в різних частинах світу по-різному. В залежності від того, в якому регіоні знаходилися популяції людини, вони використовували різні сільськогосподарські культури і переходили до вирощування різних тварин. Найбільш досконалі землеробські цивілізації виникли на Близькому Сході, а найменш перетвореною виявилася культура корінного населення Австралії. Подальший хід світової історії виявився в значній мірі зумовлений цими обставинами.

Цікаво, що набір культур, який вирощується тепер, є наслідком того вибору, який був зроблений неолітичною людиною. Отже, людство має «досвід» виходу з глобальної кризи, що супроводжувалася кліматичними змінами. Цей вихід був пов'язаний з хворобливою ломкою колишніх засад і зміною характеру відносин із середовищем. На жаль, цей вихід призвів до виникнення нових локальних криз.

Найбільшим з наслідків технології скотарства під час неолітичної революції стало утворення пустелі Сахара. На місці цієї пустелі ще 10 тисяч років тому була савана. Надмірний випас худоби викликав запустелювання цієї величезної території. Культури, що знищили цю савану, зникли разом з нею. Ймовірно, і багато азіатських пустель, як, наприклад, Каракуми, мають таке саме походження.

Сучасне людство проходить через нову кризу у своїй історії. Це перша криза, через яку наш вид проходить з тих пір, як став глобальним. В силу взаємопов'язаності різних частин людства можна припустити, що воно або як ціле пройде через нинішню кризу (з більшими чи меншими втратами), або підірве можливості для свого існування в ході масштабної екологічної катастрофи чи колапсу земного середовища проживання. Нинішній характер відносин людства із середовищем заснований на стрімкому витрачанні запасів викопного палива, що не може продовжуватися довго. Уже протягом ХХІ століття образ життя людства повинен змінитися. Як? Ми поки цього не знаємо. В якійсь мірі це залежить від наших дій.

Складові сучасної екологічної кризи такі. Зростання чисельності людства викликало брак продовольства, енергії

і прісної води. Подолання цих проблем ускладнюється зміною клімату, руйнуванням природних екосистем, зниженням біорізноманіття, забрудненням середовища і військовою загрозою.

Кожен зі згаданих тут факторів досить складний. Наприклад, забруднення — цілий комплекс змін навколишнього середовища:

- зміна газового складу і властивостей атмосфери (проблеми CO_2 і O_3);
- розсіювання продуктів згорання палива і його наслідки — смог, кислотні дощі;
- отруєння води, повітря та ґрунту токсичними речовинами;
- розсіювання неприродних елементів і ксенобіотиків;
- зараження повітря, води і ґрунту радіонуклідами;
- забруднення природних середовищ хвороботворними мікроорганізмами з відходів;
- деградація водойм через надмірне надходження біогенів, замори через надлишок органіки, замулювання змитими наносами;
- теплове, шумове, електромагнітне забруднення;
- локальне забруднення найближчого середовища проживання людини: їжі, повітря в приміщеннях, предметів побуту тощо.

8.6. Демографічний вибух

Вас не дивує, що головною причиною екологічної кризи сучасності ми назвали зростання чисельності людства? Перш за все слід розглянути, як саме воно відбувалося. Різні джерела наводять різні оцінки, однак загальний характер зростання чисельності людства не викликає сумнівів.

Коли наш вид виник в Африці, його чисельність не могла перевищувати сотень тисяч особин, а в деякі проміжки часу вона, як ми вже говорили, знижувалася до декількох десятків особин. Розселившись по Євразії, наш вид досяг чисельності у кілька мільйонів, пройшов кризу неолітичної революції і почав неухильно зростати (табл. 8.1). Це зростання гальмувалося тільки під час епідемій «чорної смерті» в середньовічній Європі, де тоді жила значна частина всього людства. Як ви можете побачити, це зростання було прискореним, і при цьому прискорювання прискорення відбувалося навіть швидше, ніж мало б бути відповідно до експоненційної моделі. Саме таке лавиноподібне прискорення зростання чисельності людства дає підставу називати його демографічним вибухом.

Таблиця 8.1.
Зростання чисельності людства (N)

Рік	N, млн	Рік	N, млн
10 000 до н.е.	4	1500	425
8000 до н.е.	5	1600	545
5000 до н.е.	5	1650	470
4000 до н.е.	7	1700	600
3000 до н.е.	14	1750	790
2000 до н.е.	27	1800	980
1000 до н.е.	50	1815	1000
750 до н.е.	60	1850	1260
500 до н.е.	100	1900	1650
400 до н.е.	160	1910	1750
200 до н.е.	150	1920	1860
0	170	1927	2000
200	190	1930	2070
400	190	1940	2300
500	190	1950	2400
600	200	1960	3020
700	210	1970	3700
800	220	1974	4000
900	226	1980	4430
1000	310	11.07.1987	5000
1100	301	1990	5260
1200	360	12.10.1999	6000
1250	400	2000	6070
1300	360	19.12.2005	6500
1340	443	31.10.2011	7000
1400	350	? 2027	~9000

Результати моделювання зростання чисельності людства показують, що його приріст пропорційний не чисельності особин, як в експоненційній моделі, а її квадрату. Зростання людства прискорюється не пропорційно його чисельності, а істотно швидше, подвоєння чисельності людства відповідає збільшенню швидкості його росту в чотири рази! Таке зростання називається гіперболічним (рис. 8.5с). Приріст населення відповідно до цієї гіперболічної моделі описується

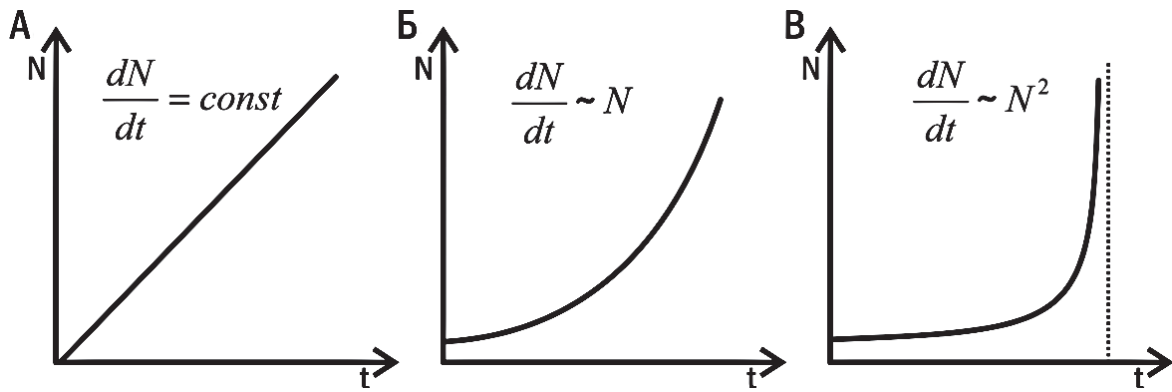


Рис. 8.5. Лінійне (А), експонентне (Б) і гіперболічне (В) зростання (Капіца, 1999)

рівнянням $dN/dt = N^2/C$, де C — константа (порівняйте цю формулу з експоненціальним рівнянням!).

У парадоксальній формі про гіперболічне зростання людства повідомив один з основоположників кібернетики Хайнц фон Ферстер, який опублікував (разом зі своїми колегами) в 1960 р. статтю під назвою «Кінець світу: п'ятниця 13 листопада 2026». За наявними у розпорядженні фон Ферстера даними, якби чисельність людства продовжувала рости тими самими темпами, що і раніше, в цей день вона досягла б нескінченності! Природно, це неможливо. Значить, слід очікувати якихось принципових змін, які зупинять зростання чисельності людства. Залишилося розгадати, якими будуть ці зміни.

Хайнцу фон Ферстеру і його колегам вдалося показати, що зміна чисельності людства (в проміжку часу з 1 року нашої ери до 1958 року) дивовижно точно описується несподівано простою формулою: $N_T = C/(t_0 - t)$, де N_T — чисельність людства в момент часу t , а C і t_0 — константи. Величину t_0 можна інтерпретувати, як момент, коли чисельність людства сягає нескінченності. В обчисленнях фон Ферстера він виявився рівним 2026,87, що відповідає 13 листопада 2026. І цей день виявився не просто тринадцятим числом, а ще й п'ятницею! Знаменник дробу, вираз $t_0 - t$, означає просто кількість років до «кінця світу». З підстановкою відповідних коефіцієнтів рівняння фон Ферстера має вигляд $N_T = 215\,000 / (2027 - t)$.

Після роботи фон Ферстера і співавторів їхні висновки були багаторазово перевірені і підтверджені. Описуване цим рівнянням зростання тривало до 1970-х років (а потім людство почало «відставати»). Більше того, як показав російський вчений С. П. Капіца, гіперболічне рівняння почало з пристойною точністю «працювати» при описі чисельності людства ще за кілька мільйонів років до нашої ери — тобто ще до появи виду *Homo sapiens*!

Природно, у нас немає точних даних про чисельність населення планети за будь-який період її історії. Навіть тепер, в епоху загальних переписів населення, дані про чисельність досить приблизні. Однак від рівняння фон Ферстера, як від будь-якої моделі, не слід вимагати абсолютної точності. Зате отримати оцінку, що непогано узгоджується з наявними даними, воно дозволяє цілком.

Гіперболічна залежність застосовна тільки до чисельності всього людства як цілого, а не до населення окремих країн. Це визначається взаємодією частин людства як єдиного цілого. Найвірогідніше пояснення описаній особливості росту чисельності людства таке. Чим більше людей живе на Землі, тим інтенсивніший технологічний прогрес, тим ширшою стає екологічна ніша нашого виду і доступнішою для нього ємність середовища, тим швидше зростає чисельність людства, тим більше в ньому з'являється потенційних винахідників і тим швидше йде технологічний прогрес.

Ми знаємо, що жодна популяція не здатна рости експоненційно протягом необмеженого часу — рано чи пізно її зростання зміниться або гальмуванням, або катастрофою. Зростання людства також неминуче повинно зупинитися.

Повідомляється, що зростання чисельності населення дещо загальмувалося. Невідомо, наскільки ця тенденція буде зберігатися. Уряди і України, і Росії виходять із припущення, що для стимулювання народжуваності необхідно збільшувати грошову підтримку матерів. При всій важливості такої підтримки зниження чисельності населення — процес не стільки економічний, скільки соціальний.

Особливо істотна зміна пріоритетів у містах, де вона може бути обумовлена не лише соціальними, але й біологічними процесами. Будь-яка соціальна взаємодія — це стрес. При надлишку стресового навантаження відбувається істотне зниження репродуктивного потенціалу, особливо у чоловіків.

На Землі зростає не тільки чисельність населення, але й рівень життя і промисловості. Пізніші дослідження показали, що якби фон Ферстер і його колеги мали дані про зростання світового валового внутрішнього продукту (ВВП) за період з 1 року нашої ери до 1973 року, вони змогли б обчислити також і термін настання економічного «кінця світу». Як не складно порівняти виготовлення сушених фініків у Стародавньому Римі і випуск літаків у сучасному світі, якась порівняльна оцінка обсягів цих виробництв можлива. ВВП зростає ще швидше, ніж чисельність населення — в квадратно-гіперболічній залежності. Відповідно до квадратно-гіперболічної моделі ВВП людства мав би стати

нескінченно великим у суботу, 23 липня 2005 року. Ви нічого не помітили в цей день? Це означає, що ті залежності, які визначали зростання світової економіки протягом усієї її історії, перестали діяти. Це сталося під час життя значної частини сьогоденішнього населення Землі. Зверніть увагу: «злам» торкнувся й економіки, і зростання чисельності населення, які нині змінюються з наростаючим відставанням від описаних нами моделей.

До речі, у відповідності зі значенням понять «криза», «катастрофа» і «колапс», про які ми говорили вище, криза ВЖЕ перейшла у катастрофу — зміну характеру системи. Тепер перед нами стоїть завдання — не допустити переходу катастрофи в колапс.

Отже, перелом зростання чисельності людства стався в 70-х роках ХХ століття. Саме тоді людство відстало від темпів зростання, що «пропонуються» рівнянням гіперболічного росту, увійшовши в демографічний перехід (див. пункт 8.7). Орієнтовно можна сказати, що до 70-х років населення зростало на 2 % в рік, нині — менш ніж на 1,5 % (пік подоланий). До того, як зростання людства почало сповільнюватися, виробництво їжі росло на 2,3 % в рік, а тепер воно складає менше 2 %. Але біосфері доводиться платити за це зростання дуже серйозну ціну. За нинішньої технології двовідсоткове зростання виробництва їжі забезпечується зростанням споживання енергії на 5 %, водоспоживання — на 7 %, виробництва добрив — на 7 %, отрутохімікатів — на 10 %. Ймовірно, в ХХІ столітті чисельність населення збільшиться менш ніж удвічі, а споживання ресурсів та енергії зросте в 5—6 разів. Втім, головна проблема нинішнього людства полягає навіть не в цьому. Воно живе завдяки використанню енергії викопного палива, яке неминуче закінчиться. Навіть нинішнє існування виявляється можливим тільки завдяки використанню ресурсів нинішніх екосистем — продукції, води, ґрунту. Що буде після того, як викопне паливо закінчиться, а збільшувати навантаження на екосистеми стане неможливим?

8.7. Демографічний перехід

З чим пов'язане зростання чисельності населення, описане в попередньому параграфі? Комусь може здатися, що з вищою народжуваністю: раз людей стало більше, значить, їх більше народжується. Як не дивно, ситуація зворотна: зростання чисельності пов'язане зі зміною характеру смертності. Природно, що всім, хто народився на світ,

належить померти, але для динаміки чисельності населення дуже важливо, коли це станеться. «Ривок» чисельності людства в кінці ХХ століття пов'язаний з тим, що пререпродуктивна (до віку розмноження) смертність змінилася пострепродуктивною (після залишення нащадків). Іншими словами, якщо століття тому більшість новонароджених гинула в перші дні і місяці життя, то в останні десятиліття більшість з них доживали до дітородного віку і залишали якусь кількість нащадків. Зміна співвідношення народжуваності і смертності, яка супроводжується стрімким зростанням чисельності популяції, а потім її стабілізацією, називається демографічним переходом.

Щоб зрозуміти, чому чисельність населення зростає, слід з'ясувати, за яких умов вона залишається постійною. Чисельність населення не змінюється, якщо чисельність кожного наступного покоління така ж, як попереднього. Це можливо, якщо в середньому на кожну дорослу жінку припадає одна дочка, що доживає до статевої зрілості (або, за умови рівності статей, на кожну пару батьків припадає двоє дітей, що доживають до зрілості). Якби всі новонароджені доживали до дорослого віку і з часом заводили дітей, двох дітей на пару батьків було б достатньо. Оскільки хоча б невелика частина людей завжди не доживатиме до дітородного віку, а ще якась частина не буде заводити дітей, навіть в суспільстві з дуже низьким рівнем пререпродуктивної смертності для підтримки постійній чисельності населення необхідно трохи більше двох дітей на батьківську пару. У суспільстві з недостатнім розвитком медицини і високою дитячою смертністю навіть для підтримки постійної чисельності населення на пару батьків має припадати досить багато дітей. В умовах, коли до дітородного віку доживає лише кожен п'ятий новонароджений, постійній чисельності популяції відповідає народження більш ніж 10 дітей на кожну подружню пару (і кожну жінку). Хоч яким дивним здається така кількість дітей для сучасної людини, для нашого виду вона є нормальною! Ще століття тому така кількість дітей була природною для багатьох сімей.

Успіхи медицини привели до того, що дитяча смертність різко зменшилася — спочатку в розвинених країнах, а потім і в тих, що розвиваються. На щастя, дитяча смертність різко скорочується, проте це слабко позначається на народжуваності. Люди, які були народжені в багатодітних сім'ях, і самі заводять багато дітей. Народжуваність значно випереджає смертність, чисельність популяції стрімко зростає. Техноло-

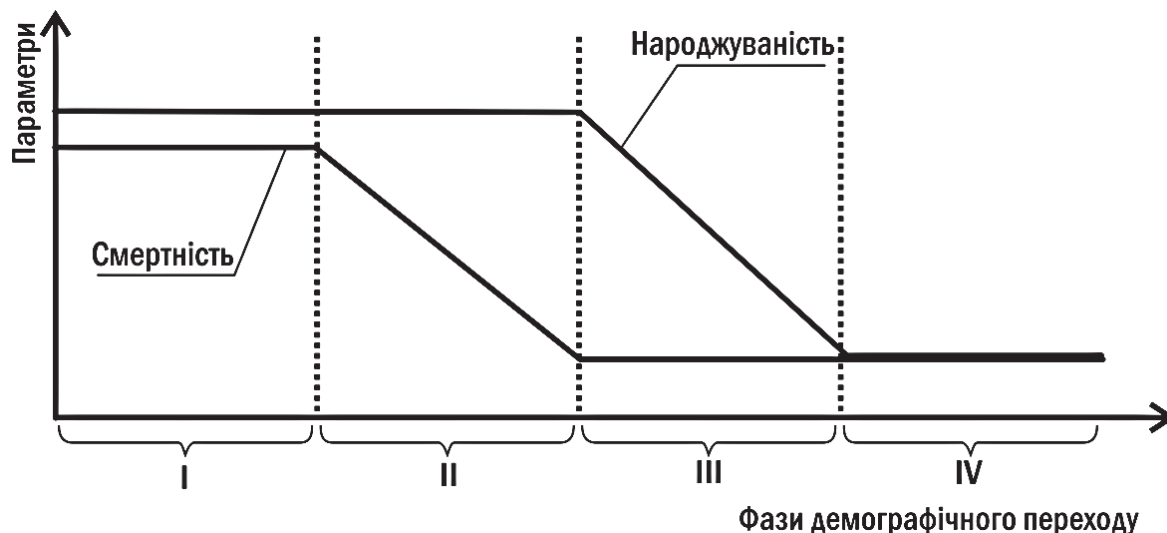


Рис. 8.6. Схема демографічного переходу (зміни рівня смертності і народжуваності внаслідок соціального «дозрівання» і впливу сучасних технологій)

гічний прогрес дозволяє прогнозуватися значно збільшеному населенню.

В доіндустріальну епоху переважна частина населення жила в селах. З ростом чисельності населення земельних наділів на всіх не вистачало, багато селянських дітей відправлялися в міста і починали жити новим життям. Розрив з традиційними цінностями і з селянською культурою призводить до того, що люди заводять відносно невелику кількість дітей. Нарешті, народжуваність знижується до того рівня, який відповідає рівню смертності. Чисельність населення стабілізується, причому на значно вищому рівні, ніж той, який був характерний для патріархального суспільства.

Описана послідовність змін відповідає чотирьом етапам демографічного переходу, показаним на рис. 8.6. На території колишнього СРСР, і в Росії в тому числі, демографічний перехід відбувався з 1885 по 1965 рік. В цілому в усьому світі демографічний перехід буде закінчений до 2050 року.

Зміни, що відбуваються при демографічному переході, стосуються не лише чисельності населення, а й структури суспільства. Так, на II і III етапах демографічного переходу популяція сильно «молодшає» — її значну частку складають молоді люди. Навпаки, після досягнення IV етапу демографічного переходу в суспільстві починає швидко наростати частка літніх людей.

Кожна країна на Землі має свої особливості, але все ж, оцінюючи динаміку чисельності населення, зручно ділити країни на розвинені і ті, що розвиваються (слід мати на увазі, що ці назви умовні; табл. 8.2). До числа перших відносяться країни Західної та Східної Європи, США, Канада, Австралія,

Японія, а також істотна частина країн, що входили до складу колишнього СРСР (Росія, Україна, країни Прибалтики). Ці країни вже пройшли демографічний перехід і знаходяться на його IV етапі. Більшість інших країн можуть бути умовно віднесені до другої групи; вони знаходяться на III етапі демографічного переходу.

Таблиця 8.2.
Динаміка населення світу (за даними ООН на 1997 рік)

Країни	Населення, млрд		Народжень на 1000 особин в рік	Смертей на 1000 особин в рік	Приріст, % в рік	Час подвоєння, років	Тривалість життя, років	Віковий склад, %	
	1997	2025						Молодше 15 років	Старше 65 років
Весь світ	5,84	8,04	24	9	1,5	47	66	32	7
Розвинені	1,18	1,23	11	10	0,1	564	75	20	14
Що розвиваються	4,67	6,81	27	9	1,8	38	63	35	5

Ще зовсім недавно поняття «розвинені» і ті, «що розвиваються», використовувалися в першу чергу по відношенню до економік країн. Нині чимало країн, що розвиваються, мають потужні та динамічні економіки, а найхарактернішими ознаками їх є особливості населення. Розвинені країни мають населення або стабільне, або таке, що скорочується зі значною часткою літніх людей (рис. 8.7). Населення країн, що розвиваються, залишається молодим і збільшується (рис. 8.8).

Технології, які забезпечили нинішнє зростання чисельності людства, були розроблені в розвинених країнах. Успіх цих країн — наслідок впровадження технологій, що відносяться і до галузі охорони здоров'я, і до промисловості, і до сільського господарства. Після того, як сучасні технології змінили розвинені країни, вони були експортовані в країни, що розвиваються, чим і зумовили значне зростання чисельності їх населення.

Різниця в динаміці населення тільки збільшує світову економічну диспропорцію: переважна більшість економічних активів належить розвиненим країнам; ці ж країни споживають переважну частину використовуваних людством ресурсів. Природно, така диспропорція призводить до зростання напруги між бідними і багатими країнами. Поки що розвинені країни завдяки значній військовій перевазі можуть підтримувати свій статус. Проте з часом таке положення

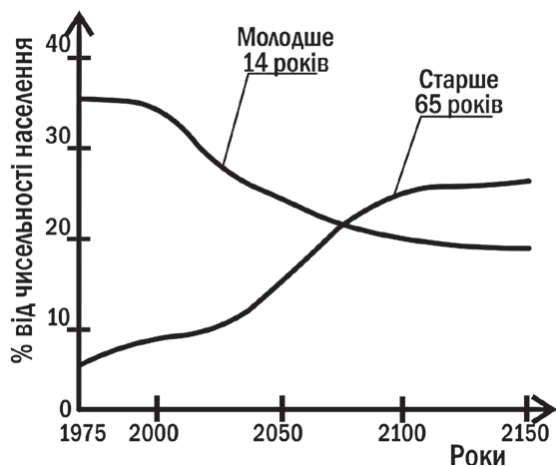


Рис. 8.7. Зміна частки молодих і літніх людей в середньому для всього людства. Дані на майбутнє відповідають прогнозам ООН

може змінитися. Частка населення «розвинених» країн у складі всього населення планети буде зменшуватися надалі. Змінюється і характер сучасних конфліктів. Все більше значення матиме не протистояння регулярних армій, а здатність завдавати швидких і чутливих ударів по противнику. Здійснюється це як за допомогою високоточної зброї, так і з використанням терористичних груп.

Чи може це означати, що підвищений рівень агресивності між різними групами людства загальмує його зростання? Ні. На нинішньому етапі в країнах, що розвиваються, з їх численним молодим населенням, катастрофи і війни дуже слабо впливають на зростання чисельності населення. Нині від голоду і неповноцінного харчування гине 3—6 млн людей на рік, але ці втрати компенсуються завдяки народжуваності за кілька днів.

Як установила комісія ООН, соціальні та культурні чинники більше, ніж будь-що інше, визначають рівень народжуваності. Найважливішою з них є роль, яку жінки грають у родині, економіці і в суспільстві в цілому. Коефіцієнт народжуваності знижується у міру розширення можливостей жінки в плані працевлаштування за межами дому та ферми, у міру розширення її доступу до освіти та підвищення шлюбного віку. Бідність породжує високі темпи приросту населення. Сім'ї, які мають низькі доходи і недостатнє соціальне забезпечення, потребують дітей, спочатку щоб залучити їх до роботи, а потім, щоб вони змогли годувати своїх батьків. У зрілому суспільстві громадяни зайняті освітою, кар'єрою, накопиченням власності й заводять дітей вже у зрілому віці. Ними при цьому рухає не бажання вирішити певні господарські питання, а прагнення до повноцінної власної реалізації.

Нерівномірність у виробництві їжі може частково компенсуватися завдяки її перерозподілу, наприклад, у вигляді так званої гуманітарної допомоги, яку багаті країни передають бідним. Проте в ході надання гуманітарної допомоги можуть виникати нові проблеми. Одна з них отримала назву «вкрай сумної теореми». Гуманітарна допомога (дешеві над-

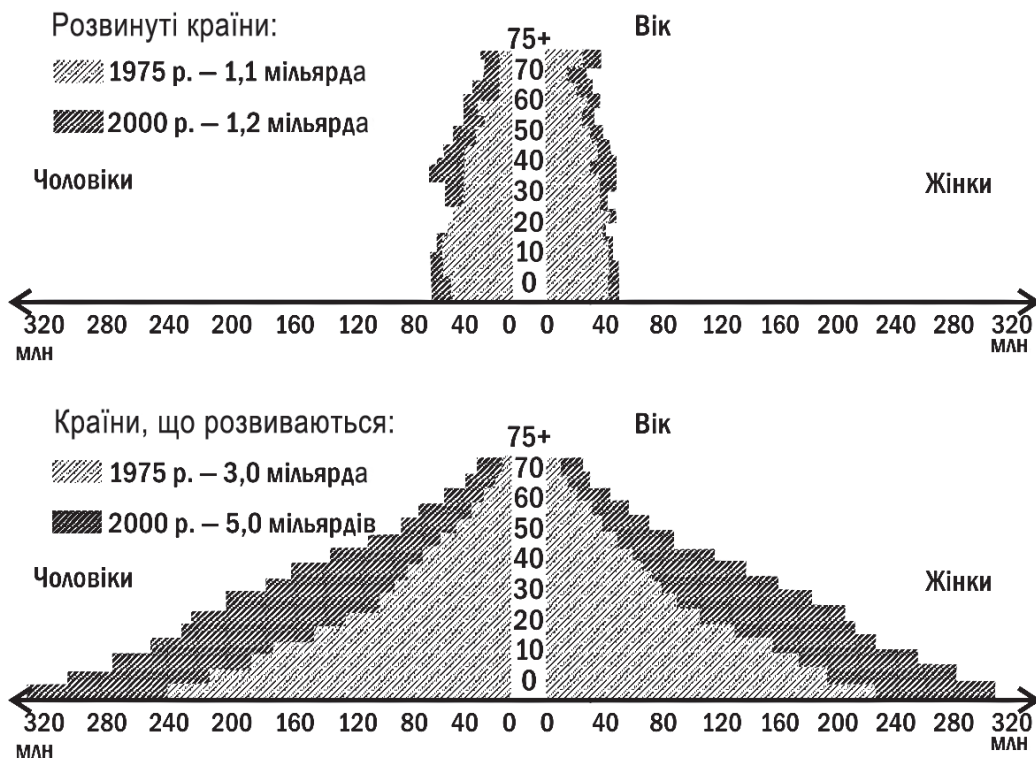


Рис. 8.8. Демографічні піраміди, характерні для розвинених і тих, що розвиваються, країн

лишки їжі), яка надходить з розвинених країн до голодуючих, призводить до короткострокового пом'якшення голоду і довгострокового його загострення в результаті розорення місцевих виробників.

Провідна концепція допомоги, прийнята нині західними країнами, — «адекватна технологія». Складові цієї концепції такі:

- безпосереднє задоволення потреб населення без руйнування існуючої соціальної структури;
- невимогливість до рівня освіти і майстерності; акцент ставиться на ті методи, якими громадяни можуть навчати один одного;
- використання численних і дешевих місцевих ресурсів;
- опора на існуюче матеріальне забезпечення і дрібних виробників.

Дозволяючи вирішити найгостріші проблеми, така допомога консервує відмінності між розвиненими та такими, що розвиваються, країнами. Закономірною реакцією громадян країн, що розвиваються, на таку допомогу є страх, що їх збираються замкнути в минулому. З іншого боку, в довгостроковій перспективі може виявитися, що, спираючись на використання колосальних кількостей викопної енергії, економіка розвинених країн виявиться більш чутливою до неминучих перебудов, ніж примітивна економіка відсталих країн.

8.8. Чи можна обмежити чисельність населення Землі?

Наслідком перенаселеності Землі стали різноманітні пропозиції забезпечити зниження чисельності її населення. Може здатися, що це не таке складне завдання: спочатку з'ясувати, скільки людей без шкоди для себе може витримати Земля, а потім домовитися, обмежити народжуваність і знизити чисельність населення до необхідного рівня.

Розглянемо для прикладу два можливих сценарії можливих змін. Сценарій № 1, наприклад, може бути викликаний опануванням дешевого та безпечного способу отримання термоядерної енергії. Енергія викопного палива стане не потрібною, залишки горючих копалин будуть використані як сировина для хімічної промисловості. З часом чисельність людства стабілізується, й воно перейде до стійкого існування.

Сценарій № 2 включає перехід економіки на інші джерела енергії після вичерпання запасів нафти, після цього відбувається крах економіки, руйнування виробництва там альтернативних джерел енергії: сонячних батарей і вітряків, війни між багатими малонаселеними країнами і бідними країнами з численним, голодним і вкрай ображеним населенням, розпад медицини та освіти, а потім, у кращому випадку, нове Середньовіччя (і з точки зору чисельності населення, і з точки зору культурного рівня його переважної більшості).

А є ще сценарії №№ 3, 4, 5, 6, 7... Те, який сценарій буде обраний, кожен з нас визначити не може. Але дії кожного з нас можуть підвищувати як ймовірність сценарію № 1 (і схожих на нього сценаріїв технологічного переходу), так і сценарію № 2 (інших варіантів здичавіння). Що сприяє першому варіанту? Заміна короткострокових цілей розвитку довгостроковими, що вимагає реального, а не формального зростання грамотності і, отже, підвищення ефективності освіти. Зростання сучасних технологій, що випереджає зростання споживання. Зміна пріоритетів, що вимагає перебудови економіки...

Прихильники «зеленої» ідеології досить часто бачать вихід із ситуації, що склалася, у поверненні до «дідівського» способу життя. Мовляв, якщо ми будемо жити у селах з вишневими садками, відмовимось від ГМО та хімічних добрив, усе влаштується само собою. У цих «рецептів» є один значний недолік: вони ігнорують сучасну чисельність людства. За наявними оцінками, за рахунок природ-

ної первинної продукції на Землі зможе існувати близько 0,5 мільярда людей. Нині їх 7, тобто за короткий строк з 14 людей має лишитися одна. Автори таких рішень звичайно не задаються питанням: а що буде, якщо зайві 13 не захочуть зникати? Майте на увазі, що будь-яка боротьба, військові конфлікти тощо значно скорочують несучу здатність нашої планети.

Жодного разу за всю історію людства і за всю історію спроб управління народжуваністю не вдавалося здійснити навіть значно менш масштабні перебудови демографічних процесів. На сьогодні найуспішніший досвід обмеження чисельності населення накопичений в Китаї, країні з найчисленнішим населенням, де цей досвід реалізується під жорстким контролем правлячої комуністичної партії. Успіх цієї програми полягає в деякому зниженні темпів зростання населення, а зовсім не в скороченні чисельності населення. Наслідком цього стане те, що через якийсь час Китай поступиться Індії пальмою першості найчисленнішої країни світу; індійська програма скорочення чисельності населення (що включала, окрім іншого, примусову стерилізацію людей — із застосуванням армійських підрозділів для придушення протестів) провалилася.

Можливо, нестача ресурсів і голод призведуть до поступового зниження чисельності людства до зазначеного фахівцями рівня? При нестачі ресурсів люди, що залишилися без засобів до існування, роблять зусилля для свого порятунку і перерозподілу ресурсів. Боротьба за ресурси призведе до ще більш різкого їх вичерпання.

На те, що людство само різко скоротить свою чисельність, розраховувати не доводиться. Мабуть, нинішнє людство або зможе вижити, продовжуючи зростати кількісно протягом декількох десятиліть, і лише потім стабілізується або почне повільно знижуватися, або ж людська цивілізація зникне з лиця Землі повністю чи практично повністю.

Як ми встановили, глобальне людство стоїть перед серйозним викликом, що загрожує самому його існуванню. Якби вживані людьми зусилля були пропорційні цій небезпеці, зміна характеру відносин нашого виду із середовищем стала б головним завданням кожного уряду і кожної людини. Але, незважаючи на свою глобальність, людство розділене на частини, кожна з яких переслідує в першу чергу свої вузькогосподарські інтереси. Розвинені країни прагнуть зберегти контроль над основними багатствами планети і не допустити його перерозподілу. Країни, що розвиваються, прагнуть змінити сформовану геополітичну нерівність. Різноманітні терористичні угруповання

готові жертвувати людськими життями для руйнування сформованого стану справ. У результаті цього прямі витрати на військові цілі в світі істотно перевищують витрати на охорону здоров'я та освіту. Непрямі витрати на оборону значно вищі. Військово-промислові комплекси розвинутих країн є найпотужнішими економічними групами зі своїми політичними інтересами. Військові об'єкти становлять особливу небезпеку з точки зору катастроф як диверсійного походження, так і «випадкових» і екологічно обумовлених. Військова діяльність проходить під завісою секретності, що ускладнює контроль і створює умови для зловживань.

Ядерні вибухи (приблизно близько трьох тисяч) різко збільшили радіаційне забруднення середовища. Вибухи у верхніх шарах атмосфери, проведені СРСР в 60-ті роки, істотно змінили будову магнітосфери і радіаційних поясів Землі.

Розроблені й розробляються нові види екологічної зброї, наприклад технології, що викликають землетруси і виверження вулканів, тайфуни та інші катастрофічні зміни погоди, створення штучних озонових дір над територією противника. Триває вдосконалення хімічної і бактеріологічної зброї, способів впливу на психіку.

Підготовка до війни завдає величезної шкоди середовищу, але ведення бойових дій ще небезпечніше. Змінюється характер жертв. У Першій світовій війні мирне населення становило серед жертв 5 %, у Другій — близько 50 %, нині — до 95 %.

Вперше масово екологічну зброю було застосовано США у В'єтнамі (1964—1975 рр.). У цій війні розсіяно близько 100 тис. тонн отрутохімікатів, що знищують рослинність. 325 га тропічних лісів (2 % всієї території В'єтнаму) зрізано бульдозерами вагою 33 т. Ці бульдозери були дотепно названі «римськими плугами», на згадку про одне з перших застосувань екологічної зброї в історії. Захопивши Карфаген, Рим переорював поля переможеного супротивника, попередньо засипавши їх морською сіллю.

Відступаючи в 1991 р. з Кувейту, Ірак зруйнував і запалив близько 700 нафтових свердловин, в результаті чого у вибухах полум'я заввишки більше 100 м згорало близько 1 млн т нафти в день. Пожежі були погашені лише через півроку. Величезні території стаючи непридатними для використання (міна-крихітка коштує 3 долари США, а її знешкодження — 300—1000 доларів; у Кувейті Ірак розмістив не менше 7 млн мін).

Специфіка військових дій полягає в тому, що найчастіше вони знищують ті ресурси, заради заволодіння якими вони і починалися.

Створення ядерної, а потім і термоядерної зброї стало одним з тріумфальних досягнень людського розуму, хоча й становило загрозу самому існуванню людства. Твердження про те, що ядерна війна викличе «ядерну зиму», було висловлено в 1983 році і стало одним з важливих результатів комп'ютерного моделювання клімату. Моделі, з якими в СРСР працював колектив за участю М. М. Мойсеєва і в США — група К. Сагана, були побудовані за різними принципами. Тим не менше, в обох цих моделях ядерний конфлікт з виникненням пожеж у великих містах мав призвести до утворення у верхніх шарах атмосфери димового шару. Протягом короткого часу такий шар мав поширитися на всю планету. Порушення нормальної циркуляції атмосфери, згідно з цими моделями, мало вести до того, що такий димовий шар зберігався б протягом декількох років. За цей час поверхню практично всієї планети скував би найсильніший мороз, який привів би до руйнування всієї біосфери.

Сценарій «ядерної зими» отримав широкий розголос і став однією з причин, що змінили ставлення людства до накопичення ядерних арсеналів. Припинення «холодної війни» і навіть розпад СРСР — події, певним чином пов'язані з результатами описаного моделювання.

За минулий час не досягнуто суттєвого прогресу в моделюванні кліматичних наслідків ядерної війни. Ймовірно, «ядерна зима» можлива, але який конфлікт може її запустити, неясно й донині. Припущення М. М. Мойсеєва і К. Сагана, що вона може бути наслідком локального ядерного конфлікту на території великого міста, досі не спростовано і не підтверджено. Противники сценарію «ядерної зими» стверджують, що, оскільки близько 3000 здійснених на сьогодні ядерних вибухів не запустили описаний ефект, його можна не боятися. Це заперечення не уявляється досить обґрунтованим. За винятком американських бомбардувань Хіросіми і Нагасакі, ядерна зброя не застосовувалася (поки що) в бойових діях. Однак очевидно, що кліматичні зміни запускаються не сумою боєзарядів, висаджених у різний час і в різних точках планети, а певним вогнищем конфлікту, в якому буде піднято в атмосферу кількість диму, що перевищує певний поріг. Викид диму і пилу в атмосферу пов'язаний при цьому не тільки з вибухами самих атомних бомб, а з викликаним ними ефектом «вогняного смерчу».

Найстрашніші приклади вогненних смерчів, відомі людству, були пов'язані з бомбардуванням англійською та американською авіацією Гамбурга 27 липня 1943-го, а також Дрездена 13 і 14 лютого 1945 року. Пожежі від окремих будівель зливалися при цьому в єдині стовпи вогню. Стрімкий підйом гарячого повітря (дим при цих бомбардуваннях піднімався на 8—12 кілометрів!) викликав потужний приплив навколишнього повітря, що сприяє інтенсивному горінню. Очевидці описували, що потужний вітер підхоплював людей, корті металася по палаючому місту, і піднімав їх угору, в полум'я.

Перша атомна бомба, підірвана над Хіросімою 6 серпня 1945 року, викликала вогненний смерч, а друга, скинута через 3 дні на Нагасакі, не привела до таких наслідків, хоч і була більш потужною. Це було пов'язано з тим, що Нагасакі розташовується на сильно горбистій місцевості, і частина міста збереглася від ядерного спалаху.

На жаль, розвиток засобів знищення людей та екосистем не спинився. Не виключено, що майбутні покоління зіштовхнуться з новими злочинами проти людства та біосфери, наслідки яких будуть значно перевищувати наслідки Другої світової війни.

8.9. Екоконверсія

На діяльність людини і соціуму в цілому впливають і вроджені властивості, і культурно обумовлені норми. Суспільна свідомість — дуже інерційна система. Багато її особливостей формувалися, коли людство складалося з антагоністичних груп, що експлуатували природні ресурси, які здавалися невичерпними. Нинішня суспільна свідомість ґрунтується на попередньому досвіді людства. Нині, незважаючи на політичну роздробленість, людство стало глобальним. У минулому успіх малих ізольованих груп забезпечували груповий егоїзм, парохіалізм (самовіддана, альтруїстична любов до «своїх», що є нерозривно сплетеною з ненавистю до «чужих»), ксенофобія, протистояння ворожому навколишньому середовищу. Ці форми поведінки стали неадекватними для глобального людства. Уже не окремі народи експлуатують свої території, а людство в цілому використовує біосферу, ресурси якої близькі до вичерпання. Яким звичним не є нинішній спосіб дій, він зовсім не є єдино можливим.

Мабуть, умовою виживання людства є комплексна перебудова суспільної свідомості, пов'язана зі зміною взаємовідносин із середовищем проживання, — екоконверсія. Ймовір-

но, з прочитаного вами матеріалу стало ясно, що готових відповідей, яким має стати людство, немає, є лише розуміння того, яким воно не повинно бути.

Необхідність зміни ставлення людства до середовища свого існування — це не тільки предмет філософського осмислення, але й привід для практичної діяльності міжнародних структур.

Міжнародна комісія з навколишнього середовища і розвитку («комісія Брундтланд») в 1987 році представила доповідь «Наше спільне майбутнє». В цій доповіді була сформульована концепція сталого розвитку.

Ця концепція була прийнята як програмна мета людства на Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку, що відбулася в Ріо-де-Жанейро в 1992 році. Конференція прийняла також документ, названий «Порядок денний на ХХІ століття». Проміжні підсумки виконання цієї програми розглядалися на Всесвітній зустрічі зі сталого розвитку, що відбулася в 2002 році в Йоганнесбурзі (Південна Африка). У 2012 р. в Ріо-де-Жанейро відбулася міжнародна конференція «Ріо+20». Її наслідком став міжнародний документ «Майбутнє, якого ми бажаємо». Попри певні успіхи, міжнародне співтовариство поки що недалеко відійшло від декларацій, і прийняти документи, які дійсно впливали б на міжнародний розвиток, ще не вдалося. Однозначно оцінити успіхи міжнародного співтовариства у вирішенні поставлених завдань не можна, проте ясно, що зусиль, які вживаються, явно бракує.

Згідно з прийнятим міжнародним співтовариством визначенням, сталий розвиток — це розвиток людства, при якому задоволення потреб нинішнього часу не підриває здатності майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Іншими словами, сталий розвиток — це такий розвиток людства, який задовольняє його потреби, не звужуючи його можливостей.

Очевидно, наприклад, що прискорене спалювання вичерпного палива ніяк не відповідає ідеям сталого розвитку. Що ж робити? Якось обмежувати нинішні потреби людства, наприклад, за допомогою таких домовленостей, як Кіотський протокол. Але ж цих заходів недостатньо! На жаль, на сьогодні у міжнародного співтовариства немає можливості забезпечити навіть реалізацію таких напівзаходів. Цей приклад показує, що людство ще не доросло до того стану, коли його розвиток почне управлятися розумом, а не стихійними інстинктами і груповим егоїзмом.

На жаль, чим далі відкладатиметься початок процесу змін, тим більш різкими повинні бути ці зміни. Якими вони будуть? Сподіватимемося, що наш вид упорається з еволюційним викликом, який стоїть перед ним, і в кожного з нас буде можливість зробити в це посильний внесок.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества: в 2-х т. — М.: Мир, 1989. — Т. 1. — 677; Т. 2. — 477 с.

Гиляров А.М. Популяционная экология. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 191 с.

Дольник В.Р. Непослушное дитя биосферы.— СПб.: ЧеРо-на-Неве, Петроглиф, 2004. — 352 с.

Моррис Д. Голая обезьяна. — М.: Эксмо, 2009. — 320 с.

Небел Б. Наука об окружающей среде: в 2-х т. — М.: Мир, 1993.

Одум Ю. Экология: в 2-х т. — М.: Мир, 1986. — 328 с.

Протопопов А. И. Трактат о любви, как ее понимает жуткий зануда. <http://protopop.chat.ru/tl3.html>

Шабанов Д. А., Кравченко М. О. Материалы для изучения курса общей экологии с основами средоведения и экологии человека. — Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. — 292 с.

Шилов И. А. Экология. — М.: Высшая школа, 1998. — 512 с.

Экологические очерки о природе и человеке / под ред. Б. Гржибека. — М.: Прогресс, 1988. — 640 с.

Begon M., Townsend C. R., Harper J. L. Ecology. From individuals to ecosystems. — Malden — Oxford — Victoria, Blackwell Publishing, 2006. — 738 p.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Лекторий-библиотека «Batrachos.com» <http://batrachos.com/>

Шабанов Д.А., Кравченко М.А. Онлайн-підручник екології <http://batrachos.com/help-books-ecology>

Элементы большой науки. Новости науки <http://elementy.ru/news>

Компьюлента. Земля. Экология <http://compulenta.computerra.ru/zemly/ekologiya/>

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Чому людину відносять до тварин?
2. Для представників класу Ссавці характерний досить чіткий взаємозв'язок між біомасою окремої особини та сумарною біомасою представників виду. Чи підкоряється людина цій залежності? Чому?
3. Поясніть, що означає твердження, що людина є єдиним глобальним видом у сучасній біосфері?

4. Чи можуть гетеротрофи витратити у одиницю часу більше первинної продукції, ніж її продуктують автотрофи? Поясніть, при яких умовах.

5. Які джерела енергії використовують лише представники нашого виду та не використовують представники інших видів тварин?

6. Як ви вважаєте, чи розумно дозволити використання усіх видів ГМО без виключення чи, навпаки, заборонити використання усіх ГМО? Аргументуйте.

7. Порівняйте особливості культурного та генетичного успадкування.

8. Які механізми забезпечили прискорення еволюції людини?

9. За свою історію біосфера та людство проходили через низку криз. У чому проявляються особливості екологічної кризи сучасності?

10. Завдяки чому зростання чисельності людства на більшій частині його історії було прискореним відповідно до гіперболічної моделі?

11. Які чинники забезпечили гальмування зростання чисельності людства у другій половині ХХ сторіччя?

12. Які соціальні чинники зумовлюють демографічний перехід?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Класифікуйте зміну, що відбулася з екосистемою острова Кракатау, яка була знищена вибухом вулкану, але з часом значною мірою відновилася: а) нормальна динаміка; б) криза; с) катастрофа; d) колапс.

2. Класифікуйте зміну, що відбулася з екосистемою ставку, у якому при «цвітінні» значно збільшилася біомаса кількох видів водоростей: а) нормальна динаміка; б) криза; с) катастрофа; d) колапс.

3. Який з перелічених чинників найбільшою мірою сприяє стійкому обмеженню росту чисельності населення: а) війни; б) державна підтримка малодітних родин; с) розширення доступу жінок до освіти та можливостей їх кар'єри; d) пропаганда зниження народжуваності.

4. Виключною особливістю репродуктивної біології людини є те, що: а) вона має здатність до розмноження протягом усього року; б) у чоловічому онтогенезі (онтогенезі самця) нема пострепродуктивного періоду; с) у виховання потомства у нормі беруть участь обидва батьки; d) момент здатності жінки (самиці) до запліднення є прихованим від неї та чоловіка (самця).

5. Якщо 13 листопада 2026 року, у п'ятницю, чисельність людства не стане безкінечною, відносно висновку фон Ферстера щодо гіперболічного зростання чисельності людства можна буде встановити: а) що гіперболічна модель є невірною; б) що у певний момент характер зростання чисельності людства змінився; с) що чисельність людства стане безкінечною дещо пізніше.

6. Виключною особливістю популяцій людини є: а) передача ресурсів між популяціями; б) забруднення середовища відходами;

с) здатність до перетворення середовища у своїх інтересах; d) здатність до культурного спадкування.

7. В 1900 році на Землі жило 1,650 мільярди людей, в 1999 — 6 мільярдів. У якому році чисельність людства складала 4 мільярди: а) 1934; b) 1954; c) 1974; d) 1994?

8. Етап демографічного переходу, що характеризується смертністю, яка знижується або стабілізувалася на низькому рівні, і народжуваністю, що лишається високою: а) I; b) II; c) III; d) IV.

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Відпо-відь	№ питан-ня	Відпо-відь	№ питан-ня	Відпо-відь	№ питан-ня	Відпо-відь
1	с	3	с	5	б	7	с
2	б	4	д	6	а	8	б

Розділ 9 АГРОЕКОЛОГІЯ

У роздіді формується уявлення про агроєкологію, галузь екології, що розглядає взаємозв'язки у межах агроєко-систем.

Мета: сформувати цілісне уявлення про агроєкологію, сприяти цілісному розумінню проблем, що пов'язані зі збереженням та підвищенням продуктивності сільськогосподарчих систем.

Основна ідея: сучасне сільське господарство ведеться не-оптимальним чином; наслідком цього є низка загрозливих процесів, що загрожують можливості забезпечувати людство необхідною для нього продукцією. Виходом є науково обґрунтовані зміни технологій, що застосовуються у сучасних агроєкосистемах.

Смислові зв'язки: екологічні проблеми землеробства — агроєкологічний захист — агротехнології.

Ключові терміни: агроєкологія, спустелювання, водна та вітрова ерозія, виснаження ґрунту, фітомеліорація, пестициди, добрива, оптимізація агроєко-систем.

9.1. Агроєкологія як окремий розділ екології

Термін «агроєкологія» похідний від грецького «агрос» (поле) і вже знайомого «екологія». Він означає розділ загальної екології, основною одиницею дослідження якого є агроєкосистема — сукупність взаємодіючих організмів та

абіогенних чинників у межах однорідного простору конкретного сільськогосподарського угіддя.

Агроекологія — наука, що вивчає взаємини організмів з біогенними та абіогенними чинниками довкілля у процесі сільськогосподарського виробництва. Найважливіша мета цієї галузі людських знань полягає в обґрунтованому прагненні розробити такі методи агрокультури, які, на відміну від традиційного землеробства, забезпечували б не тільки високу продуктивність ланів, а й отримання екологічно чистої (безпечної для здоров'я людини) сільськогосподарської продукції з найменшими витратами невідновлюваних видів енергії, сприяли б покращенню стану земельних угідь та інших складових природного довкілля. Таку систему землеробства називають по-різному: «екологічна», «біологічна», «альтернативна», рідше — «природна», «ландшафтна» тощо.

9.2. Основні екологічні проблеми сучасного землеробства

Незалежно від назви, зазначена вище мета конче необхідна, адже незважаючи на відповідні позитивні досягнення у деяких регіонах нашої планети, все ж у більшості з них існують значні за обсягами та наслідками проблеми з тенденцією до збільшення.

Перша серед них — **опустелювання**. Це — один з найбільш вражаючих глобальних проявів деградації ґрунту, погіршення його властивостей, що зовні проявляється його втратою на значній площі суцільного живого покриву. Опустелювання більше відбувається в умовах посушливого клімату, переважно під впливом надмірного випасання, вирубування лісів, інтенсивного зрошення (що призводить до засолення ґрунту), будівництва доріг та іншої господарської діяльності. Природні пустелі та напівпустелі займають майже 1/3 всього суходолу планети. Площі, опустелені людиною, становлять близько 7 % цього простору, але під загрозою такого опустелювання — ще майже 20 % суходолу Землі. Цей процес триває на Південному заході та на Півдні Азії, в Африці (особливо в її північній частині, де розташована найбільша у світі пустеля Сахара, що продовжує розширюватись), в Австралії, у деяких країнах Американського континенту, частково — в Європі. Опустелені землі бувають кам'янистими, піщаними, глинистими, солончакуватими тощо.

В Україні антропогенне (створене людиною) піщане опустелювання відбувалось окремими «островами» та пасмами, розташованими уздовж морських берегів і деяких

річок. Проте найбільший піщаний масив (Нижньодніпровські, або Олешківські піски) зосереджений на лівому березі Дніпра — від Каховки до Чорного моря, включно з Кінбурзькою косою. Довжина його — близько 180 км, найбільша ширина — понад 30 км. В Античні часи ці піски були вкриті потужними сосновими лісами. Напевно, крім іншого, саме через це «батько історії» Геродот, ознайомившись ще у IV ст. до н. е. з ними та іншими лісовими масивами Північного Причорномор'я, зазначив, що він би назвав цю країну «Гілея» (Лісиста).

Антропогенно опустеленою є поверхня звалищ розкритої та пустої породи, зосереджених навколо шахт, кар'єрів, а також шлаків, золівдвалів і подібних матеріалів поблизу електростанцій та інших підприємств. Ці утворення лишаються оголеними (самостійно не покриваються рослинністю) 5—8 і навіть 30—40 років, являючи собою надто сумну картину. Зовсім не випадково такі смітники називають «місячними пейзажами». Тим часом вони піддаються значній водній та вітровій ерозії, забруднюючи за рахунок цього великі площі довкілля, у тому числі сільськогосподарські угіддя, знижуючи їх урожайність та якість продукції. Ці звалища мають чималий вміст шкідливих для здоров'я людини хімічних сполук, важких металів і підвищену радіоактивність. Ними покрито вже понад 4 % площі України.

Досить небезпечною за небажаним впливом на довкілля є проблема **ерозії ґрунту** (ерозія — від латинського *erodere* — роз'їдати). Це процес руйнування, а у крайніх випадках — цілковитого знищення ґрунтового покриву зовнішніми негативними чинниками, що на певних ділянках може призвести до проявів ознак опустелювання. Розрізняють водну та вітрову ерозії.

Водна ерозія — розмивання та змивання ґрунту (у першу чергу верхнього, найродючішого шару) під час сильних дощів, злив, інтенсивного танення снігу, надмірного поливання («переполивання») і т. ін. Крайній прояв водної ерозії ґрунту — утворення яру. Отже, якщо при змиванні лише зменшується потужність ґрунту (і через це знижується його родючість), при утворенні яру частина поля знищується цілком. Замість нього утворюється каньйон із майже вертикальними стінами, без рослинного покриву, який поступово поглиблюється й розширюється, поглинаючи нові ділянки поля. Чим більше енергія опадів, крутіше схил і чим менше на ньому рослинності, тим сильніше проявляються ерозійні процеси. Ще давньогрецький філо-

соф Платон (IV ст. до н. е.) дійшов висновку, що ерозійна руйнація гір відбувається якраз через інтенсивне вирубування лісу на їх схилах. В Україні водна ерозія поширена на площі понад 13 млн га, призводячи до зниження урожайності сільськогосподарських культур та значних економічних збитків. Вважається, що лише від водної ерозії втрати гумусу становлять на Поліссі — 2,4 млн т, у лісостеповій зоні — 10,3 млн т, у степовій зоні — 11,0 млн т (у середньорічному обчисленні).

Вітрова ерозія (інакше — дефляція, від латинського *de-flare* — здувати) — видування верхнього шару ґрунту під час сильного вітру, бурі, урагану, коли часточки ґрунту відриваються від поверхні землі й переносяться на великі відстані. Таке можливе, коли ґрунт надто сухий, розпилений і позбавлений рослинного покриву або коли щойно з'явилися сходи культурних рослин. Отже, чим швидший вітер і чим менше рослинного покриву на конкретному полі, тим інтенсивніша ерозія. При видуванні ґрунту оголюються корені рослин, що призводить до їх значного ослаблення або загибелі. Проте в укритих од вітру місцях пил відкладається більш або менш товстим шаром, пригортаючи бруньки, окремі пагони чи повністю рослини і, отже, завдаючи іноді значних збитків для господарств. У лісосмугах такі відклади (у вигляді «заметів»), витягнуті уздовж насаджень, мають висоту переважно 0,2—1,0 м, але деінде сягають 2 м і навіть більше! Такі «намети» називають ще «еоловими відкладами» (від слова «Еол»; у давньогрецькій міфології Еол — володар, повелитель вітрів). Крайні прояви вітрової ерозії ґрунту — *пилові*, або «*чорні бурі*». В Україні найчастіше вони трапляються в березні (бувають у другій половині лютого та в квітні, а деколи і в інші місяці), «відвідують» степову зону, рідше — лісостепову. Остання величезна чорна буря, що охопила всю степову зону України та значні площі її Лісостепу, сталась у 1969 році (тривала більше місяця).

Інша проблема, що має глобальний характер, — **засолення ґрунту**. Це — процес накопичення в його верхніх горизонтах солі (карбонату натрію, хлоридів, сульфатів і т. ін.) у кількості, що згубно впливає на культурні рослини. Природне засолення (спричинене засоленістю ґрунотвірної породи, принесенням солей ґрунтовими та поверхневими водами тощо) називають первинним, а спричинене діяльністю людей (антропогенне) — вторинним. У світі від антропогенного засолення потерпає майже 50 % площі зрошуваних земель на всіх континентах (певна річ, крім Антарктиди). В Україні

цей показник становить близько 10 %. Вторинне засолення утворюється через надмірне поливання, а також унаслідок фільтрації (просочування) води зі зрошувальних систем. Чим вищий вміст легкорозчинних солей у ґрунті, тим нижчий урожай сільськогосподарських культур. При певній високій їх концентрації (у кожного виду рослин — різна критична межа) вирощування культурних рослин неефективне або й зовсім неможливе. Такі сільськогосподарські угіддя виводяться з використання.

Підтоплення та заболочування — ще одна проблема землеробства. Це — такі зміни гідрологічного режиму території, що призводять до збільшення обводненості ґрунту з несприятливими наслідками для життєдіяльності культивованих рослин. Підтоплення відбувається внаслідок підвищення рівня ґрунтових вод через природні та техногенні причини. Такі та потенційно підтоплені території становлять 30 % усієї площі України. У такому стані вже перебуває близько 120 тис. га земель сільськогосподарського призначення. Основні причини цих негараздів — надмірна зарегульованість водних басейнів. Загалом в Україні побудовано 1100 найрізноманітніших водосховищ — від Кременчуцького чи Каховського (двох найбільших) до найменшого ставка сільськогосподарського або технічного використання. Причина підтоплення — і надмірне поливання орних земель, і скорочення площі природної рослинності (деревної, чагарникової, трав'янистої), й осідання ґрунту над місцями підземного видобування корисних копалин, і багато інших причин. Постійне перезволоження та застій води по всьому ґрунтовому профілю, включно з найвищим горизонтом, призводить до заболочування ґрунту. Це явище на більших чи менших площах спостерігається в усіх регіонах України, проте найпоширеніше воно на Поліссі.

Вельми відчутною проблемою сучасного землеробства є **забруднення довкілля пестицидами** (від латинських *pestis* — зараза, руйнування та *caedere* — убивати). Цим терміном позначають *сукупність препаратів хімічного, рідше біологічного походження, які використовують переважно для боротьби зі шкідниками, бур'янами, хворобами тварин і рослин*. У процесі їх застосування найчастіше обприскують рослини (при цьому значна частина хімікату потрапляє на ґрунт). В інших випадках певну речовину при застосуванні загортають безпосередньо в ґрунт або роблять нею передпосівну обробку насіння чи практикують фумігацію (обкурювання газоподібним пестицидом) саджанців та іншого посадкового матеріалу.

Препарати, які використовують у боротьбі з бур'янами, називають *гербіцидами*. Проти шкідливих комах застосовують *інсектициди*, проти грибів — збудників хвороб — *фунгіциди*, проти збудників хвороб бактеріального походження — *бактерициди*. Із рослиноїдними кліщами борються *акарицидами*, з нематодами, що паразитують на рослинах, — *нематоцидами* і т. ін.

Потрапляючи у ґрунт, ці хімікати згубно впливають на його живе населення — мікроорганізми, дощових червів та інших представників корисної фауни, загалом зменшуючи біологічну активність ґрунту та знижуючи його родючість. Наприклад, для мікроорганізмів ґрунту найнебезпечнішими є фунгіциди, найменш згубними — гербіциди. Небезпека посилюється тим, що ці сполуки (принаймні деякі з них) можуть зберігатися у ґрунті багато років. Нині відомо, що навіть найменші їх концентрації можуть бути небезпечними для організмів, у тому числі для людини. Доведено, що малі концентрації пестицидів у багатьох випадках пригнічують імунну систему організму, а дещо більші — часто мають алергенну, канцерогенну та мутагенну властивості.

Незалежно від назви, хімічної сутності пестициду та способу застосування частина його найрізноманітнішими шляхами (найчастіше — через ґрунт, рослини, ґрунтові води) врешті може потрапити до тварини та організму людини, особливо при передозуванні, недбалому зберіганні, необережному поводженні під час роботи з ним і при недотриманні правил безпеки. Саме тому не є випадковою та обставина, що у місцях, де найбільше у сільському господарстві використовують отрутохімікатів, найгірше здоров'я у людей.

Зазначені проблеми призводять зрештою до **виснаження ґрунту** — збіднюють його на вміст гумусу, а отже, на елементи живлення рослин, знижують біологічну активність. Гумус — темно забарвлена високомолекулярна органічна речовина, що утворилась при розкладанні решток рослин, тварин, грибів, мікроорганізмів. Чим більше у ґрунті гумусу, тим кращі його фізико-хімічні властивості, вища його родючість. Уміст його у різних ґрунтах не однаковий: від 1,5—2,0 % на бідних дерново-підзолистих різновидах до 10 і навіть 12 % на незайманих чорноземах. Протягом останнього століття в Україні відбувалася дегуміфікація ґрунтів — зниження вмісту гумусу (на $1/4$ — $1/3$ від природного вмісту).

9.3. Шляхи вирішення екологічних проблем сільського господарства

Існує цілком реальна можливість вирішення екологічних проблем сільського господарства. Є чимало способів реалізації на практиці ідей і положень агроекологічного змісту. Серед них основні такі.

Фітомеліорація, а конкретніше — агролісомеліорація. Це — робота з поліпшення екологічного стану агроландшафту за використання передусім деревних і чагарникових насаджень певної конструкції та різного призначення (для пожезахисної, водозберігаючої, протиерозійної, рекультивувальної мети тощо). Такий захід передбачає, поряд зі збереженням існуючих лісових масивів, улаштування нових насаджень як середовищевірних (у позитивному напрямку) осередків. Одним із кращих прикладів цього є ліси (переважно соснові), відновлені на нижньодніпровських і майже всіх інших піщаних масивах України, а також при використанні інших деревних і чагарникових порід — на техногенних територіях у процесі рекультивації звалищ, зосереджених навколо деяких кар'єрів і шахт.

Проте один із найефективніших агролісомеліоративних заходів — це висаджування лісосмуг. Уперше вони з'явилися саме на території України — на Полтавщині, недалеко від Миргорода. Автор цієї ідеї — Василь Ломиковський. Він ще у 1809 році обсадив свої поля деревними та чагарниковими породами і завжди, особливо у посушливі роки, мав урожай вищий, ніж у сусідів. Із того часу технології улаштування лісосмуг та догляду за ними значно удосконалились. За вченням дніпропетровського професора О. Л. Бельгарда, у степовій зоні найвищу стійкість до негативних чинників мають ті рослини, які перебувають в екологічній відповідності до умов місцезростання згідно з його лісотипологічною схемою. Класифікаційні побудови цього вченого дозволяють підбирати деревні та чагарникові породи (для лісових масивів та лісових смуг) таким чином, щоб їх екологічний режим збігався з екологічним режимом (типом) місцезростання.

Найдієвішим виявилось таке взаємне розташування смугових насаджень, коли вони орієнтовані перпендикулярно до напрямків панівних вітрів (у степовій зоні України під час «чорних бур» найчастіше вітер — східно-південно-східний) і перебувають одна від одної на відстані не більше 200 м. Таке улаштування лісосмуг сприяє кращому водозабезпеченню рослин, адже сніг розосереджується по полях рівномірніше і не здувається з підвищених площ рельєфу. За такої схеми насаджень ґрунт промерзає менше і краще забезпечується

талою водою, ліквідуються водна та вітрова ерозії ґрунту, у тому числі пилові бурі, збільшується урожайність сільськогосподарських культур, складаються сприятливі умови для вирощування екологічно чистої продукції, стає стабільнішою загальна екологічна ситуація місцевості. За вченням професора А. П. Травлеєва, властивості будь-якого субстрату під будь-яким лісовим насадженням змінюються тільки на краще, формуючи «лісопокращений ґрунт», у тому числі навіть «лісопокращений чорнозем».

Незважаючи на зазначені позитиви такого облаштування та на реальні можливості створення саме такого ландшафту, на більшості території України лісосмуг удвічі-втричі менше, ніж потрібно для оптимального стану.

Негативні екологічні наслідки сільськогосподарської діяльності послаблює, а у більшості випадків ліквідує раціональна (з природоохоронного погляду) **сівозміна**. Будь-яка сівозміна — це процес чергування сільськогосподарських культур на тім самім полі (земельній площі) протягом певного часу, а точніше, чималого ряду років. Науково обґрунтоване чергування культур на полях сприяє боротьбі з шкідниками, хворобами рослин, що культивуються, з бур'янами, забезпечує кращі умови для цих рослин і, отже, для підвищення врожайності та якості сільськогосподарської продукції.

Існує значна кількість типів сівозмін, проте найефективнішою у природоохоронному сенсі є *травопільна*. У широкому розумінні це багатопільно-трав'яна система землеробства. За цим способом практикують таку послідовність рослинних культур у сівозміні, щоб кожне поле 3, краще 4 роки поспіль, а на відносно крутих схилах — не менше 5 років перебувало під рослинами-фітомеліорантами (багаторічними травами). При цьому найперспективнішими за наслідками є бобово-злакові суміші. Із бобових висівають види та певні сорти люцерни, конюшини, люпину, еспарцету, буркуну і т. ін. Із багаторічних злаків для зазначеної мети доцільно використовувати тонконоги — лучний та вузьколистий, костриці — східну та червону, стоколос (кострець) безостий, грястицю звичайну, тимофіївку лучну, китник (лисохвіст) лучний тощо. Бобові трави збагачують ґрунт природними (передусім нітрогенвмісними) сполуками. Злаки, завдяки мичкуватій кореневій системі, найгустіше пронизують всю верхню частину ґрунту і за сприятливих умов уже за два роки утворюють суцільний цупкий дерновий покрив (густий травостій, здатний у верхньому горизонті ґрунту формувати потужний прошарок, що нагадує повсть). Таку властивість мають у першу чергу тонконоги та довгокореневищна форма

костриці червоної. Вони, крім інших позитивних властивостей, мають довгуваті повзучі кореневища і тому здатні самостійно заповнювати собою всі прогалини, що трапляються у травостої.

Дерновий покрив — це своєрідна, біологічно надактивна оболонка поверхні ґрунту, яка має властивість регулювати фізичні та хімічні процеси, являє собою специфічну буферну та фільтрувальну системи. Він збільшує водопроникність ґрунту, ліквідує будь-яку його ерозію, сприяє розсоленню, дезактивації пестицидів, покращує структуру ґрунту, протистоїть проникненню небажаних видів рослин. Крім іншого, саме через такі властивості, тут складається «цех» найінтенсивнішого відтворювального ґрунтоутворення.

Такі поля у багатопільно-трав'яній сівоzmіні не є збитковими. Уже з другого року вони являють собою чудові сіножаті, а з третього, коли сформується справжній суцільний дерен, — пасовище (щоправда, при суворій регламентації та нормуванні пасовищного навантаження).

Позитивне значення мають і деякі інші заходи. Наприклад, надземну частину певних видів рослин **заорюють не з осені** (при цьому ґрунт відкривають для ерозії та здування снігу), **а ранньою весною**, як тільки ґрунт підсохне так, щоб з'явилась перша можливість його переорати. В інших випадках, особливо при вирощуванні високорослих рослин, наприклад кукурудзи, соняшників, сорго та інших, урожай збирають у такий спосіб, щоб деякі рядки лишалися нескошеними до весни, закриваючи собою поля від впливу чинників ерозії, зокрема вітрової. Один-два рядки, залишені нескошеними через декілька скошених, називають **кулісами**. Зазначені заходи, крім зниження або й ліквідації ерозійних процесів, значно зменшують промерзання ґрунту, що сприяє збереженню цілісності його агрегатів та нормального стану структури.

Дієвим способом покращення ґрунту без застосування хімікатів є використання *сидератів*. Це ті рослини, які вирощують не для отримання певної сільськогосподарської продукції, а виключно для покращення властивостей ґрунту. При цьому висівають зазначені вище багаторічні трави, здатні збагатити ґрунт корисними сполуками та оптимізувати його гранулометричний склад. Через 1—3 роки (в залежності від вихідного стану ґрунту) це поле переорують. Надземна маса перед цим не викошується, а загортається під час оранки. Далі поле готують для наступної культури.

На полях, що зазнають водної ерозії, ефективним заходом є оранка ґрунту та **розміщення рядків** сільськогосподарських культур **упоперек схилів**. Завдяки такому агротехнічному за-

ходу кожен гребінь ріллі, всі рядки висіяної рослини і навіть кожна борозна зменшують або й припиняють поверхневе змивання ґрунту, а до того ж сприяють збільшенню його зволоженості.

На крутих схилах ліквідувати ерозію може тільки постійне утримання площі під суцільним покривом трав. У цьому випадку найефективнішим є використання тільки зазначених вище багаторічних дернотвірних злаків (без бобових і представників інших родин).

Безвідвальна оранка ґрунту — ще один ефективний спосіб вирішення екологічних проблем землеробства. При традиційній оранці (виконується плугом із відвальними лемешами) орний шар перевертається на 180° з метою повного загортання стерні та інших решток культурних рослин і бур'янів, які з часом перетворюються на гумус. При цьому загортається й насіння бур'янів, значна більшість яких потрапляє на таку глибину, що не може прорости і тому гине. Конструкція безвідвального плуга зовсім інша. Його ріжучі органи ніскільки не перевертають орний шар, а лише підрізують корені рослин. Через таку особливість цей агрегат називають *плоскорізом*. Після його проходження по полю вся надземна частина рослин (стерня та бур'яни) залишаються на поверхні ґрунту. Саме вони захищають ґрунт — зменшують або й ліквіднують водну та вітрову ерозії. Щоправда, при регулярному застосуванні цього плуга на одному полі його забур'яненість може поступово збільшуватись, тому рекомендується по чергові замінювати його традиційною оранкою.

Система, яка отримала назву **контурне землеробство**, — один зі способів, що теж сприяє екологічній стабілізації довкілля та природоохоронному веденню сільського господарства. При цьому поля формують не за принципом прямих геометричних фігур, а відповідно до природних контурів певного типу ґрунту. Це дає можливість точніше нормувати агротехнічні заходи відповідно до специфіки умов конкретного поля. При контурному землеробстві заходи агролісомеліорації, у тому числі висаджування лісових масивів та лісосмуг, виконують згідно з геоморфологічними особливостями місцевості. Наприклад, смугові насадження прагнуть розташовувати на найвищій точці плакору й «витягувати» їх по лінії вододілу. Завдяки цьому позитивний вплив лісосмуги стає суттєвішим і розповсюджується на більшу площу.

У боротьбі з вторинним (антропогенним) засоленням ґрунту там, де виникає необхідність і є можливість, улаштовують ефективну дренажну систему (комплекс заходів, що сприяє осушенню ґрунту та зниженню рівня ґрунтових вод),

поливання проводять без відхилення від науково обґрунтованих зрошувальних норм та способів.

Важливим напрямком вирішення екологічних проблем землеробства є запровадження в практику таких сільськогосподарських культур, а головне, сортів, які були б стійкими до різноманітних хвороб та шкідників, максимально конкурентоздатними відносно бур'янів, невимогливими до забезпечення поживними речовинами, стійкими до негативних природних явищ тощо.

Для вирішення проблеми промислових звалищ найістотнішою є їх *рекультивация*. Першою є технічна складова цієї роботи: вирівнюють поверхню звалищ, насипають родючий шар ґрунту і т. ін. Наступна частина — біологічна: вирощують різноманітні сільськогосподарські культури або формують штучні лісові масиви. У деяких випадках площу навколо кар'єрів облаштовують як рекреаційну зону.

При всіх зазначених вище технологічних заходах для збереження, покращення ґрунту та загального стану довкілля необхідне обмеження або й відмова від використання синтетичних добрив, хімічних регуляторів росту, штучних кормових добавок тощо. Проте у цьому відношенні позитивним є **внесення органічних добрив** (гною, компостів) — для конкретного поля (навіть його частини) та кожної культури **в оптимальній кількості**.

Ще одним заходом екологічної стабілізації сільськогосподарських угідь є впровадження в практичну агрономію *біологічних* методів боротьби зі шкідниками, хворобами культурних рослин та бур'янами, про що буде сказано у наступному підрозділі.

При повному переході на екологічні (біологічні) методи землекористування урожайність основних сільськогосподарських культур спочатку знижується. Проте існують обґрунтовані дані про те, що таке зниження спостерігається лише у перші 4—5 років, після чого ці показники стабілізуються, а потім за своїм рівнем наближаються до урожайності, що була при застосуванні традиційних методів. Міжнародний досвід, крім того, доводить, що альтернативні методи землеробства найкращим чином зарекомендували себе і є всебічно виправданими на ґрунтах з високою родючістю. Саме тому, зважаючи на високу вихідну якість українських ґрунтів та на переважно сприятливі кліматичні умови, можна передбачити вельми позитивні перспективи екологічного (біологічного) землеробства в Україні, а отже, отримання у все більших обсягах екологічно чистої сільськогосподарської продукції, покращення стану ґрунтів, інших складових природного довкілля та здоров'я людей.

9.4. Боротьба зі шкідниками

Незважаючи на те, що основну частину чистої первинної продукції з неї забирає людина, агросистема залишається цілісною екологічною системою, в якій відбуваються процеси, подібні до природних. Впроваджуючи певні агротехнічні заходи для підвищення продуктивності сільгоспугідь, людина повинна мати уявлення не тільки про короткотермінові, а й про довготривалі наслідки своєї діяльності.

Наприклад, у більшості країн світу нині впроваджено інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських тварин із широким застосуванням *антибактеріальних і проти-паразитарних препаратів*. Це веде не тільки до накопичення макроциклічних лактонів (івермектин, абамектин, аверсектин тощо), імідазолів (левамізол, тетрамізол тощо), бензімідазолів (альбендазол, мебендазол, фенбендазол тощо), заміщених фенолів (ніклофолан, нітроксиніл тощо) та інших отруйних речовин у м'ясо-молочній продукції тваринництва, а ще і до надходження значної частини цих препаратів, не засвоєної у кишечнику тварин, разом із послідом — до екосистем пасовищ. Антигельмінтні, антипротозойні, фунгіцидні та антибактеріальні засоби при розкладанні посліду *накопичуються у ґрунті*, зменшуючи біомасу багатьох груп безхребетних тварин. Наслідок цього — *падіння продуктивності пасовищ*, на яких традиційно випасали худобу і куди надходив її послід. Зменшення врожайності пасовищ веде до *падіння продуктивності тваринництва через декілька років*. Отримуємо замкнене коло, коли нинішнє покоління людей, підвищуючи продуктивність тваринництва, існує «за рахунок» зменшення кількості харчових ресурсів наступних поколінь. Така ситуація викликає занепокоєння багатьох учених й інтенсивно обговорюється, наприклад, на рівні Європарламенту. Отже, впроваджуючи будь-який захід для підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, треба оцінювати його вплив не тільки на найближчу, а й на багаторічну перспективу.

Будь-які заходи, спрямовані на оптимізацію виробництва продукції рослинництва чи тваринництва, повинні здійснюватися з *урахуванням конкретних особливостей агроєкосистеми*, в якій ведеться виробництво сільськогосподарської продукції. Важливо *вчасно, із мінімальними витратами коштів і людських ресурсів, із мінімальною шкодою для навколишнього середовища* здійснити один або декілька заходів з оптимізації сільськогосподарського виробництва. В Україні контроль і організацію на державному рівні заходів із захисту та карантину рослин здійснюють Держав-

на службу захисту рослин і Державна служба карантину рослин.

Традиційно для оптимізації агроєкосистем застосовують такі методи:

- *агротехнічні*;
- *фізико-механічні та біофізичні*;
- *імунологічні*;
- *біологічні*;
- *хімічні*.

Сучасною вважається *інтегрована система заходів із захисту рослин*, яка включає оптимальне поєднання зазначених вище методів з оцінкою їх економічної ефективності. Розглянемо детальніше основні методи оптимізації агроєкосистем.

Агротехнічні методи потребують, як правило, великих витрат на закупівлю, амортизацію та обслуговування відповідної техніки, паливно-мастильні матеріали, але, здійснюючи їх, можна досягти результатів у найкоротші строки. Прості заходи (передпосівна обробка ґрунту, догляд за посівами тощо), виконані *вчасно*, і, головне, *свідомо спрямовані проти конкретного виду шкідливого організму*, який почав своє поширення в агроєкосистемі, зменшуючи її продуктивність, дозволяють мінімізувати нищівний вплив на корисні для людини види рослин, поширені на полях, сіножатях або пасовищах.

Науково обґрунтоване чергування культур із року в рік на певній ділянці поля забезпечує максимальну продуктивність кожної з них. Наприклад, якщо на одному полі без сівозміни вирощувати озиму пшеницю, чисельність хлібної жужелиці зростає усемеро, дротяників, попелиць, трипсів, злакових мух — удвічі-втричі. Витрати для контролю над цими шкідниками та забруднення зерна інсектицидами теж зростуть. Значний вплив на чисельність шкідників здійснюють *термічний режим, зволоження, аерація, щільність ґрунту*. Їх оптимізація дозволяє уникати масових розмножень шкідників. Наприклад, лушення стерні одночасно зі збиранням хлібів веде до припинення додаткового живлення шкідливої черепашки (*Eurygaster integriceps* Putz.) — одного з найнебезпечніших шкідників пшениці.

Фізико-механічні — одні з найдавніших методів боротьби зі шкідниками. Найпоширеніші серед них: *різноманітні пастки, термічне знезараження насіннєвого матеріалу, безпосереднє збирання особин шкідливих організмів*. Найчастіше для відловлювання шкідливих метеликів із нічною активністю застосовують *світлові пастки*. Для цих комах характерний світлокомпасний рух (тіло під час руху повинно за-

вжди знаходитись під одним і тим самим кутом до джерела світла). У садах на стовбури дерев установлюють *ловильні пояси*, просочені гусеничним клеєм. В агроценозах вкопують *грунтові пастки*: циліндри, верхній край яких розташовують на рівні поверхні ґрунту, при цьому всі дрібні тварини, що пересуваються поверхнею ґрунту, опиняються у пастці. Ця група методів за рівнем витрат зазвичай менш ресурсоемна, ніж агротехнічні методи. Але вибірковість (знищення корисних і шкідливих тварин одночасно), так само як і ефективність фізико-механічних методів, також часто набагато менша, ніж в агротехнічних заходів боротьби із шкідниками.

Імунологічні методи захисту рослин передбачають виведення стійких проти шкідливих організмів сортів і гібридів сільськогосподарських культур. Ця стійкість у рослин реалізується у вигляді *комплексу морфологічних, фізіологічних, біохімічних і генетичних особливостей*. Імунітет рослин може бути пасивним і активним. *Пасивний імунітет* зазвичай зумовлюється наявністю у тканинах рослин алкалоїдів, фенолів, танінів чи інших речовин, які захищають від багатьох груп шкідників. *Активний імунітет* зумовлений наявністю певних полігенів, які діють (експресуються) при спробі патогена проникнути та поширитися у рослині. Селекція нових сортів потребує значних витрат, однак часто це найоптимальніший шлях захисту рослин.

Біологічні методи захисту рослин ґрунтуються на застосуванні живих організмів або продуктів їх життєдіяльності для зменшення чисельності чи шкодочинності інших видів. Найефективніший напрям біометоду — *виявлення, збереження та сприяння розмноженню природних ентомофагів і корисних для захисту рослин мікроорганізмів*.

Найчастіше із цією метою відбирають *загиблих від грибків, бактерій, вірусів або мікроспорицій комах*, розтирають їх у водному розчині й обприскують ним лабораторну культуру шкідника. За умов швидкої та стовідсоткової загибелі лабораторної культури розчином із тіл цих комах обробляють рослини в польових умовах. Використання місцевих ентомопатогенних мікроорганізмів зазвичай дозволяє зменшити нищівний вплив на корисні види безхребетних тварин, максимально зберегти ці корисні види. *Видова специфічність* до шкідників характерна для вірусних хвороб комах (поліедрозів і гранульозів) і паразитичних мікроспорицій (одноклітинні тварини), ентомофторових грибків. Більшість інших грибів, а також бактерії зазвичай *неспецифічно знищують* усю ентомофауну, що є не меншою катастрофою для агроєкосистеми, ніж застосування хіміопрепаратів.

Ентомофаги — паразитичні та хижі види безхребетних тварин, зазвичай присутні у будь-якому агроценозі. Найчастіше застосовують хижих кліщів фітосейд (фітосейулюс, амбліосейулюс), паразитичних перетинчастокрилих комах (енкарзія, проспальтєла), жуків сонечок (хілокорус, криптолемус), хижих трипсів.

Вважається, що біометоди захисту рослин — найбезпечніші для людини та екосистем.

Хімічні методи полягають у застосуванні *пестицидів*. Пестициди класифікують за призначенням, способом проникнення в екосистему, хімічною будовою тощо. За призначенням виділяють *інсектициди* (діють проти комах), *акарициди* (знищують кліщів), *фунгіциди* (проти грибкових хвороб), *бактерициди* (проти бактеріальних хвороб), *гербіциди* (проти рудеральних рослин, або бур'янів), *нематоциди* (проти шкідливих нематод), *родентициди* (проти гризунів). До пестицидів також належать *ретарданти* (стимулятори росту або речовини, які, навпаки, затримують ріст рослин), *дефоліанти* (викликають опадання листя), *десиканти* (стимулюють підсихання рослин). Для приваблення шкідливих комах до пасток застосовують *атрактанти*, для відлякування від кормових рослин — *репеленти*. За походженням діючої речовини пестициди класифікують як *неорганічні*, *органічні* та *біологічні*.

Пестициди масово почали застосовувати в середині ХХ століття. Наслідком цього широкого, часто необґрунтованого застосування стали знищення біологічного різноманіття на прилеглих до агроекосистем ділянках, селекція стійких до певних пестицидів форм шкідників, поширення аутоімунних і онкологічних захворювань у популяції людей тощо. Багато пестицидів надто повільно розкладаються у ґрунті, здатні переноситися по трофічних ланцюгах і накопичуватися в тілі консументів вищих порядків.

Інтегрована система заходів із захисту рослин базується на застосуванні агротехнічних, хімічних і біологічних методів захисту рослин з урахуванням доцільності застосування пестицидів, наявності ентомофагів, ступеня стійкості вирощуваних сортів проти комах-фітофагів і збудників хвороб, впливу максимальної кількості чинників навколишнього середовища. Інтегрована система захисту рослин складається з таких розділів:

- оцінка можливості максимального використання стійких сортів рослин;
- аналіз поширеності домінантних видів шкідників і хвороб із урахуванням прогнозів Державної служби захисту рослин, осінніх і весняних обстежень полів;

- попереднє планування заходів із захисту рослин, їх коригування відповідно до змін фітосанітарного стану на конкретному полі;

- оцінка фітосанітарного стану культури протягом вегетаційного сезону, систематичне спостереження за розвитком шкідливих організмів, застосування оптимальних заходів боротьби зі шкідливими організмами;

- визначення економічної ефективності проведених заходів із захисту рослин.

Останніми роками (Сумароков, 2009) встановлено, що припинення хімічної обробки агроценозів протягом двох десятиліть привело до відновлення чисельності природних ентомофагів. Агроценози, у яких тривалий час не застосовували пестицидів, майже не поступалися врожайністю посівам сільгоспкультур, які вирощували зі значними витратами на здійснення хімічних обробок за стандартною схемою.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Агроекологія / О. Ф. Смаглій, А. Т. Кардашов, П. В. Литвак та ін. — К.: Вища освіта, 2006. — 671 с.

Белова Н. А., Травлев А. П. Естественные леса и степные почвы. — Днепропетровск: ДГУ, 1999. — 344 с.

Бельгард А. Л. Степное лесоведение. — М.: Лесная пром-сть, 1971. — 336 с.

Берриман А. Защита леса от насекомых-вредителей. — М.: Агропромиздат, 1990. — 288 с.

Веселовський І. В., Бегай С. В. Ґрунтозахисне землеробство. — К.: Урожай, 1995. — 304 с.

Вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений / под ред. В. П. Васильева. — К.: Урожай, 1973. — Т. 1. — 496 с.

Дегодюк Е. Г., Сайко В. Ф., Корнійчук М. С. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. — К.: Урожай, 1992. — 320 с.

Довідник із захисту рослин / Л. І. Бублик, Г. І. Васечко, В. П. Васильєв та ін.; за ред. М. П. Лісового. — К.: Урожай, 1999. — 744 с.

Жаринов В. І., Довгаль С. В. Словник-довідник по агроекології. — К.: Урожай, 2001. — 374 с.

Земельні ресурси України / за ред. В. В. Медведєва, Т. М. Лактіонової. — К.: Аграрна наука, 1998. — 448 с.

Массовые хвое- и листогрызущие вредители леса / С. Г. Гамаюнова, Л. В. Новак, Ю. В. Войтенко, А. Е. Харченко. — Харьков: УкрНИИ лесн. хоз-ва и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого, 1999. — 172 с.

Надточій П. П., Вольвач Ф. П., Гермашенко В. Г. Екологія ґрунту та його забруднення. — К.: Аграрна наука, 1997. — 286 с.

Паразитологія та інвазійні хвороби тварин / В. Ф. Галат, А. В. Березовський, Н. М. Сорока, М. П. Прус. — К.: Урожай, 2009. — 368 с.

Патика В. П., Тараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. — К.: Фітосоціоцентр, 2002. — 296 с.

Сівозміни у землеробстві України: Методичні рекомендації / за ред. В. Ф. Сайка, П. І. Бойка. — К.: Аграрна наука, 2002. — 147 с.

Сумароков А. М. Восстановление биотического потенциала биогеоценозов при уменьшении пестицидных нагрузок. — Донецк: Вебер, 2009. — 193 с.

Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. — М.: Колос, 1971. — 455 с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Що є основним об'єктом вивчення агроекології?
2. Що таке «опустелювання»? Які причини його виникнення?
3. Чи було опустелювання в Україні? Які його масштаби та зміст?
4. Які чинники призводять до виникнення «чорної бурі»?
5. Що є крайнім проявом водної ерозії ґрунту?
6. У чому полягають причини та які наслідки засолення ґрунту?
7. Чи відбувається й у чому причина підтоплення та заболочування земель в Україні?
8. Що таке «пестициди» та яка від них шкода?
9. У чому полягає виснаження ґрунту та які його причини?
10. Що таке «фітомеліорація»?
11. У чому полягає позахисна роль лісосмуг?
12. З якою метою використовують безвідвальну оранку ґрунту?
13. У чому полягає ґрунтозахисна роль багаторічних трав?
14. Що таке «сидерати»? З якою метою вони використовуються?
15. Що таке агротехнічні заходи боротьби зі шкідниками?
16. Які основні групи пестицидів Вам відомі?
17. Чому протипаразитарні та антибіотичні речовини, які застосовують у тваринництві, небезпечні не тільки для людини, але й для природних екосистем?
18. Чому інтегровані методи захисту рослин вважаються досконалішими за хімічні?
19. Які методи біологічного захисту рослин можна самостійно застосувати на власній присадибній ділянці при розмноженні шкідливих комах?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. В Україні заболочування найбільше зосереджено в: а) Криму; б) Лісостепу; с) Карпатах; d) Поліссі?
2. Крайній прояв вітрової ерозії ґрунту — це: а) утворення яру; б) відмирання лісосмуги; с) «чорна буря»; d) утворення чорного пару?

3. Крайній прояв водної ерозії ґрунту — це: а) «чорна буря»; б) утворення еолових наносів; с) утворення яру; d) відмирання лісосмуги?

4. Антропогенне засолення ґрунту відбувається переважно через надмірне: а) поливання; б) мульчування; с) виснаження; d) випасання?

5. Скопища, що утворились через «чорну бурю», називають відкладами: а) абразивними; б) яружними; с) лесовими; d) еоловими?

6. Гербіциди — препарати, що використовують проти: а) шкідників; б) грибків; с) бур'янів; d) бактерій?

7. Головною ознакою виснаження ґрунту є збіднення його на: а) гумус; б) гриби; с) NaCl; d) мікрофлору?

8. Автором ідеї полезахисних лісосмуг є: а) В. Данилевський; б) В. Ломиковський; с) Г. Н. Висоцький; d) В. І. Вернадський?

9. На чорноземах під впливом лісових насаджень ґрунти поступово перетворюються на: а) лісопокращені підзоли; б) лісопогіршені чорноземи; с) лісопокращені чорноземи; d) лісопогіршені підзоли?

10. Лісосмуги найкраще впливають на ґрунт поля при їх розташуванні по відношенню до напрямку панівних вітрів: а) уздовж панівних вітрів; б) упоперек; с) під кутом 45°; d) під кутом 135°?

11. Найбільше збагачують ґрунт природними сполуками нітрогену рослини з родини: а) бобові; б) хрестоцвіті; с) пасльонові; d) айстрові?

12. При безвідвальній оранці ґрунту орний шар перевертається: а) на 45°; б) на 180°; с) на 90°; d) не перевертається?

13. Родентициди — це препарати для знищення: а) бур'янів; б) нематод; с) гризунів; d) грибків?

14. Атрактанти — це препарати для: а) відлякування шкідників; б) стимуляції опадання листя рослин; с) приваблювання шкідників; d) знищення бактерій?

15. Мікроспоридії — це: а) один із класів сучасних фунгіцидів; б) група мікроскопічних кліщів; с) стимулятори росту рослин; d) вузькоспеціалізовані паразитичні одноклітинні тварини?

16. Ґрунтові пастки — це: а) одна з форм оцінки чисельності фітопатогенних грибків; б) одна з форм фізико-механічних методів захисту рослин; с) один із способів оцінки кількості опадів; d) один з основних агротехнічних методів знищення шкідливої черепашки?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	d	5	d	9	c	13	c
2	c	6	c	10	b	14	c
3	c	7	a	11	a	15	d
4	a	8	b	12	d	16	b

Розділ 10

ВПЛИВ ПРОМИСЛОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА СЕРЕДОВИЩЕ

Основна ідея. Кожний із видів людської виробничої діяльності тим чи іншим чином впливає на навколишнє середовище, використовуючи при цьому природні ресурси та забруднюючи у процесі діяльності атмосферу — газовими викидами, гідросферу — стоками та скидами, педосферу — твердими відходами.

Смислові зв'язки. Вид людської виробничої діяльності — природні ресурси, які використовуються, — вплив на атмосферу — вплив на гідросферу — вплив на педосферу.

Ключові терміни. Теплові електростанції, атомні електростанції, горіння палива, гірничохімічна промисловість, гірничі розробки, підземне видобування, неорганічні продукти, органічні продукти, сірчана кислота, фосфорна кислота, калійні добрива, пластмаси, чорна металургія, кольорова металургія, машинобудування, ливарне виробництво, механічна обробка металів, гальванічні цехи, паливо, забруднення навколишнього середовища.

Мета — дізнатись про вплив на навколишнє середовище основних сфер промислового виробництва (виробництва енергії, гірничодобувної, хімічної, металургійної, металообробної промисловості) та транспорту, встановити взаємозв'язок між цими видами людської діяльності, типом та кількістю природних ресурсів, які забезпечують їх функціонування, а також встановити вплив цих видів людської діяльності на компоненти природного середовища: атмосферу, гідросферу та педосферу.

10.1. Головні типи промислових виробництв, їхня характеристика

10.1.1. Теплові (ТЕС) та атомні (АЕС) електростанції

Об'єктами електроенергетики є всі типи електростанцій: теплові, атомні, сонячні, гідравлічні і вітрові, а також теплоелектроцентралі та господарство електромереж. Географія розташування електростанцій України (за Богдарем, 2011) відображена на рис. 10.1.

Провідне місце в електроенергетиці України належить атомним (АЕС) і тепловим (ТЕС) електростанціям — разом вони дають більше 90 % всієї виробленої електроенергії.



Рис. 10.1. Географія розташування електростанцій України

Принцип роботи ТЕС — одержання тепла у процесі згорання органічного палива та перетворення його на електричну енергію. Найчастіше використовують такі види природного палива, як вугілля кам'яне та вугілля буре. До основних взаємодій із навколишнім середовищем відносяться витрата палива, води, кисню, зміна ландшафту, а також надходження різноманітних відходів у навколишнє середовище.

У процесі горіння органічних речовин можливе утворення **канцерогенних речовин** шляхом рекомбінації радикалів, найнебезпечніша із яких *бенз(а)пірен* — поліциклічний ароматичний вуглеводень ($C_{20}H_{12}$). За умови вмісту у паливі сульфуру та його сполук у процесі горіння утворюється один з найбільш токсичних газоподібних викидів — SO_2 , який складає 98—99 % від викиду сірчистих сполук. Ще однією шкідливою речовиною, яка потрапляє в атмосферу в процесі горіння палива, є **оксиди Нітрогену**, які утворюються *за трьома механізмами*:

- *паливним*, що залежить від вмісту Нітрогену у паливі та від надлишку повітря;
- *швидким*, що діє на початку зони горіння, у результаті взаємодії радикалів палива з азотом повітря (вихід NO незначно залежить від температури, але сильно — від структури молекул палива);
- *термічним*, у результаті термічної дисоціації молекул кисню й азоту повітря та наступного окиснювання Нітрогену Киснем. Вихід NO значно залежить від температури.

Для спорудження великої ТЕС необхідна площа 2—3 км². З урахуванням золо- та шлаковідвалів і водойм-охолоджувачів ця величина зростає до 3—4 км². Уся ця територія зазнає значних впливів від діяльності людини. Великі градирні у системі охолодження істотно зволожують мікроклімат у районі станції, сприяють утворенню низької хмарності, туманів, дощів, що мрячать, у зимовий час — інею та ожеледі, поширюються бактерії (легіонела).

Експлуатація сучасних ТЕС пов'язана з **утворенням великої кількості рідких відходів**. Порушення природної рівноваги екосистем водойм і водотоків при скиданні в них нагрітої води пов'язують як із самим фактом підвищення температури води, так і з можливим зменшенням через це концентрації розчиненого кисню. Для деяких промислових риб гранична (летальна) температура +37 °С, а для більшості водяних організмів — +25...+35 °С. Загальне використання води ТЕС, що працює на органічному паливі, на 1 ГВт при мінімальній різниці температур на вході та виході з конденсатора в 8 °С, складає 32—43 м³/с.

Одним із факторів впливу вугільних ТЕС на навколишнє середовище є **викиди систем складування, транспортування, пилопідготування та золовидалення**.

Для визначення сумарного впливу станції на навколишнє середовище необхідно враховувати нерівномірність енергоспоживання, пускові та перемінні режими роботи, за яких вплив ТЕС на навколишнє середовище значно зростає.

Ядерна енергетика використовує енергію, що виділяється в результаті перетворення атомних ядер. До важких ядер, що діляться, відносяться природні ізотопи ²³⁵U, ²³²Th і штучні ²³³U, ²³⁹Pu і ²⁴¹Pu. Поділ ядер урану супроводжується виділенням близько 200 МВв у результаті однієї реакції, або 20 МВт/г пального. Через нижчий ККД циклів АЕС порівняно з ТЕС (на 25—30 %) теплові скиди на них у системі охолодження вищі, ніж на ТЕС. Наприклад, для охолодження ТЕС потрібно 70—90 м³/с, а для АЕС — 180 м³/с води. АЕС скидають в охолоджувальну систему в 1,5—2,0 рази більше тепла, ніж ТЕС тієї ж потужності.

Основне тепловиділення АЕС у навколишнє середовище відбувається в конденсаторах турбін. Однак питоме тепловиділення в охолоджувальну воду в АЕС більше, ніж у ТЕС, через більшу витрату пари, що визначає великі питомі витрати охолоджувальної води. Тому на більшості нових АЕС передбачається будівництво градирень, у яких теплота виділяється безпосередньо в атмосферу.

Для захисту від прямого виходу радіоактивних відходів ядерних реакцій у навколишнє середовище передбачена ба-

гатоступенева система радіаційного захисту. При нормальній експлуатації АЕС радіоактивність контура ядерного реактора обумовлена активацією продуктів корозії, проникненням продуктів ділення у теплоносії. *Наведеній радіації піддаються практично всі речовини, які взаємодіють із радіоактивним випромінюванням.*

У процесі експлуатації АЕС утворюються газоподібні, рідкі та тверді відходи. Газоподібні викиди через вентиляційну трубу достатньо малі (не перевищують декількох відсотків від гранично допустимого рівня, оскільки на АЕС використовуються високоефективні технології очищення газів). Рідкі відходи — вода, забруднена низькоактивними речовинами, — очищаються й використовуються вдруге. Невеликі її кількості зливаються у побутову каналізацію. За рік роботи утворюється 0,5—1,5 м³ середньоактивних рідких відходів на 1 МВт електричної потужності. Тверді високоактивні відходи — елементи устаткування, інструменти, відпрацьовані фільтри очищення повітря, спецодяг, сміття. Ці відходи не можуть бути штучно дезактивовані. Єдиний спосіб — природний розпад. Рідкі високоактивні відходи піддають концентруванню шляхом нагрівання та випарювання і захороняють у спеціальних контейнерах. Тверді — спресовують і захороняють у металевих контейнерах.

У процесі роботи реактора концентрація ядер, що поділяються, у ТВЕЛах поступово зменшується: ТВЕЛи вигорають. Близько 1/3 ТВЕЛів вимагає щорічної заміни. Витягнуті ТВЕЛи зберігають у воді в межах реактора декілька тижнів (150 діб) до розпаду радіоактивних елементів із коротким періодом напіврозпаду.

АЕС — складова ядерного паливного циклу (ЯПЦ), або повного ядерного циклу. Цей цикл складається з:

- видобування та переробки уранової руди з одержанням хімічних концентратів урану. На цьому етапі з надр іде виділення радіоактивного радону. Збагачення руди йде від приблизно 0,7 до 3,0 %. Для забезпечення паливом блока АЕС потужністю 1000 МВт потрібно 50—80 тис. т руди на рік. У відвалах залишається приблизно 70 % природних радіоактивних речовин;

- одержання чистих сполук U з концентратів. При одержанні 2 кг U_3O_8 утвориться 3—3,5 м³ рідких токсичних і радіоактивних відходів;

- виробництва UF_6 і поділу його ізотопів. На цій стадії в атмосферу виділяються F_2 , HF і низькоконцентровані радіоактивні відходи;

- виготовлення ядерного палива та ТВЕЛів (тепловидільних елементів);

- використання палива для одержання енергії на АЕС;
- переробки відпрацьованого на АЕС ядерного палива.

Заводи із переробки ТВЕЛів — серйозне джерело забруднення навколишнього середовища. Велика частина радіоактивних елементів міститься у стічних водах. Їх збирають і зберігають у герметичних ємностях, але частина СВ скидається (один завод за рік скидає 500—1500 м³ СВ). ⁸⁵Kr, ¹³³Xe, частина ¹³¹I потрапляє в атмосферу з випарників, які використовуються для концентрування рідких стоків. Період напіврозпаду ²³⁹Pu — 24 500 років, його треба зберігати 490 000 років.

Після 30 років постійного опромінення АЕС повинна бути закрита.

Ряд великих аварій на АЕС (Чорнобиль, 1986 р.; Фукусима, 2011 р.) похитнули віру людства у перспективність розвитку атомної енергетики і спонукали активний пошук у застосуванні альтернативних джерел енергії.

10.1.2. Гірничодобувна промисловість

Гірничодобувна промисловість — комплекс галузей із видобування та первинної переробки корисних копалин. *Основні групи: паливна, рудодобувна, промисловість нерудних корисних копалин, гірничохімічна.* Вплив гірничодобувної промисловості на екосистеми здійснюється у процесі реалізації таких основних технологічних процесів.

Геологорозвідувальні роботи — комплекс різних спеціальних геологічних та інших робіт, які виконуються з метою виявлення та підготовки для промислового освоєння родовищ корисних копалин і дослідження будови надр Землі.

Свердловинна геотехнологія — охоплює систему технологій із видобування газоподібних, рідких (газ, нафта, вода тощо) і твердих корисних копалин.

Відкриті гірничі роботи — сукупність робіт, які проводяться із земної поверхні з метою видобування гірських порід і створення різних виїмок і котлованів. Усі основні процеси з вилучення корисної копалини здійснюються у відкритих гірничих виробках.

Підземна розробка корисних копалин. Видобування корисних копалин підземним способом ведуть гірничі підприємства на відведених для них родовищах або ділянках.

Переробка та збагачення корисних копалин. Збагачення корисних копалин — важлива проміжна ланка між їх видобуванням і використанням — це сукупність процесів і методів для збільшення концентрації мінералів при первинній переробці твердих корисних копалин. При збагаченні корисних

копалин отримують товарні продукти (вапняк, азбест, графіт тощо) і концентрати, придатні для подальшої технічно можливої та економічно доцільної хімічної або металургійної переробки.

Наведені технології видобування корисних копалин зумовлюють такі види порушень навколишнього середовища:

- *геомеханічні* — розтріскування порід унаслідок проведення вибухів, зміна рельєфу місцевості, вирубування лісів, деформація земної поверхні;

- *гідрологічні* — зміна запасів, режиму руху, якості та рівня ґрунтових вод, винесення у водойми шкідливих речовин із поверхні та надр Землі;

- *хімічні* — зміна складу та властивостей атмосфери і гідросфери (підкислення, засолення, забруднення води та повітря);

- *фізико-механічні* — забруднення довкілля пилом, зміна властивостей ґрунтового покриття тощо;

- *шумове забруднення та вібрація ґрунту.*

У місцях відкритих розробок відбувається вирубування лісів і порушення рослинності внаслідок проведення розкривних робіт, складування порід на поверхні ґрунту. У великих обсягах витрачаються земельні ресурси, придатні для сільськогосподарського виробництва. Кар'єри часто досягають глибини 400—600 м, і, відповідно, велика кількість гірських порід вивозиться на поверхню. Площі, зайняті відвалами, в декілька разів перевищують площу кар'єру. В Україні найбільші порушення природного середовища сталися на Криворіжжі: тут занапащено понад 18 тис. га землі.

Гірничі розробки призводять до збільшення стоку рудникових і шахтних вод, які несуть значну кількість забруднень: хлористі сполуки, сірчану кислоту, розчинні солі заліза, марганцю, міді тощо.

Видобуток мінеральної сировини призводить до зміни ландшафту за рахунок нагромадження гірничих мас (відвали, терикони). Шахтні породи в териконах схильні до самозагоряння, що призводить до теплового забруднення повітря, його хімічного забруднення продуктами горіння.

У процесі підземного видобування корисних копалин відбувається осідання земної поверхні. Западини, що утворюються, заповнюються водою. Інтенсивні підземні гірничі роботи призводять до деформації верхніх товщ порід та зсувів земної поверхні. У середньому загальна величина осідання складає 25 % і більше від потужності покладів, які виймаються.

Провали над відпрацьованими вугільними або рудними пластами сягають 40—60 м, довжина їх досягає декількох со-



Рис. 10.2. Розкривні роботи на кар'єрі (Богдар, 2011)

тень метрів, а ширина — 20—40 м. Специфічними на вугільних родовищах є провали, пов'язані з підземними пожежами та вигорянням вугілля. У цих випадках можливе просочування газів у житлові та інші приміщення. Якщо зона зсуву збігається з гірськими схилами, на них утворюються тріщини та осідає поверхня. Подібні зсуви об'ємом до декількох мільйонів кубічних метрів виникають на схилах і в процесі зсування товщ порід над вугільними пластами, що вигоріли.

Глибинні, здебільшого токсичні, шари породи опиняються на поверхні відвалів. Це перешкоджає їх заростанню, а після дощів води, які стікають із відвалів, отруюють річки та ґрунти. Орієнтовно можна вважати, що *для відкритого видобування 1 млн т/рік корисних копалин потрібно близько 100 га земельних угідь.*

Зміни, зумовлені порушенням поверхні, негативно позначаються на її біологічних, ерозійних та естетичних характеристиках. Саме відкриті розробки покладів здійснюють найбільший геотоксикологічний вплив гірничого виробництва на людину.

Підприємства нафтодобувної галузі здійснюють вплив на навколишнє середовище у таких проявах:

- вилучення земельних ресурсів для будівництва об'єктів нафтодобування;
- порушення та забруднення земель;
- викиди забруднюючих речовин в атмосферу, скидання у поверхневі та підземні води, а також на підстилаючу поверхню;
- вилучення з нафтою високомінералізованих супутніх вод;
- поховання відходів буріння;
- аварійні розливи нафти (з наступним випаровуванням).

Основний негативний вплив підприємства нафтодобувної галузі здійснюють на атмосферне повітря. Щорічно галуззю

викидається в атмосферу шкідливих викидів до 1650 тис. т. Підприємства нафтопереробної промисловості забруднюють атмосферне повітря викидами вуглеводнів (73 % сумарного викиду), діоксиду Сульфуру (18 %), оксидів Карбону (7 %), оксидів Нітрогену (2 %). Додаткового збитку навколишньому середовищу завдають аварії на бурових установках і платформах, а також на магістральних газо- та нафтопроводах — це найтипівіші причини забруднення поверхневих вод.

Найбільші екологічні проблеми виникають на стадії використання нафти або газу в промисловості. Найчастіше забруднення здійснюється в результаті переробки нафти. Це первинні забруднення, які під дією водяної пари, кисню, світла та інших чинників утворюють вторинні забруднювачі, такі як сульфати, озон, нітрати та органічні сполуки.

Потреба у великій кількості води зумовлює необхідність розташування підприємств поблизу водойм, що у свою чергу вимагає заходів із захисту водних об'єктів від забруднення. Зі стічними водами у водойми потрапляють значні кількості нафтопродуктів, фенолів, сульфатів, хлоридів, сполук Нітрогену, солей важких металів.

Нафтопереробні заводи — джерела забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Крім того, необхідно утилізувати такі відходи нафтопереробки, як нафтові шлаки, кислі гудрони, відпрацьовані відбілюючі глини, надлишковий активний мул, попіл.

У процесі видобування, переробки, зберігання та транспортування газу найбільшої шкоди навколишньому середовищу завдають викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря. Від загальної кількості відхідних речовин у процесі видобування газу вловлюється та знезаражується тільки 20 % шкідливих речовин. Цей показник — один із найнижчих серед усіх галузей промисловості. Але з екологічного погляду використання газу замість інших видів палива лише покращує екологічну ситуацію, оскільки спалювання газу в десятки разів зменшує забруднення повітря сажею, сполуками Сульфуру та Нітрогену порівняно з іншими видами палива.

10.1.3. Хімічна промисловість

До складу хімічного комплексу входять дві галузі:

- *виробництво неорганічних продуктів*: аміак, шини, кислоти, сода, сажа, мінеральні добрива — становить близько 55 % загального обсягу хімічного комплексу;
- *виробництво органічних продуктів*: пластмаси та синтетичні смоли, синтетичний каучук, хімічні волокна, фотоплівка тощо — близько 10 %.

Хімічні виробництва споживають із навколишнього середовища повітря та воду, а викидають різноманітні тверді, рідкі та газоподібні відходи виробництв.

Разом зі стічними водами підприємств хімічної промисловості до навколишнього середовища потрапляють нафтопродукти, завислі сульфати, загальний Фосфор, ціаніди, тіоціанати, сполуки Кадмію, Кобальту, Мангану, Міді, Нікелю, Гідраргуму, Плюмбуму, Хрому, Цинку, сірководень, сірковуглець, спирти, бензол, формальдегід, фурфурол, фенол, поверхнево-активні речовини, пестициди.

У хімічній і нафтохімічній промисловості щорічно утворюється значна кількість твердих відходів, які потребують утилізації. Тільки до 30 % із них використовуються як вторинні ресурси. До 40 % невикористаних твердих відходів знищують (спалюють або вивозять на звалища), а решту складають у спеціально відведених місцях. Основні тверді відходи галузі — фосфогіпс, кубові залишки, вапнякові та гіпсові відходи, шлам дистильованої суспензії, галітові залишки флотаційного збагачення хлориду кальцію тощо.

Нижче наведено оцінку впливу на навколишнє середовище наймасовіших і найнебезпечніших хімічних виробництв.

Вплив на довкілля виробництва сульфатної (сірчаної) кислоти. Відходи виробництва H_2SO_4 із сірки та сульфурвмісних газів — кислі слабкоконтентровані стоки. Гази після очищення можуть містити до 0,02—0,03 % SO_3 , а також туман сірчаної кислоти.

Вплив на довкілля виробництва фосфатної (фосфорної) кислоти. Для одержання 1 т P_2O_5 у вигляді 54 % розчину екстракційної фосфорної кислоти витрачається до 220 м³ води. Близько 95 % цієї кількості йде на охолодження, утворюється також значна кількість забруднених стічних вод. Утворюється багатотоннажний твердий відхід — фосфогіпс. На 1 т P_2O_5 (у фосфорній кислоті) одержують до 8,5 т фосфогіпсу, який містить до 94 % $CaSO_4$. Основні домішки: фосфати, що не прореагували, сполуки F , Sr , не відмита H_3PO_4 ; крім цього — сполуки Mn , Mo , Co , Zn , Cu , рідкоземельні та інші елементи. Основну масу утвореного фосфогіпсу тепер скидають у відвали, в яких накопичено понад 150 млн т фосфогіпсу. Пилування відвалів поширюється в радіусі 10 км. У процесі гідратації утворюється туман H_3PO_4 .

Вплив на довкілля виробництва нітрогенових і фосфорних добрив. Виробництво добрив (які можуть бути простими й складними, тобто містити один або декілька компонентів) для сільського господарства має велике господарське значення і безперервно збільшується. Найбільш поширені нітрогенові та фосфорні добрива: нітрогенові — у вигляді аміачних (аміачна вода, сульфат амонію та інші), нітратів (кальцієва,

натрієва селітра), амідних сполук (наприклад, сечовина); фосфорні — у формі суперфосфату.

У виробництві *селітри* можливе забруднення повітря оксидами нітрогену, пилом селітри; крім того, існують джерела тепло- та вологовиділення, небезпека хімічних і термічних опіків людей. Відомо також, що селітра, особливо калійна, — вибухо- та пожежонебезпечна. Атмосфера забруднюється частками NH_4NO_3 , NH_3 , HNO_3 .

Важливим шкідливим фактором у виробництві *суперфосфатних добрив* є пиловиділення. Концентрація пилу в повітрі поблизу дробарок, сит, транспортерів може досягати десятків і сотень міліграмів на 1 м^3 . На інших етапах технологічного процесу повітря буває забруднене сполуками Флуору, які є побічними продуктами та утворюються внаслідок присутності у рудах Флуору в значних кількостях (до 3,8 %). Виділяються ці сполуки, як газ і пил. Стічні води у виробництві суперфосфатів містять сполуки Флуору, фосфати, сульфати, кремній-гель.

При виробництві *карбаміду* в газах, що викидаються, може міститися NH_3 та CO_2 .

Вплив на довкілля виробництва калійних добрив. У процесі збагачення сильвінітових руд у відходи потрапляє до 80 % руди у вигляді глинясто-сольових шламів. На 1 т KCl , виробленого із сильвінітових руд, у відвалах утворюється 3—6 т галітових відходів. Крім основного компонента — $NaCl$, вони містять KCl , $CaSO_4$, $MgCl_2$, Br та інші речовини. Вологість галітових відходів, що надходять у відвали, — 10—12 %, у відвалах — до 5—8 %. Пилогазові викиди калійних виробництв складаються з димових газів сушильних відділень, вони містять пил KCl , HCl , пари флотореагентів і антизлежувачів (в основному амінів).

Вплив на довкілля виробництва пластмас та синтетичних матеріалів. Широке розповсюдження мають пластмаси на основі синтетичних смол. Вони можуть бути вироблені шляхом полімеризації (полімерні стироли, вініловий спирт тощо) або поліконденсації (амінопласти, поліефірні смоли тощо). У процесі виробництва полімерних смол із мономерів можливе виділення токсичних парів і газів (фенолу, формальдегіду, хлористого ваніліну тощо), яке супроводжується залишковим тепловиділенням і підвищенням температури повітря на робочих місцях.

Вплив на довкілля виробництва кальцинованої соди Na_2CO_3 . як відходи утворюється 8—12 м^3 дистилерної рідини, що містить до 1 т $CaCl_2$ та 0,5 т $NaCl$ (концентрація сухого залишку — 200—250 кг/м^3), яку складують у спеціальних шламо-накопичувачах — «білих морях», площа яких складає понад

350 га поблизу содових заводів, де відбувається їх поступове зневоднювання. Щорічно площа шламонакопичувачів збільшується на 30—40 га. Відходами виробництва кальцинованої соди є також шлами очищення розсолу, що складаються із CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а також гази карбонізаційних колон і колон-промивачів газу, гази фільтрів, які містять NH_3 , гази, що відходять від обпалювально-вапняних печей, які містять оксид Карбону.

Таблиця 10.1.
Перелік виробництв хімічної промисловості,
що забруднюють атмосферне повітря

Виробництво	Забруднюючі речовини
Виробництво аміаку та сечовини	аміак, пари нітратної кислоти, оксид Нітрогену
Виробництво нітратної кислоти	оксид Нітрогену, аміак, пари соляної кислоти
Виробництво фосфатної кислоти	діоксид Нітрогену, пари фосфатної кислоти, гідрофторид
Виробництво азотних і калійних добрив	пари нітратної кислоти, аміак, хлорид
Виробництво емалей, фарб	пари розчинників
Виробництво синтетичних спиртів	пари спиртів, оксид Карбону, діоксид Карбону
Виробництво кетонів, фенолформальдегідних смол	формальдегід, фенол, аміак, діоксид Нітрогену, оксид Нітрогену
Виробництво органічних барвників	пари розчинників, толуолу, ксилолу, бензолу
Виробництво вибухових речовин	діоксид Нітрогену, оксид Нітрогену, оксид Карбону
Виробництво полімерів та епоксидних смол	пил, альдегіди, оксид Карбону, оксид Нітрогену
Виробництво фармацевтичних матеріалів	пил, оксид Карбону, пари кислот
Виробництво хлору та гідроксиду натрію	хлор, водень, пари соляної кислоти
Виробництво гуми, бутадієну, латексів	оксид сульфуру, оксид Карбону, аміак, ацетон, бензин, сірководень
Електролітичне виробництво хлору із хлоридів, виробництво гідрохлориду	хлор, гідрохлорид, пари соляної кислоти
Виробництво сірки	оксид Сульфуру, сірководень, оксид Карбону
Виробництво сульфатної кислоти, сульфатів і сульфідів	діоксид Сульфуру, триоксид Сульфуру, оксид Карбону

10.1.4. Металургійна промисловість

Металургія — галузь науки та промисловості, пов'язана з первинним отриманням металів із руд та інших видів сировини, яка включає:

- чорну металургію (виплавка чавуну, сталі та надання їм відповідної форми);
- кольорову металургію (виплавка легких, важких, благородних, рідкоземельних металів і виробництво сплавів).

Чорна металургія займає друге місце із загальної кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря після теплоенергетики. Основними джерелами викидів в атмосферу у чорній металургії є агломераційне виробництво, виробництво чавуну та сталі. За даними аерокосмічних зйомок снігового покриву, зона дії підприємств чорної металургії простягається на відстань до 60 км від джерел забруднення. Навколо металургійних заводів формуються своєрідні техногенні зони, де повітря, вода, сніг, ґрунт, рослинність містять у собі широкий набір шкідливих речовин, включаючи і такі надзвичайно небезпечні, як Плюмбум і Гідраргум.

Чорна металургія країни споживає 13—15 % кількості води від загальних витрат усіх галузей промисловості. Питома витрата води на виготовлення однієї тонни сталі, включаючи всі технологічні операції, перевищує 260 м³.

До основних джерел забруднення атмосфери в чорній металургії відносяться агломераційне, коксове виробництво, доменне виробництво чавуну, сталеплавильне виробництво. Викиди складаються з оксидів Карбону (67,5 % сумарного викиду в атмосферу), твердих речовин (15,5 %), діоксиду Сульфуру (10,8 %) та оксидів Нітрогену (5,4 %). Дисперсний склад пилу (за масою) становить: 5 % часток розміром до 5 мкм, 3—4 % часток розміром 5—10 мкм, 2 % часток розміром 10—15 мкм, понад 60 % складають часток розміром >50 мкм.

З усіх пилогазових викидів зі сталеплавильних агрегатів найбільша кількість припадає на мартенівські печі: 90 % — оксидів Сульфуру, 85 % — оксидів Нітрогену та 75 % — пилу.

У процесі роботи електродугових печей на одну тонну перероблюваної сталі виділяється 10—35 м³/год газів у процесі плавлення, 100—250 м³/год — у процесі окиснення та 25—50 м³/год — у процесі відновлення. Склад газів такий: 8—20 % — діоксиду Карбону, 8—70 % — оксиду Карбону, 0—2 % — Кисню, 18—75 % — діоксиду Нітрогену.

У конверторному виробництві сталі у процесі продування киснем відбувається винесення пилу з відхідними газами у кількості 1,5—2,0 % маси залитого чавуну. Хімічний склад

конверторних газів за об'ємом: CO_2 — 31 %, N_2 — 60 %, O_2 — 9 %. Крім того, у газі міститься до 100 мг/м³ Флюору та 10 мг/м³ Хлору.

Стічні води у процесі виробництва агломерату містять Ферум, оксид Кальцію та Карбон. На коксохімічних заводах утворюються фенольні стічні води. На виробництво однієї тонни коксу витрачається 1,2—1,6 м³ води для гасіння коксу. У процесі очищення коксового газу від сірководню миш'яко-содовим методом утворюється за годину приблизно до 6 м³ стічних вод, у складі яких містяться феноли, сірководень, аміак, ціаніди, бензольні сполуки. Для охолодження доменної печі потрібно до 4000 м³/год води. Забруднені стічні води утворюються на розливних машинах чавуну у кількості 350 м³/т, у газопроводах коксового та змішаного газу — конденсат 20—40 л/1000 м³ газу, грануляції доменного шлаку — 2 м³/т рідкого чавуну, гідроприбиранні пилу у підбункерному приміщенні — 300—360 м³/т чавуну. У процесі очищення 1000 м³ газу утворюється 4—6 м³ стічних вод, які містять пил (часточки руди, коксу, вапняку, агломерату), хімічні сполуки (сульфати, хлориди), розчинені гази.

Щорічно у поверхневі водні об'єкти потрапляє до 1,0 млн м³ стічних вод, з яких понад 85 % — токсичні. Разом зі стічними водами відходить значна кількість забруднюючих речовин, у тому числі завислі речовини, сульфати, хлориди, сполуки Феруму, сполуки важких металів тощо.

У чорній металургії утворюється велика кількість твердих відходів, які складуються на великих площах і у більшості випадків шкідливо впливають на ґрунт, рослинність, водні джерела та повітряний басейн. Звалища твердих відходів займають на сьогодні тисячі гектарів корисного ґрунту. У них накопичено близько 500 млн т шлаків. Шламопилові відходи утворюються практично на всіх стадіях металургійного виробництва. У нашій країні щорічно утворюється близько 80 млн т доменних, сталеплавильних і феросплавних шлаків, а також 1 млн т шламів, 110 тис. т пилу. Шлам містить велику кількість заліза (майже 50 %). Доменні, феросплавні, мартенівські шлаки містять значні кількості сполук Фосфору та оксиду Кальцію, а також інші елементи, що використовуються як добрива у сільському господарстві. Забруднювачі літосфери — брухт (залишки у ковшах) і брак, який становить у виробництві чавуну 7—10 кг/т. Тверді відходи на вітчизняних заводах із виробництва чавуну становлять: брухт, брак — 87 500 т/рік, шлак окалина, зола — 40 000 т/рік, шлами, флюси — 600 т/рік.

Щорічно у **кольоровій металургії** використовується до 1200 млн м³ води. До чинників, що становлять значний вплив



Рис. 10.3. Авдіївський коксохімічний завод

на стан довкілля, відносяться газоподібні, рідкі та тверді відходи виробництва. Щорічно підприємствами кольорової металургії викидається в атмосферу до 3000 т шкідливих речовин. Забруднення атмосфери підприємствами кольорової металургії характеризується переважно викидами SO_2 (75 % сумарного викиду в атмосферу), оксидів Карбону (10,5 %) та пилу (10,4 %).

Джерелами утворення шкідливих викидів у виробництві глинозему, алюмінію, міді, свинцю, олова, цинку, нікелю та дорогоцінних металів є різні види печей. Слід зазначити, що у пірометалургійній переробці руд і концентратів утворюється значна кількість відхідних сульфурвмісних газів, для утилізації яких відсутні економічно виправдані технології. Унаслідок цього ступінь вловлювання діоксиду Сульфуру на підприємствах кольорової металургії не перевищує 22,6 %.

У процесі виробництва алюмінію в атмосферне повітря викидається велика кількість сірчаних сполук і значна кількість пилу. Піч спікання викидає за годину 45 т пилу, який містить у собі токсичні пилоподібні речовини, що містять Арсен, Плюмбум тощо, а тому є особливо небезпечним. Струм, що протікає через електроліт в електролізній ванні, спричиняє високі температури. Відбувається бурхливе виділення анодних газів, збагачених пилом і шкідливими складовими. У процесі виробництва однієї тонни алюмінію в атмосферу потрапляє приблизно 27 кг Флюору. Температура анодних

газів — від 50 до 150 °С, тому має місце також теплове забруднення атмосфери. Аналогічно відбувається забруднення атмосферного повітря на підприємствах кольорової металургії, що займається виготовленням міді, цинку, свинця та інших металів.

Стічні води підприємств кольорової металургії забруднені мінеральними речовинами, більшість з яких токсичні (ціаніди, ксантогенати, нафтопродукти тощо), солями важких металів (Мідь, Цинк, Плюмбум), сполуками Арсену, фторидами, Гідраргумом, Сурмою, сульфатами, хлоридами тощо. У виробництві алюмінію використовується замкнена система споживання води. Свіжа вода необхідна для підживлення системи. Значне забруднення води відбувається через поверхневий стік із території підприємства.

Важлива проблема підприємств кольорової металургії — забруднення ландшафтів. На територіях заводів накопичується велика кількість твердих відходів і шламів. Шламосховища, які забруднюють пилом довколишні території, а інфільтраціями — підземні води, часом досягають за площею 200 га.

На території алюмінієвих заводів накопичується небезпечний багатотоннажний відхід — червоні шлами, які зберігаються просто неба у спеціальних шламонакопичувачах, що займають сотні гектарів.

Вихід шлаків, які зазвичай складаються у відвали, для технологій плавлення руд кольорових металів зазвичай великий і становить 60—120 % від маси рудної частини шихти. Основними компонентами шлаків є SiO_2 , FeO , CaO , а також Al_2O_3 , MgO , ZnO .

10.1.5. Машинобудівний комплекс

Машинобудівний комплекс складається з металообробки, власне машинобудування та малої металургії.

Машинобудування займається виготовленням засобів виробництва. Його основні галузі — важке та сільськогосподарське машинобудування, а також тракторобудування, верстатобудування, виробництво устаткування для легкої та харчової промисловості.

Мала металургія — невеликі цехи при машинобудівних підприємствах, які займаються випуском деталей для різних машин і заготовок для їх виготовлення (ливарне та ковальсько-пресове виробництво, зварювання та штампування).

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від діяльності підприємств машинобудівного комплексу становлять приблизно 1—2 % загального об'єму промислових

забруднень — це в основному викиди газів металургійної складової машинобудівного комплексу.

У ливарному виробництві на одну тонну виливків утворюється від 1 до 3 т відходів, які містять відпрацьовану та невикористану суміш, шлаки, пил, газу. Хоча основна частина відходів — відпрацьовані суміші та шлаки, але для забруднення навколишнього середовища найбільшу небезпеку мають пил і газу у зв'язку з тим, що їх важко вловлювати та відводити. У закритих печах-вагранках для виливків чавуну виробничою здатністю 5—10 т/год у середньому на одну тонну виливків викидається в атмосферне повітря: пилу — 11,5 кг/т, CO — 193 кг/т, SO_2 — 0,4 кг/т, C_mH_n — 7,7 кг/т. Розмір часток пилу становить 5—150 мкм. При розливі з вагранок у ковші однієї тонни чавуну в атмосферу викидається близько 130 г CO та 18—22 г графітового пилу. Питомі викиди на одну тонну готової продукції забруднюючих речовин в електродугових печах при виплавці однієї тонни сталі становлять: пилу — 7,6—9,5 кг/т, CO — 1,5 кг/т, SO_2 — 1,4 г/т, NO_x — 0,25 кг/т, ціаніди — 28,4 г/т, флориди — 0,56 г/т. Джерелами забруднення стічних вод у ливарних цехах служать, головним чином, установки гідравлічної та електрогідравлічної очистки литва, вологої очистки повітря, гідрорегенерації відпрацьованих формівних сумішей. Утворені при цих операціях стічні води забруднюються глиною, піском, зольними залишками від вигорілої частини стержневої суміші та зв'язуючими добавками формівної суміші. Концентрація цих речовин у воді досягає 5 кг/м³.

Ковальсько-пресове виробництво. У процесі нагрівання та обробки металів у цехах виділяються пил, кислоти та масляні аерозолі (туман), оксид Карбону, діоксид Сульфуру тощо. При використанні в ковальсько-пресових цехах для нагрівання металу полум'яних печей в атмосферу викидаються оксиди Карбону, Сульфуру, Нітрогену та інші продукти згорання. Основними домішками стічних вод, що використовуються для охолодження технологічного обладнання, поковок, гідрозбивання металевої окалини та обробки приміщень, є часточки пилу, окалини та мастила.

Механічна обробка металів на верстатах супроводжується виділенням пилу, стружки, туманів мастил і емульсій, які викидаються через вентиляційні установки в атмосферу. Пил, що утворюється у процесі абразивної обробки, складається з 30—40 % матеріалу абразивного круга та 60—70 % — оброблюваного матеріалу. Інтенсивність виділення пилу при шліфуванні металевих деталей залежить від діаметра шліфувального круга. Вода використовується для приготування мастильно-охолоджуваних рідин, промивання пофарбованих

виробів, для гідравлічних випробувань і проведення інших робіт. Основними забруднювачами стічних вод є пил, металеві та абразивні часточки, сода, мастила, розчинники, фарби тощо.

Обробка неметалевих виробів. Значне виділення пилу спостерігається при механічній обробці склопластиків, графіту та інших неметалевих матеріалів. При механічній обробці полімерних матеріалів одночасно з пилоутворенням можуть виділятися пари різних хімічних речовин (фенол, формальдегід, стирол тощо), які входять до складу оброблюваних матеріалів.

Суттєво забруднюють середовище **термічні цехи** підприємств. До джерел забруднення атмосфери відносяться ванни, агрегати для термічної обробки, нагрівальні печі, що працюють на рідкому та газоподібному паливі, а також дробо-струминні, дробоскидувальні камери. У процесі роботи цих агрегатів і установок до атмосфери потрапляють пари та продукти горіння мастил, аміак, ціанистий водень, пил тощо. Воду використовують для приготування технологічних розчинів загартування, відпускання та обпалювання деталей, промивання деталей та ванн після викидання відпрацьованих розчинів тощо. Основні домішки стічних вод — пил мінерального походження, металева окалина, важкі метали, ціаніди, мастила та луги.

Щоб надати деталям певних хімічних властивостей, вони проходять подальшу хіміко-термічну обробку у **гальванічних цехах**. При цьому утворюється велика кількість надзвичайно шкідливих газів і парів розчину, що знаходиться у ванні. Після певного часу він стає непридатним до подальшого використання й у виробництві перетворюється на небезпечний забруднювач довкілля. Основні забруднювачі атмосфери, що виділяються при гальванічних процесах, — пил, тонкодисперсний туман, пари та гази, особливо у процесі кислотного та лугового плавлення. Вода використовується для приготування технологічних розчинів, призначених для протравлення деталей і металів, нанесення на них фарб, а також для промивання деталей і ванн після викидання відпрацьованих розчинів і обробки приміщень. Основні домішки стічних вод — пил, металева окалина, емульсія, луги, кислоти, важкі метали та ціаніди.

На дільницях **зварювання та різання металів** склад і маса викидів шкідливих речовин залежать від виду та режимів технологічного процесу, властивостей зварювальних речовин. Зварювальний пил на 99 % складається з часток розміром від 10^{-3} до 1 мкм, близько 1 % пилу утворюють частки розміром 1—5 мкм. Хімічний склад шкідливих речовин, які виділяють-

ся при зварюванні, обумовлений в основному складом зварювальних матеріалів (дроту, покриття, флюсів) і практично не залежить від складу зварювальних металів. Стічні води в основному містять домішки, маслопродукти, кислоти.

Значним забруднювачем довкілля є виробництво, спрямоване на поліпшення загального вигляду деталей, — **фарбувальні цехи** підприємств. Шкідливі речовини у цих цехах виділяються при знежиренні поверхонь органічними розчинниками перед фарбуванням, підготовці лакофарбових матеріалів (ЛФМ), нанесенні ЛФМ на поверхні виробів, сушінні лакованих і фарбованих поверхонь.

Основні забруднювачі ґрунтів — тверді відходи ливарного виробництва, — потрапляючи у відвали, являють собою в основному відпрацьовані ливарні піски. Невелику частину (менше 10 %) займають металеві відходи, кераміка, деревина, сміття тощо. Головним напрямком зменшення кількості твердих відходів треба вважати регенерацію відпрацьованих ливарних сумішей.

10.1.6. Транспорт і довкілля

Структура транспортного комплексу представлена на рис. 10.4.

Для всіх видів рухомого транспорту необхідна умова забезпечення руху — вивільнення енергії, яке відбувається або у процесі горіння палива, або внаслідок вивільнення акумульованої чи підведеної електричної енергії. Вид палива, яке використовується для забезпечення руху транспортних засобів, залежить від виду силової установки, де потенційна енергія палива перетворюється на кінетичну енергію руху. Найпоширеніші види силових установок такі:

- карбюраторний двигун внутрішнього згорання (ДВЗ);
- дизельний двигун внутрішнього згорання;
- газова турбіна;
- ракетний двигун;
- ядерна силова установка.

Паливом для карбюраторних ДВЗ служить бензин, паливом для дизельних ДВЗ — дизельне паливо (солярка). Розрізняють дистилятне низьков'язке паливо — для швидкохідних транспортних засобів та високов'язке — для тихохідних (суднових, стаціонарних) двигунів. Як паливо для авіаційних двигунів використовують гас (керосин) — продукт переробки нафти, до складу якого входять парафінові, нафтеніві та ароматичні вуглеводи. Для інших турбін використовують газотурбінне паливо — вуглеводневі гази або рідке нафтове паливо. Для роботи ракетного двигуна застосовується як



Рис. 10.4. Структурна схема транспортного комплексу

рідке, так і тверде ракетне паливо. Як паливо для роботи ядерної силової установки використовується ядерне паливо, характеристика якого наведена у пункті 10.1.1 (атомні електричні станції). Повітря використовується для горіння палива у перерахованих вище силових установках без будь-якого попереднього збагачення. Обов'язкова операція — тільки попереднє очищення повітря від механічних зважених часток шляхом використання фільтрів.

У наш час транспорт — одне із головних техногенних джерел забруднення довкілля. Техногенний **вплив транспорту на екосистеми** полягає у:

- *забрудненні* атмосфери, водних об'єктів і земель, зміні хімічного складу ґрунтів і мікрофлори, утворенні виробничих відходів, шлаків, котельних шлаків, золи та сміття;
- *споживанні природних ресурсів* (атмосферного повітря, нафтопродуктів і природного газу, води для систем охолодження силових установок і миття транспортних засобів, земельних ресурсів, відчужених під будівництво автомобільних доріг, залізниць, аеродромів, трубопроводів, річкових і морських портів та інших об'єктів транспортної інфраструктури);
- *виділенні теплової енергії* в навколишнє середовище під час роботи тягових двигунів і установок, в яких спалюють паливо;
- *створенні високих рівнів шуму і вібрації*;
- *травмуванні та загибелі* людей і тварин, нанесенні великих матеріальних збитків внаслідок аварій і катастроф;
- *порушенні ґрунтово-рослинного покриву*;
- *зменшенні врожайності* сільськогосподарських культур.

Автотранспортний комплекс розглядається нині як все-світня екологічна загроза людству. Забруднення повітря транспортними засобами пов'язане зі споживанням енергії видобувних органічних палив. Згідно з європейською статистикою, за 1998 рік енерговитрати транспорту становили 29,8 % загального споживання енергії в Європейському Союзі (ЄС). У транспортному секторі ЄС за розподілом споживання палива на автотранспорт припадає 84,4 %, на авіацію — 11,1 %, на залізниці — 2,5 %, на річковий транспорт — 2,0 %.

Найбільша частина шкідливих речовин, що виділяються двигуном автомобіля, припадає на частку відпрацьованих газів — продукт неповного згорання використовуваного палива, у складі яких містяться різноманітні хімічні сполуки, у тому числі і небезпечні для здоров'я людини та шкідливі для оточуючого середовища.

Вимоги ЄЕК ООН (Комітет з екологічної політики Європейської економічної комісії) щодо токсичності відпрацьованих газів транспортних двигунів представлені в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2.
Норми токсичності вихлопу (г/км) легкових автомобілів
для європейських країн

Тип	Час введення	CO	ЗВ	НМВВ	NO _x	ЗВ+NO _x	ЗЧ
Дизель							
Еуро 1	червень 1992	2,72 (3,16)	—	—	—	0,97 (1,13)	0,14 (0,18)
Еуро 2	січень 1996	1,00	—	—	—	0,70	0,0800
Еуро 3	січень 2000	0,64	—	—	0,50	0,56	0,0500
Еуро 4	січень 2005	0,50	—	—	0,25	0,30	0,0250
Еуро 5	вересень 2009	0,50	—	—	0,18	0,23	0,0050
Еуро 6	вересень 2014	0,50	—	—	0,08	0,17	0,0025
Бензин							
Еуро 1	червень 1992	2,72 (3,16)	—	—	—	0,97 (1,13)	—
Еуро 2	січень 1996	2,20	—	—	—	0,50	—
Еуро 3	січень 2000	2,30	0,20	—	0,15	—	—
Еуро 4	січень 2005	1,00	0,10	—	0,08	—	—
Еуро 5	вересень 2009	1,00	0,10	0,068	0,06	—	0,0050
Еуро 6	вересень 2014	1,00	0,10	0,068	0,06	—	0,0050

Примітки: ЗВ — загальні вуглеводні, НМВВ — неметанові вуглеводні, ЗЧ — завислі частки.

Автомобіль за свій життєвий цикл утворює масу відходів у 10 разів більше маси самого автомобіля. Якщо при цьому враховувати застосовувану воду (система охолодження та мийка), то маса відходів перевищить масу автомобіля у 100 разів.

Принципово викиди тепловозних двигунів не відрізняються від автомобільних, тому що відпрацьовані гази мають аналогічний склад. Але режим роботи тепловозних дизелів стабільніший, тому виділення забруднюючих речовин менше, ніж для автомобільних перевезень. Ступінь забруднення наближається до автомобільного тільки у випадку маневреної роботи. З електрифікацією вплив залізниці на навколишнє середовище зменшується.

Забруднення довкілля водним транспортом відбувається за двома основними напрямками: по-перше, морські та річкові судна забруднюють біосферу відходами, одержаними у результаті експлуатаційної та виробничої діяльності; по-друге, викидами у випадку аварій суден із токсичними вантажами, здебільшого нафтою та нафтопродуктами.

Нафта та нафтопродукти — основні забруднювачі водного басейну у процесі роботи водного транспорту. За оцінками фахівців, у моря та океани виливається до 10 млн т нафтопродуктів на рік. Кожна тонна нафти покриває плівкою 12 км² водної поверхні. Нафтова плівка перешкоджає проникненню у воду кисню.

Аеропорти займають величезні площі, у середньому 25—50 км² (аеропорт Даллас — 70 км²). Через безпеку польотів і шум непридатні для житла близько 120 км². Взаємодія з навколишнім середовищем пов'язана з польотами всіх типів літаків і гелікоптерів, а також із будівництвом і функціонуванням аеропортів і ремонтних підприємств, що, як правило, розташовуються поблизу великих промислових центрів.

Забруднення повітряного середовища **ракетними двигунами** відбувається у процесі їх роботи перед стартом, на зльоті та посадці, під час наземних випробувань у процесі виробництва чи після ремонту; у процесі заправлення паливом. Визначальна риса ракетного двигуна — він не використовує в процесі роботи компонентів навколишнього середовища (повітря та воду), тому є основним двигуном у космонавтиці.

10.2. Забруднення біосфери та екосистем

Основна ідея. Аналіз основних забруднювачів атмосфери, ґрунту та гідросфери, а також джерел і шляхів забруднень. Аналіз ступеня шкідливості забруднювачів та їх впливу на компоненти біосфери та людину.

Смислові зв'язки. Джерела забруднень (сфера людської діяльності) — компонент біосфери (атмосфера, гідросфера чи педосфера) — вплив забруднювача на біосферу.

Ключові терміни. Забрудники, джерела забруднення, атмосфера, гідросфера, педосфера, пил, сажа, оксид Карбону, оксиди Нітрогену, діоксид Сульфуру, вуглеводні, сполуки Плюмбуму, механіка забруднення, хімічне забруднення, бактеріальне забруднення, радіоактивне забруднення, теплове забруднення, стічні води, евтрофікація, мінеральні добрива, пестициди, важкі метали, нафтопродукти, нафта, радіонукліди.

Мета — охарактеризувати природу забруднень компонентів біосфери (атмосфери, гідросфери, педосфери), якими видами людської діяльності створюються ці забруднення, основні види забруднювачів, чим вони небезпечні для компонентів навколишнього середовища та самої людини.

10.2.1. Забруднення атмосфери

Щорічно в навколишнє середовище планети надходить до $2 \cdot 10^{20}$ Дж тепла, що супроводжується викидами в атмосферу $18 \cdot 10^9$ т CO_2 . Основні джерела теплових викидів — процеси згорання органічного палива та об'єкти ядерної енергетики (АЕС). Теплові викиди призводять до зростання середньорічної температури атмосфери на Землі, зниження снігово-льодового покриття та, як наслідок, до зменшення відбиваючої здатності планети. Все це стимулює подальше підвищення середньої температури земної поверхні. За даними Національної академії наук США, у середині ХХІ ст. температура атмосфери Землі зросте приблизно на $5,5^\circ\text{C}$. За рахунок танення льодовиків і полярних льодів у найближчі 25 років очікується підвищення рівня Світового океану на 10 см.

Основна маса забруднень повітря припадає на спалювання органічних енергоносіїв (вугілля, нафти, газу, торфу, сланців, деревини). За останні декілька років у світі спалюється в середньому 10 млрд т палива на рік, у результаті чого в атмосферу виділяється 22 млрд т вуглекислого газу, 150 млн т сірчистого ангідриду, приблизно 300 млн т діоксиду Карбону, 50 млн т оксиду Нітрогену, 200—700 млн т пилу й диму та багато інших речовин, з якими надходять шкідливі, хвороботворні, у тому числі канцерогенні та мутагенні речовини.

Сьогодні в містах забруднення повітря в 15 разів вище, ніж у сільській місцевості, і в 150 разів вище, ніж над океаном. У промислових районах за добу випадає понад 1 т/км^2 пилу, у забруднених містах — понад 1 кг/м^2 за рік пилу та

сажі. Перевищення концентрацій токсичних речовин у забрудненому атмосферному повітрі міста над фоновими в середньому складають: за оксидом Карбону 80—1250 і більше, за діоксидом Сульфуру — 50—300, за діоксидом Нітрогену — до 25, за озоном — до 7 разів.

Утворення кислотних дощів пов'язане з надходженням у вологу атмосферу оксидів Сульфуру та Нітрогену. Особливу небезпеку становлять стаціонарні джерела (ТЕС та інші). Кислотні дощі знижують родючість ґрунту, погіршують здоров'я населення, негативно впливають на флору та фауну, руйнують металокопункції тощо. Вони стали поширеним явищем, причому такі дощі можуть випадати на відстані сотень і тисяч кілометрів від джерела первісного викидання речовини.

Серед різноманіття хімічних речовин і фізичних факторів, які діють у навколишньому середовищі, найнебезпечнішими виявляються *канцерогени* — речовини або фактори, які здатні викликати у живих організмах розвиток злоякісних утворень. Багато з канцерогенів майже не виводяться з організму. До фізичних канцерогенних факторів відносять рентгенівське опромінення, радіоактивні ізотопи та інші види радіоактивного забруднення середовища, а також ультрафіолетове опромінення у великих дозах. Високі рівні фізичних канцерогенних факторів можуть зазвичай проявлятися в зонах, що примикають до аварійних об'єктів ядерної енергетики. Малі дози опромінення можуть призвести до ракових захворювань, які зазвичай проявляються через багато років після опромінення. Пошкодження, що викликаються великими дозами опромінення, проявляються через декілька годин або діб.

Оксиди Карбону, Сульфуру, Нітрогену, вуглеводні, сполуки Плюмбуму, пил тощо, які надходять в атмосферу, мають різну токсичну дію на організм людини. Наведемо властивості деяких домішок.

Оксид Карбону CO (чадний газ) міститься у викидах виробництв нафтохімічних, сульфатцелюлозних, лінолеуму, толю, пінопласту, мінеральних плит, вуглехімічних, алюмінієвих, асфальтобетону, цементу, коксохімічних, аміачної селітри, аміаку, метилового спирту, металургійних, металообробних, органічного синтезу, синтетичного бензину. Чадний газ сполучається не лише з гемоглобіном, а й з гемумісними білками (цитохроми, цитохромоксидаза, міоглобін), з відновлювальною формою пероксидази, утворюючи сполуку, що нагадує карбоксигемоглобін, і з каталазою. У ряді гострих отруєнь чадним газом смерть наставала при відносно невисокому вмісті карбоксигемоглобіну (45—55 %).

Оксиди Нітрогену NO_x (NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_5 , N_2O_4). В атмосферу викидається в основному діоксид Нітрогену NO_2 , який подразнює органи дихання. Особливо небезпечні оксиди Нітрогену в містах, де вони взаємодіють із вуглеводнями викидних газів, утворюючи фотохімічний туман — *смог*. При контакті з вологою поверхнею слизової оболонки оксиди утворюють кислоти HNO_3 та HNO_2 , які призводять до захворювання легенів.

Діоксид Сульфуру SO_2 міститься у викидах виробництв сульфатної кислоти, сульфату амонію, що переробляють тверде паливо, металургійних, керамічних, теплових електростанцій, капролактаму, лінолеуму, толю, пінопласту, мінераловолокнистих плит, цукровобуракових, харчових, текстильних, паперу. Загальна дія полягає у порушенні вуглеводневого та білкового обміну; пригніченні окиснювальних процесів у головному мозку, печінці, селезінці, м'язах; гальмуванні окиснювального дезамінування амінокислот і окиснення піровиноградної кислоти; зниженні вмісту вітамінів B_1 і C і т. п. Діоксид Сульфуру подразнює кровотворні органи, сприяє утворенню метгемоглобіну, викликає зміни в ендокринних органах, кістковій тканині, порушує регенеративну функцію. Є вказівки на ембріотоксичну дію.

Вуглеводні (пари бензину, пентан, гексан тощо) володіють наркотичною дією, у малих концентраціях викликають головний біль.

Сполуки Плюмбуму. В організм людини через органи дихання надходить близько 50 % сполук Рв. Під дією Плюмбуму порушується синтез гемоглобіну, виникає захворювання дихальних шляхів, сечостатевих органів, нервової системи. Особливо небезпечні сполуки Плюмбуму для дітей дошкільного віку.

Атмосферний пил. В атмосфері постійно присутній пил різного походження та хімічного складу. При неповному згоранні палива утворюється сажа, яка являє собою вискодисперсний нетоксичний порошок, що на 90—95 % складається з частинок вуглецю. Сажа має високі адсорбційні властивості відносно важких вуглеводнів, у тому числі бенз(а)пірену, що робить сажу досить небезпечною для людини. Джерело атмосферного пилу — зола, яка утворюється при згоранні палива. Дисперсний склад пилу та туманів визначає їх проникаючу здатність для організму людини. Особливу небезпеку являє собою токсичний тонкодисперсний пил із розміром часток 0,5—10 мкм, який легко проникає в органи дихання.

Інтегральна оцінка впливу токсичних домішок атмосферного повітря на здоров'я людей досить складна.

10.2.2. Забруднення гідросфери

Під забрудненням водних ресурсів розуміють будь-які зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей води у водоймах у зв'язку зі скиданням у них рідких, твердих і газоподібних речовин, які можуть створити незручності, роблячи воду цих водойм небезпечною для використання, завдаючи збитки господарству, здоров'ю та безпеці населення. Джерела забруднення — об'єкти, через які здійснюється скидання до гідросфери шкідливих речовин, котрі погіршують якість поверхневих вод, обмежують їх використання і негативно впливають на стан дна та берегів водних об'єктів. **Забруднення поверхневих і підземних вод** можна поділити на такі типи:

- *механічне* (підвищення вмісту механічних домішок, властиве переважно поверхневим видам забруднення);
- *хімічне* (присутність у воді органічних і неорганічних речовин токсичної та нетоксичної дії);
- *біологічне* (присутність у воді різноманітних патогенних бактерій, вірусів, грибів, а також дрібних водоростей);
- *радіоактивне* (присутність у поверхневих або підземних водах радіоактивних речовин);
- *теплове* (скидання у водойми підігрітих вод теплових і атомних електростанцій).

Основні джерела забруднення та засмічення водойм — недостатньо очищені стічні води промислових і комунальних підприємств, великих тваринницьких комплексів, відходи підприємств із розробки рудних корисних копалин; води шахт, рудників, води обробки та сплаву лісоматеріалів; скиди водного та залізничного транспорту, відходи первинної обробки льону, пестициди тощо. Забруднюючі речовини, потрапляючи у природні водойми, призводять до якісних змін води, які переважно виявляються у зміні її фізичних властивостей, зокрема появі неприємних запахів, присмаків тощо, у зміні хімічного складу води, зокрема появі у ній шкідливих речовин, у появі плаваючих речовин на поверхні води та відкладанні їх на дні водойм.

Виробничі стічні води забруднені переважно відходами та скидами виробництв. Кількісний і якісний склад їх різноманітний у різних галузях промисловості та технологічних процесах. Їх поділяють на дві основні групи: ті, що *містять неорганічні домішки*, зокрема токсичні, і ті, що *містять отрути*.

До першої групи відносяться стічні води содових, сульфатних, азотно-тукових заводів, збагачувальних фабрик свинцевих, цинкових, нікелевих руд тощо, що містять кис-



Рис. 10.5. Скидання виробничих стічних вод у водойму

лоти, луги, іони важких металів тощо. Стічні води цієї групи переважно змінюють фізичні властивості води.

Стічні води другої групи скидають нафтопереробні, нафтохімічні заводи, підприємства органічного синтезу, коксохімічні тощо. У стоках містяться різні **нафтопродукти, аміак, альдегіди, смоли, феноли** та інші шкідливі речовини. Шкідлива дія стічних вод цієї групи полягає головним чином в окисних процесах, у результаті яких зменшується вміст у воді кисню, збільшується біохімічна потреба у ньому, погіршуються органолептичні показники води. Досить шкідливий забруднювач промислових вод — феноли. Вони містяться у стічних водах багатьох нафтохімічних підприємств. Унаслідок їх дії різко порушуються біологічні процеси у водоймах, процеси їх самоочищення, вода набуває специфічного запаху.

На здоров'я населення водойм згубно впливають стічні води целюлозно-паперової промисловості. Окиснювання деревної маси супроводжується поглинанням значної кількості кисню, що зумовлює загибель ікри, мальків і дорослих риб. Волокна та інші нерозчинні речовини засмічують води й погіршують їх фізико-хімічні властивості. Із гниючої деревини та кори виділяються у воду різні дубильні речовини.

Зростання чисельності населення, розширення давніх і виникнення нових міст значно збільшили надходження у внутрішні водойми побутових стоків. Ці стоки стали джерелом забруднення річок і ставків хвороботворними бактеріями та гельмінтами. Значною мірою забруднюють водойми **синтетичні мийні речовини**, які використовуються у побуті і знаходять широке застосування у промисловості та сільському господарстві. Хімічні речовини, що містяться в них, вступаючи зі стічними водами у річках і озерах у взаємодію, спричиняють значний негативний вплив на біологічний режим водойм. Через це знижується здатність води до насичення киснем, паралізується діяльність бактерій, мінералізуються органічні речовини.

Викликає серйозну стурбованість **забруднення водойм пестицидами та мінеральними добривами**, які змиваються з полів дощовою та талою водою. Інсектициди, які містяться у воді у вигляді суспензій, розчиняються у нафтопродуктах, якими забруднені річки та озера. Ця взаємодія призводить до значного послаблення окисних функцій водних рослин. Потрапляючи до водойм, пестициди накопичуються у планктоні, бентосі, рибі і ланцюжком живлення потрапляють до організму людини, діючи негативно як на окремі органи, так і на організм у цілому.

Через підвищення температури води **вміст кисню** у ній падає, тоді як кількість живих організмів зростає. Потреба води в кисні, його нестача викликає жорсткий фізіологічний стрес у живих організмів і навіть їх загибель. Штучне підігрівання води може істотно змінити поведінку риби, викликати передчасний нерест, порушити міграції. Підвищення температури води порушує структуру рослинного світу водойм. Характерні для холодної води водорості замінюються більш теплолюбними й нарешті за високих температур повністю ними витісняються. Виникають сприятливі умови для евтрофікації водойм — **масового розвитку на водоймах синьо-зелених водоростей**, так званого «цвітіння води».

Забруднюються річки також під час сплаву лісу, у процесі гідроенергетичного будівництва, а з початком навігаційного періоду збільшується забруднення гідросфери суднами річкового та морського флоту.

Світове господарство скидає 1500 км³/рік стічних вод різного рівня очищення, які потребують 50—100-кратного розведення для надання їм природних властивостей, які б забезпечили подальше самоочищення у біосфері (не враховані води сільськогосподарських виробництв). *Світовий річковий стік (37,5—45,0 тис. км³/рік) недостатній для необхідного розведення стічних вод і забезпечення їх самоочищення.*

10.2.3. Забруднення ґрунту

Найпоширеніші забруднювачі ґрунтів, що впливають на фізичні та хімічні процеси, ріст і розвиток рослин, функціонування наземних і водних екосистем, — мінеральні добрива, нафтопродукти, важкі метали, радіонукліди, пестициди. Деякі з них цілеспрямовано вносить людина для забезпечення родючості ґрунту чи з метою захисту рослин. Без урахування доз, кліматичних умов, типу ґрунту це може спричинити їх накопичення, пригнічення життєдіяльності рослин і ґрунтової фауни, передавання по ланцюгах живлення та несприятливий вплив на здоров'я людини.

Мінеральні добрива. Для компенсації втрат мінеральних речовин ґрунтом із зібраним урожаєм і підтримання родючості земель вносять добрива (Нітрогенові, фосфорні та калійні). Вносячи добрива, не завжди враховують хімічний склад ґрунту, агротехніку культури, терміни та норми внесення, що призводить до накопичення їх у ґрунті та рослинах, надходження у поверхневі води зі стоком. Нітрогенові та фосфорні добрива сприяють фіксації Нітрогену, активують діяльність ґрунтових бактерій, актиноміцетів, грибів, які руйнують рештки рослин і тварин, формуючи гумус. Крім того, добрива часто містять важкі метали та радіонукліди. 1 т суперфосфату містить 0,7—0,9 кг Плюмбуму, невеликі кількості радіоактивних елементів — Урану, Радію, Торію, 0,3 кг Кадмію.

Пестициди. Це збірна назва засобів для боротьби з бур'янами, шкідниками, грибними захворюваннями сільськогосподарських культур тощо. Деякі речовини використовують для одночасного дозрівання врожаю, скидання листя перед збиранням (дефоліанти). Найбільше їх потребує вирощування рису, винограду, а також зернових і овочевих культур на зрошуваних землях. Окремі пестициди стійкі в довкіллі, здатні до біоаккумуляції, токсичні для людей і тварин (спричинюють отруєння, каліцтва, утворення злоякісних пухлин). Незважаючи на пропаганду відмови від пестицидів, їх виробництво зростає. Експерти ВООЗ вважають, що, попри концентрування пестицидів (використання упродовж 40 років хлорорганічних (ДДТ, гексахлоран) і 30 років фосфорорганічних), кількість хворих на рак не збільшилася і вплив пестицидів менший, ніж стресів, смогу, вихлопів автотранспорту, спалювання сміття.

Важкі метали — умовна назва металів, які мають щільність понад 6 г/см³, відносну атомну масу понад 50 да, більшість з яких токсична. Джерела надходження важких металів у ґрунти: відкритий видобуток корисних копалин; викиди

металургійних заводів, хімічних підприємств, сміттєспалювальних фабрик, ТЕС, звалищ відходів; атмосферні опади, пожежі тощо. Поблизу гірничо-металургійних комбінатів у радіусі 5 км спостерігається висока забрудненість ґрунтів важкими металами, у радіусі 20—50 км — менша. Іноді виникають «технологічні пустелі», позбавлені гумусу та рослинності, значною мірою еродовані. Навколо великих ТЕС забруднення відбувається в радіусі 10—20 км. Важкі метали вимиваються і з відвалів золи та шлаків ТЕС. Значно забруднені ґрунти поблизу поживлених автомагістралей (особливо Плюмбумом, що входить до складу палива).

Важкі метали у ґрунті можуть:

- утворювати малорухливі форми у вигляді малорозчинних сполук;
- зв'язуватися у стійкі розчинні комплекси з численними органічними лігандами, зокрема гуміновими та фульвокислотами;
- мігрувати у вигляді розчинних сполук;
- накопичуватися в рослинах і передаватися ланцюгами живлення;
- поглинатися ґрунтово-поглинальним комплексом;
- потрапляти в організм ґрунтових мешканців.

Рослини мають різну стійкість до важких металів. Окремі види здатні накопичувати значні їх кількості, виступаючи в ролі геоіндикаторів. Цю здатність використовують і для очищення ґрунтів від катіонів важких металів. Важкі метали впливають і на ґрунтову біоту, порушуючи існуючу рівновагу між видами внаслідок їх різної чутливості до забруднення ґрунту. Найстійкіші до важких металів целюлозолітичні бактерії та мікроскопічні гриби.

Нафтопродукти та нафта потрапляють у ґрунти:

- під час видобутку нафти та природного газу;
- у разі аварій нафтопроводів;
- разом зі стічними водами численних галузей промисловості;
- з атмосферними опадами;
- під час роботи техніки на полях;
- змиванням із поверхні автомагістралей, автомийок і транспортних підприємств.

Нафта за високих концентрацій ізолює поживні речовини від коренів рослин, робить ґрунтову масу гідрофобною, у процесі згущування утворює асфальтоподібну масу на поверхні ґрунту, яка ускладнює обмін газами та водою між атмосферою та ґрунтом. Через вміст ароматичних і поліциклічних вуглеводів та інших сполук нафта і нафтопродукти токсичні для ґрунтової біоти.

Однак у ґрунті є численні бактерії, гриби та інші організми, здатні вибірково руйнувати ті чи інші компоненти нафти, використовуючи їх як джерело Карбону для створення біомаси. Нафта з часом руйнується; швидкість цього процесу різна для різних компонентів.

Радіонукліди. Джерела радіоактивних ізотопів у ґрунті:

- розробка родовищ уранових руд;
- випробування ядерної зброї;
- паливно-енергетичний комплекс;
- могильники радіоактивних речовин;
- аварії на АЕС;
- втрати під час переробки уранових руд.

Радіонукліди мігрують як поверхнею ґрунту, так і вглиб. Співвідношення між шляхами міграції зумовлене кліматичними умовами, сорбційними властивостями ґрунтів, діяльністю ґрунтових мікроорганізмів, розчинністю радіонуклідів, ступенем засвоєння рослинами.

10.2.4. Біозабруднення екосистем

Біозабруднення екосистем — поширення нетипових систем і організмів або поширення типових, але в надто великих кількостях, що приносить шкоду людині та довкіллю. Можна виділити такі основні аспекти біозабруднення екосистем.

Останніми десятиліттями широкого розповсюдження набули **виробництва на основі мікроорганізмів**. На біотехнологічних мікробних виробництвах виготовляють численні лікарські препарати, вітаміни та антибіотики, ферменти, амінокислоти, біополімери, біопластик тощо. У процесі їх виготовлення часто застосовують генетично змінені мікроорганізми. Тому зараз особливо актуальна проблема безпеки для довкілля та мешканців міст від мікробних виробництв, бактеріологічних інститутів, що займаються патогенними штамами, відходів цих установ, питання знешкодження генетично-змінених мікроорганізмів, що можуть являти серйозну загрозу біозабруднення.

Ще одним видом біозабруднення в екосистемах є **поширення алергенних рослин-бур'янів**. Наприклад, в Україні з кожним роком все нові території захоплює *амброзія полинолиста* (*Ambrosia artemisiifolia*), що викликає масові алергічні захворювання населення. Амброзія — злісний бур'ян, що утворює велику наземну масу, заввишки 20—180 см (і навіть до 250 см), із міцною кореневою системою, яка може проникати в ґрунт до 4 м, зневоднюючи та виснажуючи його. У середньому рослина забирає з одного гектара землі до 2 тис. т води. В Україну цей вид потрапив із Північної Америки,



Рис. 10.6. Зарості амброзії полинолистій

уперше виявлений у 1925 році. Амброзія росте на посівах різних культурних рослин, а також поблизу шляхів, будинків і смітників, на пустищах, відвалах різних порід, залізничних насипах, у місцях, де порушений ґрунтовий і рослинний покрив (новобудови) або завезено новий ґрунт з інших місць тощо. Амброзія захоплює погано оброблені поля, городи, виноградники, баштани, сади, занедбані газони (рис. 10.6.).

Діапазон пристосування цієї рослини дуже великий, а людина своєю недбалістю та безгосподарністю створює найсприятливіші умови для інтенсивного її розмноження. Розмножується амброзія насінням, яке визріває у серпні — вересні, легко обсіпається, засмічуючи ґрунт. Одна добре розвинена рослина може дати до 100 тисяч зернин. Схожість насіння зберігається до 10—15 років, за сприятливих умов — до 30—50 років. У кінці квітня — на початку травня насіння проростає. Амброзія, як чужинка, не має природних ворогів (тварини амброзію не їдять) і відзначається великою біологічною активністю. Вона здатна заглушити і витіснити не тільки культурні, а й дикорослі рослини, захоплюючи таким чином нові земельні ділянки та площі. Під час цвітіння, яке триває із середини серпня до кінця жовтня, рослина дуже небезпечна: пилок викликає алергію (риніт, сльозотечу, кон'юнктивіт, може викликати навіть набряк легенів), медики називають

це амброзійним полінозом (або сінною пропасницею). Слід додати, що у цей період від її пилку страждають астматики, у яких загострюються напади бронхіальної астми.

Ще один наслідок антропогенної діяльності — **біозабруднення водойм ціанобактеріями**. Евтрофікація вод — надмірне надходження у водойми органічних і мінеральних речовин (переважно сполук Нітрогену та фосфору) у складі промислових, комунальних і сільськогосподарських стічних вод — викликає масовий розвиток у воді водоростей. Тільки 1 г фосфатів викликає розвиток у воді 50 кг ціанобактерій. Вода стає каламутною, зеленою (або іншого кольору, залежно від розвитку в ній тих чи інших ціанобактерій або водоростей), із неприємними присмаком і запахом, підвищується *pH*, унаслідок чого випадають в осад Карбонати Кальцію. «Цвітіння» води — серйозна загроза, оскільки вода не просто непридатна до купання, вона стає небезпечною. У результаті життєдіяльності ціанобактерій, а також у процесі їх відмирання, гниття виділяються токсичні речовини: альготоксини, ціанотоксини, підвищується вміст сірководню, метану, аміаку. Під час масового відмирання фітопланктону на дні водойм можуть відкладатися сотні тонн залишків. Розкладення цих залишків знижує вміст кисню у воді. Як наслідок, під впливом евтрофікації у водоймах виникають замори риби та інших гідробіонтів, гине худоба та птахи, які використовували її для водопою, є випадки отруєння людей, які вживали рибу та морепродукти з накопиченими токсичними речовинами.

До біозабруднення можна віднести також **масове поширення сільськогосподарських трансгенних рослин**. Трансгенними рослинами зайнято мільйони гектарів землі у світі (у США, Бразилії, Аргентині, Китаї, Україні). Вирощують трансгенний бавовник, сою, овочі (картопля, буряк, капуста, морква, селера, огірок, помідор, баклажан, перець, горошок), злакові (кукурудза, пшениця, ячмінь), фрукти та ягоди (диня, слива, груша, виноград, ківі, банан, клюква, малина). Серед науковців немає одностайної думки щодо безпечності генетично-модифікованих рослин, оскільки надто мало часу пройшло для об'єктивної оцінки. Є ризик, що трансгенні рослини, потрапляючи у довкілля, можуть нести загрозу природній рівновазі. Масове культивування трансгенного бавовнику, що виділяє *Bt*-токсин, зменшило популяцію його основного шкідника — бавовникової совки *Helicoverpa armigera*. Але одночасно збільшилась кількість іншого шкідника — клопів із родини *Miridae*. Це пояснюється тим, що вони стійкі до дії *Bt*-токсину, і тим, що зменшилась інтенсивність застосування інсектицидів. Трансгенний ріпак перетворюється на

супербур'ян, який захоплює все більші території. Виникають нові супербур'яни внаслідок схрещення трансгенних гербіцидостійких рослин і звичайних бур'янів.

10.3. Міграція інгредієнтів забруднення в екосистемах і організмах

Основна ідея. Міграція інгредієнтів забруднення — прояв загальної міграції хімічних елементів біосфери в міграційному ланцюжку «атмосфера — ґрунти — рослини — тварини — людина». Для кожного із забруднювачів властивий свій міграційний ланцюжок, а для кожного із цих ланцюжків — свої особливості динаміки, спрямованості, сезонності та інших параметрів міграції. Вивчивши особливості міграції в ланцюжку, можна управляти її інтенсивністю в кожному окремому випадку за допомогою технічних прийомів.

Смислові зв'язки. Інгредієнти забруднення — міграційний ланцюжок — дослідження особливостей міграції — управління інтенсивністю міграції.

Ключові терміни. Інгредієнти забруднення, міграція, біогенна міграція, міграційний ланцюжок, важкі метали, радіонукліди.

Мета — охарактеризувати міграцію інгредієнтів забруднення у біосистемах і організмах, особливості міграції в атмосфері, ґрунтах і ланцюжках міграції, шляхах технічного впливу на інтенсивність міграції.

Міграція елементів — переміщення хімічних елементів у біосфері, яке призводить до їх розсіяння або концентрації в окремих ділянках біосфери. Відбувається у вигляді розчинів, розплавів, газів та у грубодисперсній формі. Середовища, в яких відбувається міграція, — ґрунти (ґрунтові поди), поверхневі води, атмосфера, рослини, живі організми. Міграція інгредієнтів забруднення — частковий випадок загальної міграції хімічних елементів біосфери, а оскільки в міграційному ланцюжку «атмосфера — ґрунти — рослини — тварини — людина» присутні рослини та інші живі організми, міграція інгредієнтів забруднення тісно пов'язана і з біогенною міграцією. Визначення біогенної міграції хімічних елементів, яка викликана силами життя, дав В. І. Вернадський (закон біогенної міграції атомів). Головною геохімічною особливістю живої речовини є те, що вона, пропускаючи через себе атоми хімічних елементів земної кори (та забруднювачі, які потрапляють цим самим міграційним ланцюжком), гідросфери та атмосфери, здійснює у процесі життєдіяльності їх закономірну диференціацію. Завершуючи свій життєвий цикл,

організми повертають природі все, що взяли у неї протягом життя.

Найпоширенішими речовинами, що забруднюють атмосферу, є діоксид Карбону CO_2 , оксид Карбону CO , діоксид Сульфуру SO_2 , оксиди Нітрогену NO_x , вуглеводні C_nH_m . Пил може містити адсорбовані важкі метали, радіоактивні елементи та інші види забруднювачів. Крім згаданих речовин і пилу, до атмосфери потрапляють і інші токсичні речовини, і їх кількість зростає. Високі концентрації шкідливих домішок та їх міграція в атмосфері призводять до утворення ще токсичніших речовин (смог, кислотні дощі) або до таких явищ, як парниковий ефект і руйнування озонового шару.

Основні механізми міграції радіонуклідів у ґрунтах — дифузія та дрейф іонів у фізичних полях, зокрема у гідродинамічному полі рухомої рідини та полі сили земного тяжіння. Для ґрунтів характерна міграція таких забруднювачів, як мінеральні добрива, пестициди, важкі метали, радіонукліди тощо. Для кожного із цих забруднювачів властивий свій міграційний ланцюжок, а для кожного із цих ланцюжків — свої особливості динаміки, направленості, сезонності та інших параметрів міграції. Особливості цих міграційних процесів служать предметом досліджень науковців, на основі даних досліджень розробляються рекомендації щодо мінімізації впливу забруднювачів на екосистеми.

На основі досліджень біогенної міграції сполук гідраргуму у системі «ґрунти — вода — корми — організм курей-несучок» розроблені рекомендації щодо мінімізації вмісту гідраргуму в організмі курей-несучок.

У результаті досліджень вмісту та особливостей перерозподілу Купруму, Кобальту, Кадмію та Плюмбуму в системі «вода — прибережний мул — ґрунти — водорості» та їх міграції складовими ставкової екосистеми встановлено сезонний характер цієї міграції та її чисельні характеристики (послідовність зростання вмісту важких металів у складових водного середовища).

Ґрунти — основний приймач радіоактивних опадів. Радіоактивні частки (такі, що містять радіоактивні речовини), потрапивши на поверхню ґрунту, із часом (під впливом води, кисню повітря, діяльності ґрунтової мікрофлори) руйнуються; речовини, що містяться в них, у тому числі й радіоактивні, занурюються вглиб, у зону розміщення кореневої системи рослин. Разом із ґрунтовим розчином вони через корені надходять у рослини, де й накопичуються. Головне те, що рослини — основний переносник радіоактивних речовин із ґрунту у продукцію рослинництва, організми сільськогосподарських тварин і людини. Певна частина радіоактивних

речовин надходить до організму людини з водою (як коротким шляхом, безпосередньо з питною водою, так і довгим — із рослинними та тваринними продуктами). Із часом фізико-хімічний стан радіонуклідів у складі радіоактивних речовин, до яких вони входять, змінюється. Так, ^{137}Cs , як і взагалі елемент Цезій, має здатність зв'язуватися у ґрунті, включаючись до кристалічної решітки мінералів — «старіти», переходячи у важкорозчинний стан, і ставати менш доступним для рослин. Експериментальні дані свідчать про те, що накопичення ^{137}Cs рослинами з часом зменшується, тоді як ^{90}Sr — збільшується.

На переході «ґрунт—рослина» можна досить істотно впливати на накопичення радіоактивних речовин сільськогосподарськими рослинами. Радіонукліди надходять у рослини тоді, коли вони з частками опадів переходять у ґрунтовий розчин. Цей процес, як і взагалі рухомість речовин, прискорюється в кислому середовищі. Отже, радіонуклідне забруднення продукції рослинництва, а відповідно кормовиробництва та тваринництва, залежить не тільки від ступеня забруднення ґрунту, а й від його здатності до зв'язування та утримання радіонуклідів. Ця здатність визначається фізико-хімічними та агрохімічними властивостями ґрунтів. На Поліссі вона найслабша в надзвичайно бідних на ґрунтово-поглинальний комплекс екосистемах (на торфово-болотних і підзолистих ґрунтах) і значно вища — на сірих лісових ґрунтах. Ще вища вона в чорноземі Лісостепу. Ґрунти Полісся належать до кислих і слабокислих ($pH = 3,5\text{—}6,0$). Кисла реакція — малопридатне середовище для росту та розвитку більшості рослин. І працівникам сільського господарства давно відомий спосіб нейтралізації таких ґрунтів. Це — вапнування, тобто внесення в ґрунт вапна або вапнякових матеріалів, які мають лужну реакцію і нейтралізують середовище. У даній ситуації досягаються дві мети. По-перше, рослини перебувають у сприятливих для росту умовах, результатом чого є збільшення врожаю та, зазвичай, його якості. А по-друге, у декілька разів зменшується надходження до рослин радіоактивних речовин. Головна складова вапна — Кальцій. Це — хімічний аналог Стронцію, радіоактивний ізотоп якого (^{90}Sr) — один з основних тривало діючих радіоактивних забруднювачів навколишнього середовища. Чим більше у ґрунті буде Кальцію, тим менше до рослини надійде Стронцію, у тому числі ^{90}Sr . Здатність зменшувати надходження в рослини радіоактивних речовин мають і деякі добрива. Зокрема, *К* калійних добрив — хімічний аналог і антагоніст другого радіоактивного забруднювача — ^{137}Cs . Збільшення доз

калійних добрив сприяє зменшенню надходження до рослин ^{137}Cs . Важлива роль у справі зменшення надходження до рослин ^{90}Sr належить фосфорним добривам. Фосфор здатний утворювати зі Стронцієм слаботорозчинні сполуки, які не переходять у ґрунтовий розчин, а отже, і до рослин. Тому внесення у підвищених кількостях фосфорних добрив — також досить ефективний захід зменшення нагромадження рослинами цього небезпечного радіонукліда. Суттєво зменшити накопичення рослинами радіоактивних речовин можна за допомогою органічних добрив (гною, компостів, торфу), особливо на бідних ґрунтах поліської зони. Ці добрива містять найрізноманітніші елементи живлення рослин, зокрема ті, що зменшують надходження радіоактивних речовин, здатних зв'язувати у ґрунті радіоактивні елементи і зменшувати їх міграцію в рослини.

10.4. Вплив забруднення довкілля на популяції та екосистеми

10.4.1. Вплив забруднення довкілля на природні популяції

Існування популяції у просторі та часі залежить від можливостей її відтворення. Саме репродуктивні можливості популяцій за наявності сприятливих умов існування визначають їх перспективи виживання тривалий час. Відомо, що найвразливішими до забруднення, у тому числі, а може, й у першу чергу радіоактивного, є тканини, у яких відбуваються активні процеси поділу клітин. Тому меристеми рослин, тканини репродуктивних органів, червоний кістковий мозок хребетних тварин зазнають найбільшої шкоди від забруднюючих речовин.

Процеси репродукції у популяціях рослин. Рослини, якщо не брати до уваги одноклітинних джгутиконосців, на відміну від більшості тварин, не мають можливості активно пересуватися й уникати умов існування, які б вони вважали несприятливими хоча б на інстинктивному рівні. Процеси, що відбуваються в рослинних популяціях (ценопопуляціях) в умовах забруднення певної екосистеми, завжди знаходяться під впливом саме цього забруднення, а не стану будь-яких інших екосистем, як це може мати місце у тварин, що здатні до активних пересувань і міграцій (більшість ссавців, птахів, риб).

У ценопопуляціях рослин під впливом хімічного забруднення навколишнього середовища відбуваються різноманітні негативні зміни, які порушують процеси розмноження та

росту. Незначні дози мікроелементів, у тому числі й таких, що є важкими металами, та УФ-радіації стимулюють ростові процеси. Але великі дози пригнічують процеси росту та розвитку.

Погіршується функціональний стан чоловічого гаметофіту (пилку). Під впливом хімічного забруднення екосистем може відбуватися як зменшення середніх розмірів пилку у популяції (Безсонова, 1992), так і збільшення варіювання цих розмірів (Безель, 2006). Зі збільшенням рівня забруднення зменшується фертильність пилку у популяціях. Наприклад у кульбаби лікарської — до 100 % особин із фертильністю нижче критичного рівня, за якої репродукція стає неможливою (Безель, 2006).

Насіннева продуктивність рослин теж зазнає негативного впливу. Насіннєве відновлення популяції рослин підтримує саме існування популяції та її оптимальну щільність у певних умовах середовища. Існує декілька показників стану насіннєвої продуктивності популяції. *Потенційна продуктивність* — кількість насіннєвих зачатків на один генеративний пагін або особину. *Реальна продуктивність* — кількість зрілих повноцінних насінин на один генеративний пагін або особину. Хімічне забруднення середовища викликає зниження або повну відсутність природного відновлення ценопопуляцій рослин. У голонасінних відбувається зменшення насіннєвої продуктивності, маси та частки розвинених насінин; у брусничних (рід *Vaccinium*) ці показники навіть не змінюються; у багаторічних трав'янистих видів можливе навіть підвищення (особливо потенційної) продуктивності, але з одночасним зменшенням ваги та якості насіння. У кульбаби лікарської спостерігається вища середня насіннева продуктивність на забруднених ділянках порівняно з контрольними незабрудненими екосистемами (рис. 10.7). У цілому підвищення насіннєвої продуктивності під впливом забруднення довкілля вважають одним з адаптаційних механізмів на рівні популяції до умов техногенного стресу. Але слід розуміти, що такі показники, як і більшість інших, змінюються під впливом усього комплексу екологічних факторів (кліматичних умов, якостей ґрунту, забруднення тощо). Визначальною може стати сила дії певного лімітуючого фактора. А це може бути як природний негативний чинник, так і високий рівень забруднення довкілля.

Забруднення навколишнього середовища призводить до вимирання рослин із низькою насіннєвою продуктивністю. Це призводить до збільшення у популяції частки рослин із високою продуктивністю. Таким чином, завдяки складній внутрішньопопуляційній структурі реалізується механізм ста-

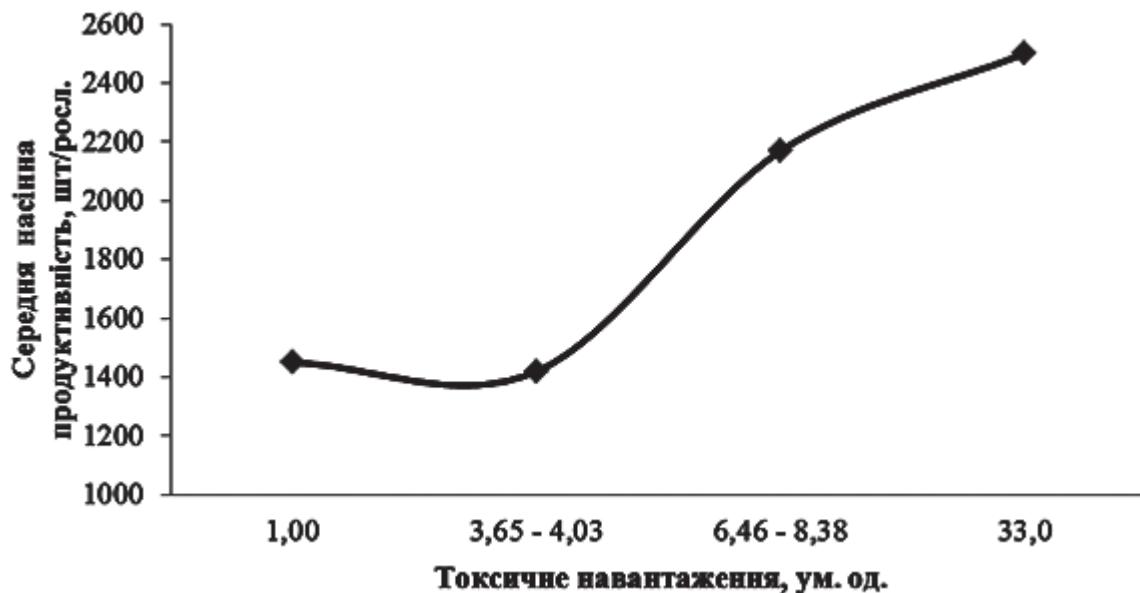


Рис. 10.7. Залежність середньої насінної продуктивності у кульбаби лікарської від токсичного навантаження (Безель, 2006)

білізації популяції під впливом зовнішніх факторів (Шварц та ін., 1972). У даному випадку — це вплив забруднення. У нових умовах реалізуються необхідні для виживання популяції репродуктивні можливості. Висока насіннева продуктивність повинна компенсувати втрати популяції від токсичного навантаження.

Підвищення рівня забруднення середовища може збільшувати також реальну насінневу продуктивність (частку повноцінних зрілих насінин) та інші показники, що сприяють виживанню популяції під впливом техногенного преса. Життєздатність насінневого потомства варіює в широких межах і не демонструє односпрямованої реакції на збільшення рівня забруднення.

У більшості випадків зростання хімічного забруднення навколишнього середовища призводить до цілого комплексу змін життєдіяльності рослин, що впливає на стан їх популяцій. Під впливом забруднення довкілля у більшості видів рослин спостерігаються *зниження енергії проростання і схожості насінин, гальмування процесів росту та розвитку проростків.*

Енергія проростання насінин — здатність насінин швидко й однотайно проростати — виражається у відсотках і підраховується через певний час після посіву. *Схожість насіння* — потенційна здатність насінин проростати, яка теж виражається у відсотках пророслих насінин до їх загальної кількості. Енергію проростання визначають за коротший строк, ніж схожість.

Під впливом високих концентрацій забруднювачів у довкіллі (наприклад, важких металів) у рослин відбуваються помітні морфологічні порушення. Відбувається гальмування

Токсичне навантаження, ум. од.

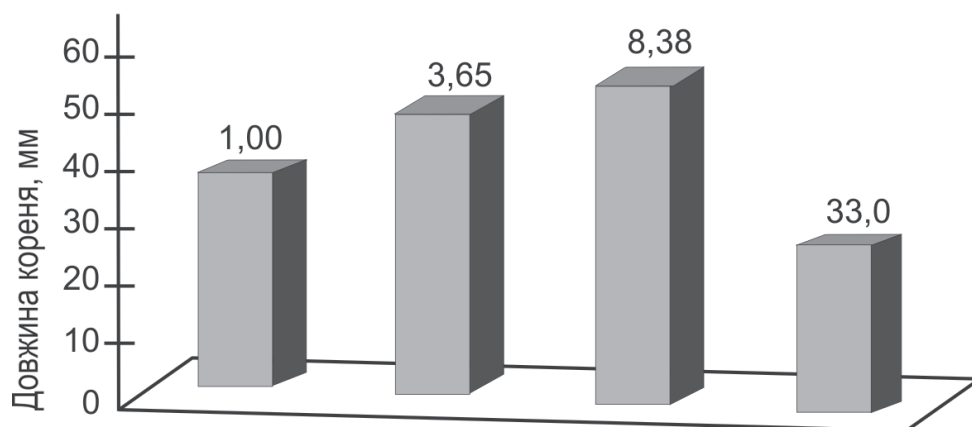


Рис. 10.8. Залежність довжини головного кореня проростків кульбаби лікарської від токсичного навантаження (Безель, 2006)

росту коренів, що часто призводить до зменшення довжини головного кореня у проростків, супроводжується його потовщенням. Морфологічне недорозвинення коріння призводить до суттєвого зниження здатності кореневої системи до поглинання поживних речовин із ґрунту.

Фонові та помірні концентрації важких металів виявляють стимулюючий ефект на ріст кореня внаслідок дії сприятливих доз мікроелементів (Северюхіна та ін., 2003). Високі дози забруднювачів пригнічують ростові процеси. При цьому спостерігаються некротичні процеси та ушкодження апікальної меристеми кореня на фоні активізації латеральної меристеми. Надземні частини рослин також реагують морфологічними змінами під впливом зростаючого забруднення середовища.

Хронічне забруднення місцезростань із поступовим підвищенням рівня забруднення важкими металами формує стійкі ценопопуляції рослин, здатні успішно існувати у забрудненому середовищі. Рослини таких популяцій можуть давати достатньо велику кількість нащадків, які добре розвиваються у забрудненому середовищі.

Таким чином, з одного боку, у багатьох видів рослин під впливом хімічного забруднення середовища виявлено значне зниження схожості насіння, затримку розвитку, морфологічні порушення кореневої системи та пагонів. З іншого боку, в умовах хронічного забруднення можуть утворюватися стабільні ценопопуляції з високою стійкістю насінневого фонду. Таким чином, ці популяції досягають певного рівня генотипової диференціації, а успадковуються ознаки підвищеної толерантності до факторів забруднення (Коршиков, 1996).

Процеси репродукції у популяціях птахів і ссавців. Хімічне забруднення навколишнього середовища викликає численні та різноманітні несприятливі процеси у популяціях тварин. Вплив забруднення навколишнього середовища на наземну фауну здійснюється через ланцюги живлення, що починаються з ґрунту і проходять через рослини до тварин. *Накопичення елементів забруднення зазвичай тим більше, чим вищий трофічний рівень займає вид у біогеоценозі.* Найчутливіші до забруднювачів ранні стадії онтогенезу.

Птахи, що починають розмноження раніше за інших, мають *переваги у виборі гніздових територій* і відзначаються більшою продуктивністю. Зазвичай на забруднених територіях весняні фенологічні явища відбуваються раніше, ніж на фонових: танення снігу, розвиток рослинного покриву тощо. Однак більшість видів птахів на забруднених територіях починає розмноження пізніше, а весь сезон розмноження у них коротший.

Розмір кладки у птахів відображає можливу кількість нащадків на пару. Забруднення довкілля часто викликає зниження кількості яєць у кладках птахів. Зниження плодючості може відбуватися через порушення фізіологічних процесів у самок, збіднення кормової бази, зміни вікової структури популяції та зменшення строків розмноження. Окрім зменшення розміру кладок, спостерігається зниження запасу поживних речовин у яйцях, що відбивається зменшенням середнього розміру яєць. Цей показник зазвичай відображає рівень сприятливості умов існування популяції, у тому числі і забруднення.

Важливий показник якості яєць — *товщина шкаралупи*. Зменшення товщини яйцевої шкаралупи відбувається під впливом забруднювачів як органічного, так і неорганічного походження. Вплив важких металів, SO_2 і підкислення середовища викликає порушення обміну кальцію в організмі самиць. Зменшення товщини шкаралупи на 16—18 % призводить до зниження успішності вилуплювання, за яким відбувається скорочення чисельності популяції. Окрім того, змінюється структура шкаралупи, підвищується її пористість, що призводить до висихання яйця та загибелі ембріонів.

Успішність інкубації визначається відсотком яєць, з яких вилупилися пташенята. Цей показник знижується зі збільшенням рівня забруднення. У природних умовах успішність інкубації зазвичай не знижується нижче 90 %, в умовах забруднення успішність інкубації може знижуватися до 56—61 % у строкатої мухоловки та до 70—80 % у великої синиці.

Вигодовування пташенят — важливий етап відновлення популяції. Успішність вигодовування виражають часткою пташенят, що вилетіли з гнізда, від кількості тих, що вилупилися. Теоретично зменшення кількості пташенят у гнізді на забруднених територіях приводить до збільшення кількості корму, що може отримати одне пташеня. Але якщо цей корм забруднений, наприклад, важкими металами, то й доза, яку отримає пташеня, збільшується. Тому у більшості випадків успішність вигодовування на забруднених територіях зменшується. Наприклад, у строкатої мухоловки поблизу мідноливарного заводу ефективність вигодовування пташенят склала 20 % при 70—80 % на контролі.

Важливий показник відтворення популяції птахів — *середня кількість підлітків на пару, що бере участь у розмноженні*. Цей показник визначає здатність популяції до відтворення. На забруднених територіях кількість підлітків зменшується.

Репродуктивні втрати популяцій ссавців. Плодючість і ембріональна смертність — одні з основних популяційних характеристик, що визначають рівень пристосування до негативних впливів навколишнього середовища. Вплив забруднення довкілля на ці показники в популяціях ссавців не завжди однозначний. Загальна тенденція, що спостерігається у популяціях мишоподібних гризунів (наприклад, у нориць) в умовах впливу забруднення важкими металами, — *зростання потенційної* (середня кількість жовтих тіл на самицю) *та фактичної плодючості* (середня кількість життєздатних ембріонів на самицю), *низька ембріональна смертність* порівняно із самицями популяцій фонових територій. Якщо цього не відбувається (зі зростанням токсичного навантаження чи під впливом інших факторів), у популяції *посилюються процеси резорбції ембріонів* у вагітних самиць. При цьому значно зменшується чисельність популяції. Таким чином, забруднення екосистем важкими металами вимагає від популяції значних адаптивних пристосувань, які полягають у максимальній реалізації потенційної плодючості. Виживання самиць із підвищеною плодючістю в популяціях, що потерпають від техногенного забруднення, забезпечує реалізацію популяційних компенсаторних механізмів. До того ж у забруднених екосистемах значно збільшується частка особин популяції гризунів, що беруть участь у розмноженні (Мухачева, 2001; Катаєв, 2005).

Але навіть у випадку, коли підвищення середньої плодючості підтримує відтворення популяції, ембріони із забруднених територій мають меншу вагу, що зменшує життєздатність вже новонароджених звіренят. У більшості випадків на забруднених територіях спостерігається підвищена їх смерт-

ність саме після народження (особливо у період до настання статевої зрілості). При цьому до статевої зрілості можуть не доживати до 80 % тварин, що майже удвічі перевищує показники незабруднених (фонових) територій. Унаслідок цих процесів поповнення чисельності популяцій тварин в умовах забруднення середовища зазвичай зменшується. У таблиці 10.3 наведено підрахунки поповнення для популяцій рудої нориці в умовах забруднення довкілля важкими металами.

Таблиця 10.3.

Розрахунок річного поповнення чисельності популяцій рудої нориці на фонівій та забрудненій територіях (Безель, 2006)

Зона	Кількість самиць навесні, особин	Частка тварин, що розмножуються, %	Кількість новонароджених самиць, особин	Частка самиць, які переживуть літо, %	Кількість самиць, що доживуть до осені	Частка самиць, що переживуть зиму, %	Доживуть до весни, особин
Фонова	100	47,5	274	80	219	45	100
Забруднена	100	69,9	433	43	186	24	45

Слід брати до уваги, що у природних популяціях тварин існує багато популяційних механізмів, які дозволяють їм виживати в умовах забруднення навколишнього середовища. До них відносяться: *збільшення інтенсивності розмноження, прискорення досягнення статевої зрілості, збільшення частки особин, що беруть участь у розмноженні, міграції тварин із фонових на забруднені території*. У той же час навіть численні популяції тварин у зонах техногенного забруднення не є свідченням того, що з популяціями усе гаразд. У них можуть поступово відбуватися негативні (генетичні та репродуктивні) процеси, що згодом призведуть до вимирання.

Еколого-генетична структура популяцій. Природні популяції характеризуються генетичною гетерогенністю. Токсичні речовини або радіоактивне забруднення потенційно здатні підвищити інтенсивність мутаційних (рекомбінаційних) процесів, які призводять до ще більшого ступеня генетичної мінливості у популяціях. Унаслідок впливу токсичних речовин на вихідний поліморфізм популяцій відбувається зміна еколого-генетичної структури популяції, спрямована на суттєве збільшення частки стійких до забруднення особин у популяціях. Таким чином, має місце добір найпристосованіших генотипів. При цьому, чим довше існує угруповання в умовах забруднення довкілля, тим вища частка стійких до цього забруднення особин. Ці процеси відбуваються практично в усіх

групах живих організмів і принципово не відрізняються від «традиційних» еволюційних процесів.

Просторово-функціональна структура популяцій. Середовище існування характеризується певною мозаїчністю внаслідок неоднорідності ландшафту та мікрокліматичних умов. Збільшення неоднорідності закономірно веде до зростання різноманіття умов проживання і сприяє підвищенню таксономічного та генетичного різноманіття. На різноманіття природних умов накладається неоднорідність полів забруднення, що створює певні відмінності в рівнях забруднення окремих компонентів біогеоценозів та, як наслідок, різні рівні їх деградації. Популяцію можна розглядати як сукупність мікропопуляцій (Шварц, 1967), що утворюють просторово-часові угруповання з малим або середнім радіусом активності. Це характерно для більшості невеликих тварин (амфібії, плазуни, більшість ссавців). Просторова організація таких популяцій на забруднених територіях буде залежати від мозаїчності деградації біогеоценозу та її ступеня. Деградація може виражатися у зменшенні щільності рослинних угруповань і запасів первинної продукції, яка накопичується у рослинній біомасі, у зниженні зімкнутості крон дерев, заміні лісових видів на лучні або степові. Якщо зберігаються локальні стації з найсприятливішими умовами існування тварин, вони і будуть заселені угрупованнями зі стабільною структурою та оптимальною щільністю населення. Таким чином, мозаїчна деградація біогеоценозу змінює просторову структуру популяцій. Найзабрудненіші ділянки позбавлені постійних стабільних мікропопуляцій тварин і слугують місцем тимчасового перебування зазвичай молодих особин або транзитною територією, через яку здійснюються міграції. Для існування популяцій у таких умовах необхідна наявність так званих стацій резервації, на яких зберігаються найсприятливіші умови для існування виду та з яких може відбуватися експансія популяції на нові, хоча б тимчасово придатні для існування території.

Види, які мають широкий радіус активності (птахи, великі ссавці), не обмежені наявністю стацій резервації. Вони можуть забезпечувати існування угруповань на забруднених ділянках за рахунок міграційних процесів. Зважаючи на те, що *міграції* — важлива складова життєвого циклу багатьох видів тварин, їх можна вважати одним із механізмів популяційної адаптації до забруднення середовища існування тварин.

Вікова структура популяцій. Вікова структура відображає можливості функціонування популяції: потенційну інтенсивність репродукції, здатність до самовідновлення та, певною мірою, стійкість до несприятливих факторів середовища.

Вплив забруднення довкілля на ці процеси різноманітний і різноспрямований. З одного боку, забруднення може викликати затримання розвитку та статевого дозрівання, примножувати частку стерильних тварин, прискорювати процеси старіння та збільшувати частку особин у популяції, які вже не здатні до розмноження. З другого — у рослин може спостерігатися як гальмування процесів розвитку, так і прискорення дозрівання молодих особин, як зменшення, так і посилення насінного відновлення, збільшення частки дорослих і старих рослин зі зменшенням частки підросту. У будь-якому випадку вікова структура популяції адаптивно реагує на вплив факторів забруднення навколишнього середовища таким чином, щоб підтримувати чисельність популяції. Тому реакція вікової структури популяції у більшості випадків буде залежати від особливостей репродукції виду (наприклад, *r*- або *K*-стратегія), від типу та рівня забруднення.

10.4.2. Вплив забруднення довкілля на біогеоценози

Ефекти, що спостерігаються в окремих популяціях, не можуть повною мірою відображати стан самого біогеоценозу як системи вищого рівня. Біогеоценоз повинен підтримувати певний рівень обміну речовин і потоку енергії для власного «виживання». Для цього, на відміну від особини або популяції, необхідно мати достатню біомасу на всіх трофічних рівнях, яка підтримується високою продуктивністю; достатній ступінь видового різноманіття, що забезпечує складну багатокомпонентну трофічну сітку з різноманітністю трофічних рівнів, включаючи всі функціональні блоки (продуцентів, консументів і редуцентів). Все це може забезпечити як швидкий кругообіг речовин (а отже, і можливості самоочищення екосистеми), так і можливості до перебудови системи під впливом негативних чинників (хоча б і за рахунок зменшення частки або навіть втрати певного елемента біогеоценозу).

Накопичення забруднювачів трофічними рівнями біогеоценозу. Накопичення важких металів і органічних забруднювачів у біомасі (*біоаккумуляція*) достатньо добре досліджене. Слід розуміти, що токсична дія, а тому й небезпека забруднювачів починається з їх потрапляння до організмів. Ті, у свою чергу, мають певні бар'єрні, детоксикаційні, компенсаторні та екскреторні механізми для протистояння інтоксикації. Наприклад, бар'єрна функція у рослин забезпечується кореневою системою, здатною обмежувати потрапляння токсичних речовин. У тварин цю функцію виконує кишково-шлунковий тракт. Специфіка процесів усмоктування забезпечує вибіркове потрапляння органічних і металорганічних сполук до

організму (до 90 %). Неорганічні сполуки важких металів усмоктовуються лише на 5—10 %. Основне джерело потрапляння забруднювачів до організму тварин — їжа. Хоча для планктону характерне також потрапляння значних кількостей забруднювачів до організмів із води. Спираючись на правило екологічної піраміди, можна зрозуміти, чому з кожним новим трофічним рівнем накопичення органічних забруднювачів, а часто і важких металів, якщо вони знаходяться у середовищі в комплексі з органічними речовинами, значно зростає. Загальний рівень токсичного навантаження на певну популяцію біогеоценозу залежить від особливостей живлення та трофічного рівня. Ця закономірність добре прослідковується у багатьох групах тварин, навіть у безхребетних (табл. 10.4).

Таблиця 10.4.

Середні концентрації важких металів у безхребетних різних трофічних рівнів (мкг/г сухої ваги) (Безель, 2006)

Трофічний рівень	Зона	Метал			
		Cu	Zn	Pb	Cd
Фітофаги	фонова	42,7	171,8	2,8	1,7
	забруднена	88,9	314,5	24,0	5,3
Хижаки	фонова	15,9	357,4	3,1	8,8
	забруднена	108,6	367,4	29,0	8,5

Накопичення важких металів по трофічних рівнях буде залежати від фітофагів, специфіки їх раціонів і ефективності шлунково-кишкового бар'єра для хімічних елементів. Не завжди більші концентрації елементів будуть мати представники вищих трофічних рівнів.

Таксономічна структура біогеоценозу під впливом забруднення середовища. Зазвичай зі збільшенням токсичного навантаження на середовище зменшується таксономічне різноманіття біогеоценозу. Нестійкі до певного рівня (спектра) забруднювачів види зникають або значно зменшують чисельність. Як правило, в умовах забруднення середовища дрібніші види з меншою тривалістю життя мають більше шансів на виживання. Зважаючи на те, що біоаккумуляція забруднювачів в організмі відбувається протягом усього життя і поступово досягає критичних (небезпечних) концентрацій, в умовах забруднення середовища ці види отримують перевагу перед видами з особинами, які живуть довше.

Окрім відповідного збіднення таксономічного різноманіття, це призводить до зміни структури домінування видів в угрупованні. Наприклад, в умовах забруднення довкілля важкими металами відбувається зменшення чисельності видів

безхребетних, які були масовими (домінантами та субдомінантами) у незабруднених екосистемах. У першу чергу цей процес спостерігається для дощових черв'їв, енхітреїд, багатоніжок і молюсків, які можуть навіть зникнути на сильно забруднених територіях. Меншою мірою відбувається зменшення чисельності турунів, стафілінід, павуків і двокрилих. Це, з одного боку, змінює таксономічну структуру біогеоценозу, а з іншого — суттєво впливає на інші трофічні рівні, наприклад на комахоїдних, у яких вимушено змінюється спектр живлення. Якщо припустити, що більші шанси на виживання мають види, особини яких накопичують менше забруднювачів, то їх споживачі також піддаються меншому токсичному навантаженню, ніж це теоретично могло б бути. У багатовидових угрупованнях із вихідним високим домінуванням лише одного виду забруднення середовища може навіть призводити до збільшення видового різноманіття через вимирання домінантного виду, з одного боку, та збільшення різноманіття умов середовища — з іншого. Однак це ніяк не є ознакою покращення стану біогеоценозу. І навпаки, якщо початкове угруповання характеризувалося високим рівнем різноманіття зі значною кількістю видів домінантів і субдомінантів, це свідчить про наявність достатньої гетерогенності не порушеного середовища. У цьому випадку зростання забруднення довкілля призведе до закономірного зниження таксономічного різноманіття (Безель, 2006).

Первинна продуктивність та біогеохімічні цикли. Згадаємо, первинна продуктивність — загальна кількість органічної речовини, яку виробляють продуценти на одиницю поверхні за одиницю часу. Під впливом забруднення навколишнього середовища відбувається зниження фотосинтезуючої наземної біомаси рослин, що безпосередньо викликає зменшення первинної продуктивності. Це впливає на інтенсивність обмінних процесів у біогеоценозі та біогеохімічні цикли. Зрозуміло, що якщо продуценти накопичують меншу фітотому за певний проміжок часу, то це обмежує можливості росту біомаси тварин-консументів.

Наземні рослинні угруповання залучають хімічні елементи у біогеохімічні цикли безпосередньо з ґрунту й розпочинають кругообіг речовин. У зонах забруднення вплив первинного накопичення забруднювачів у рослинах призводить до трансформації рослинних угруповань через зниження чисельності або вимирання нестійких видів. А видовий склад і навіть морфологічні характеристики угруповання рослин впливають на можливості існування тваринного угруповання, оскільки для тварин це не тільки їжа, а й можливість знайти схованку або місце з оптимальним мікрокліматичним

режимом (освітлення, вологість тощо). Тому зменшення чисельності певних видів рослин викликає також зменшення чисельності тварин, з ними пов'язаних. Таким чином, забруднення впливає на видовий склад тваринного населення біогеоценозу не тільки безпосередньо — інтоксикацією, а й опосередковано — через зміни місць існування.

Згадані у цьому підрозділі процеси лише коротко описують деякі негативні наслідки забруднення навколишнього середовища на популяційному та біогеоценотичному рівнях. Зрозуміло, що ці наслідки набагато складніші та багатогранніші, наскільки складніші природні екосистеми за наші про них спрощені уявлення.

10.5. Головні заходи забезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми (загальна оптимізація довкілля в індустріальних регіонах)

Основна ідея. Головні заходи забезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми — екологізація виробництва, очищення промислових викидів в атмосферу, механічне, хімічне та біологічне очищення промислових стоків, екологічні заходи з оптимізації відпрацьованих земель і трансформованих екосистем (фітомеліорація).

Смислові зв'язки. Екологізація виробництва — мінімізація техногенного впливу на екосистеми — очищення промислових викидів в атмосферу, промислових стоків, оптимізація відпрацьованих земель і трансформованих екосистем.

Ключові терміни. Екологізація виробництва, ресурсозберігаючі технології, екологічні технології, очищення викидів в атмосферу, механічні методи, абсорбція, хемосорбція, адсорбція, каталізатори, термічна обробка, механічні, хімічні та біологічні методи очищення стічних вод, фітомеліорація, фітомеліоранти.

Мета — охарактеризувати способи мінімізації техногенного впливу на екосистеми, найперспективнішим із яких є екологізація виробництва (завдяки чому мінімізується кількість і якість забруднень), а також методи знешкодження техногенного впливу на атмосферу, гідросферу та ґрунтовий покрив.

10.5.1. Екологізація виробництва

Реальний напрямок вирішення екологічних проблем — реалізація досягнень науково-технічного прогресу, що передбачають зміни техніко-технологічної основи виробництва шляхом переходу на маловідхідні, ресурсо- та енергозберігаючі

технології. Практично це означає зміну курсу, орієнтованого на ліквідацію несприятливих наслідків, зумовлених зміною якості природного середовища, на курс боротьби із забрудненням і попередженням наслідків. Це є не тільки найбільш логічним, але й економічно найефективнішим рішенням, оскільки витрати на усунення екологічних наслідків найчастіше значно перевищують вартість превентивних заходів.

Під ресурсозберігаючою технологією розуміють такий технологічний процес, який передбачає мінімізацію використаних природних ресурсів і мінімальні порушення природних умов, тобто відрізняється від традиційних технологій значно меншою питомою витратою сировини та енергії. Для маловідхідних (безвідхідних) технологій головне — перехід на замкнені технологічні цикли, які якоюсь мірою відтворюють природні, що дозволяє отримати мінімум твердих, рідких, газоподібних і теплових відходів і викидів. У Декларації про маловідхідні та безвідхідні технології та використання відходів, прийнятій на загальноєвропейській нараді Європейської економічної комісії зі співпраці у галузі охорони навколишнього середовища, дається таке визначення: *«Під маловідхідними та безвідхідними виробництвами розуміють такий метод виробництва продукції (процес, підприємство, територіально-виробничий комплекс), за якого вся сировина та енергія використовується найбільш раціонально та комплексно в циклі «сировинні ресурси — виробництво — споживання — вторинні сировинні ресурси», і будь-які дії на навколишнє середовище не порушують її нормального функціонування».* Як випливає з визначення, про замкнутість виробництва можна говорити у двох аспектах: стосовно індивідуального виробничого процесу (у рамках одного підприємства) й у рамках групи підприємств (коли відбувається об'єднання різних технологій у послідовні та паралельні ланцюжки з метою повнішого використання сировини й скорочення кількості відходів).

Технологічні принципи організації екологічних технологій залежать від характеру виробничих процесів і від груп галузей промисловості. Для галузевої добувної промисловості, де характерні великі обсяги переміщення порід, такі технології пов'язані з переходом до принципово нових технологій видобутку корисних копалин. Наприклад, це може бути підземне вилуговування, електроліз, газифікація та гідроударний видобуток, впровадження яких зазвичай вимагає досить високих стартових капітальних вкладень. Для обробної промисловості (зокрема металургії) можуть виявитися перспективними переходи до глибшої обробки вихідної сировини та максимального використання відходів, що

утворюються. Іноді складається ситуація, коли ефективнішим і доцільним виявляється зниження ступеня вилучення основного компонента, щоб забезпечити виграш у цілому на комплексній переробці сировини та отриманні побічних продуктів. Подібні ситуації важко уявити без виходу за рамки окремого підприємства. Такий розвиток подій імовірніший за умови великого інвестування в рамках холдингу або іншого промислового об'єднання. Для галузей із періодичними виробничими процесами, заснованими переважно на механічній обробці сировини (машинобудування, деревообробка, легка промисловість), організація екологічних технологій пов'язана, як правило, з істотним зниженням загальної кількості відходів на основі зміни засобів впливу на предмет праці. Приклад — виготовлення деталей для машин із металевих порошків (порошкова металургія). Ця технологія підвищує коефіцієнт використання металу до 95 %.

Структурна перебудова економіки на базі революційних перетворень техніко-технологічної основи вимагає величезних інвестицій, виділення яких у найближчі роки і навіть у найближчому майбутньому неможливе і нереальне. Тому найперспективнішим є еволюційний шлях поліпшення експлуатаційних характеристик діючих зразків, видів техніки та технологій. Поетапна трансформація традиційних технологій у цьому випадку є поступовим переходом від відкритих виробничих систем до напівзакритих із частковим використанням ресурсів та відходів, а в подальшому — до систем закритого типу з повним використанням ресурсів і відходів і припиненням останніми забруднення навколишнього середовища. Високий рівень відходів у вітчизняній промисловості свідчить і про суттєві потенційні можливості екологізації технології для вирішення проблем переходу на модель сталого розвитку. Варіанти зміни техніко-технологічної основи виробництва такі.

1. *Удосконалення існуючої техніки та технології виробництва* з метою перетворення діючих виробництв із дискретних на безперервні замкнуті виробництва, інтенсивні у своїй основі. Цей шлях передбачає «ступінчасту» екологізацію виробництва: поліпшення існуючого виробництва — введення маловідхідних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій; утилізація відходів, створення системи комплексного безвідхідного виробництва з доповненням його спеціалізованими комбінатами з переробки всіх промислових і побутових відходів на матеріали, придатні для засвоєння природою або для подальшого господарського використання.

2. «Біологізація» виробництва: підключення біологічних процесів до існуючого виробництва (за типом природного кругообігу речовин).

3. Створення принципово нових технологій і техніки, застосування яких у процесі праці якісно змінить характер природокористування в цілому.

Перші два напрямки не повною мірою ефективні, тому що допускають еволюційний поступ засобів впливу на природу (техніки) при незмінних або незначно модифікованих принципах, методах і способах (технологіях) цього впливу, але менш затратні за розміром необхідних інвестицій.

Реальний напрямок досягнення бажаного результату (інтенсифікація виробництва та збереження середовища) — створення екологічних технологій і техніки, під якими розуміють такі зразки технологічних процесів, технічних засобів і агрегатів, які у процесі свого функціонування виключають витрати суспільної праці на усунення, компенсацію або попередження шкоди, що може бути заподіяна суспільству в результаті непродуктивного використання природних ресурсів і забруднення навколишнього середовища.

10.5.2. Очищення промислових викидів в атмосферу

Способи очищення викидів в атмосферу від шкідливих речовин можна об'єднати в такі групи:

- очищення викидів від пилу та аерозолів шкідливих речовин;
- очищення викидів від газоподібних шкідливих речовин;
- зниження забруднення атмосфери вихлопними газами від двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів і стаціонарних установок;
- зниження забруднення атмосфери у процесі транспортування, навантаження та розвантаження сипких вантажів.

Механічні методи застосовують для очищення вентиляційних та інших газових викидів від грубодисперсного пилу. Основні механізми осадження завислих часток — дія сил гравітації, інерції, дифузії, а також відцентрових сил і сил зчеплення.

Осадження під дією сил гравітації (седиментація) зумовлене вертикальним осіданням часток унаслідок дії сили ваги у процесі переміщення їх через газоочисний апарат.

Осадження під дією відцентрової сили відбувається у процесі криволінійного руху аеродинамічного потоку, коли виникають відцентрові сили, під дією яких частки пилу відкидаються на внутрішню поверхню апарата.

Інерційне осадження відбувається у випадку, коли маса часток або швидкість руху настільки незначні, що вони вже не можуть рухатися разом із газом за лінію течії, що охоплює перешкоду. Намагаючись за інерцією продовжувати свій рух, частки пилу стикаються з перешкодою й осідають на ній.

Дифузійне осадження відбувається внаслідок того, що дрібні частки пилу зазнають безперервної взаємодії з частками газів, які знаходяться у броунівському русі. У результаті цієї взаємодії відбувається осадження часток на поверхні обтічних тіл або стінок пиловловлювача.

Осадження часток за рахунок зчеплення спостерігається тоді, коли відстань від частки, що рухається у газовому потоці, до обтічного тіла не перевищує її радіуса.

У технологічних вентиляційних і енергетичних викидах на підприємствах найчастіше трапляються діоксид Сульфуру, оксиди Нітрогену, оксид і діоксид Карбону, сірководень, Хлор, соляна кислота, пари Гідраргуму, фенолів, синтетичних і лакофарбових матеріалів тощо.

Методи очищення викидів від газоподібних речовин за характером фізико-хімічних процесів із середовищами, які очищуються, поділяються на групи:

- промивання викидів розчинниками, що не вступають у хімічну взаємодію із забруднювачами (метод абсорбції);
- промивання викидів розчинами, які вступають у хімічну взаємодію із забруднювачами (метод хемосорбції);
- поглинання газоподібних забруднювачів твердими активними речовинами (метод адсорбції);
- використання каталізаторів;
- термічна обробка викидів;
- біохімічне очищення газів.

У процесі *абсорбції* проходить конвективна дифузія парота газоподібних компонентів газу в рідині-поглиначі (абсорбенті). Абсорбцію застосовують в основному для очищення вентиляційного повітря, яке відсмоктується від травильних і гальванічних ванн, а також для очищення технологічних газів. Процес абсорбції може здійснюватись періодично або безперервно. У першому випадку абсорбція триває до повного насичення розчинника газоподібним компонентом, у другому — газ, який очищується, перебуває у постійному контакті зі свіжою промивною рідиною.

Хемосорбція полягає у промиванні газу, який очищається, розчинами, які вступають у хімічну реакцію з окремими газоподібними компонентами, що містяться в газі. Хемосорбція знаходить застосування в основному для очищення техно-

логічних газів від сірководню, хлору, парів ртуті, сірчистого ангідриду.

Адсорбція — процес поглинання газів або парів поверхнею твердих тіл (адсорбентів) — активованого вугілля, силікагелів і алюмогелів, штучних і природних цеолітів, природних сорбентів тощо. Застосовуються за незначного вмісту парів та газоподібних компонентів у газі, який очищається. Адсорбенти використовують у вигляді зерен розміром 2—8 мм або у пилоподібному стані. Адсорбція поділяється на *фізичну адсорбцію та хемосорбцію*.

Каталітичні методи використовують для перетворення токсичних компонентів промислових викидів у нешкідливі чи менш шкідливі речовини. Застосовують каталітичні процеси *окиснення, відновлення та розкладання*. Наприклад, вихлопні автомобільні гази очищають від оксиду Карбону шляхом його окиснення до вуглекислого газу на мідно-мангановому каталізаторі, що є сумішшю оксидів Мангану та Купруму. Каталітичне відновлення оксидів Нітрогену до N_2 здійснюють за допомогою відновників (водню, метану або аміаку) за присутності платино-паладієво-родієвих каталізаторів у каталітичних реакторах.

Термічне знешкодження газів ґрунтується на високотемпературному спалюванні горючих домішок — окисненні знешкоджуваних компонентів киснем. Перевага методів термічного знешкодження — невеликі розміри установок і простота їх обслуговування, можливість автоматизації, висока ефективність знешкодження за низьких витрат, недолік — можливе вторинне забруднення атмосфери продуктами спалювання.

Біохімічне очищення газів полягає у сорбційному вловлюванні шкідливих домішок із газів, аеробному їх розкладанні та асиміляції мікроорганізмами. Застосовується для дезодорації повітря, видалення із промислових газових викидів домішок аміаку, формальдегіду, фенолу, ціанистого водню, сполук Нітрогену та Сульфуру тощо.

10.5.3. Очищення промислових стоків

Методи очищення стічних вод можна розділити на: **1) механічні та механохімічні, 2) хімічні та фізико-хімічні, 3) біологічні**. Коли ж вони застосовуються разом, то метод очищення та знешкодження стічних вод називається **комбінованим**. Використання того або іншого методу в кожному конкретному випадку визначається характером забруднення та ступенем шкідливості домішок (рис. 10.9).

Зміст механічних і механохімічних методів полягає в тому, що із стічних вод відділяються механічні домішки. Бага-

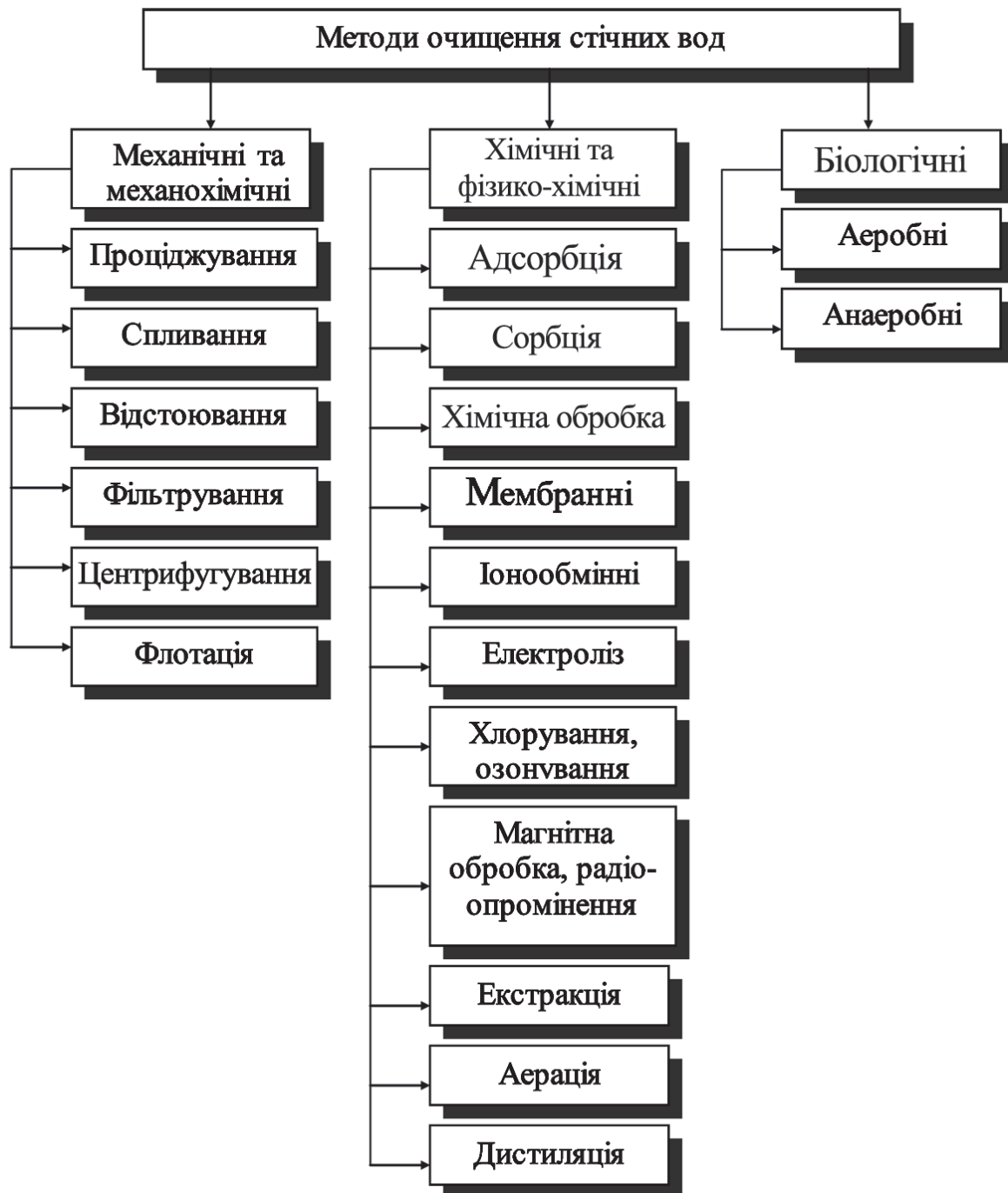


Рис. 10.9. Класифікація методів очищення стічних вод

то вловлених домішок як цінні речовини використовуються у виробництві повторно.

У випадку застосування фізико-хімічних методів очищення стічних вод видаляються тонкодисперсні та розчинені неорганічні домішки, руйнуються органічні речовини та речовини, які погано окиснюються.

Серед методів очищення стічних вод значну увагу приділяють біологічним методам, які засновані на використанні закономірностей біохімічного та фізіологічного самоочищення річок й інших водойм. Стічні води перед біологічним очищенням проходять механічне, а після нього (для видалення

хвороботворних бактерій) — і хімічне очищення, хлорування рідким хлором або хлорним вапном.

Вибір оптимальних технологічних схем очищення води — достатньо складне завдання, обумовлене переважним різноманіттям домішок, які знаходяться у воді, і високими вимогами, які ставляться до якості очищення води. Обираючи спосіб очищення домішок, ураховують не тільки їх кількість у стічних водах і склад, а й вимоги, які повинні задовольняти очищені води: у випадку скидання до водойм — ГДС (гранично допустимі скиди) і ГДК (гранично допустимі концентрації речовин), а у випадку використання очищених стічних вод у виробництві — вимоги, необхідні для здійснення конкретних технологічних процесів.

Ступінь очищення стічних вод у випадку скидання їх у водойми визначається нормативами якості води водойми у розрахунковому створі і значною мірою залежить від фонових забруднень. Для зниження концентрацій шкідливих домішок, що містяться у стічних водах, до необхідних величин потрібне достатньо глибоке очищення.

10.5.4. Екологічні заходи з оптимізації відпрацьованих земель і трансформованих екосистем

Землю часто називають годувальницею, однак не можна стверджувати, що ставлення до неї адекватне цій назві. Якщо говорити про Україну, то за останні десятиріччя значно погіршилися показники земельного фонду. Незначний приріст продукції землеробства досягається за рахунок стійкого виснаження та деградації ґрунтів. Зростає хімічне забруднення земельних ресурсів. Триває вилучення цінних сільськогосподарських земель під промислове та інше будівництво (понад 100 тис. га щорічно). Величезна кількість відпрацьованих земель і трансформованих екосистем унаслідок використання їх у гірничохімічній промисловості, для різного виду складовищ (полігонів твердих побутових відходів, виробничих відходів тощо) потребує їх оптимізації та відтворення. Зазвичай заходи відтворення порушених і трансформованих екосистем включають *фізичну* (за необхідності) *та біологічну рекультивацію* (фітомеліорацію).

Фітомеліорація — процес використання природної перетворювальної функції рослинності для оптимізації порушених екосистем. Фітоценотичний покрив, або автотрофний блок екосистеми, виробляє біомасу, фіксує вуглекислий газ і молекулярний азот, продукує кисень, бере участь у біохімічних циклах і ґрунтових процесах.

Виділяють три групи фітомеліорантів:

- спеціальні, в яких фітомеліоративна функція має провідне значення (парки, лісопарки, захисні смуги тощо);
- продуктивні, в яких перше місце відводиться одержанню продукції, а фітомеліорація має другорядне значення (ліси, поля, луки, сади, виноградники тощо);
- рудеральні (бур'яни), які спонтанно виконують фітомеліоративні функції.

Усі три категорії фітомеліорантів тою чи іншою мірою виконують перетворювальні **функції**: *меліоративну* (лісові культури, посадки та посіви рослин на рекультивованих землях), *сануючу* (санітарно-захисні смуги та лісові масиви), *рекреаційну* (парки та лісопарки), *інженерно-захисну* (полезахисні та протиерозійні смуги), *архітектурно-планувальну* (міська система озеленення), *естетичну* (духовне виховання людини). Важливе місце відводиться фітомеліорації змінених ландшафтів — еродованих земель, кар'єрів, звалищ, териконів тощо.

Меліоративний напрям фітомеліорації забезпечує підвищення меліорувальної ефективності фітоценозу, спрямованої на «поліпшення» едафотопу, кліматопу та біотичних компонентів: зооценозу та мікробоценозу. Одночасно відбувається «самополіпшення» фітоценозу. Це може відбуватися завдяки самій природі (саморегулювання), а може здійснюватися за допомогою людини (керовані біогеоценози: плантації, газони, квітники, сади, польові культури тощо).

Інженерно-захисна фітомеліорація з перевагою латерально-активної функції спрямована на протидію різним геофізичним потокам, зокрема: а) вітро-сніговим; б) вітро-пило-піщаним; в) вітро-пило-димовим; г) вітро-водо-піщаним; д) водним; є) водно-грунтовим. Кожному з цих латеральних потоків відповідають різні методи та способи фітомеліоративних заходів.

Сануюча фітомеліорація виконує санітарно-гігієнічні функції — кисневидільні, фільтруючі, фітонцидні, іонізуючі тощо. Найвищу сануючу фітомеліоративну ефективність має висока зелень лісів і парків (деревні посадки).

Рекреаційна фітомеліорація пов'язана з використанням рослинного покриву міст і приміських зон для відпочинку населення (лісопарки, парки, лугопарки, гідропарки, сади та сквери, набережні та бульвари). Сюди варто віднести і зелень колективних садів і городів, де праця поєднана з фізичним і психологічним відпочинком людей, які часто страждають на гіподинамію.

Етико-естетична фітомеліорація базується на досягненнях фітодизайну, виховує в населенні високу духовність, розвиває естетичні смаки.

Архітектурно-планувальна фітомеліорація забезпечується системою озеленення міст. В Україні ця система озеленення одержала назву комплексної зеленої зони міст і робітничих селищ.

Слід зазначити, що в умовах урбанізованого ландшафту весь рослинний покрив відіграє фітомеліоративну функцію. Виділяють **три категорії фітомеліорантів**:

1) *спеціальні*, де зовсім виключається господарська діяльність, спрямована на одержання продукції (лісопарки, парки, сади та сквери, заповідники, заказники тощо);

2) *продукційні*, де фітомеліоративні функції виконуються без шкоди для головного продукційного використання (ліси, агроценози, помологоценози, вітаценози, стрипоценози, пратоценози тощо);

3) *рудеральні* — спонтанна рудеральна (бур'яниста) рослинність, яка часто виконує таку ж роль, як і вищезгадана культурна рослинність міста.

Ефективність фітомеліоративної системи визначається як:

- *відношення кількості поглинутої забруднюючої речовини до загальної кількості речовини, яка надходить ззовні за певний час* (у випадку фільтруючої функції — за механізмом опору зовнішнім впливам);

- *відношення кількості виділеної рослинами речовини (за певний час у певному обсязі) до кількості речовини у висхідний момент часу до початку роботи фітомеліоративної системи* (у випадку роботи системи — за принципом посилення);

Для визначення фітомеліоративної ефективності рекультивувальних систем використовуються непрямі показники (наприклад, вміст гумусу у ґрунті до рекультивації та після того, як мине певний період після введення в дію фітомеліоративної системи).

Найбільшою ефективністю вирізняються багатовидові, багатоярусні фітомеліоративні системи деревинно-чагарникових насаджень. Трав'янисті рудеральні угруповання в цілому поступаються за ефективністю природним трав'янистим і деревно-чагарниковим, але виконують ряд важливих функцій в урбоекосистемі (закріплюють порушені субстрати, перешкоджаючи запиленню атмосфери, поглинають значну кількість токсичних речовин, що надходять у навколишнє середовище з викидами підприємств і вихлопних газів від автотранспорту, наприклад до 400 г Плюмбуму/га на рік).

Різні фітомеліоративні системи функціонально доповнюють одна одну, тому в кожному випадку доцільно використовувати всі можливі фітомеліоранти в комбінаціях, що дозволяють максимізувати бажаний ефект.

10.6. Засоби зберігаючої технології у виробництві

Основна ідея. Впровадження засобів зберігаючої технології дозволяє попередити забруднення навколишнього середовища, а отже, прогресивніший метод боротьби за чисте довкілля, ніж очищення гідросфери, атмосфери та ґрунтів від забруднювачів.

Смислові зв'язки. Засоби зберігаючої технології — сфера людської діяльності (рільництво, тваринництво, виробництво) — попередження забруднення довкілля — чисте довкілля.

Ключові терміни. Агрономічна меліорація, поукісні посіви, сільськогосподарські тварини, тваринництво, стічні води, природні дисперсні сорбенти, екологізація виробництва, попереджувальний підхід, екологічно чисте виробництво.

Мета — охарактеризувати принципи попереджувального підходу до виробництва, ведення рільництва і тваринництва, внаслідок чого вдається досягти створення умов для попередження забруднення навколишнього середовища цими сферами людської діяльності.

10.6.1. Агрономічні засоби зберігаючого обробітку земель

Відновлення та підвищення родючості ґрунтів засобами агротехніки отримало назву **агрономічної меліорації**. Її завдання — оптимізація всіх режимів ґрунту: поживного, водного, повітряного, теплового та фітосанітарного. Агрономічна меліорація охоплює заходи «сухого» землеробства, що базуються на обробітку ґрунту без перевертання скиби, мульчуванні його стернею та іншими поживними рештками; застосування напівпарового обробітку ґрунту, досходового і післясходового боронування для боротьби з бур'янами та профілактичні заходи, що зменшують ураженість посівів шкідниками й хворобами; заходи для розширеного відтворення родючості ґрунту: внесення органічних і мінеральних добрив, у тому числі залишення в полі нетоварної частини врожаю, посів сидеральних культур тощо.

Агрономічна меліорація створює високий рівень культури землеробства, сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур, поліпшує режим елементів живлення ґрунту, особливо фосфатний і калійний (вміст рухомих P_2O_5 підвищується на 30—50 %). Проте Нітрогеновий режим по-

требує пильної уваги. Перехід на безполицевий обробіток ґрунту зменшує розклад гумусу та вивільнення мінерального Нітрогену. Тому норми Нітрогену підвищують на 5—10 %, щоб компенсувати нестачу цього елемента, що виникає у холодні весни, коли знижується мікробіологічна активність щодо вивільнення мінерального Нітрогену.

Водний режим під час агрономічної меліорації також покращується. Заходи сухого землеробства, особливо ґрунтозахисний безполицевий обробіток ґрунту з мульчуванням його стернею та іншими пожнивними рештками, сприяють снігозатриманню, зменшенню промерзання ґрунту в глибину та втрат вологи через випаровування, її річний вологонакопичувальний ефект становить 30—50 мм. Саме він і має вирішальне значення для гарантування врожайності культур під час ґрунтових і атмосферних посух.

Заходи щодо розширеного відтворення родючості сприяють утворенню у ґрунті рухомого гумусу, що забезпечує структуроутворення. Формується водотривка структура, яка поліпшує повітряний і водний режими ґрунту. Систематичне застосування безполицевого обробітку сприяє вертикальній орієнтації пор аерації, що на 30 % підвищує водопроникність ґрунту, а його несучу здатність — удесятеро. Вертикальна орієнтація пор аерації поліпшує всі ґрунтові режими. Це пояснюється просто: корені рослин, наприклад озимої пшениці, тягнуться донизу за вологою та поживою. Коли корені відмирають і гуміфікуються, залишається міцна гумусована трубочка. Поставлена вертикально, ця трубочка витримує великі навантаження і підвищує несучу здатність ґрунту у випадку проходження полем важких машин і знарядь.

За розширеного відтворення родючості ґрунту процеси гуміфікації пригнічують всілякі інфекції, захворювання рослин кореневими гнилями та іншими хворобами. Тому внесення у ґрунти будь-якої органіки поліпшує фітосанітарний режим і зменшує захворюваність рослин.

Вплив агрономічної меліорації на урожайність культур вивчали під час двох тривалих стаціонарних дослідів, які проводили на чорноземі типовому та південному. Аналіз динаміки змін врожайності на Новоодеській держсортодільниці, де вже 30 років проводяться порівняльні випробування полицевого та безполицевого обробітку ґрунту, показує, що чим далі відходить час, коли застосовувалося перевертання скиби, тим вищі прирости врожаїв сільськогосподарських культур.

Напівпаровий обробіток ґрунту застосовується для боротьби з бур'янами. Час, що залишається між збиранням попередніх культур і посівом озимих, між збиранням ранніх зернових і настанням морозів, доцільно використати для про-

вокування сходів бур'янів і знищення їх обробіткою ґрунту. Бур'яни краще за все знищуються на стадії білих ниточок культивацією паровими культиваторами на глибину 4—5 см. Культивації слід повторювати через 14—18 діб залежно від вологості ґрунту та температури повітря. Через 3—4 роки застосування напівпарового обробітку засміченість бур'янами полів знижується вдвічі-втричі. Із цього часу замість напівпарового обробітку краще висівати поукісні та сидеральні (тобто такі, що заорюють у ґрунт) культури. Напівпаровий обробіток, як і паровий, обумовлює зростання втрат гумусу. У випадку посіву поукісних і сидеральних культур ця тенденція уповільнюється або цілком зникає. Чим менше ґрунт «гуляє» без рослин, тим менше він спрацьовується. У Швейцарії, наприклад, на зиму взагалі заборонено законом залишати поля без рослинного покриття.

Поукісні посіви висівають слідом за збиранням ранніх зернових без попереднього обробітку, прямо в стерню. Як поукісні культури можуть використовуватися кормові суміші, кукурудза на зелений корм, ярий і озимий ріпак. За умови дотримання ранніх строків збирання зернових культур як пожнивні культури можна використовувати гречку та просо на зерно.

До відтворення родючості залучається нетоварна частина врожаю. Найдоцільніше для цієї мети використовувати солому озимої пшениці, стебла соняшнику, кукурудзи, бадилля картоплі та овочевих культур.

Тонна сухих пожнивних решток із додаванням 10 кг діючої речовини Нітрогену еквівалентна 5 т напівперепрілого гною. У разі залишення на полі соломи озимої пшениці комбайн працює з подрібнювачем, без копнувача; подрібнена солома повітряним потоком розсівається по стерні. Відразу після проходу комбайна поле обробляють в один слід важкою дисковою бороною для перемішування соломи з ґрунтом.

У процесі збирання кукурудзи на зерно стебла подрібнюють комбайном і розсівають стернею. Вони також перемішуються з верхнім шаром ґрунту. Стебла соняшнику після збирання врожаю подрібнюють проходом у 1—2 сліди важкої дискової борони. Після цього проводиться глибокий плоскорізний обробіток ґрунту.

10.6.2. Зоотехнічні засоби попередження забруднення середовища

Виробництво тваринницької продукції ґрунтується на трансформуванні рослинного білка, вуглеводів, жирів і продукції тваринного походження. Однак тільки частина рос-

линного білка та інших органічних і мінеральних речовин, спожитих тваринами з кормом, перетравлюється й використовується для приросту маси тіла, продукування молока, м'яса тощо. Інша частина корму виділяється з організму тварин у вигляді неперетравлених залишків та інших продуктів трансформування корму.

Сільськогосподарські тварини, особливо велика рогата худоба та свині, споживають багато рослинних кормів, які піддаються складним біохімічним перетворенням в організмі жуйних тварин і хімічним реакціям після виділення екскрементів, а потім у період зберігання та утилізації останніх. При цьому утворюються хімічні сполуки, які виділяються до навколишнього середовища і поширюються в ньому. Із фекаліями та сечею тварин виділяються аміни, сірководень, метан. Ці сполуки мають стійкий неприємний запах, який можна істотно ослабити вживанням певних гігієнічних і санітарних заходів (своєчасне видалення рідких і твердих екскрементів, провітрювання приміщень, їх санація, деяке обмеження вмісту Нітрогену в кормах, заміна рослинного білка на синтетичний тощо).

Тваринництво — джерело забруднення не тільки повітря, а і поверхневих та ґрунтових вод. Найнебезпечніші джерела забруднення ґрунтових вод — гноєсховища, особливо відкриті бурти гною, розміщені неподалік від водойм, малих річок, струмків. Гноївка, що витікає з гнойового наземного штабеля, стікає поверхнею ґрунту, проникає углиб. Унаслідок цього до ґрунтових вод потрапляють переважно нітрати та в меншій кількості аміак, органічні речовини. Джерелом забруднення довкілля є також стічні води з території тваринницьких ферм, вигульних майданчиків для тварин тощо. Екскременти тварин мінералізуються у поверхневому шарі ґрунту, вивільнені компоненти гною, не поглинені рослинами (аміак, нітрати), можуть звітрюватися у повітря або вимиватися у ґрунтові води. Для очищення стічних вод тваринницьких ферм від аміаку та нітратів можуть використовуватись такі методи: віддування вільного аміаку, хлорування, озонування, переведення амонійного Нітрогену NH_4^+ до молекулярного азоту N_2 біологічним способом, видалення амонійного Нітрогену методом іонного обміну.

Ефективним засобом запобігання забрудненню навколишнього середовища (як атмосфери, так і гідросфери) відведення тваринництва є застосування у складі підстилки у стайнях тварин природних дисперсних сорбентів (природні цеоліти, бентоніти, палигорськіти, глауконіти), які сорбують

аміак і попереджають його потрапляння в ґрунт. Використання підстилка може з успіхом використовуватись у подальшому як органічне добриво пролонгованої дії.

10.6.3. Технологічні засоби у промисловому виробництві — запорука збереження природного середовища (екологічно чисте виробництво)

Один із напрямків екологізації виробництва — розробка ефективних засобів очищення промислових, комунальних і тваринницьких стічних вод та промислових і транспортних викидів до атмосфери. Проте значно перспективніші заходи, спрямовані на зменшення або повну ліквідацію шкідливих відходів, що забруднюють довкілля. Головний напрям — перехід до використання замкнених технологій, для яких характерна відсутність обміну речовин із зовнішнім середовищем. Стосовно технологічної операції це можна розуміти як процес, у якому відсутні викиди твердих, рідких і газоподібних речовин — відходів. Важливе значення тут відводиться розробці нових альтернативних технологій в енергетиці, нетрадиційних матеріалів, розробці технологій на основі природних (екологічних) процесів; саме тут важливе значення має використання останніх досягнень науки і техніки.

Концепція реалізації екологічно чистого виробництва базується на певних методологічних засадах і передбачає **попереджувальний підхід**. Він полягає в запровадженні екологічних удосконалень з одночасним отриманням економічного прибутку, а не в інвестуванні додаткових коштів у технології з уловлювання забруднюючих речовин та утилізації відходів. За умови застосування попереджувального підходу навіть незначні інвестиції забезпечують значну економію. Такий підхід потребує, як правило, зміни корпоративної культури підприємства і передбачає оптимізацію виробничих процесів, впровадження енергоощадливих і маловідхідних технологій, використання екологічно чистої сировини, зменшення обсягів утворення токсичних і небезпечних речовин. Запропонована концепція має на увазі системний підхід до охорони довкілля на всіх фазах виробництва й реалізації продукції з метою упередження та мінімізації як найближчих, так і віддалених ризиків для здоров'я людини та стану довкілля.

Отже, розвиток екологічно чистого виробництва сприяє формуванню ефективних економічних засад розв'язання екологічних проблем, насамперед у промисловому, паливно-енергетичному, агропромисловому, транспортному, житлово-

комунальному секторах економіки, в інфраструктурі надання послуг у виробничій та соціальній сферах.

Мінімізація обсягів забруднення та відходів у джерелах їх утворення досягатиметься шляхом трансформацій, внесених у виробничий процес. Зміни у ньому, крім заміни сировини та технологій, передбачають також поліпшення методів управління.

Принципи впровадження екологічно чистого виробництва

Виробництво — це раціональне використання сировини, матеріалів та енергоносіїв; мінімізація застосування або виділення токсичних матеріалів і зменшення обсягів усіх видів викидів і скидів та утворення відходів на рівні джерела їх виникнення шляхом зміни сировини та технологій; поліпшення практики управління, адміністрування, впровадження економічних та інформаційних заходів.

Життєвий цикл продукції — зменшення негативного впливу процесів виробництва продукції на умови життєдіяльності людини, а також довкілля упродовж усього її життєвого циклу (від проектування до використання та утилізації або захоронення відходів) шляхом змін у самій продукції та поводженні з нею.

Надання послуг — інтеграція екологічних аспектів у процесі розробки та надання послуг.

Концепцією передбачені національні пріоритети України у сфері екологічно чистого виробництва, серед яких:

- забезпечення стабільного соціально-економічного розвитку на основі раціонального використання, охорони та відновлення природно-ресурсного потенціалу;
- досягнення показників ресурсо- та енергоємності, які забезпечили б необхідний рівень незалежності держави;
- перехід на замітники традиційної сировини;
- упровадження відновлюваних енергоресурсів та нових видів палива;
- перехід до господарювання на засадах максимальної продуктивності ресурсів.

Національні пріоритети розвитку екологічно чистого виробництва реалізуються шляхом:

- перегляду екологічних нормативів забруднення та спеціального використання природних ресурсів, а також нормативів їх економічного регулювання з метою поступового наближення до стандартів ЄС;
- розробки та реалізації сукупності економічних і екологічних чинників розвитку виробництва;
- удосконалення механізму інтеграції екологічних чинників у стратегію економічного розвитку;

- створення системи збалансованого управління виробництвом, що стимулює охорону довкілля та забезпечує ощадливе використання природних ресурсів;
- поширення інформації про засади екологічно чистого виробництва.

Втілення концепції екологічно чистого виробництва потребує певного **організаційно-економічного механізму**, який передбачає:

- державне регулювання процесу впровадження та розвитку екологічно чистого виробництва, раціональне використання можливостей економіки держави, особливо її фінансових ресурсів, виробничого та науково-технічного потенціалів;
- визначення суспільних пріоритетів з огляду на конкретну ситуацію, в якій здійснюватиметься перехід до екологічно чистого виробництва, та включення їх до програм соціально-економічного розвитку;
- поєднання державного впливу з ринковими формами управління, стимулювання якісних змін шляхом пріоритетного фінансування, кредитування, матеріально-технічного, інформаційного забезпечення впровадження та розвитку екологічно чистого виробництва;
- економіко-екологічний моніторинг процесу переходу до екологічно чистого виробництва, головними завданнями якого є збирання, вивчення та підготовка інформації для аналізу показників, що визначають рівень упровадження цього виробництва, його вплив на стан природних ресурсів, довкілля і загалом на економіку держави, її регіонів, індивідуальних суб'єктів господарювання й населення;
- прийняття обґрунтованих і об'єктивних управлінських рішень суб'єктами господарювання та громадськістю, повсюдне поширення екологічних знань.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Безель В. С. Популяционная экотоксикология млекопитающих. — М.: Наука, 1987. — 129 с.

Безель В. С. Экологическая токсикология: популяционный и биоценотический аспекты. — Екатеринбург: Изд-во «Голицинский», 2006. — 280 с.

Бессонова В. П. Состояние пылицы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами // Экология. — 1992. — № 4. — С. 45—50.

Войницький А. П., Дубровський В. П., Боголюбов В. М. Техно-екологія / за ред. В. М. Боголюбова. — К.: Аграрна освіта, 2009. — 533 с.

Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. — К.: Вища школа, 2005. — 671 с.

Запольський А. К., Салюк А. І. Основи екології. — К.: Вища школа, 2003. — 358 с.

Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва / за ред. Д. І. Мазоренка, В. Г. Цапка. — К.: Основа, 2007. — 392 с.

Катаев Г. Д. Оценка состояния сообщества млекопитающих северотаежных экосистем в окрестностях предприятия по производству никеля // Экология. — 2005. — № 6. — С. 460—465.

Клименко Л. П. Техноекологія. — Одеса: Фонд Екопринт; Сімферополь: Таврія, 2000. — 542 с.

Клименко Л. П. Техноекологія. — Миколаїв: Вид-во МФ НАУКМА, 2000. — 304 с.

Коршиков И. И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. — К.: Наук. думка, 1996. — 238 с.

Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація. — К.: Кондор, 2003. — 288 с.

Кучерявий В. П. Загальна екологія. — Львів: Світ, 2010. — 520 с.

Кучерявий В. П. Фітомеліорація. — Львів: Світ, 2003. — 540 с.

Мухачева С. В. Воспроизводство населения рыжей полевки, *Clethrionomys glareolus* (Rodentia, Cricetidae), в градиенте техногенного загрязнения среды обитания // Зоологический журнал. — 2001. — Т. 80, вып. 12. — С. 1509—1517.

Національна концепція впровадження та розвитку екологічно чистого виробництва в Україні. — Одеса: ІПРЕЕД НАН України, 2005. — 24 с.

Промислова екологія / С. О. Апостолук, В. С. Джигирей, А. С. Апостолук та ін. — К.: Знання, 2005. — 474 с.

Северюхина О. А., Жуйкова Т. В., Галимшина Л. Л. Устойчивость природных ценопопуляций в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами (на примере семенного потомства) // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку. Матер. IV Міжнар. наук. конф. — Донецьк: Лебідь, 2003. — С. 147—150.

Стратегічні напрями переходу України на засади сталого розвитку в контексті її інтеграції до Європейського співробітництва / Під ред. Е. В. Соботовича. — К.: Салютіс, 2005. — 44 с.

Функциональное единство популяций / С. С. Шварц, Э. Д. Гуревич, В. Г. Ищенко, В. Ф. Соснин // Журн. общ. биол. — 1972. — Т. 33, № 1. — С. 3—14.

Хильчевський В. К. Водопостачання і водовідведення. — К.: Київський ун-т, 1999. — 319 с.

Хумарова Н. И. Концептуальные подходы формирования стратегии экологически чистого производства в Украине // Nowa Ekonomia a Spoleczenstwo. — Lublin: Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawla II, 2006. — Р. 434—440.

Шварц С. С. Популяционная структура вида // Зоологический журнал. — 1967. — Т. 20, № 2. — С. 1457—1469.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Національна екологічна політика України: оцінка і стратегія розвитку (http://www.un.org.ua/files/national_ecology.pdf)

Міністерство екології та природних ресурсів України (<http://www.menr.gov.ua>)

Водний кодекс України ([http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=213 %2F95- %E2 %F0](http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=213_%2F95-%E2%F0))

Закон України «Про охорону земель» (<http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=962-15>)

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (<http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2707-12>)

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (<http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1264-12>)

Байкальська екологічна хвиля (<http://www.baikalwave.eu.org>)

Інформаційний місячник «Пропозиція» <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=2460&number=79>

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Сформулюйте екологічні проблеми функціонування АЕС.
2. Екологічні проблеми гірничохімічної промисловості.
3. Вплив на довкілля виробництва фосфорної кислоти.
4. Вплив на довкілля виробництва агломерату.
5. Вплив на довкілля ливарного виробництва.
6. Вплив на довкілля автомобільного транспорту.
7. Основні забруднювачі атмосфери.
8. Забруднення гідросфери виробництвом.
9. Які екологічні наслідки забруднення ґрунту важкими металами?
10. Біозабруднення екосистем алергенними рослинами-бур'янами.
11. Охарактеризуйте міграцію забруднювачів в атмосфері.
12. Основні способи очищення промислових викидів в атмосферу.
13. Категорії фітомеліорантів.

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Перспективи розвитку енергетики України.
2. Забруднення гідросфери нафтодобувною галуззю.
3. Перспективи розвитку виробництв фосфорних добрив в Україні та екологічні наслідки цих виробництв.
4. Негативні екологічні аспекти чорної металургії.
5. Екологічні загрози функціонування машинобудівного комплексу.
6. Нові екологічно безпечні види транспорту.
7. Хімічні забруднювачі атмосфери.
8. Бактеріальне та біологічне забруднення гідросфери.
9. Проблеми евтрофікації вод і шляхи їх вирішення.
10. Міграція мінеральних добрив у ґрунтах.
11. Аналіз основних джерел фінансування природоохоронної діяльності в Україні.
12. Перспективи екологізації сільського господарства.
13. Очищення викидів в атмосферу від пилу та апарати для реалізації цього процесу.
14. Біологічні методи очищення стоків.
15. Застосування фітомеліорантів для рекультивації земель, порушених гірничохімічним виробництвом.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Одним із механізмів утворення оксидів Нітрогену у процесі горіння палива є: а) аеродинамічний; б) швидкий; с) надлишковий; d) хімічнозв'язаний?
2. До основних технологічних процесів гірничодобувної промисловості відносяться: а) свердловинна геотехнологія; б) виплавка металу; с) виробництво добрив; d) зміна ландшафту?
3. Фосфогіпс утворюється у процесі виробництва: а) сірчаної кислоти; б) фосфорної кислоти; с) калійних добрив; d) кальцинованої соди?
4. Виплавка благородних металів відноситься до: а) чорної металургії; б) благородної металургії; с) кольорової металургії; d) ювелірної промисловості?
5. Паливом для авіаційних двигунів є: а) бензин; б) дизпаливо; с) керосин; d) трансформаторне масло?
6. До забруднювачів атмосфери відноситься: а) чадний газ; б) ефірні олії; с) кисень; d) пари води?
7. Забруднення гідросфери пестицидами відноситься до забруднення: а) радіоактивного; б) механічного; с) хімічного; d) біологічного?
8. Важкі метали у ґрунті не можуть: а) мігрувати у вигляді розчинних сполук; б) потрапляти в організм ґрунтових мешканців; с) сублімуватись; d) накопичуватися в рослинах і передаватися ланцюгами живлення?
9. До алергенних рослин-бур'янів відноситься: а) пирій; б) очерет; с) конвалія; d) амброзія?
10. До основних механізмів міграції радіонуклідів у ґрунті відноситься: а) крекінг; б) каталіз; с) дифузія; d) турбулізація?
11. Термічне знешкодження газів ґрунтується на: а) високотемпературному спалюванні горючих домішок; б) абсорбційному вловлюванні шкідливих домішок; с) каталітичних методах; d) адсорбційних методах?
12. Мембранні методи очищення стоків відносяться до: а) біологічних; б) хімічних і фізико-хімічних; с) механічних і механохімічних; d) термічних?
13. Однією із груп фітомеліорантів є: а) рудеральні; б) біологічні; с) дикі; d) універсальні?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	b	5	c	9	c	13	a
2	a	6	a	10	c		
3	b	7	c	11	d		
4	a	8	a	12	c		

Розділ 11

УРБООЕКОЛОГІЯ

Основна ідея. Стійкий стан і динамічну екологічну рівновагу в міських екосистемах можна забезпечити лише шляхом гармонізації обміну речовини та енергії між блоками живої та неживої природи. Антропогенні зміни в урбоекосистемі повинні бути поступовими і передбачати правильний розподіл антропогенних навантажень і необхідні умови адаптації людини та природного середовища.

Смислові зв'язки. Стадії урбанізації — екологічне планування міського розвитку — місто як складна соціоекосистема — кібернетичні стосунки в урбоекосистемі — комплексний урбогенний градієнт середовища — концепція біоіндикації.

Ключові терміни. Урбанізація, квазіприродне середовище, артеприродне середовище, агемеробний, олігогемеробний, мезогемеробний, еугемеробний, полігемеробний, метагемеробний біогеоценози, здоров'я міської екосистеми.

Мета — проаналізувати природно-просторові ресурси міста, повітряний басейн міста, стан джерел питної води, поверхневих водних об'єктів, ґрунтового покриття, тваринного світу, процеси озеленення у місті, визначити потреби у ресурсах для функціонування різних типів міських систем; у результаті — здійснювати міське екологічне планування.

11.1. Об'єкт і предмет урбоекоекологічних досліджень

Урбоекоекологія — нова галузь екології, яка сформувалась у 1960—1970-ті роки як відповідь на негативні урбанізаційні процеси з їх переушільненням міської забудови, демографічним пресом, забрудненням міського довкілля, а головне — безжальним витісненням природних елементів ландшафту, передусім його біогеоценозів, які і стали об'єктом дослідження вчених-урбоекоекологів.

Предмет урбоекоекології — процеси розвитку міських біогеоценозів у складі екотопів (ґрунт, клімат) і біоценозів (об'єднання рослин, тварин і мікроорганізмів). Сьогодні відбувається накопичення знань про стан окремих компонентів міських біогеоценозів, проте розрізнені дані не дають повного уявлення про їх функціонування. Гадаємо, в осяжному майбутньому екологічна наука завдяки системному підходу зможе формалізувати всі явища, стани та процеси, які відбуваються в екосистемах окремих міст, їх районів чи мікрорайонів.

Урбоекологія вже сьогодні володіє інструментальними та біологічними методами індикації міського середовища, які дають можливість виявити дію урбогенних факторів і встановити рівень життєвості популяції людей. Здоров'я міської екосистеми — сума здоров'я всіх її компонентів (рослин, тварин і мікроорганізмів), серед яких осторонь стоїть людина. Тому урбоеколог має пильно стежити за урбогенними змінами довкілля, особливо його забрудненням (хімічним, фізичним, біологічним і радіаційним). Разом з урбосоціологами (урбаністами) він має постійно дбати про оптимізацію міської екосистеми.

Загалом урбоекологія — наука про взаємозв'язки та взаємодію у часі й просторі двох систем: міської (у складі підсистем — соціальної, технічної, енергетичної, інформаційної, адміністративної тощо) та природної (представленої біогеоценотичним покривом міста).

11.2. Природно-просторові ресурси міста

Слово «город», яке знаходимо у рукописах часів Київської Русі, походить від слова «городити», «огороджувати». Точніше, *місто* — *огороджена укріплена місцевість*. Спочатку люди ставили огорожу від хижих звірів, потім — від ворогів. У будь-якому випадку за огорожену територію сходилися люди, щоб уникнути небезпеки. Там вони осідали, і поступово сільське поселення переростало у місто.

Соціальний аспект трансформації села у місто (від латинського *urbos*) полягає головним чином у формуванні організованого соціального ядра та початку соціального розподілу праці. Стосовно природи, як стверджує Л. Мамфред, у містах виявляється тенденція до зміни, знищення або заміни звичайних умов місцевості штучними, які посилюють владу людини і створюють ілюзію її повної незалежності від природи.

Виділяють **три основні типи історичних міст**, які різко відрізняються між собою рівнем урбанізації:

- давні міста (до IV ст. до н. е.);
- середньовічні міста (V — середина XVII ст.);
- міста нового та новітнього часів (із середини XVIII ст. до наших днів).

Давні міста, незважаючи на їхні розміри та велику кількість мешканців, навряд чи можна назвати урбанізованими.

На рубежі нової ери (населення нашої планети тоді становило близько 230 млн чоловік) окремі міста Стародавнього Сходу досягають величезних розмірів (наприклад, Вавилон і Александрія — до 500 тис.). У період свого розквіту Рим

налічував близько 1,5—2,0 млн мешканців. Хоча ці міста і мали певні ознаки урбанізації (висока щільність забудови, значні території заощень, помітна зміна природного ландшафту), урбанізованими їх ще не називають.

Рим із його гігантськими комплексами видовищних споруд (Великий цирк на 250 тис. глядачів, Колізей із амфітеатром на 87 тис. глядачів), храмами, тріумфальними арками, віадукми мав досить розвинений житловий фонд та інженерне обладнання. Його водопроводи поставляли мешканцям міста достатню, навіть за нинішніми мірками, кількість свіжої питної води. Однак у соціальному плані місто не було рівноправним; поряд із кварталами патриціїв можна було побачити тісну 3—6-поверхову забудову кварталів міської бідноти, де не були вирішені елементарні питання каналізації та сміттєзбирання. У зимовий період повітря Рима забруднювалося димом домашніх вогнищ.

Середньовічні міста, які починають оживати після тривалого застою, пов'язаного із занепадом Римської імперії, також не мають сучасних ознак урбанізації. У містах проживає лише 3—5 % населення планети (у цей період населення Землі коливається в межах 440—550 млн). Більшість міст того часу налічує 5—20 тис. мешканців. Лише в окремих столичних містах, таких як Лондон, Париж, Мадрид, Лісабон, Москва, населення становило 200—500 тис.

Із середини XVII ст. зі зростанням темпів капіталістичного розвитку набирає обертів урбанізація. У цей час кількість населення Землі збільшується до 952 млн у 1800 р. і до 1 656 млн у 1900 р. Частка міського населення зростає, але навіть на початку XX ст. вона не перевищує 10—20 %. Щоправда, вже тоді в Англії вона становить близько 70 %, що дає підстави стверджувати, що саме ця країна стала першою урбанізованою країною світу (у США, Німеччині, Франції частка міського населення тоді не перевищувала 40 %).

На першій стадії урбанізації місто практично мало чим відрізняється від села, яке також було відгороджене від полів земляним валом або частоколом, мало постійну забудову, загальні місця поховання та звалищ. У селі вже були ритуальні будівлі, які виділялись серед примітивної забудови.

Раннє місто, як і село, використовувало в основному органічні джерела енергії — рослинні та тваринні, місцеві джерела води. Як для однієї, так і для іншої форми розселення характерні тривалий обробіток землі, використання у вигляді добрив людських і тваринних екскрементів. Цей період розвитку поселень відрізняється низькою концентрацією неорганічних відходів (скляних і металевих), а також відсутністю забруднення повітря. Розмір міста і кількість його



Рис. 11.1. Модель можливих екологічних і соціальних наслідків урбанізації

населення на першій стадії урбанізації залежали від площі та продуктивності сільськогосподарських земель. Оточуючі місто природно-територіальні комплекси перебували у рівновазі та взаємозв'язку.

Друга стадія урбанізації пов'язана з подальшим економічним розвитком, який характеризується інтенсивним використанням сільських природних і трудових ресурсів. Переробка сільськогосподарської сировини, а також гірничі розробки та виплавка металів вимагали залучення такої кількості населення, яку б могла прогодувати земля, що належала місту. Розвиток економічних зв'язків між містами зумовив будівництво доріг, розвиток морського та річкового транспорту. Ця стадія відрізняється в основному лише деякою перевагою міста над сільськогосподарським оточенням.

Третя стадія урбанізації, яка збіглася з періодами технічної та науково-технічної революцій, відрізняється стійкою перевагою урбанізованого середовища над природними ландшафтами та трансформацією невеликих урбанізованих територій у великі. На даній стадії природне середовище міста якісно змінюється, зумовлюючи негативні екологічні та соціальні наслідки (рис. 11.1). На території міста утворюються значні площі штучної підстилкової поверхні, змінюється ґрунтовий покрив. Нові джерела енергії, небачене раніше промислове виробництво, зокрема сталеварне, коксове, хімічне, автомобільний транспорт викидають у повітря та воду відходи, які не можуть переробити природні саморегулювальні екосистеми.

Міста розростаються у бік передмість і витісняють природні ландшафти. Упродовж тривалого історичного періоду довкола щільного міського центру формуються концентричні урбанізовані смуги, які мають різну густоту забудови (рис. 11.2). Якщо площа середньовічного міста становила сотні гектарів, а інколи і менше (середньовічний Львів «за мурами» займав лише 50 га), то сучасне місто охоплює величезні території, які досягають сотень квадратних кілометрів.

Розростаючись по горизонталі, сучасне місто одночасно росте й угору. Фізична маса його споруд на одиницю площі не меншає, вона значно більша від густо забудованих кварталів середньовічного міста. Нагромадження будинків сучасної висотної забудови немов притискує його мешканців до землі. Сильні вітри, які утворюються в «ущелинах» кварталів, роблять міжбудинковий простір ще незатишнішим.

Росте концентрація міського населення, його густота в окремих містах досягає небувалих величин. Наприклад, у Парижі вона донедавна становила 250 тис. чол./км², що в 35 разів більше середньої густоти міського населення та в 650 разів більше середньої густоти сільського населення Франції. На кожного парижанина припадає лише 40 м² землі і тільки 3 м² зеленого простору. У сучасному містобудуванні ведеться пошук нових просторових рішень, в основу яких покладено принцип «вільної» забудови, умілого розміщення будинків різної поверховості, використання характерних рис місцевого рельєфу. Найперше, на що звертають увагу, — забезпечення домінування довколишньої природи. Може, це й ілюзорне відчуття, створене архітектурним генієм, але воно так необхідне мешканцю міста, якому «бракує» природи. Саме так сприймаються нові житлові райони Вільнюса — Жирмунай і Лаздинай, відзначені у свій час Ленінською премією СРСР.

Гармонійний зв'язок забудови із природним ландшафтом відчувається у багатьох житлових масивах Москви (Кунцево, Орехово-Борисово, Зеленоград), Києва, Дніпропетровська, Таллінна. У країнах Східної Європи ці принципи застосовані в житловій забудові Варшави, Софії, Пітешті (Румунія), Дрездена (Німеччина), Егера, Печа, Дунайвароша (Угорщина). У Белграді для кращого узгодження будівель із ландшафтом архітектори змінили навіть звичайний силует житлових будинків. Часто для пом'якшення урбанізованих елементів доводиться створювати організований і добре озеленений простір.

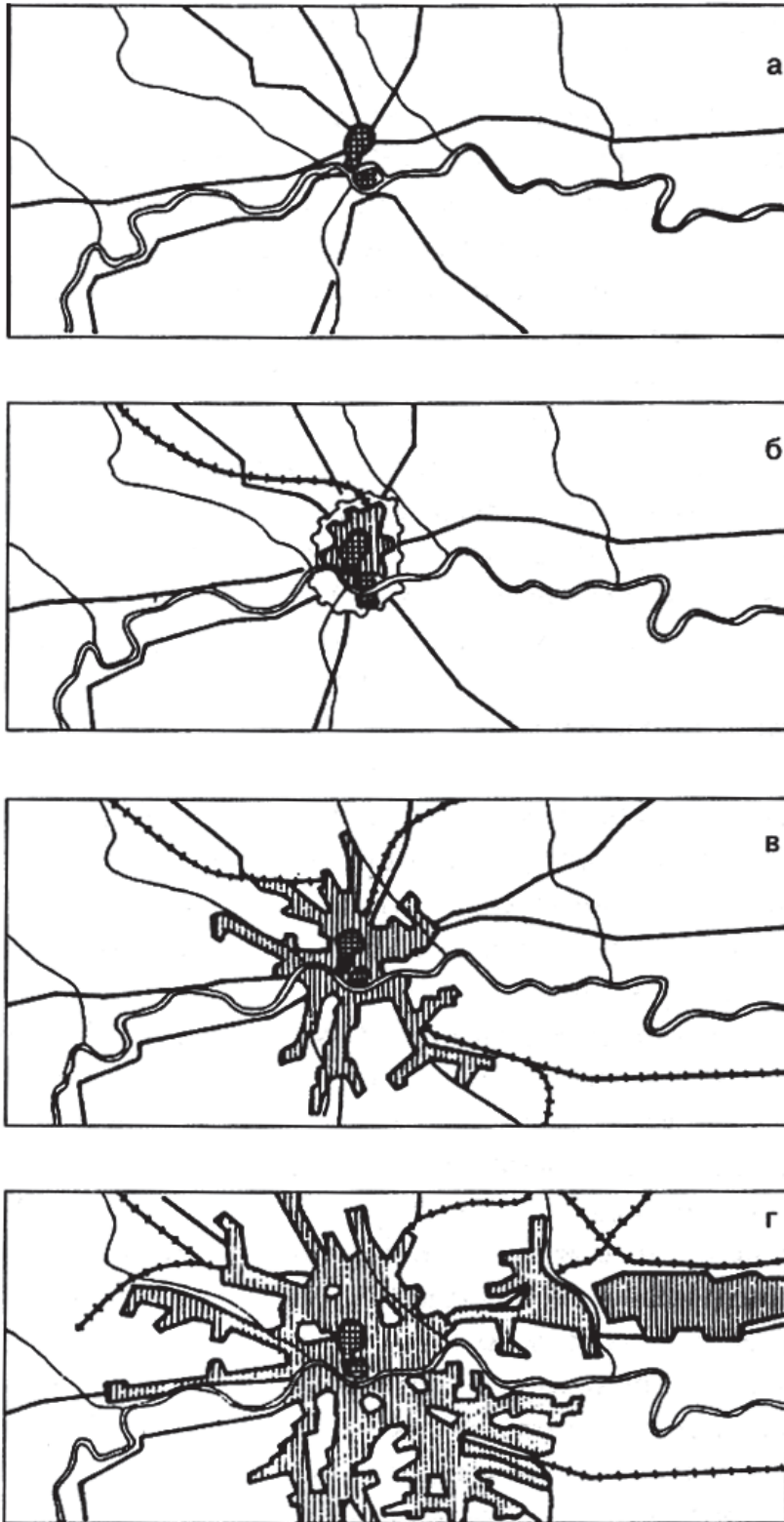


Рис. 11.2. Розвиток міста на прикладі Кракова
(J. Bogdanowski, 1981)

Місто та довкілля, як система урбанізованих і неурбанізованих територій, розглядаються сучасним містобудуванням не тільки за окремими його компонентами (житлова, промислова або інша забудова та природний ландшафт), але й у цілому, як співвідношення міста та його приміської природної та окультуреної природних зон. Урбанізовані території не повинні зливатися між собою, щоб між ними не

було «неурбанізованого фону». У недалекому майбутньому радіус природних зелених зон великих міст збільшиться до 100 км і більше. Наявність швидкісного автомобільного та залізничного транспорту забезпечить переміщення (перевезення) міського населення у найвіддаленіші мальовничі куточки приміської зони.

Із висоти пташиного польоту можна спостерігати прямування урбанізованого потоку «міської цивілізації». Цей потік можна або зупинити, або спрямувати в потрібне русло. Все полягає в тому, щоб зберегти «неурбанізований фон» від невиправданої забудови, а також його руйнування будівельними кар'єрами та розробками корисних копалин.

Проблема сучасних великих міст якраз і посилюється через нестачу природно-просторових ресурсів. Якщо раніше вони розглядались як фізичний простір, який необхідно подолати, то сьогодні набувають великої цінності у відтворенні трудового та культурного потенціалу особистості.

Сучасні форми просторової організації та концентрації виробництва, а також інтенсивний розвиток транспорту дають можливість ізолювати найагресивніші стосовно довкілля та людини господарські об'єкти, а цінні природні комплекси зробити доступнішими для населення. Такий підхід, закладений у методиці районного планування, яке ще на початку минулого століття запропонував англійський архітектор Патрік Аберкромбі, розробляючи проект Великого Лондона (нині воно використовується в українському містобудуванні). Це планування визначає території перспективного розвитку населених міст і їх груп (систем, агломерацій), зон обмеженого розвитку урбанізації та можливого розміщення підприємств, що забруднюють довкілля. Передбачається створення екологічних коридорів, зон охорони водних джерел і водосховищ, а також територій, які охороняються (цінних природних ландшафтів, заповідників, заказників, архітектурно-історичних комплексів), і, нарешті, розвиток сільськогосподарських поясів. Подібна структура, закладена в районному плануванні, дає змогу управляти екологічною ситуацією в містах і приміських зонах.

Питання «раціональної урбанізації», тобто розумного співвідношення урбанізованих і неурбанізованих територій, або ж урбанізованої земної поверхні та неурбанізованого природного каркасу, надзвичайно актуальні. У таблиці 11.1 наведено типи екологічно обґрунтованих територій і їх місце у балансі суходолу Землі.

Таблиця 11.1.

Типи екологічно обґрунтованих просторів
і їх місце у балансі суходолу

№ п/п	Част- ка при- род- них еко- сис- тем, %	Антропоген- ний вплив	Частка тери- торій, окуль- турених люди- ною	Транспорт- ні засоби, машини, промис- ловість	Типи будівель	Інфра- структура	Част- ка сухо- долу Землі
1	100	Наукові до- слідження	—	—	—	—	40
2	100	Піші про- гулянки, екскурсії на воді	—	—	—	—	17
3	95	Тимчасове перебуван- ня, екскурсії	3	—	палатка легкого типу	—	10
4	95	Тимчасове перебуван- ня, екскурсії	4	—	—	—	8
5	95	Тимчасове перебуван- ня, екскурсії	5	автомо- біль	готелі, житлові будівлі	автомо- більні шляхи	7
6	20	Постійне перебування та робота	70	авто- мобіль, трактор, промис- ловість	житлові та гро- мадські будівлі	автомо- більні шляхи	5,5
7	20	Постійне перебування та робота	60	—	—	автомо- більні шляхи, залізниці	5
8	20	Постійне перебування та робота	40	рекреа- ційний транс- порт, розваги	—	автомо- більні шляхи, залізниці та аеро- порти	5
9	10	Постійне перебування та робота	30	автомо- біль	—	автомо- більні шляхи, залізниці та аеро- порти	1,3

Таблиця 11.1. (Продовження)
 Типи екологічно обґрунтованих просторів
 і їх місце у балансі суходолу

№ п/п	Частка при- род- них еко- сис- тем, %	Антропоген- ний вплив	Частка тери- торій, окуль- турених люди- ною	Транспорт- ні засоби, машини, промис- ловість	Типи будівель	Інфра- структура	Част- ка сухо- долу Землі
10	10	Постійне перебування та робота, щільність населення 30 чол. /га	20	автомо- біль	—	автомо- більні шляхи, залізниці та аеро- порти	0,7
11	—	Постійне перебування та робота, щільність населення 30 чол. /га	10	автомо- біль	—	автомо- більні шляхи, залізниці та аеро- порти	0,3
12	—	Тільки для трудових процесів	10	будь-які функції	про- мислові будівлі, кому- нально- побутові об'єкти	автомо- більні шляхи, залізниці та аеро- порти	0,2

Як бачимо, 18 % земного суходолу, на думку вчених, має бути зайнято постійним перебуванням людини (проживання, праця, дозвілля). Характерно, що тут присутність природних екосистем коливається в межах 10—20 %. На 0,5 % земного суходолу елементи природного ландшафту зовсім відсутні (великі агломерації та конурбації, міста зі щільною забудовою). Зазначені у таблиці співвідношення типів неурбанізованих і урбанізованих територій — це в кращому разі побажання науковців, на які слід орієнтуватися. Спрямувати розвиток урбанізації у правильне русло можна лише шляхом *екологічного планування міського розвитку* (Владимиров, 1999; Sukopp, Wittig, 1993). Такий підхід впливає з Концепції сталого розвитку, схваленої Міжнародною конференцією ООН із проблем довкілля (Ріо-де-Жанейро, 1992).

Як відомо, існують розрахунки екологічних, господарських і психологічних потреб людей у території. Наприклад, за Ю. Одумом, на одного мешканця планети необхідно мати 2 га землі (пропашні — 0,6 га, технічні культури — 0,4 га, природні ландшафти — 0,8 га, промисловість і соціальна інфраструктура — 0,2 га). Розподіл території земної поверхні на душу населення має співвідноситися як 5:4:1 — відкриті простори: культурні ландшафти, передусім господарські землі: урбанізовані території». Згідно з вимогами ФАО ООН, ліси на суходолі мають займати 50 %, сільськогосподарські землі — 45 %, забудова — 5 % території (5:4,5:0,5).

Запропоновані 12 типів просторових зон (табл. 11.1) можна згрупувати таким чином: *відносно не зачеплені людською діяльністю, перетворені (сільськогосподарські, рекреаційні тощо) і глибоко змінені (урбанізовані)*.

Тоді це співвідношення буде виглядати так: 5,5:4:0,5. Як бачимо, наведені «екологічно збалансовані» пропозиції збігаються, хоча це лише приблизні, орієнтовні показники. Вони більше стосуються планетарних масштабів. Регіональні умови, особливо високо урбанізованих місцевостей, вимагають зовсім іншого співвідношення. Однак і за цих умов слід дотримуватися головного принципу: не допускати розповзання урбанізованих територій на шкоду природному каркасу.

Як наголошував відомий український архітектор І. Д. Родичкін, зв'язок між містом і природою має розглядатися як вихідна й вирішальна позиція проектування, а не другорядна (після вирішення селітебних, виробничих, транспортних, комунально-господарських, промислових питань).

У межах міста, де процеси перетворення природних ландшафтів відбуваються в цілому активніше, ніж за ними, існує три типових стани ландшафту:

- *природний ландшафт*, який упродовж деякого часу зберігається і використовується у новому місці або його нових районах;
- *перетворений і змінений природний ландшафт*, який набув антропогенного вигляду;
- *повністю перетворений, штучний ландшафт* у найбільш засвоєних районах міста.

Збереження в місті природного ландшафту упродовж тривалого часу, як свідчить практика, — справа майже неможлива. Водночас слід усіма силами намагатися продовжити його існування на урбанізованій території, зберігаючи

до останнього окремі фрагменти: куртини дерев чи навіть одне вікове дерево. Велика частка «штучного» ландшафту, особливо пам'яток архітектури, може бути в історичних частинах міст (Київ, Львів, Харків, Одеса, Чернівці, Івано-Франківськ).

На взаємозв'язок міста із природним оточенням впливають такі фактори:

- величина та розташування лісових масивів;
- наявність водойм і водотоків;
- мезо- та мікрокліматичні особливості;
- структура міста (розчленована, компактна, розтягнута тощо);
- функціональне зонування міста;
- господарський профіль міста;
- санітарно-гігієнічні умови;
- розвиток транспортних зв'язків;
- композиційно-візуальний взаємозв'язок (панорамний огляд, домінанти, ізоляція тощо);
- співвідношення «відкритих» і «закритих» просторів.

Зупинимося окремо на понятті *відкритих просторів*, які представлено природними та зміненими природними ландшафтами. Виділяють такі типи відкритих просторів:

- системи розселення та приміські зони (М 1:5000; 1:50 000; 1:100 000) — позаміські простори усіх типів: ліси, водойми, поля (включаючи дрібні населені пункти та інженерно-транспортні споруди тощо);
- міські відкриті простори (М 1:5000; 1:2000) — парки, сади, сквери, набережні, водойми;
- «фонові» відкриті простори (М 1:2000; 1:5000) — у межах житлових мікрорайонів, громадських центрів, комплексів промислових підприємств.

Під системою відкритих просторів розуміють таку сукупність взаємодіючих незабудованих (озелених, водних) територій міста або будь-якого містобудівельного утворення, яка сприяє оздоровленню довкілля, поліпшує умови масового відпочинку населення, збагачує зовнішній вигляд міста, допомагає охороні природного ландшафту. Вирішенням цих завдань в умовах містобудівельної діяльності займається ландшафтна архітектура.

Місто як складна соціоекосистема може розраховувати на благополуччя лише за умов наявності науково обґрунтованих екологічної політики та екологічного планування. «Програми та планування, — зазначають німецькі екологи Г. Зукопп і Р. Віттіг, — можна назвати лише тоді екологічними, коли вони служать меті тривалої гарантії збереження природних

ресурсів і життєвого середовища для потреб людей, тварин і рослин». Екологічне планування, таким чином, має бути націлене на довкіллєзберігальний міський розвиток, або, як сьогодні прийнято говорити, на сталий розвиток міської соціоекосистеми.

У зв'язку з цим центральними в межах **просторового екологічного планування** є такі питання:

- придатність території для певного використання (функціонування);
- чутливість території до користування (навантаження);
- навантаження, що мають лягти на територію;
- конфліктні ситуації, які виникають через одночасну дію факторів (придатності, чутливості та завантаженості).

Відповіді на ці питання можна дати за умов глибокого аналізу всіх компонентів міського середовища. У Німеччині, наприклад, для цього використовують тематичні карти (табл. 11.2).

Таблиця 11.2.
Зміст тематичних карт аналізу міського середовища
(за Sukopp, Wittig, 1993)

Вид карти та видавець (власник)	Масштаб
Загальні основи	—
Німецька основна карта	1:5000
Топографічна карта (геодезичні служби)	1:25 000
Історико-краєзнавчі карти (геодезичні служби, міські архіви, музеї)	у старих, часто неметричних масштабах
Знімки з літака та супутника (геодезичні служби, управління з питань захисту природи, лісова адміністрація)	1:5000
Природно-територіальний поділ (служба краєзнавства, статистичні земельні служби, геодезичні служби)	1:1 000 000 1:200 000, 1:25 000
Ґрунти	
Геологічна карта (геологічні та земельні служби)	1:500 000, 1:25 000
Карта ґрунтів, оцінка багатства ґрунту (геологічні земельні служби)	1:25 000
Специфічні міські карти (атласи) ґрунтів	у різних масштабах
Клімат і повітря	
Карти опадів і температур (метеорологічні служби та центри)	1:500 000 або менші
Локальний кліматичний поділ (різні автори)	1:1 000 000 або менші
Фенологічні карти (метеорологічні центри, ботанічні інститути)	1:25 000, 1:10 000
Карти забруднення повітря	Різний

Таблиця 11.2. (Продовження)
Зміст тематичних карт аналізу міського середовища
(Sukopp, Wittig, 1993)

Вид карти та видавець (власник)	Масштаб
Рослинний і тваринний світ	1:5000
Карта міських біотопів	1:10 000
Карта сільських біотопів	1:500 000
Карти рослинного покриву (інститут земельних насаджень)	1:200 000
Карта флори (органи захисту природи, університети, природничо-наукові об'єднання)	1:25 000
Карта фауни (органи захисту природи, університети, природничо-наукові об'єднання)	1:25 000
Карти лісових місцезростань і функціонального зростання	1:10 000
Води	
Карти якості вод	1:25 000
Карти водного господарства	1:50 000
Існуюче планування	
Регіональний план	1:100 000
Регіональні місця планування	1:25 000
План землекористування району	1:10 000
План землекористування общин	1:5 000
Муніципальний план забудови	1:5 000
Муніципальний план забудови общини	1:500
Муніципальний план озеленення	1:5 000
Муніципальний план озеленення общини	1:500
План догляду та розвитку (муніципальні общини, об'єднання)	різні, часто 1:1000, 1:5 000, 1:25 000

У межах містобудівельних планів, проектів і програм, які виконуються в Україні, закладаються екологічні чи природоохоронні розділи, які наскрізь пронизують ці документи.

Вирішення екологічних проблем охоплює всі ієрархічні рівні системи державного планування (рис. 11.3).

11.3. Місто як соціально-екологічна система

Урбанізація — світовий історичний процес, який відбувається під впливом багатьох факторів з неоднаковою вираженістю та роллю у різних районах планети. Ці фактори можна згрупувати за шістьма ознаками: а) *промислове виробництво*; б) *невиробнича містоутворювальна діяльність*; в) *інтенсифікація сільського господарства*; г) *міжфункціональна взаємодія* (інтеграція різних видів діяльності); д) *вплив світо-*

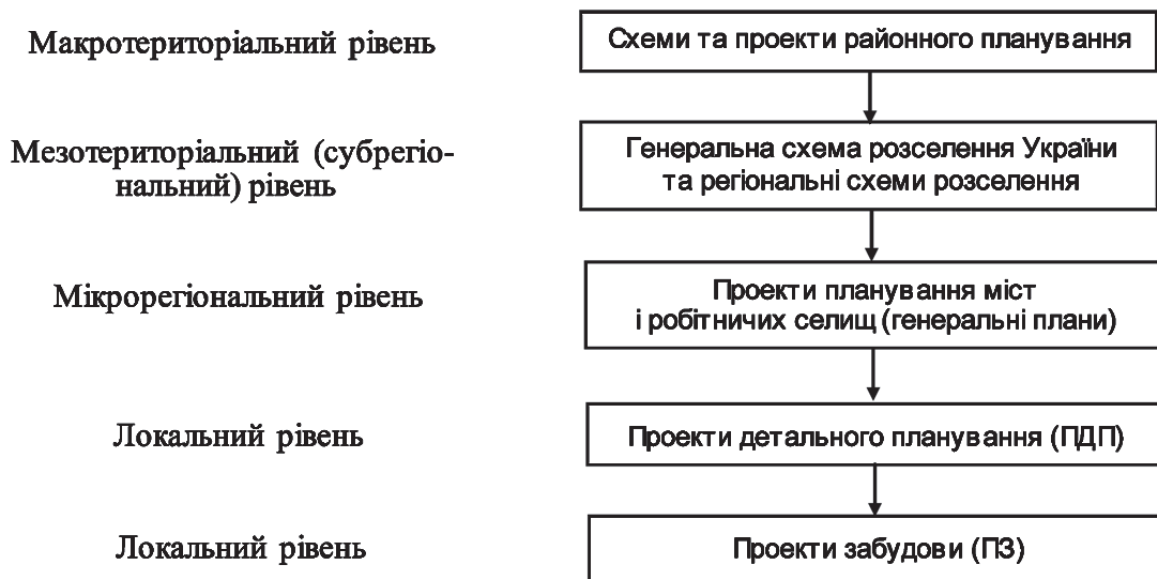


Рис. 11.3. Системи державного планування

вого господарства, розвиток міжнародної торгівлі; е) наслідки «демографічного вибуху». Слід зазначити, що урбанізація — найголовніший процес розвитку суспільства. Вона відчуває на собі впливи та прояви багатьох факторів і підпорядкована основним історичним законам суспільного розвитку.

Отже, урбанізація — передусім соціальне явище. Місто — продукт суспільного розвитку, цивілізації, однак одночасно це й автономна екосистема, або елемент глобальної екосистеми — біосфери. Аналізуючи різні підходи до міста, наголосимо, що на місто накладаються різноманітні фактори — *абіотичні* (рельєф, клімат, водний режим), *біотичні* (рослинний покрив, фауна, мікроорганізми), *техногенні* (забудова, інфраструктура, транспортна мережа тощо) та *соціальні* (суспільна організація, спосіб життя, традиції тощо).

Місто як урбоекосистема є функцією трьох основних підсистем. Тому цю штучну систему можна записати у вигляді простої формули:

$$УЕС = \Phi (П + С + Т),$$

де УЕС — урбоекосистема, П — природна підсистема, С — соціальна підсистема, Т — технічна підсистема.

Порушення, або «шум», в одній із підсистем унаслідок зворотного зв'язку проявляється в системі «місто» або ж у сусідній підсистемі. Наприклад, соціальна нерівність (С), яка в недалекому минулому розділяла міста на райони багатих і бідних із різним рівнем благоустрою, негативно вплинула на розвиток озеленення, тобто на стан природної підсистеми (П). Щільна неозеленена забудова окремих районів міст (підсистема Т) негативно впливає на соціальну підсистему (С). Із таких місць населення намагається переїхати у приміську зону або ж до інших добре озелених районів міста.

Недосконалість технічного середовища (Т), що характеризується великою кількістю промислових підприємств, надмірною щільністю забудови, недосконалістю транспортних комунікацій, а також *мізерним* фінансуванням зеленого господарства та природоохоронних програм (підсистема С), погіршує стан природного середовища (підсистема П), що веде місто як соціоекосистему до стану, який називають екологічною кризою.

Сьогодні урбанізацію розглядають не лише як ріст міського населення та підвищення ролі міст у суспільному житті, але і як *процес перебудови всього середовища проживання людини, організації її повсякденної життєдіяльності та характеру задоволення потреб у цьому двоєдиному соціальному та природному середовищі*. Екологічний підхід до міста — загальнонауковий. Його суть полягає у трактуванні міста як складної системи у мережі зв'язків між елементами, що його утворюють, та «зовнішнім» соціальним і природним середовищем. Таке трактування неминуче веде до уяви, що екологічний підхід є міждисциплінарним, оскільки всі ці зв'язки — не лише соціальні, економічні чи культурні, але і ресурсні, енергетичні та інформаційні. Причому останні завжди залежать від суспільної мети та цінностей. Тому екологічний аналіз міста — одночасно і соціальний.

«Автономну екосистему» або біогеоценотичний покрив із його біологічним началом можна по-справжньому вивчати лише у випадку бачення «соціального»: суспільно-економічних стосунків на всіх етапах урбанізації природи, естетичних уявлень попередніх і сьогоdnішніх поколінь, наукового розуміння антропогенних змін і їхніх наслідків передусім для живої природи та її генопласту, включаючи людську популяцію.

Місто — середовище життя людей. Якість життя твориться у взаємодії людини та середовища. М. Ф. Реймерс, вивчаючи співвідношення соціального та екологічного, поділяє структуру середовища життя людей на п'ять основних складових:

- 1) *природне середовище*, здатне до умовно нескінченного самопідтримання;
- 2) *квазіприродне*, яке самодеградує без підтримки людини;
- 3) *артеприродне*, де велика кількість елементів створена людиною і не трапляється у природі.

Ці компоненти урбоекосистеми саморуйнуються навіть за підтримки людиною:

- 4) *матеріальне соціальне середовище*, яке формується згаданими вище складовими, створює конкретний інформа-

ційний клімат (природа батьківщини, її культурні ландшафти, пам'ятки культури тощо);

5) *соціально-духовне середовище*.

Автор ці складові укладає в схему співвідношення природного, квазіприродного, артеприродного та соціального середовища життя людини (рис. 11.4). Створена автором модель — матриця людина — суспільство (в нашому випадку міської громади) «анатомує» особистість і спілку, дає змогу з еколого-синтетичних позицій підійти до проблеми їх взаємостосунків із середовищем життя, які відбивають потреби людей.

Б. С. Преображенський, Г. Л. Райх (1987), створюючи територіально-антропоекологічну модель міста, розглядають його таким чином:

- як систему, що цілісно реагує на зовнішні фактори, якими є зміни в його середовищі, подані або у вигляді суперсистеми, або систем рівного рангу (суміжних територіальних антропоекологічних або природних систем);
- як екологічну систему, яка виступає як «дом-ойкос», послуговуючи системі «господаря» — мешканців міста (соціальна підсистема);
- як систему антропо(демо)-екологічну, тобто таку, де центральним елементом виступає людина;
- як систему соціоекологічну.

Запропонована авторами модель складається із двох основних частин («якою управляють» і «яка управляє») і є об'єктом складних міждисциплінарних досліджень: загальнобіологічних, медико-біологічних, соціальних, економічних тощо.

Цікавим є підхід до побудови моделі міської екосистеми польського вченого А. Костровицького (1979), який вирізняє в ній підсистему управління, оскільки вона «відбиває соціальні завдання у будь-яких умовах її автономності», а також просторову підсистему. Тоді система міста розглядається як функція не лише природної, соціальної та технічної під-

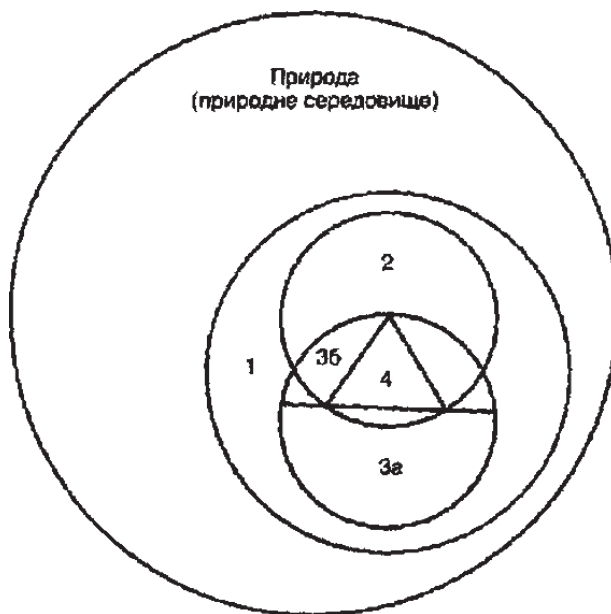


Рис. 11.4. Структура середовища життя мешканців великого міста: 1 — квазіприродне середовище; 2 — артеприродне середовище; 3а — матеріальна культура; 3б — духовна культура; 4 — людина

систем, а ще й простору (Пр) та управління (У). Наведена раніше формула має такий вигляд:

$$УЕС = \Phi (П + С + Т + Пр + У).$$

Концептуальна модель керованої міської екосистеми (урбоекосистеми) дає змогу сьогодні, коли формується планетарна (ноосферна) свідомість, забезпечити «існування об'єктивних передумов для розвитку квітучих природних комплексів на урбанізованих територіях» (Шварц, 1974). Адже управління на рівні міської ради може усунути негативні впливи технічної та соціальної підсистем, гармонізуючи взаємодію всіх підсистем.

А. Костровицький цілком обґрунтовано та закономірно вводить у свою модель підсистему «просторова структура», оскільки за весь період історії міст, крім природного середовища (біотичних і абіотичних компонентів ландшафту), освоювався і простір (Кучерявий, 1984).

Щоб краще уявити процес освоєння на території міста природно-територіальних комплексів (ПТК), слід включати у наведену формулу ще одну функціональну залежність — часову (Ч). Підсистема «час» потрібна не лише для дослідження генези природних екосистем, а й для складання тривалих прогнозів, прийняття управлінських рішень.

Сучасна міська екосистема перебуває також у функціональній залежності від зовнішньо-внутрішньої підсистеми «енергія». Крім сонячної, місто отримує додатково велику кількість «антропогенної» енергії, яка стала передусім для великих і дуже великих міст планетарно-кліматичним фактором.

Отже, функціональна формула міської соціоекосистеми має такий вигляд:

$$УЕС = \Phi (П + С + Т + Пр + Ч + Е + У + А),$$

де УЕС — урбоекосистема, П — природна підсистема (структура та функціонування атмосфери, гідросфери, літосфери, ґрунтового покриву, фітоценозів і зооценозів), С — соціальна підсистема (соціальна структура населення міста, суспільно-економічні, біологічні та інтелектуальні аспекти); Т — технічна підсистема (структура та види житлових умов, роботи, транспорту, послуг, обороту інформації), Пр — простір, який обумовлюють природна та технічна підсистеми, Ч — час, за який досліджуються зміни в урбоекосистемі (у минулому, теперішньому та майбутньому), Е — енергетична підсистема (матеріально-енергетичний потік із навколишнього середовища), У — підсистема управління (прийняття адміністративних, організаційних, політичних і економіко-технологічних

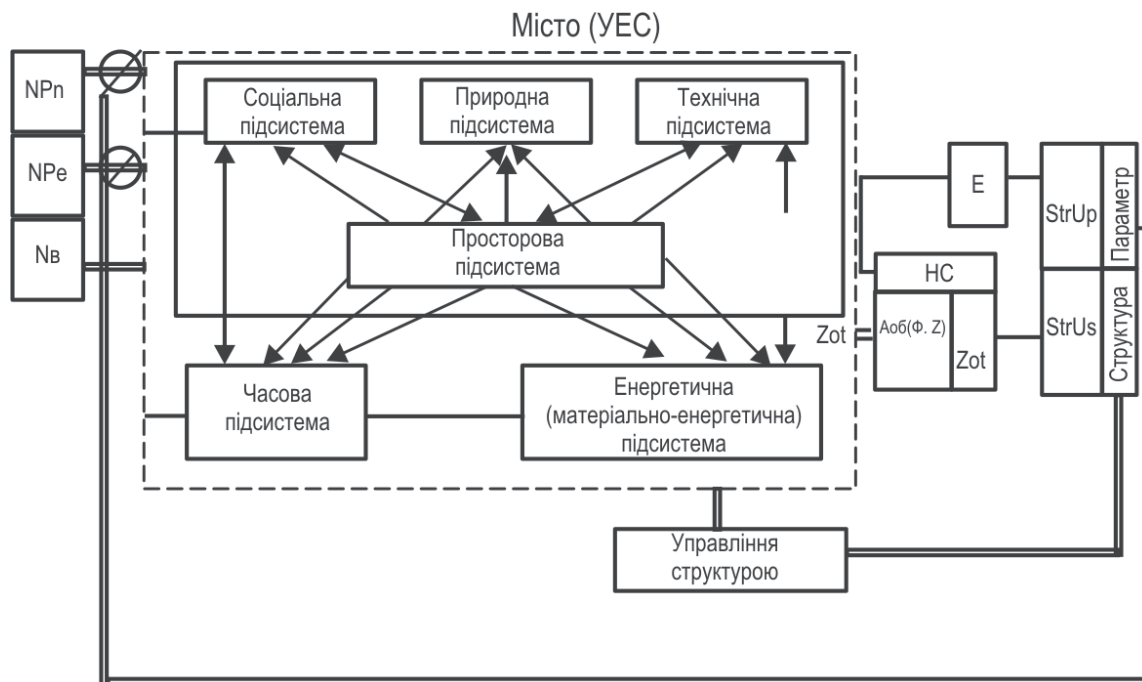


Рис. 11.5. Схема кібернетичних взаємостосунків в урбоекосистемі: P_s — споживач ресурсів (у цьому блоці створюється життєзабезпечення системи), $A_{об}(\Phi, Z)$ — оператор об'єкта управління, HC — система спостереження (спостерігач) із алгоритмом обробки інформації; $Z_{ог}$ — оцінка параметрів стану керованої екосистеми; E — еталонний блок; $StvUp$ — стратегія управління параметрами; $StvUs$ — стратегія управління структурного об'єкта

рішень на рівні міста), A — підсистема державних рішень (на рівні «центру») із біокібернетичних позицій.

На рисунку 11.5 зображено схему кібернетичних взаємозв'язків у міській соціоекосистемі, де N_{Pn} — джерело матеріальних ресурсів, які забезпечують життєдіяльність біоценозів, N_{Pe} — джерела енергетичних ресурсів (сонячна радіація, тепло тощо), N_B — джерело збурювання, $Z_{ог}$ — вектор стану об'єкта управління.

Побудову та реалізацію моделей керованих міських екосистем слід розглянути як основу забезпечення стійкого стану або як гомеостаз міської екосистеми з урахуванням інтересів не лише людини, а й усього живого та неживого.

Розглянемо функціонування урбоекосистеми у складі соціально-технічного (C, T, Y), екологічного (P), просторово-часового ($P, Ч$) та матеріально-енергетичних (E) блоків (рис. 11.6). У теперішньому ноосферному розумінні $УЕС = Y$, тобто це урбоекосистема, якою можна управляти. Як бачимо зі схеми кібернетичних взаємостосунків, в урбоекосистемі, де еталонний блок завдяки регулятору системи управління перебуває у взаємозв'язку з блоком реальної урбоекосистеми, підтримуючи її у стані гомеостазу, маємо справу з реальним управлінням.

Моделювання урбоекосистем має важливе значення для дослідження та виявлення конкретних форм ноосфергенезу, у вирішенні проблем антропо-екологічних процесів і біосферно-ноосферного районування, яке пов'язане з територіальною неоднорідністю міст.

Досліджуючи взаємозв'язки урбоекосистеми, виходимо з причинно-наслідкових залежностей та існування між окремими елементами міського середовища різних зворотних зв'язків (як негативних, так і позитивних) (рис. 11.6).

Автор об'єднує позитивні та негативні зв'язки, беручи до уваги зменшення або збільшення можливостей системи, у декілька груп: 1) *суплетивні* (++) — збагачують взаємодіючі системи, піднімають їх на вищий організаційний рівень; 2) *компенсаційні* (00) — компенсують завдані витрати, причому організаційний рівень систем не знижується; 3) *редукційні* (++) — сприяють заміні порушених зв'язків (або елементів) іншими поза тією самою підсистемою; 4) *деструктивні* (--) — в яких під дією ланцюгів зворотного зв'язку порушується функціонування взаємодіючих підсистем, причому залежно від інтенсивності зворотності явищ виникають: а) *деградації*, унаслідок яких дана система переходить з вищого організаційного рівня на нижчий, зберігаючи, однак, можливості для свого функціонування; б) *дегенерації* з глибокими змінами, що порушують функціонування системи (ознакою дегенерації, крім недорозвинутості, є також гіпертрофія, наприклад, евтрофія водних екосистем); на відміну від деградацій процеси дегенерації незворотні; в) *дисфункції*, які обмежують можливості виконання екосистемою функцій (річка, взята в колектор); г) *декомпозиції*, які є наслідком порушення просторової структури екосистеми (терикони, висотна забудова).


Основне завдання урбоекоекології — розробка принципів, які попереджають виникнення негативних зв'язків у межах системи міста. Ці принципи повинні стосуватися як усієї системи, так і зон її безпосереднього та опосередкованого впливу. Для цього необхідні спеціальні дослідження, особливо дослідження взаємодій, їхньої сили та інтенсивності, розподілу в часі та просторі.

У процесі досліджень враховуються шість основних ознак стану урбоекосистеми:

- характер зв'язків (односторонні, двосторонні, багатосторонні);
- місце прояву наслідків (безпосередні типу $A \leftrightarrow A$; опосередковані типу $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ тощо);
- час, за який виявляються впливи (негайні, річні, багаторічні);

Рис. 11.6. Основні зв'язки урбоекосистеми (Костровицький, 1979)

			Входи		Урбоекосистема	Підсистеми					
			Адміністративно-державні рішення	Матеріально-енергетичні потоки з оточуючого середовища		Управління	Просторова	Часова	Природна	Соціальна	Технічна
			Д	Е		У	Пр	Ч	П	С	Т
Входи	Адміністративно державні рішення	Д		Г-Е	Г-УЕС	Г-У	Г-Пр	Г-Ч	Г-П	Г-С	Г-Т
	Матеріально-енергетичні потоки з оточуючого середовища	Е	Е-Д		Е-УЕС	Е-У	Е-Пр	Е-Ч	Е-П	Е-С	Е-Т
Урбоекосистема		УЕС	УЕС-Д	УЕС-Е		УЕС-У	УЕС-Пр	УЕС-Ч	УЕС-П	УЕС-С	УЕС-Т
Підсистеми	Управління	У	У-Д	У-Е	У-УЕС		У-Пр	У-Ч	У-П	У-С	У-Т
	Просторова	Пр	Пр-Д	Пр-Е	Пр-УЕС	Пр-У		Пр-Ч	Пр-П	Пр-С	Пр-Т
	Часова	Ч	Ч-Д	Ч-Е	Ч-УЕС	Ч-У	Ч-Пр		Ч-П	Ч-С	Ч-Т
	Природна	П	П-Д	П-Е	П-УЕС	П-У	П-Пр	П-Ч		П-С	П-Т
	Соціальна	С	С-Д	С-Е	С-УЕС	С-У	С-Пр	С-Ч	С-П		С-Т
	Технічна	Т	Т-Д	Т-Е	Т-УЕС	Т-У	Т-Пр	Т-Ч	Т-П	Т-С	

 менш суттєві зв'язки
 зв'язки основного значення

- характер дії та методи їх вимірювання (фізичні, які вимірюються у прийнятих одиницях виміру, біологічні, соціальні та економічні);
- сили дії (у випадку відсутності кількісних даних — за 5-бальною системою);
- дальність дії (місцеві, локальні, районні, міжрайонні тощо).

Отже, на природну підсистему (автономну екологічну систему) проектуються всі окремо взяті або пов'язані між собою підсистеми, а в окремих випадках і вся урбоекосистема.

11.4. Міські біогеоценози

Життя та діяльність людини пов'язані з конкретним, досить тонким шаром біосфери — «плівкою життя» (Аболін, 1925), біогеоценотичним покривом (Сукачєв, 1964). В. І. Вернадський (1967) називав цей шар «живою речовиною». Подібно до В. І. Вернадського, В. М. Сукачов розглядає біокосне тіло як безперервне, яке не марковане фітоценозами, що характерно для міста.

Такий підхід має принципове значення для вивчення біогеоценотичного покриву міських екосистем, оскільки окремі автори ставлять під сумнів наявність у містах, крім паркових, будь-яких інших біогеоценозів. Дослідження міських екосистем, здійснене вітчизняними та закордонними авторами (Голубець, 1989; Яницький, 1984; Одум, 1986; Ellenberg, 1973; Zimny, 1976), засвідчує протилежне. Це дало змогу зробити висновок, що урбанізовані екосистеми (безперечно, покриті тією самою планетною плівкою життя) і є компонентами біогеоценотичного покриву. Такий підхід дав змогу німецьким вченим (Білвітц, 1980; Зукопп та ін., 1987) вирізнити на урбанізованих територіях «метагемеробні» екосистеми (мертві підстилкові поверхні).

У міських екосистемах, які являють собою комбінацію екологічних факторів неживої природи (головним чином ґрунту та клімату), у межах певного однорідного місцезонаження важливу роль відіграє *едафічний (ґрунтовий) фактор* (едафотоп).

Міські ґрунти представлені двома основними групами: природні та штучні (насипні); виходячи з аналізу ґрунтів різного рівня змінюваності, їх розділяють на: 1) лісові природні; 2) паркові природні; 3) природно-штучні сквери і бульвари, внутріквартальні посадки; 4) штучні вуличні посадки і площі. Ґрунти різняться між собою фізико-механічним і хімічним складом.

Одна із рис найпоширеніших антропогенних змін міських ґрунтів — утворення так званого культурного шару. *Під «культурним шаром» звичайно розуміють верхні шари ґрунту великих населених пунктів, які несуть на собі відбиток діяльності людини. У «культурному шарі» як рештки трапляються найрізноманітніші матеріали: будівельне сміття, бита цегла та камінь, предмети домашнього вжитку — скло, глиняні черепки, а останнім часом — пластмасові вироби. Культурний шар — настільки специфічне утворення, що його вивчення має відбуватися в поєднанні геологічних та історико-археологічних методів досліджень. Культурні шари поділяють за ча-*

сом утворення на стародавні та сучасні, а за утворенням — на насипні та штучно змінені.

Нагромадження культурного шару відбувається за рахунок відвалів у процесі виконання земляних робіт, при підсипанні ґрунту для підвищення позначки будівельного майданчика, благоустрої населеного пункту та за рахунок накопичення різного сміття. За даними Ф. В. Котлова, у 1960-ті роки обсяг перемішаних у Москві порід становив 211 млн м³. Товщина антропогенних відкладів збільшується від периферії Москви до її старовинного центру. У місцях старої забудови стародавніх міст антропогенні накопичення значної потужності лежать суцільним покривом — у Лондоні на глибині 25 м, у Москві — 22 м, у Парижі — 20 м.

Найпотужніший культурний шар (36 м) знайдено у Києві, якому виповнилося 1500 років. Стратиграфія Подолу, проведена останніми роками, дала змогу виявити своєрідне чергування темних (культурних) і світлих (піщаних) пластів, що свідчить не тільки про періодичні наступи Дніпра на Подол, а і про потужні виноси з Київських гір. Культурних пластів налічується тринадцять, причому вісім нижніх належать до періоду Київської Русі.

Місцями нагромадження культурного шару найчастіше стають річки, потоки, болота, яри, куди часто скидається сміття, як правило, заради планування території. На території Львова із його розгалуженою в минулому гідрографічною мережею засипано або перетворено на колектори близько сотні річок і потоків. Нагромадження культурного шару часто пов'язане із захороненнями елементів благоустрою — мощення вулиць і тротуарів, а також решток колишніх будівель — фундаментів, погребів, зрубів колодязів, паль та інших предметів. Цьому також сприяє захоронення померлих людей і тварин.

Головна відмінність культурного шару від природних ґрунтів — надто велика неоднорідність як за вертикаллю, так і за горизонталлю. До складу різновидів культурного шару входять органічні включення, кількість яких зменшується із збільшенням віку культурного шару, а отже, і глибиною його знаходження.

Поховані ґрунти змінюють свій **хімічний склад**, оскільки зменшується доступ до них кисню, вологи та тепла, послаблюється життєдіяльність мікроорганізмів, уповільнюється ґрунтотвірний процес. Природні ґрунти в насадженнях Львова відрізняються підвищеною кислотністю (pH 4,6—4,9) і нестачею поживних речовин. Натомість насипні ґрунти часто містять більше гумусу, ніж природні, й

відрізняються лужною реакцією (pH 7,1—9,0). Наприклад, у ґрунтах Стрийського парку гумус становить 1,1—1,9 %, тоді як у парку Високий Замок, де ґрунти в основному насипні, — 3,1 %. Проте високий відсоток гумусу в насипних ґрунтах не завжди відбиває умови оптимального ґрунтового живлення. Ущільнення та погіршення повітряного обміну в насипних ґрунтах веде до пригнічення життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, що є причиною голодування рослин, особливо Нітрогенового.

Через наявність значної кількості будівельного сміття насипні ґрунти, як правило, відрізняються високою **дренажністю**, що в ряді випадків призводить до порушення нормального водного режиму та погіршення живлення рослин. Останнє у свою чергу негативно впливає на розвиток деревної рослинності, її довговічність і стійкість.

Погіршення **механічного складу** та властивостей ґрунту зумовлює забруднення його побутовими та промисловими відходами, вуличним сміттям, сухим мулом. За існуючими даними, у США склад відходів такий: папір — 31,3 %, скло — 9,7, пластмаса — 3,4, гума-шкіра — 2,6, деревина — 3,7, продуктові відходи — 17,6, металеві — 9,9, текстильні — 1,4, інші відходи — 20,4 %. Із 54,3 млн т паперу, який виробляється в США, 49,1 млн т потрапляє у відходи (із цієї кількості 26,0 млн т припадає на домашнє господарство, а 21,3 млн т — на потреби торгівлі). Щорічно у США у відходи потрапляє 48 млрд металевих пляшкових пробок, 6 млн автомобілів, які вийшли з ладу.

Одна з основних проблем сучасного містобудування — **освоєння ґрунтів під зелені насадження**. Від її правильного вирішення значною мірою залежать довговічність, санітарно-гігієнічна ефективність і цінність насаджень. Біогенетичний покрив міста формується під впливом урбанізованих фітоценозів і характерних (залежно від типу підстилкової поверхні) кліматопів.

Клімат великого міста — покривало, яке складається з багатьох «клаптиків» — мезокліматів, які вкривають місто та його приміську зону. У мезокліматичних секторах можна виділити численні мікрокліматичні комірки живих організмів (рослин, тварин, мікроорганізмів). Від однієї до іншої мікрокліматичної ніші мігрує людина, шукаючи комфортних умов (спекотна вулиця та парковий затінок).

Місто розглядають (Щербань, 1985) як **складну систему радіаційних поверхонь**, шарів і потоків, які сформувалися на його території з різнорідною підстилковою поверхнею, представленою штучними спорудами, площами та вулицями, а також зеленими насадженнями та водними просторами. Роз-

міщення в межах комплексної зеленої зони міст озелених і обводнених територій, представлених великими лісопарками, парками, садами, скверами, водоймами, зумовлює значні зміни співвідношення складових теплового балансу. Різкому зменшенню турбулентного теплообміну «грунт — повітря» сприяють величезні витрати тепла на випаровування. На міських озелених і обводнених територіях співвідношення теплового балансу значною мірою наближається до такого, яке спостерігається у приміській сільській зоні.

Сумарний штучний діяльний шар сучасних великих міст згідно з класифікацією М. І. Щербаня (1985) можна **розподілити на ряд підшарів**: на рівні земної поверхні (вкриті асфальтом, камінням, бетоном, газоном і квітниками площі та вулиці), на рівні зелених насаджень (дерев і чагарників, парків, скверів і бульварів), на рівні дахів будівель та у підшарі висотних будинків. Залежно від рівня радіації розвиваються характерні турбулентні потоки, створюються своєрідні умови забруднення та вентиляції. **Температура повітря** на території міста перевищує відповідні її показники у приміській зоні. Тривалі дослідження, які проводили влітку, свідчать, що опівдні різниця температури повітря в центрі Львова на площі Ринок і у приміській зоні (Брюховицький лісопарк) становила 1,4—2,6 °С. Підвищені термічні зони, або острови тепла, спостерігаються, як правило, на великих міських площах і перехрестях вулиць із великою територією заощення (у Львові, наприклад, площі Привокзальна, Ринок і довкола Оперного театру та на початку вул. Шевченка тощо), а також у зоні великих промислових майданів із великими заасфальтованими ділянками (асфальто-бетонний завод, ВО «Автовантажувач», автотранспортні підприємства) і на дахах густо забудованих житлових районів.

Улітку добовий хід різниці температур міста та околиць має такі характеристики: ранок (7 год.) — +0,7 °С, день (14 год.) — +2,6 °С, вечір (19 год.) — +3,2 °С, ніч (24 год.) — +1,2 °С. У місті влітку завдяки потужним островам тепла, що утворюються, тепліше, ніж на околицях. Характерно, що й у сонячні, але вітряні дні ця різниця значно нижча. Підтверджується думка Г. Є. Ландсберга (1983) про те, що навіть невелика швидкість вітру (4 м/с) може виявитись достатньою для знищення острова тепла. Узагалі необхідно брати до уваги, що є поріг швидкості вітру, вище якого існування острова тепла неможливе.

Зменшенню контрасту температури міста й околиць сприяє добре розвинута мережа міських зелених насаджень. Наприклад, у Львові на вулиці Підвальній, уздовж якої розбитий сквер «На валах», різниця між температу-

рою «місто — передмістя» в липні у сонячну обідню пору становила 2,4 °С, тоді як на початку неозелененої вулиці Личаківська— 3,1 °С.

Особливо значна різниця температур між озелененими та неозеленими територіями простежується у самому місті. Наприклад, на площі, на початку вулиці Шевченка, температура повітря опівдні вища, ніж у парку ім. І. Франка на 5,4 °С. У слабоозеленому сквері навпроти театру Прикарпатського військового округу ця різниця становила лише 1,2 °С. Майже не відчутний вплив парку ім. І. Франка (площею 10,6 га) на зменшення температури повітря на вулиці Листопадового чину.

Основна причина виникнення мезокліматичних відмінностей окремих районів міста — характерні тільки для міста радіаційні території. Баланс випромінювання на міській поверхні можна записати у вигляді формули:

$$P_{\text{свв}} = P_{\text{пкхв}} - P_{\text{вкхв}} + P_{\text{пдхв}} - P_{\text{вдхв}},$$

де $P_{\text{свв}}$ — сумарне всхвильове випромінювання, $P_{\text{пкхв}}$ — короткохвильове випромінювання, що надходить, $P_{\text{вкхв}}$ — відбите короткохвильове випромінювання, $P_{\text{пдхв}}$ — довгохвильове випромінювання, що надходить, $P_{\text{вдхв}}$ — відбите довгохвильове випромінювання.

Знаючи добре структуру радіації, що надійшла, та відбитої, можна управляти термодинамічними процесами міських агломерацій. Наприклад, якщо значення $P_{\text{вкхв}}$ і $P_{\text{вдхв}}$ впливають на характерні риси поверхні (асфальт, бетон, цегла або газон), ми повинні так планувати забудову та заощення, щоб вони не вели до акумуляції тепла і не сприяли утворенню теплих островів.

Зелені насадження сприяють **виникненню постійних повітряних течій** (Машинський, 1973). У літню полудневу спеку такі повітряні течії прямують від насаджень у бік забудови, а ввечері та вночі на відкритих місцях повітря швидше охолоджується і прямує до зеленого масиву. Тепле міське повітря, піднімаючись угору, «всмоктує» повітряні маси з довколишніх заміських територій, нерідко утворюючи вітер. Такий вітер, на думку автора, виникає при різниці температур 5 °С і різниці тиску 0,007 мілібар; найчастіше він спостерігається на околиці міста в ранкові години й утримується до полудня. Подібні повітряні течії, які мають складну латерорадіальну конфігурацію, сприяють покращенню мезоклімату. Комфортні мікрокліматичні умови створюються в межах макроструктури комплексної зеленої зони міста будовою скверів, алей, зелених наметів парків, посадкою тінистих біогруп і солітерів.

Як стверджує А. Т. Іздебський (1949), у місті вплив зелених насаджень на прилеглу територію обмежується забудовою. Л. О. Машинський (1964) спостерігав зміну температури та вологості повітря в умовах ізольованого розміщення насаджень і компактної забудови на відстані 70—100 м, а у випадку об'єднання міських і заміських насаджень в єдину систему у поєднанні з вільною забудовою — в межах 200—300 м. Ці дані дали змогу рекомендувати для підвищення ефективності впливу зелених насаджень на мікроклімат прилеглих територій створення в містах зелених смуг завширшки 75—100 м через кожні 400—500 м. Цей показник уведений у містобудівельні нормативи. Однак аналіз територіального розподілу озеленення (усіх типів функціонального призначення) свідчить про те, що в новій забудові більшості міст відсутнє подібне чергування зелених смуг, здатних впливати на мезоклімат прилеглих територій.

11.5. Градієнтна ординація біогеоценотичного покриття міста

Аналізуючи угруповання в межах даного географічного району або ландшафту, використовують два підходи: 1) *зональний*, коли дискретні угруповання розпізнаються, класифікуються і вносяться до своєрідного контрольного списку типів угруповань; 2) *градієнтний*, який базується на розподілі популяцій на одно- та багатовимірному градієнті умов середовища.

У 1950-х роках український учений О. Л. Бельгард, який присвятив своє життя дослідженню проблем степового лісорозведення, звернув увагу на те, що едафічні та кліматичні градієнти середовища діють комплексно, а їх вплив на біохімічний кругообіг речовини у біогеоценозах має закономірність, яка характеризує процес перетворення лісостепу на степ. Дійсно, розроблена О. Л. Бельгардом схема, що відбиває деякі ґрунтові та кліматичні фактори лісового та степового угруповань, свідчить про дію комплексного градієнта, похідними якого є рівень зволоження ґрунту, тривалість вегетаційного періоду, накопичення гумусу, реакція ґрунтових розчинів, а також накопичення органічної речовини, співвідношення наземної та підземної мас рослин тощо. Ця різниця, наголошує автор, буде зменшуватися в напрямі лісостепової зони і, навпаки, зростатиме у бік напівпустелі. Подібну думку висловив С. І. Радченко (1966), який стверджував, що перетворення «лісового» градієнта на «степовий» чи «напівпустельний» приводить до змін у діяльності фітоценотичного шару.

Оцінюючи градієнтний аналіз, часто звертають увагу на те, що «майже завжди **вибір градієнта суб'єктивний**» (Бигон, Харпер, Таунсенд, 1989). Дослідник, наголошують автори, шукає параметри середовища, які, на його думку, важливі для організмів. Далі він наводить дані про відповідне угруповання уздовж градієнта обраного фактора, який найкраще корелює зі змінами, що відбуваються всередині угруповання. На цьому відрізку суб'єктивного оцінювання фактора чи факторів врешті-решт формується об'єктивне начало, яке і дає змогу встановити певну закономірність. Серії біоценозів, яким відповідає середовище, називають ценоклином («цено» — угруповання, «клин» — різниця). Біоценоз разом із градієнтом середовища, на який він активно впливає, утворює *екоклин*.

Вивчаючи біогеоценотичний шар міста, не можна не звернути уваги на ценоклинну закономірність розташування рослинних угруповань та окремих видів деревних, чагарникових і трав'яних рослин за градієнтом середовища (градієнтом урбанізації). Пересуваючись від периферії до центру міста, від одних ґрунтово-кліматичних умов до інших, спостерігаємо зміну фізіономічності ценотичного покриву. Всі ці фактори, звертає увагу Р. Уїттекер (1980), одночасно впливають на рослини та тварин. Поєднання факторів середовища, які синхронно змінюються у просторі паралельно градієнту угруповання і таким чином впливають на формування його популяції, називають комплексним градієнтом.

Теорія гемеробії (сумарного впливу людини на екосистему) дає змогу у просторово-часовому ракурсі розпізнати комплексний градієнт середовища (в умовах міста — *комплексний урбогенний градієнт середовища* (КУГС)) та розмістити рослинні угруповання відповідно до їх історико-генетичних ніш. Наприклад, олігогемеробні, слабо зачеплені господарською діяльністю рослинні угруповання лісів, боліт, лук, водних макрофітів, розташовуються на початку осі ординат, а в кінці її — еугемеробні, створені руками людини, розвиток яких повністю залежить від її впливу. Посередині розташовуються мезогемеробні угруповання тих самих лісів, лук і боліт, але зі зміненою внаслідок діяльності людини (усвідомленої чи стихійної) структурою та функціями (парк, лісопарк, лугопарк). Тому, не вдаючись до градієнтного аналізу (едафічних і кліматичних факторів), здійснюють диференціацію за фізіономічним принципом — виділення однотипних рослинних угруповань, які утворюють еколого-фітоценотичні зони чи пояси або екоклини (Зукопп, 1980; Кучерявий, 1981, 1991; Б. Клауснітцер, 1990), беручи до уваги фауністичну структуру, називають таке зонування еколого-фауністичним.

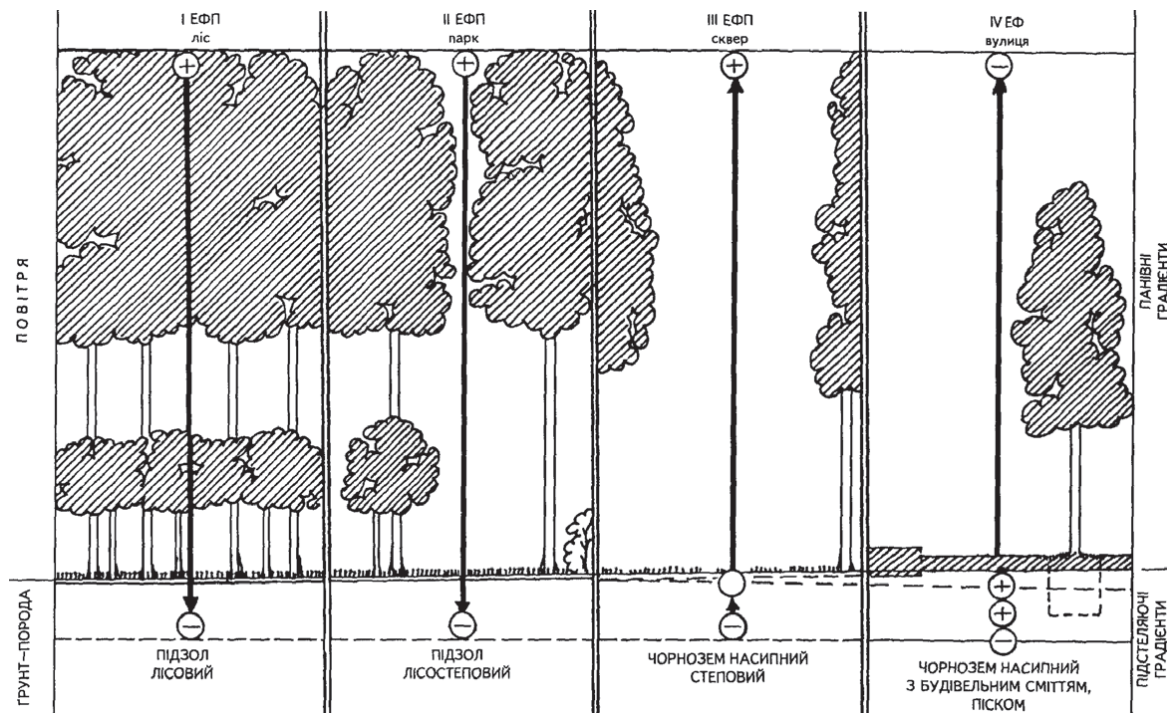


Рис. 11.7. Еколого-фітоценотичні пояси комплексної зеленої зони міста і температурні градієнти

Отже, пересуваючись від приміських лісів до центру міста, можна виділити чотири еколого-фітоценотичних пояси — ЕФП (рис. 11.7):

- I ЕФП — приміські ліси, луки, болота, водойми;
- II ЕФП — міські парки та лісопарки, лугопарки, гідропарки, великі зелені масиви різного призначення;
- III ЕФП — сади та сквери;
- IV ЕФП — вуличні посадки, насадження промислових підприємств.

Зіставляючи еколого-фітоценотичну (екоклінну) класифікацію із класифікацією гемеробії (окультуреності біогеоценозів) доходимо висновку, що:

I ЕФП відповідають біогеоценози першого та другого класів гемеробії (агемеробні та олігогемеробні) — ліси, луки із раціональним веденням господарства, заповідні території;

II ЕФП — третього класу гемеробії (мезогемеробні) — парки, лісопарки, лугопарки;

III ЕФП — четвертого класу гемеробії (еугемеробні) — культурфітоценози, сади, газони, квітники;

IV ЕФП — п'ятого та шостого класів гемеробії (полі- та метагемеробні) — мертва підстилкова поверхня міст.

Процес гемеробії, який змінює спонтанний природний рослинний покрив, перетворивши його спочатку на окультурений (мезогемеробний), а потім на культурний (еугемеробний), постійно супроводжувався формуванням рудеральних рослинних угруповань. Якщо окультурені біогеоценози в ме-

жах міста та його приміської території виявляють зональний характер (від I до IV ЕФП), то рудеральні біогеоценози мають азональний характер.

Азональність ценокліну рудеральної рослинності, як і природної, полягає у спонтанності її походження. Якщо гемеробія — процес керований (регульований) людиною, то утворення рудеральних угруповань — процес саморегульований і немовби полярний гемеробії, тобто дегемеробний.

Отже, комплексний урбогенний градієнт середовища як поєднання едафічних, кліматичних і забруднювальних факторів середовища (табл. 11.3) — основа формування та ординації ценоклінів і утворення екоклінів — фітоценотичних поясів у межах урбобіоценозу міста.

О. О. Лаптев (1998), аналізуючи біогеоценотичний покрив сучасного урболандшафту, виділяє такі **характерні групи екотопів**:

- екотопи лісових і лісопаркових масивів приміської зони;
- екотопи міських парків, садів, скверів;
- екотопи житлових масивів старої забудови;
- екотопи житлових масивів сучасної забудови;
- екотопи на територіях промислових підприємств і санітарно-захисних зон навколо них;
- екотопи автотранспортних систем;
- екотопи, створені на намівних пісках;
- екотопи на кар'єрних виробках;
- екотопи яружно-балкових систем і природних відшарувань.

Таблиця 11.3.
Параметри урбогенних градієнтів
еколого-фітоценотичних поясів (м. Львів)

Показники	Еколого-фітоценотичні пояси			
	I	II	III	IV
Температура повітря, °C (липень)	21,5	21,8	22,5	23,6
Температура ґрунту, °C (липень)	16,1	16,5	19,5	25,3
Температурний вертикальний градієнт (±)	—5,4	—5,3	—3,0	+1,7
Вологість ґрунту, % (липень)	28,9	25,9	20,6	7,3
Накопичення гумусу, %	1,9	1,1	3,8	4,5
pH ґрунтового розчину	3,9	4,8	6,3	7,5
Відношення гумінових кислот до фульвових (СГ/СФ)	0,5	0,7	2,6	9,9
Забруднення ґрунту оловом, мг/кг	17,2	19,7	61,5	151,4
Тривалість вегетаційного періоду	182	179	168	144

Проаналізуємо різні типи екотопів комплексної зеленої зони на прикладі Києва.

Екотопи кар'єрних виробок. Значні масиви таких земель є у лівобережній частині Києва. Вони являють собою неглибокі озера з рештками субстрату (глини або торфу) або тонкі квадратні перегородки між водними ділянками (у разі видобування торфу). Ці рештки за більш упорядкованого видобування підлягають виборці у метеорологічно зручний час — під час посухи або взимку. Найчастіше за наявності бокового чи глибокого відтоку води місце виймання перетворюється на лучні зарості, пройшовши більш-менш швидко фазу бур'янів. Якість трав'яного ярусу при цьому невисока, але з часом органічні рештки трав'яних рослин збагачують субстрат, роблячи його більш структурним, а торф — більш розкладеним. Якщо водна фаза минає швидко, виробка перетворює озера на вологі луки. Ділянка може бути вирівняна за допомогою техніки і приєднана до культурної площі.

Екотопи транспортних систем. З огляду архітектурно-планувальної забудови великого міста та пов'язаних з цим особливостями трансформації природних умов екотопи транспортних систем належать до інтразонального урбаністичного елемента. Екотопи тут представлені насипами та виїмками, кар'єрами, придорожніми смугами, обмеженими під'їзними шляхами та різними утвореннями транспортних розв'язок, що створені на основі різних субстратів та їх сумішей (пісок, глина, каміння тощо) і тому майже абсолютно безплідні. Насипи, особливо виїмки, значно впливають на природне середовище через зміну гідрологічних і геохімічних умов, посилення активних поверхневих процесів. Як наслідок, 1 м² неглибокої виїмки змінює природні фактори на 1 м² прилеглої території. Дія глибоких (понад 2,5 м) виїмок проявляється на площі, що в 4—10 разів перевищує їх власну. Землі, які зазнали трансформації у процесі будівництва шляхів, представлені складною мозаїкою екотопів, що значно відрізняються як екологічними умовами, так і можливістю їхнього інтегрування в довколишній ландшафт. Екотопи транспортних систем відзначаються сухістю субстрату: вони на 1—2 гігروتопи нижчі порівняно з прилеглими територіями. Разом зі складним хімічним станом атмосфери та ґрунтів ця обставина створює екстремальні екологічні умови для рослинності, внаслідок чого у зоні впливу шляхів уражується 30—80 % дерев, а відтворення трав'яної рослинності знижується вдвічі на відстані 7—20 м. Істотний екологічний фактор придорожніх екотопів — прогресуючі засолення субстрату, яке пригнічує рослини, спричинює втрату родючих

гумусових і навіть підгумусових горизонтів. Рекультивація таких екотопів не відрізняється від лісопаркової зони.

Екотопи фабрично-заводських територій мають зонально сильно редуковані ґрунти, переміщені субстрати різного літологічного та хімічного складу, а також ділянки, вкрай забруднені промисловими відходами, маслами тощо.

Екотопи яружно-балкових систем і відшарувань. Яружно-балкові та різноманітні природні відшарування становлять поширену категорію екотопів, особливо у містах лісостепової зони, а також у містах степової та поліської зон, розташованих на правих берегах рік. Їх можна розглядати в комплексі з іншими екотопами, зокрема садово-парковими. Форма схилу та його геологічна будова — визначальні при виборі способу рекультивації та інтеграції до структури урболандшафту. Чим значніша крутість схилу, тим менш привабливий він для озеленення. При крутості схилу глинистої будови 1:1,5 він буде стійким за наявності деревної рослинності. Заміна біоценозів на невластиві для даних ґрунтово-кліматичних умов призводить не до закріплення схилів, а до їх дестабілізації. Подібний ефект спостерігається на схилах правого берега Дніпра, де зі складу природного рослинного покриву повністю зникли такі види, як явір, береза, верба тощо. Оптимальний варіант для рекультивації цих екотопів — спільне використання деревної та трав'яної рослинності. Із цією метою необхідно створювати низькоповнотні (0,6—0,7) 3—4-рядні смуги, під наметом яких у міжсмужжі слід висівати дернотвірні трави.

Екотопи житлових масивів-новобудов. У цій категорії земель необхідно розрізняти два типи екотопів: ті, що виникли на базі зональних (природних) ґрунтів, і ті, що виникли на основі штучних субстратів (насипні землі, намивні піски). У першому випадку проблема створення рослинного покриву вирішується в рамках проектів озеленення території. У другому — на основі спеціально розроблених із цією метою технологій і методів рекультивації ґрунтів.

Несприятливі умови зростання зелених насаджень у містах негативно впливають на **життєвість** деревних, чагарникових, трав'яних рослин. У міських посадках можна спостерігати величезне різноманіття **захворювань рослин**. По-перше, це *неінфекційні хвороби*, які виникають під впливом несприятливих факторів зовнішнього середовища: а) хвороби, зумовлені впливом метеорологічних факторів (вітер, блискавки, низькі чи високі температури); б) хвороби, зумовлені несприятливими ґрунтовими умовами; в) хвороби, що виникають під впливом антропогенних факторів (пошкодження викидами промисловості та транспорту, різноманітні механічні

пошкодження). По-друге, це *інфекційні хвороби*, збудники яких — хвороботворні гриби та комахи. Несприятливі умови міського середовища негативно впливають на розвиток морфологічних органів дерев.

Зелені насадження відіграють в умовах атмосферного забруднення міста роль біофільтра. Спочатку у клітинах листової пластинки відбувається накопичення забруднювача, біохімічна детоксикація, яка завершується некрозами та часто загибеллю рослин.

Екологічні дослідження, проведені у Казані кафедрою охорони природи місцевого університету у 1980-х роках, свідчать, що зелені насадження страждають не лише від несприятливих факторів міського середовища, але й від поганого догляду. З'являється суховершинність, всихання листя крони, утворюються напливи на стовбурі. Метеорологічні фактори (температура, надлишок сонячного освітлення) зумовлюють утворення морозобоїн, опіків на стовбурах дерев. Слід особливо виділити механічні пошкодження дерев, яких завдають їм люди та транспорт. Найчастіше трапляються такі пошкодження, як порізи крони, розщеплення та надломи стовбура, обламування гілок, використання стовбурів дерев для різних вказівників, табличок, а також як опори при будівельних роботах. Загальний відсоток механічних пошкоджень дерев у Казані сягає 40 %, а в окремих районах — 64 %. Особливо багато пошкоджених дерев на вулицях із інтенсивним рухом транспорту (до 100 %). Багато шкоди здоров'ю дерев завдає некваліфікована їх обрізка. В окремих випадках дерева гублять 70—90 % крони, інколи залишається один стовбур. Усе це веде до втрати деревами декоративності, вони пізніше вкриваються листям. Особливо страждають від обрізки клен гостролистий, клен-явір, ясен звичайний, каштан кінський, дуб звичайний.

У містах, де місцеві органи влади приділяють більше уваги догляду за деревами, стан здоров'я та декоративність дерев не викликають турботи. У недалекому майбутньому у Києві, за спеціальним рішенням міськвиконкому з метою збереження зелених насаджень та їх відновлення, братиметься плата за кожне зламане або загине в процесі будівництва дерево.

Обстежуючи міські зелені насадження, зустрічаємося з численними інфекційними захворюваннями, зумовленими паразитичними грибами, серед яких поширені деревно-руйнівні, що сприяють утворенню різноманітних гнилей: лускуватий трутовик, строкато-жовтий трутовик, березова губка, шизофілум, несправжній дубовий трутовик, церена однобарвна, трутовик пінотвірний.



Рис. 11.8. Схема дії біофільтра

Крім деревноруйнівних грибів, поширені чорна плямистість листя, некроз кори гілок клена. Листя дерев і чагарників часто пошкоджується іржастими грибами (тополя бальзамічна, троянди). У різних типах міських зелених насаджень формування мікрофлори відбувається по-різному. Вуличні посадки, насадження скверів і парків відрізняються видовим складом мікрофлори та ступенем поширення окремих збудників хвороб. Фітопатогенні гриби активно розмножуються у паркових насадженнях і дуже слабо — у вуличних посадках. Одна з причин таких відмінностей — неоднакові мікрокліматичні умови. Загущені паркові посадки з їх підвищеною вологістю повітря сприяють розвитку мікофлори, і навпаки, сухе повітря міських площ і вулиць, а також його добра провітрюваність згубно впливають на розвиток спор грибів, знижуючи інтенсивність патогенних видів.

Дерева та чагарники у містах беруть на себе велике навантаження, виконуючи роль біофільтра (рис. 11.8) та оздоровлюючи середовище життя людей, вони, як писала польська письменниця А. Ленькова (1971), «вмирають стоячи».

У місцях із найвищим відсотком механічних пошкоджень і поганим доглядом збільшується також фітопатологічна пошкодженість. Життєвість зелених насаджень великого міста залежить від дії комплексного урбогенного градієнта середовища, який включає в себе характерні особливості едифотопу, кліматопу та забруднення довкілля полутантами.



Рис. 11.9. Схема формування КУГС та його оцінка: КГ — кліматичний градієнт, ЕГ — едафічний градієнт, ЗГ — забруднюючий градієнт; бали: 1 — добрі умови, 2 — задовільні умови, 3 — негативні умови

Градієнтний аналіз підтвердив вплив урбогенних факторів міського середовища на ксерофілізацію кліматопу та алкалізацію едафотопу, а також на їх техногенне забруднення. Виходячи з цього, виділяють (Курницька, 2001) групу найзначніших (з огляду на нормальний онтогенез деревних рослин) показників, які формують КУГС (рис. 11.9).

За переважною більшістю досліджуваних показників умови лісопарку та міського парку сприятливі для нормального росту та розвитку рослин і насаджень, у той час як у сквері та на вулиці частіше створюється негативне середовище для їх зростання.

Якщо згадати давні часи, то можна пересвідчитися, що міста будували у більшості випадків поблизу річок або місць їх злиття, і, як правило, на підвищеннях, тобто там, де це було вигідно для торгівлі та оборони. Починаючи своє існування на підвищенні, міста згодом займали багаті заплавні долини або ж заліснені території. Родючі землі, які певний час годували мешканців міста, згодом забудовували чи замощували. *Урбанізація безперервно або усувала природні біоценози з міської території, або ж трансформувала їх у культурні чи рудеральні.*

Кожному із функціональних типів ландшафту (урбанізованому, індустріальному, рекреаційному, девастованому, комунікаційно-стрічковому, агрокультурному, лісогосподарському, гідроморфному) відповідає певний тип біогеоценозу. У девастованих ландшафтах можуть траплятись піонерні сукцесії як спонтанного, так і культурного походження.

Виходячи з фітоценотичного підходу до класифікації рослинного покриву, «родовід» кожного міського біогеоценозу можна встановити за такою схемою: **тип рослинності—формація—субформація—екологічна група асоціацій (тип лісу) — асоціація (корінна, похідна).**

Навіщо ж звертатися аж до формації, щоб установити цей зв'язок? Це питання і відповідь на нього мають практичне значення. Сьогодні, коли в містах з'являються нові угруповання інтродукованих екзотів (кленів ясенелистого та сріблястого, робінії звичайної, дуба червоного, тополь тощо), які не завжди забезпечують вимоги щодо їх стійкості та декоративності, звертаються до підбору місцевих, передусім лісотвірних видів. Наприклад, на території Великого Токіо японські вчені хочуть відновити бук як представника панівної колись тут букової формації лісів. У Бельгії науковці та практики намагаються відновити корінні типи лісу, усуваючи з ландшафту невластиві йому екзоти.

Встановлення для даної природно-кліматичної зони панівної формації — одне з першочергових завдань. Наприклад, у лісостеповій частині України — це формація дуба звичайного, на Поліссі — сосни звичайної, у Передкарпатті — бука лісового. Кожній із цих головних порід (едифікаторів) відповідають супутні породи. У дубових і букових лісах — граб, який і формує з породами-едифікаторами субформації — грабово-букові чи грабово-дубові.

Наступна таксономічна одиниця — *екологічна група асоціацій*, або тип лісу (для лісової рослинності). До типу лісу може належати декілька асоціацій. Наприклад, у свіжій грабовій бучині (тип лісу) поблизу Львова трапляються грабово-букові асоціації з осокою волосистою, яглицею, підмаренником і різнотравні асоціації (у місцях рекреації). Кожна із зазначених чотирьох асоціацій, що входять до даного біогеоценотичного комплексу (типу лісу чи екологічної групи асоціацій), є корінною. Асоціації, які з'явилися чи з'являються на їх місці (березняки, осичники, грабняки, угруповання інтродукованих екзотів), називають *похідними*, оскільки вони походять від первинних угруповань, що сформувалися в цій місцевості за тривалий період часу (сотні й тисячі років).

Асоціація — елементарна одиниця класифікованої рослинності і як автотрофний блок входить до складу елементарної одиниці біогеоценотичного шару — біогеоценозу. Отже, *класифікація біогеоценозів починається з класифікації її фізіономічно-видимої та біосферно-діяльної частин — рослинної асоціації*.

Усі корінні біогеоценози (лісові, лучні, болотні, степові, скельні, водні тощо) — *саморегульовані* (рис. 11.11), похідні ж біогеоценози можуть бути *саморегульованими* (розвиваються без участі людини) або ж лише *регульованими* (розвиваються за участю людини). До саморегульованих міських біогеоценозів (рис. 11.10) належать *сільваценози* (лісові угруповання парків та інші зарості дерев), *фруто-*

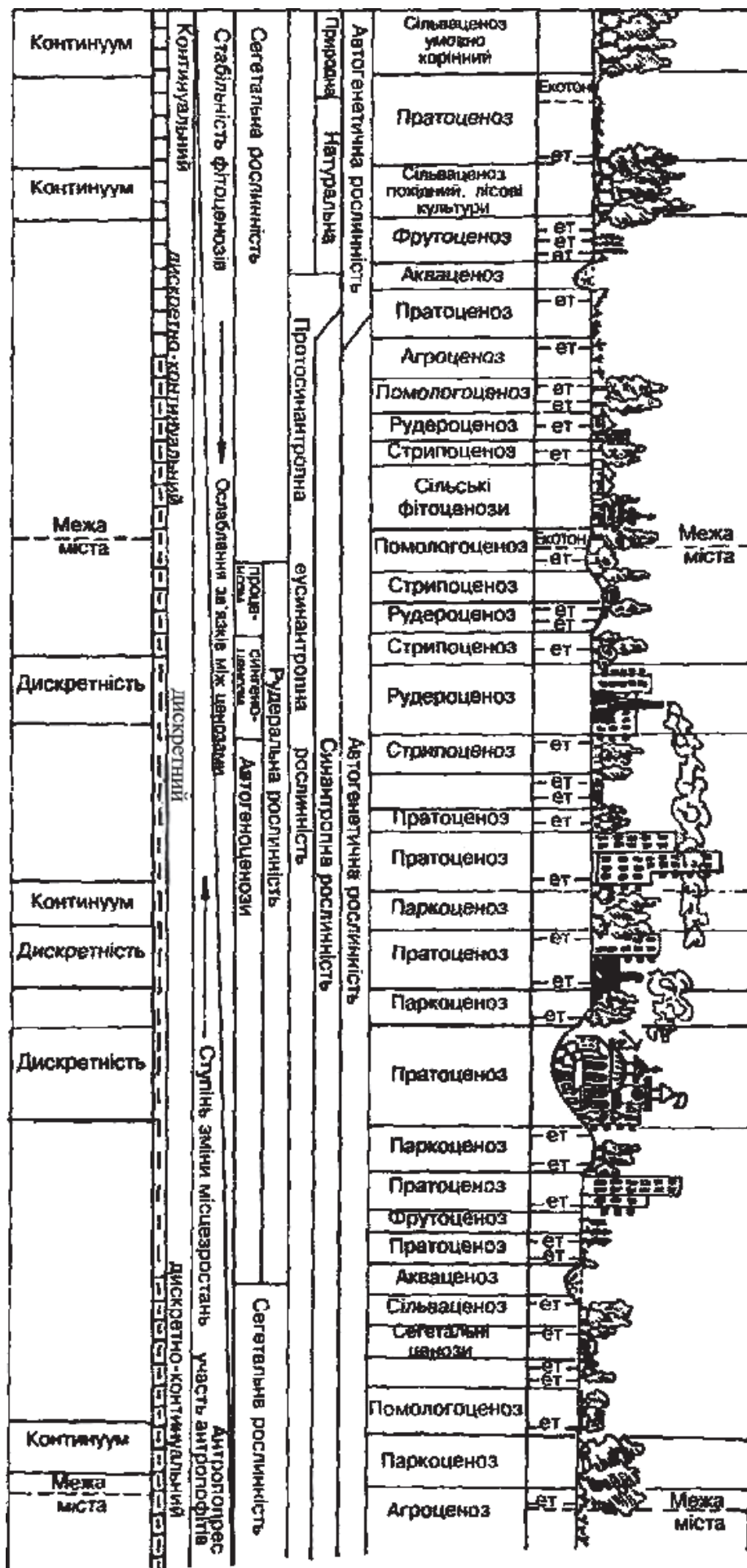


Рис. 11.10. Схема антропогенізації рослинного покриву міста (Кучерявий, 2002)

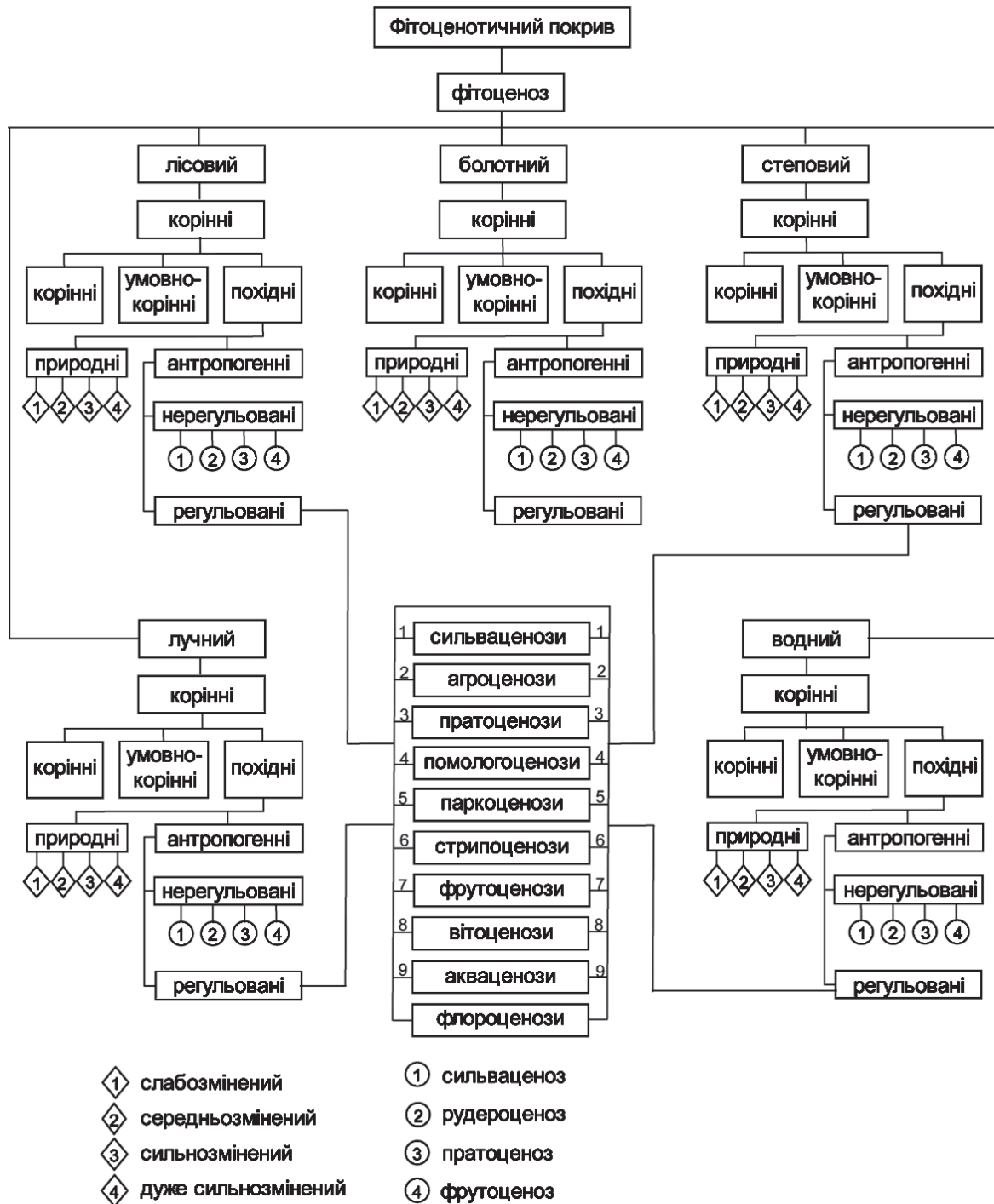


Рис. 11.11. Класифікація фітоценозів (Kucherjauyi, 1990)

ценози (чагарникові зарості), *пратоценози* (лучні угруповання), *акваценози* (водні угруповання) та *рудероценози* (угруповання бур'янових рослин).

Регульованими біогеоценозами можна вважати культурні сільваценози (лісові плантації чи біогрупи та масиви, що перебувають під постійним господарським впливом), *фрутоценози* (плантації ягідників чи декоративні біогрупи чагарників), *пратоценози* (газони), *акваценози* (декоративні водойми з декоративною рослинністю), а також квітники (*флороценози*), сади (*помологоценози*), смуги різного функціонального призначення (*стрипоценози*), виноградники (*вітаценози*),

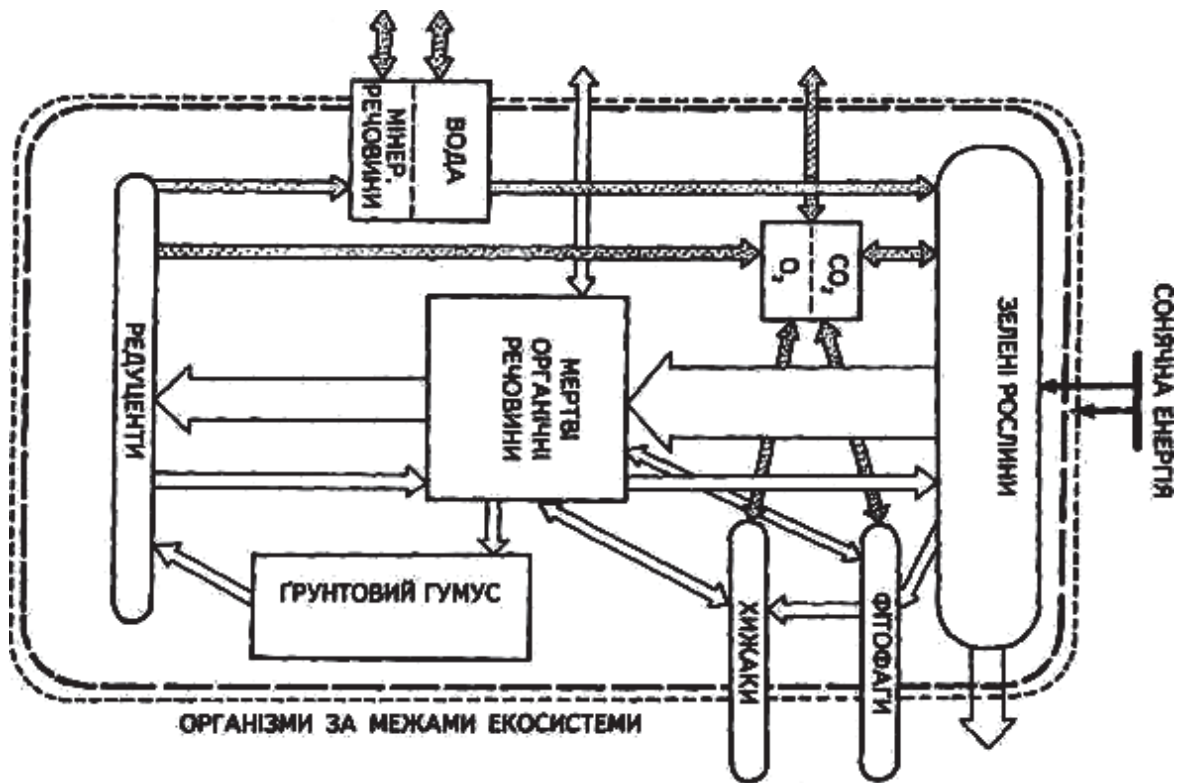


Рис. 11.12, а. Агемікробний БГЦ

зернові та просапні культури (*агроценози*). Усі вони належать до категорії культурбіогеоценозів, які хоч і розвиваються за природними законами, але повністю залежать від діяльності людини. Якщо людина припиняє догляд за ними і не управляє їх розвитком, вони перетворюються на зарості і втрачають свій «культурний» вигляд.

Природні та штучні біогеоценози мають свою історію і проходять через певний період розвитку, який характеризується сукцесіями.

Класифікація окультуреності (гемеробії) біогеоценозів

Біогеоценотичний покрив антропогенізованих територій характеризується різним рівнем окультуреності (гемеробії). Його можна поділити на шість класів гемеробії: I — агемеробний (рис. 11.12, а), II — олігогемеробний (рис. 11.12, б), III — мезогемеробний (рис. 11.12, в), IV — еугемеробний (рис. 11.12, г, д), V — полігемеробний (рис. 11.12, е), VI — метагемеробний (рис. 11.12, є). Правильна організація фітомеліоративних заходів неможлива без глибокого знання рівня окультуреності конкретної господарської ділянки.

Через господарську діяльність в умовах урбанізованих територій агемеробні первісні ліси, луки, болота, степи практично не трапляються.

Характерні для агемеробної екосистеми розвинуті вертикальні (радіальні) речовинно-енергетичні потоки, інтенсивне нагромадження та розклад мертвої органічної речовини

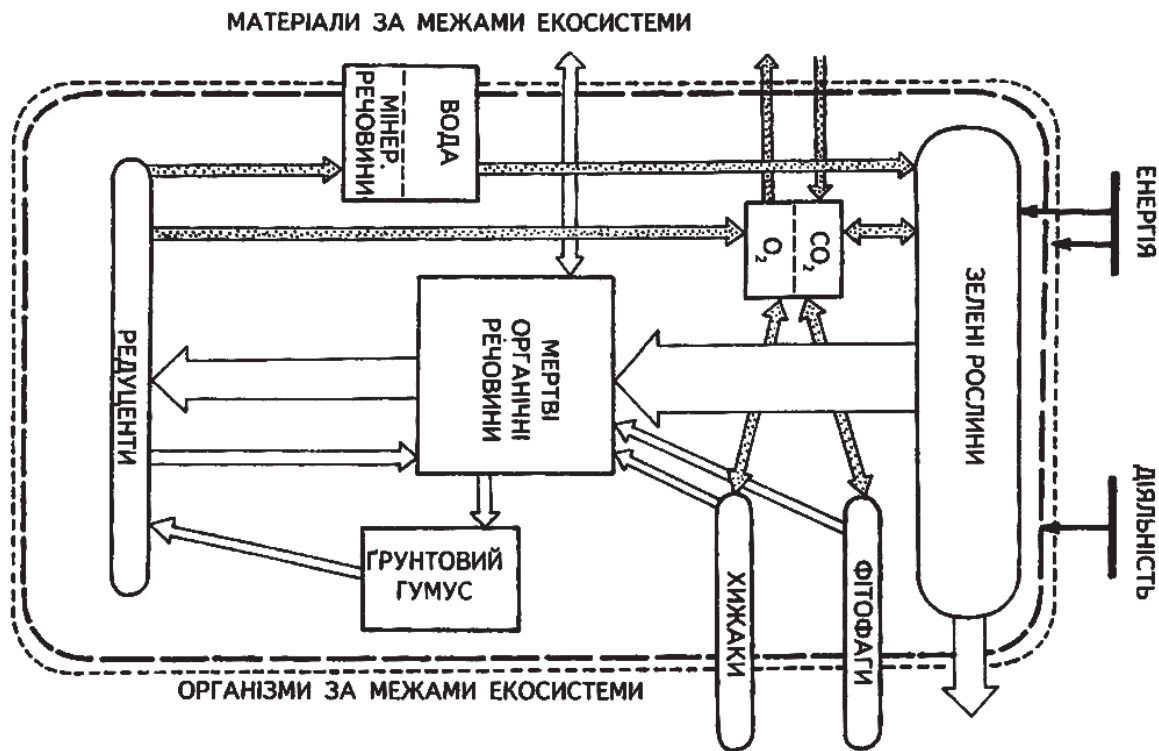


Рис. 11.12, б. Олігогемеробний БГЦ

(МОР), а також її мінералізація. Інтенсивному нагромадженню МОР сприяють складні трофічні ланцюги. В агемеробному біогеоценозі, як правило, трапляються консументи першого, другого, третього та інших порядків, які займають різне становище в ланцюгу живлення.

Головна особливість агемеробної екосистеми — її функціонування тільки за рахунок спрямованого потоку енергії, постійного її надходження іззовні у вигляді сонячного випромінювання або готових запасів органічної речовини.

Олігогемеробні (малоокультурені) біогеоценози (рис. 11.12, б) — луки, болота, охоплені господарською діяльністю, яка суттєво не змінила організацію екосистеми. Тут спостерігається незначний антропогенний вплив. До олігогемеробних біогеоценозів належать корінні й похідні рослинні угруповання, розвиток яких лише певною мірою спрямовує людина (сприяння природному відновленню шляхом підсіву та підсадки, санітарні рубки та рубки догляду, які не змінюють співвідношення особин у деревостані та підлісковому ярусі).

Організація обох згаданих типів біогеоценозів зберігає в основному природні риси речовинно-енергетичного циклу. Новим тут є, по-перше, надходження антропогенної енергії (людина, техніка) і, по-друге, винесення з екосистеми органічної речовини (у вигляді деревини, листя, сіна тощо). Якщо антропогенна діяльність ведеться тут раціонально, то спостерігається навіть ефективніше функціонування ланцю-

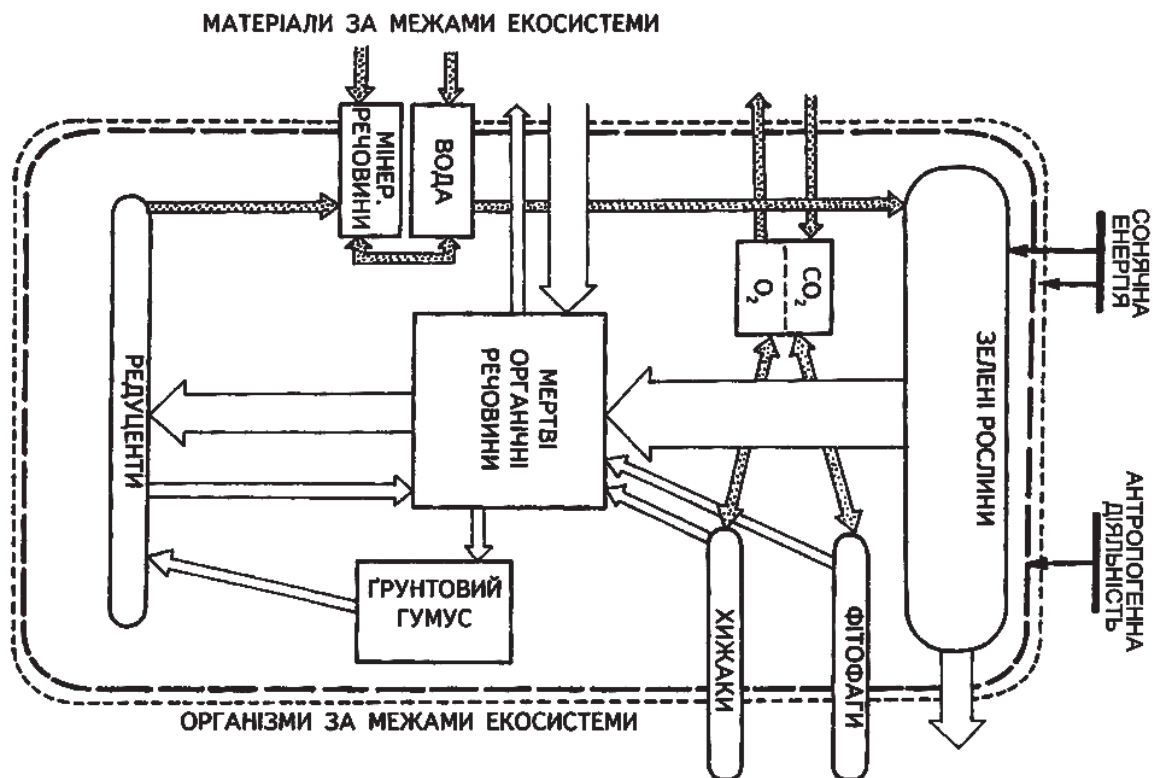


Рис. 11.12, в. Мезогеморбний БГЦ

гів живлення та розкладу, підвищення продуктивності рослинних угруповань.

Мезогеморбні (середньоокультурені) біогеоценози (рис. 11.12, в) — екосистеми з інтенсивним веденням господарства (лісопарки, парки, луки із регулярним сінокошінням тощо). Наприклад, у парковій екосистемі, аналогічно лісовій, серйозно не порушені зв'язки між внутрішніми підсистемами біогеоценозу — первинними продуцентами, фітофагами, хижаками, паразитами та, нарешті, редуцентами. Як і у попередніх біогеоценозах, тут переважають вертикальні (радіальні) речовинно-енергетичні канали.

Якщо в олігогеморбній екосистемі антропогенізація проявляється в основному у внесенні додаткової кількості енергії, як, зрештою, і винесенні її разом із вирубуваною деревиною або продукцією побічного користування (гриби, ягоди, рослини), то паркова екосистема, крім того, одержує допоміжну кількість мертвої органічної речовини (органічні добрива) і води (для поливу), мінеральних речовин (мінеральні добрива та хімічні токсиканти міської екосистеми). Додаткову енергію паркові біогеоценози (в основному ті, які межують із великими ділянками мертвої підстилаючої поверхні — забудова, заощення) одержують у вигляді тепла. Суттєво зростає потужність зв'язків із сусідніми екосистемами (міського району або промислового вузла). Особливо помітне винесення з цієї екосистеми кисню та вологи.

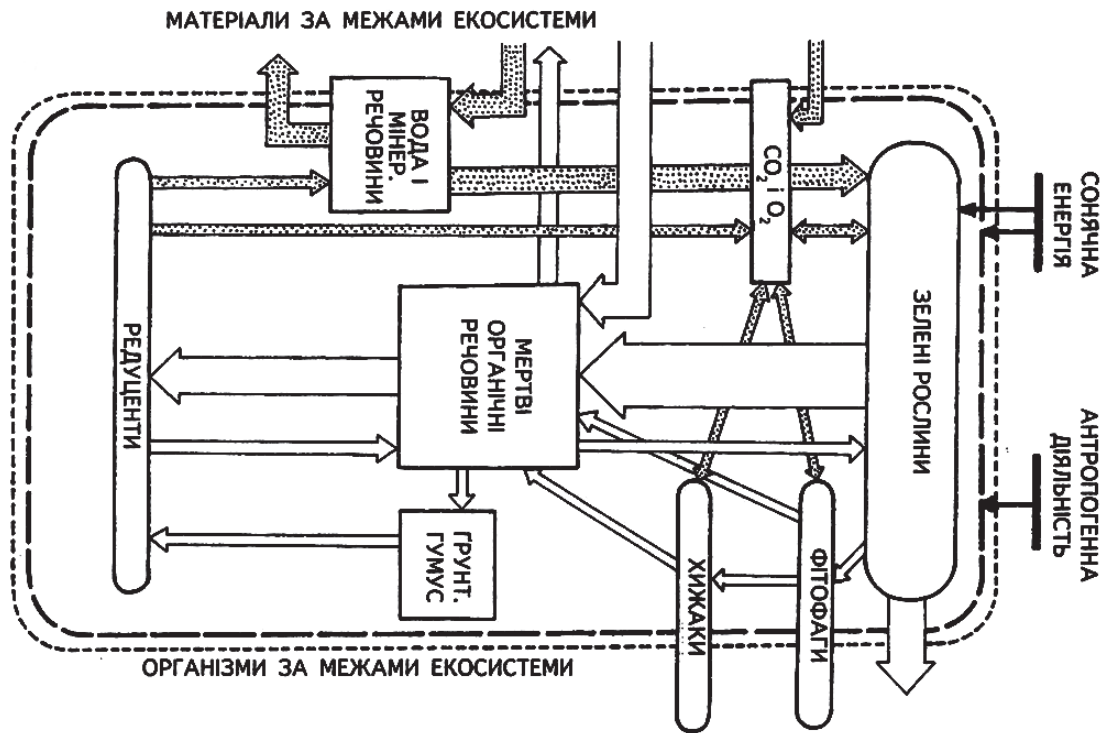


Рис. 11.12, з. Еугемеробний БГЦ

Еугемеробні біогеоценози (рис. 11.12, з) — культурні угруповання, керовані людиною. Така організація характерна для екосистем типу лісової плантації, саду або пшеничного поля, газону чи квітника, виноградника. Сюди більше, ніж у попередню екосистему, вносять органічної та мінеральної речовини, води. Водночас із неї виноситься більше органічної маси у вигляді цілих рослин або плодів. Під сильним антропогенним впливом (наприклад, міський сквер — рис. 11.12, д) перебувають латеральні речовинно-енергетичні потоки, а існування гетеротрофних блоків (травоядні, хижаки, паразити) повністю залежить від господарської діяльності людини (внесення пестицидів, хімічних добрив, забруднення повітря автотранспортом, механічне знищення особин).

Полігемеробні біогеоценози (рис. 11.12, е) посідають особливе місце в антропогенізованому біогеоценотичному покриві. Це рослинні угруповання дегазованих ландшафтів: кар'єрів, відвалів, гравійних та інших насипів залізниць, промислових і складських майданчиків, свіжих звалищ. Як правило, їх утворюють рудеральні рослини, виникнення яких пов'язане з наявністю у мертвій породі органічних залишків від попередніх екосистем або ж занесених водою чи вітром мертвих органічних речовин. Це екосистеми, які з'явилися, подібно до перших екосистем Землі, гетеротрофним шляхом, тобто залежним від забезпечення органічною речовиною. «Тут, напевне, — пише Д. Казенс (1982), — принцип дії такий: коли б не виникало накопичення органічної речовини

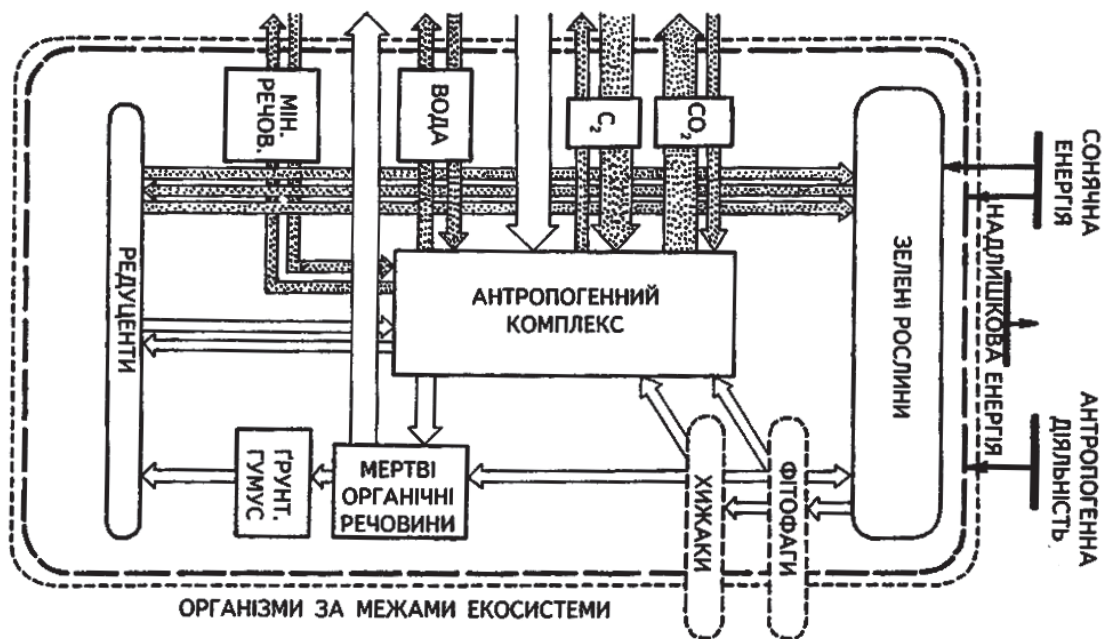


Рис. 11.12, д. Еугемеробний БГЦ

у певному середовищі, не надто суворому для підтримання життя, врешті-решт розвинеться якась життєва форма для використання цього накопичення...». Даний тип біогеоценозу — одна з ранніх стадій сукцесії, яка призводить до неминучого відновлення девастрованого ландшафту через ряд наступних етапів.

Метагемеробна (мертвопокривна: забетоновані, заощені, забудовані території) екосистема (рис. 11.12, є) — типowo гетеротрофна, може розвиватися залежно від наявності мертвої органічної речовини, якої на даний момент немає, але є нижчі організми, готові її створювати, наприклад, з асфальту або ж із полімерів, які сьогодні є повсюди.

Процес урбанізації у сучасних містах розвивається за тією самою схемою, що й у попередні періоди їх розвитку: зменшується питома вага природного біогеоценотичного шару і збільшується площа мертвої підстилкової поверхні. Метагемеробному процесу у великих містах і промислових центрах слід протиставити фітомеліоративні заходи у вигляді озеленення та обводнення урбанізованих територій. Сюди слід включити сади на дахах і контейнерну зелень.

Незважаючи на своєрідність кожного міста, особливості розвитку та структуру, вони мають багато спільного. Передусім — це антропогенні форми біотопів, які мозаїчно розкидані по всій урбанізованій території, однак підпорядковуються дії комплексних урбогенних градієнтів середовища і екоклінам еколого-фауністичних зон (Клауснітцер, 1990; Кучерявий, 1991).

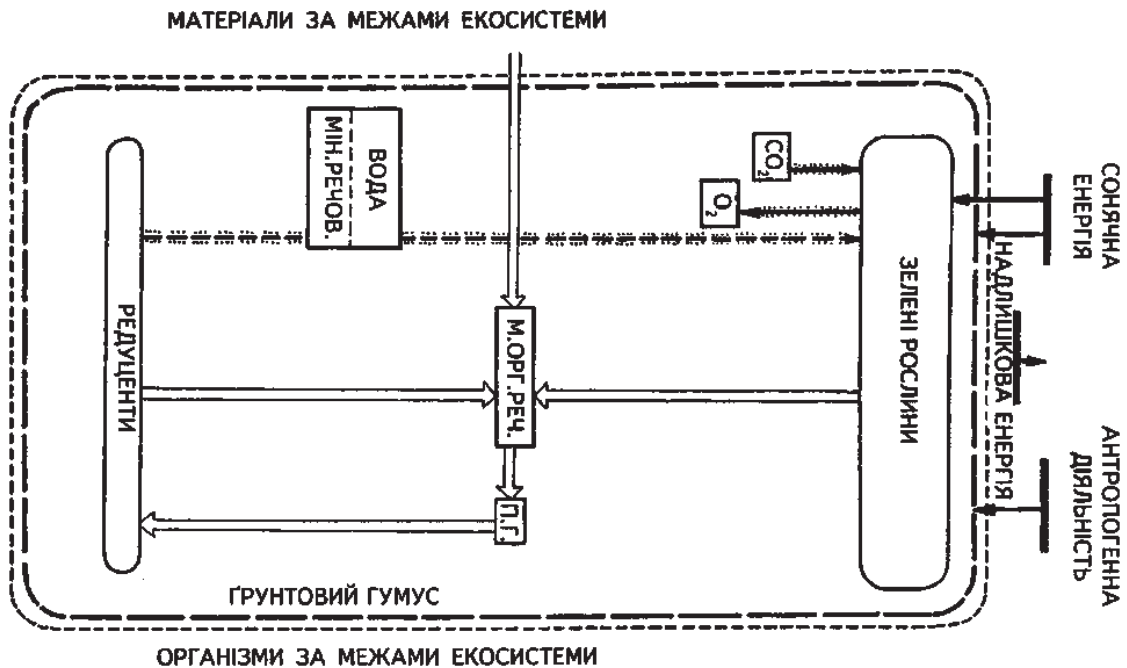


Рис. 11.12, е. Полігемеробний БГЦ

Міські біотопи Б. Клауснітцер поділяє на «будівлі» та «інші наземні місцезростання». Будівлі як місце існування фауни — цілком нові для живих істот екологічні ніші. За структурою поверхонь їх можна порівняти хіба що зі скелями з їх уступами та тріщинами, отворами та субстратом. Подібно до скель у них формується своєрідний мікроклімат і є свої кормові ресурси. Якщо ж стіни будівель покриті виткою рослинності, то тут виникають додаткові умови для формування екологічних ніш багатьох представників міської фауни.

Залежно від користування відомі такі типи будівель: будинки, житлові, службові, виробничі та складські приміщення, які, у свою чергу, поділяють на: а) непостійно опалювані житлові будинки; б) постійно опалювані приміщення; в) складські та деякі виробничі приміщення.

У непостійно опалюваних будинках розрізняють три основні зони: горища, поверхи, підвали.

Для горищ характерні максимальні амплітуди температурних коливань протягом доби та року. Незважаючи на це, тут завдяки просторовій структурі гніздяться, ночують і зимують птахи та ссавці, інші хребетні та безхребетні тварини. У деревині стропил і брусів живуть домові скрипалі та різні точильники, що часто пошкоджують будівлі. Із птахів тут найчастіше селиться сизий голуб.

Дослідники вважають, що багатство гнізд сизого голуба зумовлене різноманіттям їх компонентів: екскременти птахів, гілки рослин, пір'я, мертві пташенята тощо. Про складність трофічних зв'язків у цьому невеликому зооценозі свідчать

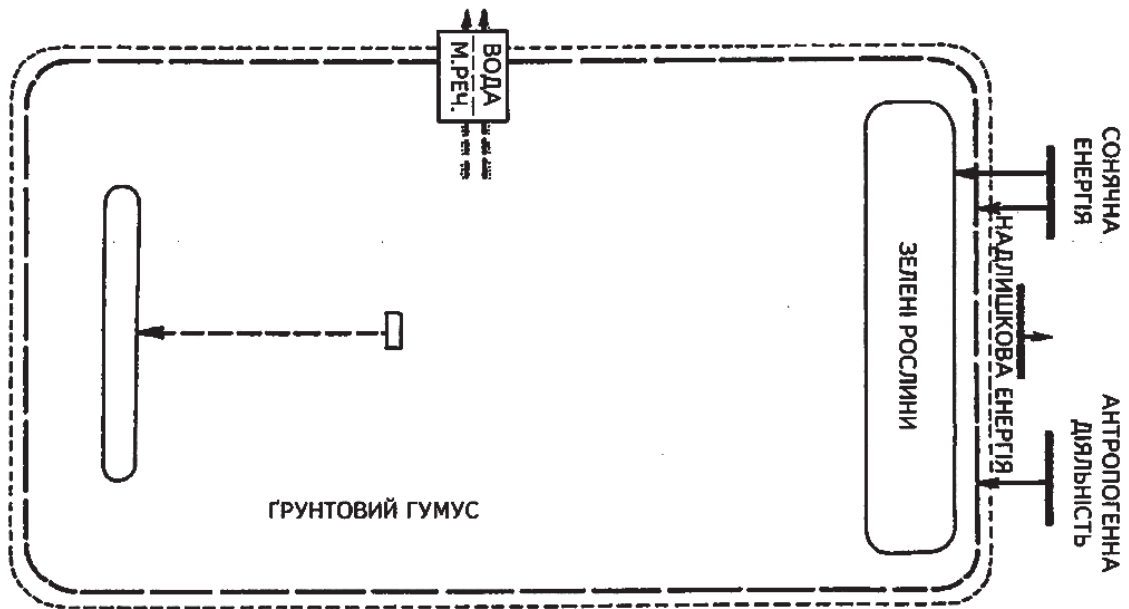


Рис. 11.12, є. Метагемеробний БГЦ

такі дані: кров і детрит гнізда є кормом для бліх, пліснява і детрит — для ногохвісток, сіноїдів, жуків, рештки тварин і кератин — для шкіроїдів і молі, екскременти — для двокрилих, матеріали гнізд і кормові рештки — для метеликів родини *Oecophoridae*. Узагалі горища — улюблені місця зимівлі багатьох видів метеликів. Наприклад, регулярно зимують на горищах кропивниця (*Aglais urticae*) і павичеве око (*Inachisio*), а також золотоочка (*Chrysoperla carnea*). Агрегаціями зимують у будинках і часто у щілинах віконних рам усім знайомі види сонечок (родина *Coccinellidae*).

Фауна поверхів залежить передусім від наявності корму, а також від температурних умов і вологості, просторової структури приміщень (поверх, мансарда, веранда). Фауну поділяють на такі групи: 1) шкідники запасів; 2) шкідники матеріалів; 3) паразити людини; 4) паразити домашніх тварин; 5) мешканці домашнього пилу; 6) мешканці плісняви; 7) фауна квіткових горщиків і кімнатних рослин; 8) фауна холодильників.

Шкідники запасів. Німецький вчений Г. Вайднер наводить список 308 видів специфічних домашніх комах. Відомі із шкільного курсу екології численні приклади із життя борошнистих хрущиків, що оселяються у борошні. Космополітом стала цукрова попелиця, яка трапляється у природних умовах у Південній Європі. Основний її корм — цукор, крохмаль та інші вуглеводи, які вона добуває із паперу чи просто брудних ганчірок. **Шкідниками матеріалів** є скрипалі та точильники. **Паразити людини** та домашніх тварин досить добре вивчені, це об'єкт дослідження окремої дисципліни — паразитології.

Мешканці домашнього пилу представлені головним чином кліщами, які часто є складовою інгалаційних алергенів. Наприклад, у пробах домашнього пилу у квартирах Гамбурга виявлено близько 35 видів кліщів із 22 родин.

11.6. Місто як гетеротрофна екосистема

Ю. Одум розглядає місто, яке споживає готову продукцію, як гетеротрофну екосистему. Як відомо, особливістю будь-якої екосистеми, у тому числі й такої велетенської, як велике місто, є відкритість, оскільки вона має одержувати й віддавати енергію. Урбоекосистема однаковою мірою відкрита як для імміграції, так і для еміграції, а тому для її функціонування та самопідтримання необхідні середовище «на вході» і середовище «на виході» (рис. 11.13). Отже, за Ю. Одумом,

$$\text{Екосистема} = \text{IE} + \text{S} + \text{OE},$$

де IE — середовище «на вході», S — власне система, OE — середовище «на виході».

Подібно до біогеоценозу урбоекосистема теж має межі (зрозуміло, умовні). Аналогічно до біогеоценозу урбоекосистема має вхід і обов'язковий вихід, відсутність якого могла б стати причиною надмірного накопичення речовини і енергії, що призвело б до її самознищення.

Як зазначає Ю. Одум, масштаби змін середовища «на вході» і «на виході» надзвичайно сильно коливаються і залежать від декількох змінних, зокрема:

- розмірів системи (чим вона більша, тим менше залежить від зовнішніх частин);
- інтенсивності обміну (чим він інтенсивніший, тим більшими є приплив і відтік);
- збалансованості автотрофних і гетеротрофних процесів (чим сильніше порушена ця рівновага, тим більшим має бути приплив іззовні для її забезпечення);
- стадії та ступеня розвитку системи (молоді системи відрізняються від зрілих).

Зупинимось детальніше на обговоренні цих запропонованих Ю. Одумом змінних.

Коли йдеться про власне міську екосистему, то автори багатьох наукових праць стверджують, що вони беруть до уваги не просто місто, а «велике» місто (Одум, 1982; Клауснітцер, 1990; Кучерявий, 1991; Susopp, Wittig, 1993). Справа у тому, що невеликі міста або селища міського типу за своїм способом функціонування більше нагадують природні екосистеми, ніж індустріально-міські.

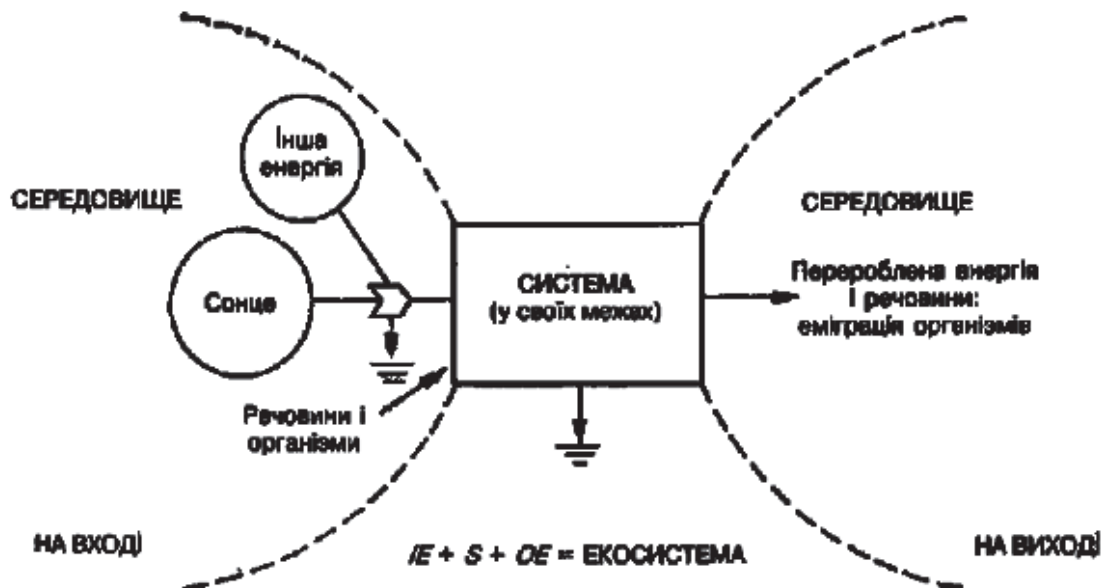


Рис. 11.13. Наявність зовнішнього середовища, яке слід вважати невід'ємною частиною екосистеми

Ю. Одум вдало ілюструє різницю між природною гетеротрофною та урбанізованою екосистемами. Для цього він наводить приклад устричної банки (водний біоценоз із домінуванням устриць) і велике місто (рис. 11.14). Як бачимо з цього рисунка, міська екосистема відрізняється від природної, а саме:

- значно інтенсивнішим метаболізмом на одиницю площі, що вимагає більшого припливу концентрованої енергії ззовні (у наш час надходить у вигляді горючих копалин);
- більшим надходженням енергії ззовні, наприклад металів для виробництва та торгівлі, не беручи до уваги металів, необхідних для підтримання життя людей, рослин (залізо, марганець, молібден, хром тощо);
- потужним і отруйним потоком відходів, значна кількість яких — синтетичні сполуки, токсичніші, ніж природна сировина, з якої вони одержані.

Виходячи з цих висновків, можна без застереження зауважити, що середовище «на вході» та середовище «на виході» міської екосистеми суттєво відрізняються від екосистеми села чи малого міста. Чим більша за розмірами природна екосистема, тим менше вона залежить від зовнішніх чинників, наприклад лісова екосистема та окрема в її складі елементарна консорція. Проте, розглядаючи урбоекосистему великого міста, можна стверджувати зворотне: чим більші її розміри, тим більше вона залежить від стану середовища «на вході» та середовища «на виході». Адже кожна клітинка цього велетенського організму одночасно переробляє величезну кількість речовини.

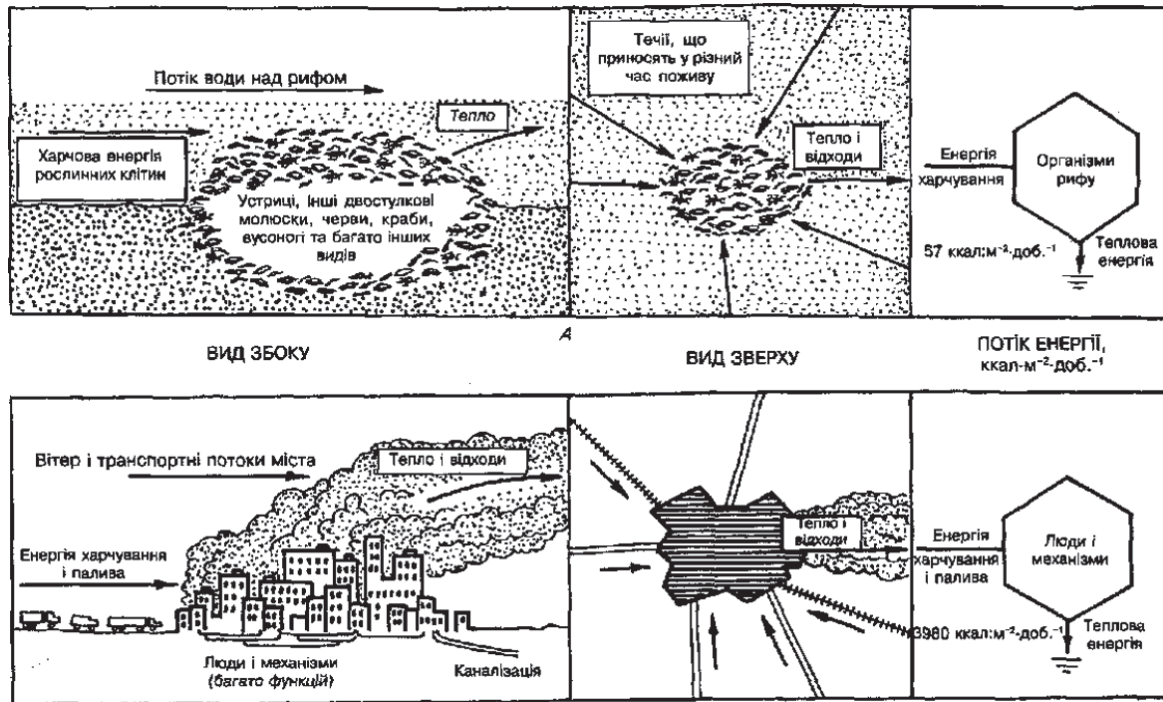


Рис. 11.14. Гетеротрофні екосистеми: А — одне з природних «міст» — устрична банка, що цілком залежить від надходження енергії їжі з великої площі навколишнього середовища; Б — індустріалізоване місто, існування якого підтримує колосальний приплив палива та їжі, причому відповідно виникає значний вплив у вигляді тепла, промислових і побутових відходів. Потреби одного квадратного метра міста в енергії приблизно у 70 разів перевищують потреби такої самої площі устричної банки — близько 4000 ккал/добу, а за рік — близько 1,5 млн ккал (Одум, 1982)

Якщо вважати міські сади та сквери окремими екосистемами, можна стверджувати, що їх функціонування залежить від стану середовища «на вході», зокрема рівня теплового та пилогазового забруднення кварталу чи міського району міста (див. рис. 11.14, Б). Невеликі сквери великого міста практично не впливають на його мезоклімат, тобто на середовище «на виході». Водночас великі паркові чи водні екосистеми здатні охолоджувати і зволожувати повітря прилеглих забудованих і заощених територій, а також зумовлювати явище «бризу» — легкого свіжого вітерцю.

«Сьогодні, — пише Ю. Одум (1986), — навіть у посушливих районах більшість міст мають широкий «зелений пояс» або включають у себе автотрофний компонент (дерева, чагарники, трав'яні газони, а часто озера та ставки); органічна продукція цього зеленого компонента не відіграє помітної ролі у постачанні механізмів і людей, які так щільно заселяють місто та цей промисловий район. Без величезних надходжень їжі, пального, електроенергії та води механізми, автомобілі, фабрики тощо припинили б роботу...».

Безумовно, міські ліси, луки та парки являють собою величезну естетичну та рекреаційну цінність: вони пом'якшують

коливання температури в місті, зменшують шумові та інші типи забруднення, надають місце для існування співучим птахам та іншим дрібним тваринам. Однак праця та пальне, які витрачають на зрошення, удобрення, стрижку газонів, обрізання дерев, видалення зрізаних або опалих гілок і листя, а також іншу роботу, необхідну для підтримання приватних і громадських зелених зон міста, збільшують енергетичні (та фінансові) витрати на життя в місті. Звичайно, енергетичні ресурси урбоєкосистема імпортує, доставляючи їх за сотні й тисячі кілометрів.

У таблиці 11.4, поданій Ю. Одумом, порівнюється «забудований ліс» (місто) в Медісоні (штат Вісконсін) із сусіднім непорушеним лісом. У місті близько 30 % житлового району вкрито бетоном або зайнято будинками та іншими «непроникними» об'єктами, але у перерахунку на площу, зайняту рослинами, «забудований ліс», завдяки садівничій діяльності людини та особливо удобренню і зрошенню, характеризується значно більшим видовим різноманіттям рослин і більшою продуктивністю.

Таблиця 11.4.
Порівняння природного лісу та міста (Одум, 1986)

Показник	Природний ліс	Забудований ліс
Кількість видів дерев	10	75
Кількість видів чагарників	20	74
Біомаса дерев (середня суха маса надземних частин), кг/м ²	27	10
Річна чиста продукція усієї рослинності, г/м ²	812	719
Чиста продукція на зайнятій площі (у випадку забудованої місцевості без урахування 30 % площі, де ліс вирубаний), г/м ²	812	1027
Внесено добрив, кг/га	0	136
Річний експорт органічних речовин, г/м ²	0	497
Витрати води на зрошування	0	Великі (точно не відомо)

Проте міська екосистема, як виявляється, дуже марнотратна. Маючи у своєму розпорядженні значну кількість продукрованої міською зеленню органічної речовини (1027 г/м²), вона її (497 г/м²) експортує, тобто вивозить за межі екосистеми (приміські сміттєзвалища), причому тоді, коли у приміську екосистему імпортується значна кількість добрив (136 кг/га). Слід зазначити, що згадана лісова екосистема не імпортує і не експортує органічної речовини.

Як бачимо, урбоєкосистема — єдине ціле з її «входом» і «виходом». Господарська діяльність людини в урбоєкосистемі далеко виходить за межі території безпосередньо забудови і впливає на всі природні компоненти не лише всередині міста, а й далеко за його межами. Фізико-геологічні зміни ґрунтів, підземних вод та інших компонентів літогенної основи відчуються залежно від конкретних умов у радіусі 25—30 км, біогеохімічні зміни — на ще більшому віддаленні. Доведено, що великі міста, а тим більше міські агломерації, впливають на довкілля на відстані в 50 разів більшій, ніж власний радіус. Особливо цей урбогенний тиск відчують ґрунти, водойми, повітряний басейн і рослинний покрив. Проте урбанізоване середовище та природа — не взаємовиключаючі поняття, оскільки в них є одна «дуже важлива спільна властивість, яка витікає із соціальної суті людини, — велике місто та природа необхідні людині однаковою мірою (Владимиров, 1999)».

Гомеостаз міської екосистеми можна забезпечити лише шляхом гармонізації обміну речовини та енергії між блоками живої та неживої природи. Антропогенні зміни в урбоєкосистемі мають бути поступовими і передбачати правильний розподіл і силу антропогенних навантажень і необхідні умови адаптації людини та природного середовища. Лише за таких умов можна зберегти (на відміну від існуючої рівноваги у природних екосистемах) динамічну екологічну рівновагу в міських екосистемах.

Під екологічною рівновагою в урбоєкології слід розуміти (Владимиров, 1999) *такий стан природного середовища урбанізованого району міської агломерації або окремого міста, при якому забезпечується саморегуляція, належна охорона та відтворення його основних компонентів — атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтового та рослинного покриву, тваринного світу. Неодмінними умовами такого стану мають бути:*

- відновлення основних компонентів природного середовища, яке забезпечує їх баланс у міжрайонних потоках речовини та енергії;
- відповідність ступеню геохімічної активності ландшафтів масштабів виробничих і комунально-побутових забруднень (у тому числі наявність умов для достатньо високих темпів міграції продуктів техногенезу);
- відповідність ступеню біохімічної активності екосистеми району рівня антропогенних забруднень (у тому числі наявність умов для біологічної переробки органічних і нейтралізації шкідливого впливу неорганічних забруднень);
- відповідність рівня фізичної стійкості ландшафтів силі впливу транспортних, інженерних, рекреаційних та інших антропогенних навантажень;

- баланс біомаси непорушених або слабо порушених антропогенною діяльністю ділянок екосистеми району розселення, достатня складність і якомога більше різноманіття природного середовища.

Наявність у межах району формування розселення першої та останньої умов *екологічної рівноваги* в ряді випадків можна розглядати як достатньо надійну гарантію здійснення всіх інших її вимог. В. В. Владимиров (1999) справедливо відзначає, що при розгляді умов екологічної рівноваги на різних територіальних рівнях спостерігається суттєва різниця можливості її реалізацій. На *глобальному рівні* всі ці умови (а в цьому і полягає екологічна стратегія людства) мають бути, без сумніву, виконані. Їх реалізація можлива і на *макродиторіальному рівні* (континенти, великі країни, окремі регіони великих держав). На *мезо- та мікрорегіональних рівнях* стосовно *локальних систем розселення* (агломерації, міста) можна виконати лише частину умов екологічної рівноваги, у чому не важко переконатися, звернувшись до відомих літературних джерел (Владимиров, 1999).

Таблиця 11.5.

Орієнтовні зіставлення компонентів природного середовища та деяких ресурсів, які споживаються і відтворюються містом із населенням 1 млн мешканців і площею 20 тис. га

Найменування компонентів або ресурсів	Споживання	Відтворення	Дефіцит	Території, необхідні для покриття дефіциту, тис. га
Атмосферний кисень	30 млн т	25—30 тис. т	21,7 млн т	5000—6000
Вода	500 млн м ³	5 тис. м ³	500 млн т	1500—2000
Грунтово-рослинний покрив, необхідний для організації масового відпочинку громадян	5 тис. га	—	1000—2000 тис. га	1000—2000
Будівельні матеріали, сировина для промисловості тощо	10—12 млн т	—	10—12 млн т	40—50
Паливо (умовне)	8—9 млн т	—	8—9 млн т	25—30
Харчові продукти	1 млн т	—	1 млн т	500—600

Особливості метаболічних процесів в урбоекосистемі та її взаємодія із сусідніми екологічними системами дали змогу виділити її основні риси (Владимиров, 1999): поліморфізм (залежність від суміжних екосистем), акумулятивна здатність і неврівноваженість основних структур.

Поліморфізм урбоекосистеми полягає в тому, що вона багатолика: у ній немовби перемішані природні (геосфера, атмосфера, гідросфера) та антропогенні (будівлі, елементи інфраструктури) компоненти. Залежність урбоекосистеми як надвідкритої системи полягає в тому, що вона не може сама себе «прогодувати». Як бачимо (табл. 11.5), дефіцит елементів життєдіяльності (кисню, води, ґрунтово-рослинного покриву, продуктів харчування) сягає величезних розмірів. Мільйони тонн матеріалів, сировини вимагають міська промисловість і будівництво, а транспорт — мільйони тонн палива. Не одержавши, наприклад, продуктів харчування, «люди невдовзі або померли б з голоду, або ж покинули б місто» (Одум, 1986).

Місто — **акумулююча екосистема**, оскільки вона характеризується *позитивним балансом обміну речовин*, що приводить до їх накопичення. Це й перегрів унаслідок акумуляції сонячного тепла мертвою підстилковою поверхнею, і формування потужного культурного шару ґрунту, новий рельєф із териконами та звалищами. Міські агломерації стають велетенськими акумуляторами тепла. «У даний час, — пише Є. К. Федоров (1977), — значні території великих міських агломерацій, промислових центрів і навіть цілих країн (наприклад, Бельгія), які мають розміри порядку десятків і сотень тисяч квадратних кілометрів, є такими джерелами. Якби на кордонах сучасної Бельгії була побудована стіна заввишки декілька кілометрів, то температура в країні виросла б на декілька градусів».

Неврівноваженість урбоекосистеми полягає в тому, що вона розвивається не відповідно до законів природи, а виходячи із суб'єктивних уявлень людини, передусім її споживацької психології. Як зазначено вище, міста минулого перебували у стані екологічної рівноваги: природне середовище сприяло знешкодженню відходів, самоочищенню вод, ґрунту та повітря. Сьогоднішня неврівноваженість великих міст зумовлює постійне передчуття екологічної кризи, яку можуть викликати нестача води, зупинка роботи очисних споруд, раптові викиди в атмосферу шкідливих речовин чи припинення подачі електроенергії.

На відміну від природних екосистем, біомаса в місті незбалансована. Наприклад, відношення фітомаси до зоомаси

тут інше, ніж у природних екосистемах, головним чином за рахунок величезної маси людей (табл. 11.6), кормові ланцюги та мережі розімкнуті в основних їх ланках, а метаболізм міста (процеси споживання води та харчових продуктів і виділення продуктів життєдіяльності) сильно відрізняється від кругообігу речовин у природі.

Таблиця 11.6.
Біомаса Брюсселя (Sukopp, Wittig, 1993)

Біомаса (жива маса)	кг	%	Консументи
1 075 000 мешканців	59 000 000	7,16	80,00
100 000 собак	1 000 000	0,12	1,36
250 000 котів	750 000	0,09	1,02
Дощових черв'яків	8 000 000	0,97	10,85
Інших тварин	5 000 000	0,61	6,78
Суми консументів	73 750 000	8,95	—
Рослин	750 000 000	91,05	—
Загальна біомаса	823 750 000	—	—

Питома вага промислового потенціалу Львова приблизно удвічі-втричі вища, ніж сусідніх обласних центрів. А це, у свою чергу, є свідченням рівня індустріалізації та урбанізації міських ландшафтів. Показником урбанізації є питома вага заможених і забудованих територій, які у Львові становлять, наприклад, 60 % проти 35—45 % у сусідніх обласних центрах (Івано-Франківськ, Рівне, Луцьк). Беруть до уваги також викиди промисловості транспорту в атмосферу та загальну забрудненість (у тому числі теплову) навколишнього середовища. Основні висновки, зроблені внаслідок аналізу різних за рівнем урбанізації міських екосистем, такі (Голубець, 1979, 1980):

- чим більше місто, тим більше в ньому проявляється, за образним виразом Ю. Одума, «паразит біосфери». Про це свідчать зсування у таких великих містах, як Львів, природного рослинного покриву — автотрофного блоку екосистем (XVII ст. — 70, XIX ст. — 60, XX ст. — менше 39 %);
- великі міста споживають більше кисню, ніж продукують; водночас вони виділяють більше вуглекислого газу, хоча автотрофний блок не засвоює його й половини;
- у великих містах з їх великою площею горизонтальних і вертикальних штучних поверхонь, які акумулюють і сонячну енергію, відчутно проявляється явище ентропії. Якщо взяти до уваги антропогенне тепло (ТЕЦ, транспорт, тепло мільйона людей), то можна виявити його надлишок;

- різко зменшується кількість природних радіальних і латеральних потоків за рахунок штучного перенесення великої кількості органічних і мінеральних забруднюючих речовин у внутрішню та зовнішню частини міської екосистеми;

- виразно проявляється агресивність міської екосистеми стосовно сусідніх екосистем: лісових, лучних, болотних, а також штучних агроекосистем;

- подальший розвиток міських екосистем неможливий без створення надійного механізму їх штучної регуляції.

Отже, міська екосистема (урбоекосистема) являє собою мозаїку природних і штучних біогеоценозів, які перебувають на різній стадії фітогенези (зародження, розвитку та відмирання). Всі вони підвладні постійно зростаючому антропогенному пресу і являють собою переважно антропогенні сукцесії.

11.7. «Здоров'я» міської екосистеми

Як відомо, інтегральний показник якості довколишнього середовища — стан здоров'я населення. Серед екологічних факторів, від яких залежить цей показник, крім природних (сонячна активність, клімат; геохімічний склад ґрунту та води) та соціальних (рівень і якість праці та відпочинку, спосіб життя, психоемоційний стан, шкідливі звички), все частіше називають антропогенний, особливо урбогенний фактор — зміна структури та функціонування міських біогеоценозів (екосистем), перетворення міст на «паразита біосфери» (Ю. Одум), забруднення навколишнього середовища продуктами цивілізації.

Здоров'я міської екосистеми та її повноправного члена — людини — залежить від стану трьох основних підсистем: власне *природної* (біогеоценотичний покрив із його рослинністю та тваринним світом, включаючи людину), *соціальної* (суспільні стосунки, спосіб життя, культура тощо), *технічної* (створене людиною техногенне середовище: будівлі, споруди, мощення, машини, механізми). «Здоровою» можна вважати таку міську соц-екосистему, яка найбільше відповідає біологічним потребам людської популяції.

Популяцію людей можна було б віднести до поліценотичної, тобто такої, яка переміщується від одного біогеоценозу до іншого, з однієї екосистеми до іншої, з одних умов середовища до інших. Дійсно, мешканець міста протягом доби, сезону чи року безліч разів змінює умови існування свого організму, виявляючи велику здатність до адаптацій. У межах популяції людина підтримує певний рівень чисельності та щільності народжуваності й смертності. За участю

соціального регулятора забезпечується певний рівень вікової та статевий структур.

Міському екологу, який займається демографією популяції людини, так само, як і екологу, що вивчає, наприклад, демографію оленя чи куріпки, необхідно виконати головне завдання: описати, витлумачити й зрозуміти закономірності поширення та динаміки чисельності міського населення. При цьому йому доведеться використати відому з популяційної екології формулу:

$$N_n = N_t + B - D + C - E,$$

де N_n — кількість особин, які заселяють місто у даний час (скажімо, на 1 січня поточного року), N_t — кількість особин, які перебували там раніше (наприклад, станом на 1 січня минулого року), B — кількість особин, які народилися протягом минулого року, D — кількість загинув особин за минулий рік, C — кількість особин, які іммігрували за минулий рік, E — кількість особин, які емігрували за минулий рік.

Для міського еколога важливо з'ясувати причини, які впливають на величину N_n . Ці причини можуть бути як соціального (рівень і спосіб життя, професійні мотиви розселення тощо), так і біологічного (наприклад, вікова та статевий структури) характеру. Виділяють **три типи вікових пірамід**: а) із широкою основою та відповідно високим відсотком молодого населення (наприклад, міста енергетиків); б) середній тип із помірним відсотком молоді; в) із вузькою основою та чисельною перевагою старшого покоління над молодим.

Міські популяції у багатьох країнах починають свій відлік від 2,5 тис. чол., в окремих країнах цей показник значно більший (у межах 10—15 тис.). Рівень урбанізації часто оцінюють відсотковим складом міського населення. При цьому враховують два аспекти: натуральний приріст міської популяції (перевага народжуваності над смертністю) та ріст за рахунок імміграції, в основному сільського населення.

Для розуміння проблем урбанізації та росту міст на нашій планеті, що надзвичайно швидко урбанізується, необхідно враховувати специфіку традицій націй і народностей. У 1900—1993 рр. населення в містах збільшилося у відсотковому виразі з 14 до 45 % (73 % — у промислово розвинених і 34 % — у слаборозвинених країнах). Передбачається, що у 2025 р. кількість міського населення планети досягне 61 %. Великі міста ростуть, як гриби після дощу. Сьогодні один із десяти мешканців планети живе у місті з населенням 1 млн і більше (табл. 11.7).

Таблиця 11.7.
Ріст міських популяцій (млн) у мегаполісах

Мегаполіс	1992 р.	2000 р.
Токіо — Йокогама	15,8	18,8
Сан-Пауло	19,2	22,1
Нью-Йорк — Нью-Джерсі	16,2	16,8
Лос-Анджелес	11,9	13,9
Мехіко	15,3	25,6
Бомбей	13,3	15,4
Сеул	11,6	13,5
Шанхай	14,1	17,0

Ріст міських популяцій притаманний і Україні: якщо у 1984 р. кількість міського населення становила 32,5 млн чол. (64,1 %), то у 1993 р. — 35,5 млн (68,0 %). До речі, сьогодні демографічну долю міських популяцій України визначають такі фактори, як смертність та еміграція.

У великих містах України, які інтенсивно розвивалися в основному за рахунок екстенсивного розвитку виробництва та росту міського населення, відбувається диференціація популяцій. Наприклад, у Києві на Подолі живе «стара» популяція, яка веде свій родовід із давніх часів, а в Дарниці — «молода», яка в основному сформувалася у повоєнний період.

У Львові в межах старої забудови (Підзамче, Галицьке та Краківське передмістя, центр, «місто за мурами», Привокзальна) упродовж останніх століть склалася «стара» популяція з особливим способом життя, про який складено чимало оповідок і пісень. Із 1960-х років почали формуватися «молоді» популяції в нових житлових районах за рахунок імміграції ззовні. Наприклад, у 1959 р. населення Львова становило 441 тис., у 1979 р. — 667 тис., а у 1989 р. — 793 тис. Цей ріст населення відбувся за рахунок будівництва великих житлових районів — Південного, Північного, Сихівського тощо. Мешканці нових районів — переважно сільське населення, що приїхало до Львова у пошуках роботи. Воно і створило ядро цих популяцій, які відрізняються певною мірою своїм способом життя.

Ріст міського населення — процес об'єктивний, який зупинити неможливо. Водночас зростає конфлікт між людиною соціальною та людиною біологічною. Створене людиною квазіприродне міське середовище стає для неї не лише незручним, дискомфортним, але й небезпечним для життя. Загалом небезпеку для людського організму несе в собі за-

бруднення середовища, яке в санітарно-гігієнічному аспекті можна розділити на чотири групи: хімічне, фізичне, біологічне та радіаційне.

До *хімічного забруднення* належать: забруднення прісної води промисловими стічними водами, пестицидами, нафтовими продуктами, компонентами мийних засобів; забруднення повітря шкідливими викидами індустріальних і комунально-побутових підприємств, вихлопними газами транспортних засобів.

Фізичне забруднення — шумове, теплове, запилення атмосфери твердими частками, замулювання водойм.

Біологічне забруднення спричиняється викидами у довкілля речовин переважно органічного походження, які сприяють поширенню збудників гострих інфекційних і хронічних захворювань, а також шкідливих для людини комах. Сюди також належить забруднення міського середовища хвороботворними мікроорганізмами.

Радіаційне забруднення — забруднення речовинами, до складу яких входять нестійкі атоми ізотопів, що зазнають радіоактивного розпаду.

Сьогодні все частіше рівень забруднення довкілля пов'язують із рівнем захворюваності населення, розглядають це явище з позицій екології людини. Встановлено, по-перше, що *захворювання, які виникли внаслідок контакту людини із забруднювачем, переважно проявляються в осіб, ослаблених тяжкою працею та недоїданням.* Не останню роль у схильності організму до захворювань відводять адаптації людини до того чи іншого несприятливого фактора, а також тривалості зіткнення із забруднюючим об'єктом.

По-друге, *екологічно шкідливі речовини, ослаблюючи фізіологічні функції органів, знижують опірність організму до паразитів, що перешкоджають фіксації першопричини захворювання, а інколи призводять до смерті.* Слід відзначити, що до дії атмосферних і водних забруднювачів найчутливіші люди старшого віку та діти, а також люди, що страждають на хронічні захворювання органів дихання та серцево-судинної системи, на так звані професійні захворювання та курці.

Забруднювачі повітря взагалі становлять дуже малу частку всієї маси атмосфери. Однак в окремих місцях їхня концентрація досягає надзвичайно високих рівнів. При цьому не можна забувати, що окремі токсичні речовини, потрапляючи до атмосфери навіть у незначних дозах, шкідливі для здоров'я.

Шляхів проникнення забруднюючих речовин в організм людини чимало, але головний із них — *дихальна система.* Наприклад, діоксид Сульфуру разом із адсорбованими твердими частками проникає в нижні відділи легень. Особливо

шкідливий цей забруднювач для людей похилого віку. Навіть низькі концентрації SO_2 за тривалого впливу на організм загострюють перебіг серцево-судинних захворювань, знижуючи працездатність і, можливо, скорочуючи тривалість життя. Значно вищі концентрації в атмосфері окисів Сульфуру сприяють виникненню гострих респіраторних захворювань, інколи з летальним кінцем.

Шкідливим для організму людини є окис Карбону, який, потрапляючи в кров через легені, знижує її здатність до перенесення кисню, ослаблює функцію центральної нервової системи. Зазнавши впливу чадного газу, людина відчуває головний біль, запаморочення та швидку втому. Більші дози CO призводять до прискореного серцебиття, нудоти, блювання, утруднення дихання. Чадний газ, реагуючи з гемоглобіном, утворює так званий карбоксигемоглобін. За американськими даними, збільшення карбоксигемоглобіну у крові до 2—5 % веде до функціональних порушень нервової системи та підвищення смертності, особливо від інфаркту міокарда. Ця проблема стосується також курців. Встановлено: чим більше людина викурює за день цигарок, тим більше накопичується в організмі чадного газу, а отже, і карбоксингемоглобіну, оскільки відновлення гемоглобіну відбувається лише через декілька годин після впливу окису Карбону.

Токсичність *окислів Нітрогену* як компонентів фотохімічних смогів, які утворюються внаслідок взаємодії цього шкідливого газу із завислими у повітрі твердими та рідкими частками, відома.

Великої шкоди людському здоров'ю завдають завислі в повітрі *частки пилу*. Наприклад, азбестовий пил і сажа — причина злоякісних утворень. Небезпечні для здоров'я також *вуглеводневі сполуки* (метан, етилен, ацетилен, бенз(а)пірен), які часто є компонентами смогів. Озон (O_3) та інші окислювачі утруднюють дихання, подразнюють слизову оболонку носа та горла, призводять до нежиті, кашлю та швидкої втоми, часто спричиняють бронхіальну астму.

Як і рослини, тварини та мікроорганізми, про що вже йшлося вище, людина є об'єктом ушкоджень токсичними важкими металами, особливо Гідраргумом, Плюмбумом і Кадмієм. Медики останніми роками звертають увагу на захворювання, спричинені пестицидами.

За даними спостережень і розрахунків (Кулинич, 1996), в атмосферному повітрі 77 міст України в 1993—1994 рр. зафіксовано понад 100 назв інгредієнтів із концентраціями, які перевищували існуючі норми (ГДК). Розрахований комплексний індекс промислового забруднення атмосфери за основними градієнтами у 1993—1994 рр. Коливання від

3—10 одиниць у західних областях і на крайньому півдні України, до 22—58 на решті території (максимум — 80,6 одиниць у м. Донецьк) при допустимому 20,5. При цьому майже повсюдно зафіксована наднормативна присутність високоактивних забруднювачів (переважно органічного походження та важких металів).

Маса викидів коливається у широких межах і становить: у містах Південно-Західного економічного району — 19—285 тис. т/га, Донецько-Придніпровського — 1—853 тис. т/га. Найбільша маса викидів (35—50 %) припадає на окис Карбону, 15—30 % становлять окисли Нітрогену, 15—20 % — зачислі частки, 10—15 % — окисли Сульфуру. Підприємства, які викидають свої відходи навіть при забезпеченні 5—18 % очистки, суттєво впливають на стан атмосферного повітря, де забруднення може у 150 разів і більше перевищувати гранично допустимі вмісти шкідливих речовин.

Забруднене міське повітря проникає всередину приміщень, коефіцієнт кореляції між рівнем зовнішнього та внутрішнього забруднень повітря досить високий (40—80 %). Наприклад, для порівняно чистого повітря концентрація CO_2 всередині приміщення становить близько 80 % її наявності у зовнішньому повітрі.

За даними Г. Е. Ландсберга, у літній період несприятливий вплив на здоров'я може виявляти також *острів тепла*. Найсуттєвішими за впливом параметрами міського довкілля є температура та вологість повітря, радіаційні умови та швидкість вітру. Безумовно, мають значення й індивідуальні особливості людського організму, зокрема інтенсивність процесів метаболізму, здатність до потовиділення, маса тіла та вік. У період із високими температурами повітря смертність у містах значно перевищує статистично очікуваний рівень. За даними служб охорони здоров'я Нью-Йорка та Сент-Луїса, улітку 1966 р., коли спека не спадала декілька тижнів, у містах різко зросла смертність населення. Високі температури повітря разом із його забрудненням створюють дискомфортні умови, які викликають у населення дратівливість, агресивність, схильність до конфліктів. У Нью-Йорку теплова хвиля 1966 р. спричинила збільшення смертності. На першому місці були вбивства, смертність із цієї причини зросла на 138,5 % порівняно із середнім очікуваним рівнем (Ландсберг, 1983).

Значної шкоди здоров'ю людини завдають *шумові забруднення*. «Міста Америки, — повідомлялося в заяві Агентства з охорони навколишнього середовища США (1973), — стали такими гамірними, що люди, які живуть у густонаселених

районах, чують набагато гірше, ніж їм видається, багато з них страждають на часткову втрату слуху».

Звуковий рівень 60 дБ звичайно розглядають як нижній поріг звукового подразнення. Звук, сила якого перевищує 90 дБ, потенційно небезпечний для слуху та здоров'я. Він створюється тиском, що в 1 млрд разів перевищує нижній рівень чутності. Об'єктивно доведено, що в районі житлової забудови за умови забезпечення здоров'я населення доцільно встановити рівень шуму 55 дБ. Виявлено високий ступінь достовірності зв'язку між зашумленістю міст і захворюваністю населення, особливо неврозами. Як відомо, шум негативно впливає на хворих гіпертонією, а також на окремі фізіологічні функції організму.

Слід брати до уваги, що значущість тих чи інших джерел забруднення, які призводять до екологічних патологій людини, неоднакова у різних населених пунктах і залежить від рівня науково-технічного прогресу, стратегії взаємодії техніки та природи, благоустрою населених пунктів і багатьох інших факторів.

Типовий приклад екологічних патологій людини — злоякісні новоутворення. Щорічно на Землі реєструється близько 6 млн випадків раку, і ця цифра постійно збільшується. В таблиці 11.8 наведено канцерогенні сполуки, побутові звички та виробничі процеси, стосовно яких є переконливі докази їх причинної ролі у виникненні пухлин у людини, — «безумовні канцерогени» та органи-мішені.

Таблиця 11.8.

Канцерогенні сполуки, побутові звички та виробничі процеси, які зумовлюють ракові пухлини

Хімічний фактор	Органи-мішені
Азбест	Легені, плевра, черевна порожнина
Бензидин	Сечовий міхур
Бензол	Кровотвірна система
Берилій та його сполуки	Легені
Вінілхлорид	Печінка, кровоносні судини, залози
Кадмій та його сполуки	Легені
Кам'яновугільні смоли, сажі	Шкіра, легені
Мінеральні та сланцеві масла	Шкіра
Арсен і його сполуки	Шкіра, легені
2-нафтиламін	Сечовий міхур
Нікель і його сполуки	Носова порожнина, легені
Радон і продукти його розпаду	Легені

Хімічний фактор	Органи-мішені
Тальк з умістом азбестоподібних волокон	Легені
Шестивалентний Хром і його сполуки	Легені
Еріоніт	Плевра, черевна порожнина
Етилен оксид	Кровотвірна та лімфатична системи
Алкоголь	Гортань, стравохід, печінка, ротова порожнина
Тютюн	Легені, сечовий міхур, ротова порожнина
Виплавка чавуну та сталі	Гортань, стравохід, нирки, підшлункова залоза
Газифікація вугілля	Легені
Підземне добування гематиту з експозицією до радону	Шкіра, легені, сечовий міхур
Виробництво алюмінію	Легені
Виробництво коксу	Сечовий міхур, легені, лімфатична система
Виробництво меблів	Шкіра, легені, нирки, носова порожнина

Для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря металами використовують **метод геохімічного картування території міста**, який дає змогу оцінити структуру забруднення повітряного простору міста, виявити залежність між територіальною геохімічною структурою та показниками здоров'я населення і на цій підставі встановити можливі зміни стану здоров'я дорослого та особливо дитячого населення, характерні для міст чи окремих їх районів. Метод базується на принципі геохімічного картування розподілу важких металів і деяких інших інгредієнтів у ґрунті й сніговому покриві — природних середовищах, які концентрують забруднення. Це дає змогу швидко й досить точно виявити просторову структуру стану середовища та встановити джерело його забруднення. Практична можливість такого підходу базується на дослідженні кореляційних зв'язків в оточуючому середовищі між розподілом забруднюючих речовин в атмосферному повітрі й у депонувальних середовищах (ґрунті та сніговому покриві).

Узагальнена оцінка (Ревич, Саєт, 1990) рівня забрудненості ґрунтів, за даними сумарного показника забруднення, свідчить, що він найвищий навколо підприємств кольорової металургії (до 450 разів перевищує фоновий). Менша ін-

тенсивність забруднення спостерігається поблизу машинобудівних і хімічних підприємств. Незважаючи на широкий спектр хімічних елементів у зонах забруднення, спостерігається загальна асоціація елементів в ареалах: Плюмбум, Цинк, Станум, Купрум, Молібден, Нікель, Кобальт, Хром, Гідраргум, Аргентум. *Отже, сучасне виробництво, незалежно від його типів, супроводжується комплексними поліелементними аномаліями випадів.*

Наступний важливий висновок такий: *механізм формування аномальних ареалів пов'язаний із закономірністю поширення викидів в атмосферу.* Виявлено, що експоненційне зменшення концентрацій забруднювачів в атмосфері, віддалення від джерел ведуть до формування ареалів, де вміст хімічних елементів у десятки й сотні разів перевищує фоновий. Однак приурочені до джерел викидів, вони, як правило, в 1,5—3,0 рази більші, ніж площа офіційно фіксованої промислової зони. Все це зумовлює надмірне забруднення промислових майданчиків, а в містах старої традиційної забудови — високий ступінь забруднення сусідніх житлових масивів або сільськогосподарських угідь. І нарешті, *у містах, насичених різноманітним виробництвом, периферійні частини ареалів зливаються, утворюючи значні за площею (до 100—150 км²) вогнища забруднення невеликої або середньої інтенсивності з мозаїчно розсіяними центрами високих концентрацій.*

Техногенне навантаження в містах різного типу, за даними авторів (Ревич, Саєт, 1990; Зербіно, 1997), зумовлює відмінності стану здоров'я міських мешканців, особливо дітей. Для оцінки цих змін вивчають спектр біологічних відповідей організму дитини на вплив забруднювачів, починаючи з накопичення їх у біосубстратах (волосся, кров, сечовина, слина, нігті тощо), виявлення фізіологічних, імунологічних та інших порушень і, як наслідок, збільшення рівня захворюваності.

Гігієнічним критерієм вмісту токсичного елемента в біосубстраті, тобто біологічно допустимим рівнем, є зареєстровані певні функціональні зміни, пов'язані з його впливом. Затверджені як державні, такі рівні дають змогу виділити групи підвищеного ризику, оцінити ефективність заходів, спрямованих на зменшення забруднення природного середовища. Наприклад, найширший спектр накопичення елементів у волоссі робітників (табл. 11.9) відзначений на металургійних підприємствах, на заводах, які випускають мінеральні добрива та мінеральні фарби для керамічних виробництв. Концентрація таких токсичних елементів, як Кадмій, Плюмбум, Арсен, дуже висока (перевищує фонові величини не тільки в десятки, а й у сотні разів). Відзначається при-

сутність в організмі робітників елементів, які вважаються домішками до основної сировини і не беруться до уваги при контролі. Особливо наочно бачимо це на прикладі робітників, зайнятих на виробництві мінеральних добрив, у волоссі яких встановлено вміст елементів рідкоземельної групи, що містяться у сировині — апатитах.

Таблиця 11.9.

Асоціація хімічних елементів у волоссі робітників різних виробництв (Ревич, Саєт, 1990)

Вироб- ництво	Коефіцієнт K_c				
	понад 25	25—10	10—5	5—3	3—1,5
Кадмій	Cd_{318}	$Pb_{21}Sb_{14}Fe_{10}$	As_8	Ag_4CO_3	$Zn_2Hg_2Cu_{1,6}$
Мідь виплавка	As_{61}	—	Cu_9Fe_5	$Sb_{3,5}Cd_3$	$Ag_2Pb_2Sm_{1,5}$
Рафінована	—	As_{10}	Cu_4	Ag_3	$Pb_2Sm_{1,5}Fe_{1,5}$
Мінеральні добрива	—	Sm_{16}	$F_7La_7Sb_6$	Cl_4	As_2
Мінеральні фарби	$Cd_{86}Sb_{46}Rb_{38}$	$Co_{21}Se_{15}$	As_8Cr_6	$Fe_4Al_3Ti_3$	$Rb_2Ag_2Sm_2$
Ацетальдегід	—	—	Ag_{11}	—	—
Свинцеві фарби	—	Pb_{220}	—	—	Cd_2
Електроди для акумуляторів	—	Cd_{443}	$Pb_{16}Ni_{15}$	—	—

У дітей, які перебувають у зоні викидів указаних виробництв, хімічних елементів виявлено менше, ніж у робітників, але їх вміст перевищує фонові значення в десятки разів (табл. 11.10) для дитячого населення. По мірі віддалення місця проживання дитини від джерел забруднення відбуваються зменшення біоконцентрації токсичних елементів, але фоновий рівень досягається переважно на відстані 3—4 км. Цікаве накопичення забруднювачів у дітей, які проживають у центральній частині міста з інтенсивним рухом автотранспорту. Це такі характерні елементи, як Плюмбум, Бром, що надходять у повітря внаслідок спалення етилованого бензину. Як зауважують Б. А. Ревич, Ю. Є. Саєт (1990), це підтверджує важливу індикаційну роль біотестів, оскільки дає змогу диференціювати вплив промислових і транспортних викидів Плюмбуму. Вивчення кількісних зв'язків елементів у волоссі обстеженого населення свідчить, що при концентрації токсичних елементів відбувається порушення мікроелементного балансу за рахунок зменшення вмісту есенціальних елементів, передусім Цинку, який відіграє важливу роль у підтриманні імунного стану організму.

Таблиця 11.10.

Асоціація хімічних елементів у волоссі дітей, які проживають у зоні техногенних геохімічних аномалій (Ревич, Саєт, 1990)

Виробництво	Відстань від джерел забруднення, км	Kc^*			
		>10	10—5	5—3	3—1,5
Свинцево-кадмієвий комбінат	1,0	—	Pb_7Fe_6	$Sb_4Cd_3As_3$	Ag_2Hg_2
	2,0	—	—	Pb_4	—
Мінеральні добрива	0,5	—	—	La_3	$Cl_2Sm_2Se_2$
Мідноплавильний комбінат	0,5	As_{23}	—	Pb_4	Cu_2Ca_2
	1,0	—	As_6	—	—
Акумулятори	0,5	Pb_{11}	Cd_6	—	—
	1,5	—	—	—	$Pb_{2,5}$
Центр міста з інтенсивним рухом автотранспорту	0	—	—	—	Pb_2Br_2

Примітка: Kc — коефіцієнт концентрації стосовно основних фонових значень.

Інтенсивне біоконцентрування токсичних елементів, крім Плюмбуму, має локальний характер. Плюмбум широко використовувався у промисловості як додаток до пального, тому дослідження його накопичення та негативного впливу на організм людини дуже поширені у багатьох країнах світу. З урахуванням паралельного вивчення вмісту Плюмбуму у крові дітей і коефіцієнта інтелекту ($I < 3$) запропоновано норматив — 12 мкг/100 мл крові, що майже вдвічі менший, ніж для дорослого населення. Для виробничого контингенту допустимий вміст Плюмбуму становить 70 мкг/г.

Характерно, що забруднення атмосферного повітря автотранспортом веде до інтенсивнішого надходження Плюмбуму до організму мешканців міст, ніж унаслідок викидів машинобудівних виробництв. Навіть у містах із досить добрим провітрюванням середній вміст Плюмбуму у волоссі дітей в 1,5 раза вищий, ніж у зоні впливу машинобудівного виробництва. Несприятливі умови створюються також у містах із гірсько-долинним ландшафтом, оскільки забруднені маси повітря практично не виносяться за межі амфітеатрів і формують інтенсивні геохімічні аномалії, займаючи значну частину міської території. Найвищий рівень забруднення фіксується в долинах невеликих річок, куди стікаються маси забрудненого повітря.

Кількісна залежність змін показників стану здоров'я дітей і геохімічних показників покладена в основу **шкали небезпеки забруднення атмосферного повітря** за рівнем забруднення ґрунтів металами, яка включає чотири умовних рівні (Ревич, Саєт, 1990):

- *допустимий* (2с ґрунту до 16) — фоновий рівень, який характеризується найнижчою захворюваністю дітей і мінімальними функціональними морфологічними змінами;
- *помірно небезпечний* (2с — 16—32) — у дітей, що проживають на цих територіях, можливі відхилення показників фізичного розвитку та рівня кількості лейкоцитів у крові на 10—30 %, збільшення сумарної захворюваності на 10—20 %, захворювань органів дихання — на 10—50 %;
- *небезпечний* (2с — 32—128) — функціональне морфологічне відхилення збільшується на 30—100 %, сумарна захворюваність — на 20—60 %, захворювання органів дихання — на 50—100 %; за такого рівня забруднення можливі деякі порушення дітородної функції;
- *надзвичайно небезпечний рівень* (2с — понад 128) — порівняно з «найнестійкішими регіонами» часто функціонально-морфологічні відхилення та сумарна захворюваність дітей зростають удвічі; захворюваність органів дихання — утричі; частіші патології вагітності та пологів.

Таблиця 11.11.

Типові структури забруднення території міст різного типу

Типи міст	Частка загальної площі, %			
	допустимий рівень забруднення	помірно небезпечний рівень забруднення	небезпечний рівень забруднення	надзвичайно небезпечний рівень забруднення
Найбільші з багатогалузевою промисловістю	30—50	30—50	10—20	1—5
Великі та середні з металургійними підприємствами	0	30—50	50—100	10—20
Середні та малі з інтенсивним автотранспортом	50	50	0	0
Малі з невеликою промисловістю	10—20	50—60	20—30	до 10

Таблиця 11.12.

Зміни показників здоров'я населення у містах різного типу
(Ревич, Саєт, 1990)

Показник здоров'я	Показники здоров'я, %			
	найбільші міста з багатогалузевую промисловістю	великі та середні міста з металургійними комбінатами	середні та малі міста машинобудівного комплексу	середні та малі міста з інтенсивним рухом автотранспорту
Імунологічна реактивність організму	+50—150	+150—300	+50—100	+120—200
Функціональні відхилення	+6—35	+20—120	+5—15	+15—48
Сумарна захворюваність дитячого населення	+6—27	+20—90	+5—10	+15—30
Захворювання органів дихання у дітей	+9—60	+30—180	+15—25	+20—60
Порушення діто-родної функції	+2—10	+15—50	0	+3—9

За допомогою оціночної шкали можна визначити типові варіації зміни здоров'я дітей у містах різного типу та інтенсивності забруднення (табл. 11.11). Дані таблиці 11.12 дають змогу використати оціночну шкалу і виявити зміни показників здоров'я населення для міст різного типу.

11.8. Криптоіндикаційна оцінка середовища (оцінка із застосуванням криптофітів)

Атмосферне повітря сучасних міст містить десятки різних забруднювачів, як газових, так і завислих. Більшість із них отруйні для людини, у чому ми мали змогу переконатися. Тому в містах організовані системи спостереження за забруднювачами та їх вимірювання. У різних пунктах міст встановлені прилади (нерідко складні самореєструючі й дорогі), які повинні інформувати про кількість забруднювачів у певний час і в динаміці. В основному інструментальні аерохімічні вимірювання характеризують стан на даний момент і уривчасто (якщо мережа спостережних пунктів недостатньо густа).

Така інструментальна реєстрація може бути доповнена біоіндикаційними (ліхено-, бріо- та фітоіндикаційними) методами визначення рівня забрудненості (чистоти) атмосфер-

ного повітря. Ці методи мають декілька позитивних якостей: 1) дешеві і потребують порівняно мало часу; 2) біоіндикаційні дані відбивають багаторічний середній стан атмосферного середовища; 3) при повторних дослідженнях (картування) біоіндикація дає уявлення про динаміку рівня забрудненості міста та інших населених пунктів.

Концепція біоіндикації заснована на адекватному відбитті живим організмом умов середовища, в яких він розвивається та на зміну яких відповідно реагує. Лишайники та мохи, як організми, що дуже чутливі до дії певних несприятливих факторів довколишнього середовища, з особливим успіхом можуть бути використані як біоіндикатори забруднення природного середовища. На відміну від інших рослин, вони відрізняються більшою стійкістю до таких факторів, як високі та низькі температури, відсутність води, короткий вегетаційний період. Для лишайників і мохів характерне повсюдне поширення, значна тривалість життя, а також підвищена чутливість до різних забруднень повітря, що пояснюється особливостями будови та процесів життєдіяльності цих організмів.

Різні види лишайників володіють неоднаковою стійкістю до забруднень і можуть служити добрими індикаторами ступеня забруднення повітря. Переконливо доведено, що епіфітні лишайники та мохоподібні чутливіші індикатори якості повітря, ніж епілітні та епігейні види. Розглянемо угруповання епіфітних лишайників як транзитні екосистеми, до яких речовини надходять і з яких виводяться переважно низхідними гідрогеохімічними потоками. Серед епіфітних лишайників найчутливіші до зміни гідрохімічних умов кущисті лишайники, які мають найменший контакт із субстратом, низьку буферність середовища і пристосовані до найнижчих концентрацій шкідливих речовин у водному середовищі. Листкові лишайники в цих самих умовах толерантніші за кущисті, а найтолерантніші — накипні лишайники, які мають контакт із субстратом, високу буферність середовища та порівняно добре постачання поживними речовинами.

Використання водоростей у ролі індикаторів забрудненості атмосферного повітря лише починається. З'ясовано, що аерофільні епіфітні водорості токситолерантніші порівняно з лишайниками та мохами. Вони часто ростуть у зоні лишайникової «пустелі», тобто там, де відсутні лишайники. Ця властивість водоростей дає змогу розширити амплітуду криптоіндикаційних досліджень і використовувати їх як індикаторів в умовах сильного забруднення, де інші організми не розвиваються. За даними англійських дослідників, найпоширеніший аерофільний вид *Pleurococcus viridis* s. l. трапляється навіть в умовах із концентрацією SO_2 понад 170 мкг/м³.

За останні 50 років, упродовж яких все більше активізується та розширюється використання організмів (особливо лишайників і мохів) як індикаторів рівня забрудненості атмосферного повітря, суттєво збагатився набір криптоіндикаційних методів. Якщо перші десятиріччя (1920—1940 рр.) головним методом було *зональне картування поширення окремих видів лишайників у містах та їх околицях*, то в 1950-х рр. і пізніше з'явилося багато інших методів. Опубліковано ряд оглядових праць, присвячених теорії та практиці біологічної індикації за допомогою лишайників.

Оскільки всі згадані методи базуються на представленні даних у вигляді карт або картосхем, а також у зв'язку з тим, що при екологічній індикації найбільший інтерес являє собою просторовий розподіл явищ і процесів, розглянемо криптоіндикаційні методи з позиції можливості подання їх результатів як криптоіндикаційних карт. За даними естонського вченого Ю. Мартіна, на сьогодні за результатами ліхеноіндикаційних досліджень закартовано близько 200 міст і промислових районів у Західній Європі, Японії, Новій Зеландії, Північній і Південній Америці, країнах колишнього Радянського Союзу. Тому нині, як вважає автор, можна скласти цілий атлас або принаймні об'ємний каталог.

Карта чи картосхема — практичний вихід індикаційних робіт, що потребує особливо чіткого оформлення, точності, оскільки ця форма подання результатів передбачена головним чином для неспеціалістів у галузі ліхенології та екології. Незважаючи на велике різноманіття карт і великі можливості їх складання та оформлення, розрізняють декілька типів карт і картосхем, які мають в основі однакові вихідні дані та однакову інформацію.

Перший тип карт відбиває відсутність або присутність видів на території, яка вивчається, причому відсутність виду несе таку ж інформацію, як і його присутність (негативна та позитивна інформація). Подібні карти принципово нічим не відрізняються від тих, що використовуються при флористичних і фітогеографічних дослідженнях. Детальність карти залежить від масштабу основи. Такі карти поділяють на *точкові*, які відбивають конкретні місцезнаходження, та *контурні*, які дають інформацію про наявність певного виду на прийнятій одиниці площі. Ці два типи карт за змістом дають якісну характеристику поширення виду. Іншими словами, ця група карт відбиває якісні флористичні дослідження, пов'язані з описом поширення окремих видів під впливом промислових викидів і в умовах міських агломерацій. Об'єкти цієї групи криптоіндикаційних методів (флористично-аутекологічних методів, за Х. Х. Трассом, 1982) — вид,

його популяція, певні групи та повні списки видів певних місцезростань, субстратів, територій.

Другу групу становлять карти, які дають і деяку кількісну інформацію про поширення виду, тобто *для кожного місцезростання подані характеристики виду: покриття, трапляння, життєвість, плодоношення* тощо. Метод визначення проєктивного покриття певної площі, наприклад половини стовбура дерева певним видом, може бути використаний, особливо у районах із сильним забрудненням повітря, де трапляються лише окремі найтолерантніші епіфіти. Перевага даного методу — відсутність в ньому суб'єктивних оцінок. Проте він потребує доброї спеціальної підготовки, відносно дорогої техніки для фотографування.

До третьої групи належать карти, які відбивають кількість видів лишайників. Цей показник можна розрахувати на окремий стовбур дерева або як середнє на прийнятій кількості форофітів (дерев одного і того ж виду і віку, які зростають в однакових умовах), або ж як середню кількість видів лишайників на певній площі, що є одиницею картування. Звичайно, *на карту наносять кількість епіфітних видів на 1 км² кожної досліджуваної ділянки*. Наприклад, кількість видів лишайників зростає зі збільшенням відстані від центру міста. Це явище надалі отримало назву «міського ефекту».

В усіх зазначених випадках можливі різновиди карт, які відбивають комбінації ознак або їх зміни у часі. *Найбільшу цінність являють собою карти, які відбивають кореляцію характеру поширення видів із показниками забруднення повітря на даній території*.

Складання карт криптограмної рослинності входить у комплекс екологічних і геоботанічних досліджень. Подібні роботи можливі лише при достатній вивченості певного регіону. Наявність на території Великобританії великої кількості апаратури для контролю вмісту радіації SO_2 у повітрі дала змогу Хоксворту та Роузу зіставити результати вивчення лишайникових угруповань із показниками приладів. На основі карти Джільберта, складеної на підставі вивчення лишайникових угруповань і корелюючої із середньорічними рівнями вмісту SO_2 у цих зонах, отримано *10-бальну індикаційну шкалу* (шкала оцінки забруднення повітря SO_2 за допомогою вивчення угруповань епіфітних лишайників). Біоіндикаційні шкали для визначення середньорічного вмісту SO_2 у повітрі за показаннями епіфітних лишайникових угруповань мають добру достовірність в області значень забруднювача від 30 до 170 мкг/м³ повітря.

Краща кореляція існує між величиною значень зимових концентрацій. У районах Західної Європи, де зимові значен-

ня вмісту SO_2 перевищують 170 мкг/м^3 , епіфітні лишайники відсутні. Необхідно брати до уваги, що застосування біоіндикаційних шкал обмежене в основному районами, для яких вони розроблені. Тому в межах України використовувати ці шкали неможливо. Причому клімат Британських островів вологіший, і достатньо малих доз SO_2 для загибелі лишайників. У континентальних районах така концентрація, мабуть, буде вищою.

Згідно з Ю. Мартіном (1984), серед карт рослинності можна виділити принаймні три категорії.

1. *Дрібномасштабні карти.* Таких карт опубліковано небагато. Хоксворт і Роуз (1970) склали карту, яка відбиває забруднення в Англії та Уельсі, на основі епіфітних лишайників. Рао та Леблан (1967) подали карту, яка відбиває порушену рослинність бореальних лісів у Вейво, Онтаріо (Канада). До цієї групи карт також належить карта Баркмана (1958), яка висвітлює генералізовану картину поширення епіфітних пустель навколо міських агломерацій і промислових центрів у Голландії.

2. *Середньомасштабні карти.* Із карт, які належать до цієї категорії, заслуговує на увагу робота Джільберта (1965), де показана лишайникова пустеля Тюн Веллі в Англії. Подібну карту підготував і Домроз (1965) для індустріального району Рейн-Вестфалія, яка ґрунтується на ступені покриття лишайникових угруповань.

3. *Великомасштабні карти.* Правильно було б називати їх схемами або картосхемами. Ці карти дають загальну картину зон епіфітної рослинності всередині та навколо міст та індустріальних центрів. Таких карт багато, мабуть, більша частина індикаційних карт (для Осло, Стокгольма, Гельсінкі, Цюриха, Дебрецена, Кракова, Монреаля, Львова, Івано-Франківська, Рівного тощо). Безліч індикаційних карт, виконаних у багатьох країнах, ґрунтується на різних індексах, тобто на синтетичних показниках, які кількісно передають властивості лишайникових угруповань.

На цих картах не відбиваються якісні властивості угруповань, що вивчаються, і інформацією для створення ієрархії картуючих одиниць служать інтегральні кількісні показники.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Бочкарева Т. В. Экологический «джин» урбанизация. — М.: Мысль, 1988. — 268 с.

Владимиров В. В. Урбоэкология. — М.: МНЭПУ, 1999. — 204 с.

Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яртина З. Н. Город и ландшафт. — М.: Мысль, 1986. — 236 с.

Голубець М. А. Місто як екологічна і соціальна проблема // Вісник АМУРСР. — 1989. — №12. — С. 47—58.

Зуконн Г., Эльберс Г., Миттес Т. Изучение экологии урбанизированных территорий (на примере Западного Берлина) // Экология. — 1981. — №2. — С. 15—20.

Клауснитцер Б. Экология городской фауны. — М.: Мир, 1990. — 246 с.

Кучерявий В. А. Зеленая зона города. — К.: Наукова думка, 1981. — 247 с.

Кучерявий В. А. Природная среда города. — Львов: Вища школа, 1984. — 144 с.

Кучерявий В. П. Урбоекологія. — Львів: Світ, 2002. — 440 с.

Кучерявий В. П. Фітомеліорація. — Львів: Світ, 2003. — 540 с.

Кучерявий В. П. Озеленення населених місць. — Львів: Світ, 2008. — 456 с.

Кучерявий В. П. Загальна екологія: підруч. для студ. вищих навч. закл. — Львів: Світ, 2010. — 520 с.

Ландсберг Т. Е. Климат города. — Л.: Гедраметиздат, 1983. — 248 с.

Лантев О. О. Екологічна оптимізація біогенетичного покриву в сучасному урболандшафті. — К.: Укр. екол. акад. наук, 1998. — 208 с.

Ленькова А. Оскальпированная земля. — М.: Прогресс, 1971. — 284 с.

Мишинский Л. О. Город и природа. — М.: Стройиздат, 1980. — 225 с.

Одум Ю. Экология. — Т. 1. — М.: Мир, 1986. — 328 с.

Перцик Е. Н. География городов (геоурбанистика). — М.: Высшая школа, 1991. — 319 с.

Яницкий О. Н. Экологические перспективы города. — М.: Мысль, 1987. — 278 с.

Sukopp I. T., Wittig R. Stadtokologie. — Stuttgarti Fischer, 1993. — 402 s.

Crey Urbanforesti. — Canada Wiley, 1986. — 299 p.

Beatey T. Green Urbanist. — Washington, DC: Island Press, 1996. — 491 p.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Дайте визначення урбоекології.
2. Що є об'єктом та предметом вивчення урбоекології?
3. Назвіть три основні типи історичних міст.
4. Чим відрізняються між собою перша, друга та третя стадії урбанізації?
5. У чому полягає «раціональна урбанізація» та типізація екологічно обґрунтованих територій?
6. Які фактори впливають на гармонійні взаємозв'язки міст із природним оточенням?
7. Що таке екологічне планування та які територіальні фактори бере вона до уваги?

8. Які функціональні підсистеми включає урбоекосистема та як вони взаємодіють між собою?
9. Розкрийте особливості функціонування міського біогеоценозу.
10. Чим відрізняються едафотопи урбанізованих біогеоценозів від природних (лісових, лучних тощо)?
11. Охарактеризуйте міські кліматопи.
12. Якими особливостями характеризується комплексний урбогенний градієнт середовища і як він впливає на формування еколого-фітоценотичних поясів (екоклінів) міст?
13. Назвіть класи гемеробії (окультуреності), охарактеризуйте їх.
14. Назвіть основні екотопи міста (за О. О. Лаптевим).
15. Як діє рослинний біофільтр, очищаючи забруднене повітря?
16. Охарактеризуйте еколого-фітоценотичну класифікацію міської рослинності.
17. Назвіть основні біотопи міських зооценозів.
18. У чому полягає гетеротрофність урбоекосистеми та які основні змінні характеризують її (за Ю. Одумом)?
19. Дайте визначення екологічної рівноваги урбоекосистеми, які умови необхідні для її дотримання?
20. Назвіть основні негативні риси урбоекосистеми великого міста (за М. А. Голубцем).
21. Охарактеризуйте структуру та динаміку популяцій міського населення.
22. Стан здоров'я міських популяцій в Україні та основні загрози для їх життя.
23. Які екологічні фактори впливають на інтегральний показник якості життя мешканців міста?
24. Які основні показники характеризують динаміку міської популяції?
25. Які типи забруднень міського довкілля загрожують життю міського населення?
26. Який рівень шумів вважається нижнім порогом звукового подразнення?
27. У чому полягає метод геохімічного картування території міста?
28. Що лежить в основі шкали небезпеки забруднення атмосфери?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Урбоекологія — наука про взаємозв'язки та взаємодію у часі та просторі двох систем — міської та (...), а також про ноосферне управління урбоекосистемою. Вставте потрібний термін: а) соціальної; б) технічної; в) енергетичної; г) природної; е) тут немає правильної відповіді.

2. Урбоекологія — наука про міські: а) біоценози; б) геоценози; с) фітоценози; d) біогеоценози; е) фітоценози, мікробіоценози та зооценози; f) тут немає правильної відповіді.

3. Населення яких міст України налічує понад 1 млн чоловік: а) Львів; б) Київ; с) Одеса; d) Тернопіль; е) Запоріжжя; f) тут немає правильної відповіді?

4. Характерними рисами міст є: а) концентрація населення; б) концентрація знарядь виробництва; с) ізольованість; d) роз'єднаність; е) концентрація капіталу.

5. Характерними рисами сіл є: а) концентрація населення; б) концентрація знарядь виробництва; с) ізольованість; d) роз'єднаність; е) концентрація капіталу.

6. Перші міста в Європі, Азії, Африці та Центральній Америці виникли в період: а) феодалізму; б) капіталізму; с) первіснообщинного ладу; d) розпаду первіснообщинного та встановлення рабовласницького ладу; е) рабовласницького ладу; f) тут немає правильної відповіді.

7. На першій стадії урбанізації для міста характерні такі риси: а) місто використовувало в основному органічні джерела енергії; б) низька концентрація неорганічних відходів; с) інтенсивне використання сільських природних і трудових ресурсів; d) стійка перевага урбанізованого середовища над природними ландшафтами; е) природні саморегулюючі екосистеми не можуть переробити відходи; f) тут немає правильної відповіді.

8. Місто як урбоекосистема (міська система) є функцією таких основних підсистем: а) природної; б) санітарно-гігієнічної; с) підсистеми управління; d) соціальної; е) технічної; f) комунальної.

9. Суплетивні зв'язки урбоекосистеми характеризуються такими властивостями: а) компенсують завдані витрати, причому організаційний рівень систем не знижується; б) сприяють заміні порушених зв'язків (або елементів) іншими поза тією самою підсистемою; с) порушується функціонування взаємодіючих підсистем; d) тут немає правильної відповіді.

10. Компенсаційні зв'язки урбоекосистеми характеризуються такими властивостями: а) збагачують взаємодіючі системи, піднімають їх на вищий організаційний рівень; б) компенсують завдані витрати, причому організаційний рівень систем не знижується; с) сприяють заміні порушених зв'язків (або елементів) іншими поза тією самою підсистемою; d) порушується функціонування взаємодіючих підсистем; е) тут немає правильної відповіді.

11. Редукційні зв'язки урбоекосистеми характеризуються такими властивостями: а) збагачують взаємодіючі системи, піднімають їх на вищий організаційний рівень; б) компенсують завдані витрати, причому організаційний рівень систем не знижується; с) порушується функціонування взаємодіючих підсистем; d) тут немає правильної відповіді.

12. Деструктивні зв'язки урбоекосистеми характеризуються такими властивостями: а) збагачують взаємодіючі системи, піднімають їх на вищий організаційний рівень; б) компенсують завдані витрати, причому організаційний рівень систем не знижується; с) сприяють

заміні порушених зв'язків (або елементів) іншими поза тією самою підсистемою; d) тут немає правильної відповіді.

13. Для деградацій як різновиду деструктивних взаємозв'язків характерні: а) система переходить із вищого організаційного рівня на нижчий, зберігаючи, однак, можливості для свого функціонування; б) глибокі зміни, що порушують функціонування системи; с) обмеження можливості виконання екосистемою функцій; d) порушення просторової структури екосистеми; e) тут немає правильної відповіді.

14. Для дисфункції як різновиду деструктивних взаємозв'язків характерні: а) система переходить із вищого організаційного рівня на нижчий, зберігаючи, однак, можливості для свого функціонування; б) глибокі зміни, що порушують функціонування системи; с) обмеження можливості виконання екосистемою функцій; d) порушення просторової структури екосистеми; e) тут немає правильної відповіді.

15. Для декомпозицій як різновиду деструктивних взаємозв'язків характерні: а) система переходить із вищого організаційного рівня на нижчий, зберігаючи, однак, можливості для свого функціонування; б) глибокі зміни, що порушують функціонування системи; с) обмеження можливості виконання екосистемою функцій; d) порушення просторової структури екосистеми; e) тут немає правильної відповіді.

16. Для природного середовища характерне: а) здатність до умовно нескінченної самопідтримки; б) самодеградація без підтримки людини; с) саморуйнування навіть за підтримки людини; d) тут немає правильної відповіді.

17. Для квазіприродного середовища характерне: а) здатність до умовно нескінченної самопідтримки; б) самодеградація без підтримки людини; с) саморуйнування навіть за підтримки людини; d) тут немає правильної відповіді.

18. Для артеприродного середовища характерне: а) здатність до умовно нескінченної самопідтримки; б) самодеградація без підтримки людини; с) саморуйнування навіть за підтримки людини; d) тут немає правильної відповіді.

19. Екосистема — це: а) звичайна одиниця, яка складається з ряду живих і неживих організмів, унаслідок взаємодії яких створюється стабільна система; б) звичайна одиниця, яка складається з ряду живих і неживих організмів, між якими створюється кругообіг речовин; с) тут немає правильної відповіді.

20. Автотрофний блок міського біогеоценозу формують: а) фототрофні рослини; б) фотосинтезуючі бактерії; с) хемосинтезуючі бактерії; d) тварини; e) безхлорофільні рослини; f) гриби; g) бактерії; h) найпростіші; i) тут немає правильної відповіді.

21. Гетеротрофний блок біогеоценозу формують: а) фототрофні рослини; б) фотосинтезуючі бактерії; с) хемосинтезуючі бактерії; d) тварини; e) безхлорофільні рослини; f) гриби; g) бактерії; h) найпростіші; i) тут немає правильної відповіді.

22. Деструкторський блок біогеоценозу формують: а) фототрофні рослини; б) фотосинтезуючі бактерії; с) хемосинтезуючі бактерії;

d) тварини; e) безхлорофільні рослини; f) гриби; g) бактерії; h) найпростіші; i) тут немає правильної відповіді.

23. Парки належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

24. Сади належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

25. Поля належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) полігемеробних біогеоценозів; e) метагемеробних екосистем; f) тут немає правильної відповіді.

26. Квітники належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

27. Терикони належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

28. Насипи залізниць належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

29. Асфальтовані покриття належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

30. Дахи будинків належать до: a) агемеробних біогеоценозів; b) олігогемеробних біогеоценозів; c) мезогемеробних біогеоценозів; d) еугемеробних біогеоценозів; e) полігемеробних біогеоценозів; f) метагемеробних екосистем; g) тут немає правильної відповіді.

31. До I ЕФП відносимо: a) вуличні посадки; b) сквери; c) приміські ліси.

32. До II ЕФП відносимо: a) приміські ліси; b) сквери; c) парки.

33. До III ЕФП відносимо: a) вуличні посадки; b) приміські ліси; c) парки.

34. До екотопів житлових районів відносимо: a) лісові та лісопаркові масиви приміської зони; b) екотопи автомобільних магістралей; c) сади та сквери.

35. До екотопів автотранспортних систем належать: a) яружно-балкові елементи ландшафту; b) кар'єрні виробки; c) захисні смуги.

36. На третьому етапі біофільтра відбувається: a) внутрішньоклітинна утилізація токсикантів; b) некроз-генерація; c) порушення гомеостазу.

37. Комплексний урбогенний градієнт формується: а) деревно-чагарниковою рослинністю; б) водоймами; с) едафотопом; d) кліматопом.

38. До фауни будівель і споруд належать такі групи: а) шкідники запасів; б) мешканці домашнього пилу; с) дощові черви.

39. Зміна середовища на «вході» в урбоєкосистему та «виході» з урбоєкосистеми залежить від: а) забруднення повітря; б) накопичення твердих відходів; с) розмірів системи; d) інтенсивності обміну; е) стадії розвитку системи.

40. Основні риси урбоєкосистеми: а) слабка провітрюваність територій; б) поліформізм; с) акумулятивна здатність; d) точкові шуми.

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	d	11	d	21	d	31	с
2	d	12	d	22	f	32	с
3	b, c, e	13	a	23	с	33	d
4	a, b, e	14	с	24	d	34	с
5	с, d	15	d	25	f	35	с
6	d	16	a	26	d	36	с
7	a, b	17	b	27	e	37	с, d
8	a, d, e	18	с	28	e	38	a, b
9	d	19	a	29	f	39	с, d
10	b	20	a, b, c	30	f	40	с

Розділ 12 ОПТИМАЛЬНЕ КОРИСТУВАННЯ ЕКОСИСТЕМАМИ ТА ЇХНІМИ КОМПОНЕНТАМИ

12.1. Природокористування як наука

12.1.1. Визначення природокористування

Економічна теорія стверджує, що природні ресурси обмежені й рідкісні, а потреби людини безмежні. Екологія переконує, що людина управляє потребами. Знадобилося мінімум триста років, щоб протистояння економіки та екології закінчилося спільними зусиллями людства щодо збереження і сталого розвитку життя на Землі.

Природокористування вивчає поведінку людей, які розподіляють природні ресурси, у тому числі асиміляційний потенціал, що характеризує здатність природного середовища до самовідновлення. Обмежений ресурс — чисте навколишнє середовище — не враховується належним чином у традиційних економічних рішеннях щодо виробництва товарів і послуг. Природокористування розкриває причини такого стану справ і виправляє ситуацію. У ній широко використовуються дані природничих наук: географії, екології, біології тощо. Природокористування як наука сформувалося відносно недавно (друга половина — остання третина ХХ століття), коли стало досить очевидним, що природні блага вичерпні, повинні мати економічну оцінку і не можуть розглядатися як безкоштовний дар природи.

У цей же час вкрай загострилися екологічні проблеми, які з локальних перетворилися на національні та глобальні загрози. Пріоритетами внутрішньої і зовнішньої політики держав стали боротьба із забрудненням атмосфери та водойм, контроль за енергетичними ресурсами, захист від токсичних відходів і збереження зникаючих видів рослин і тварин. Економіка природокористування виявилася затребуваною особами, які приймають рішення, для пошуку та обґрунтування ефективності обліку екологічного фактора у проведеній ними економічній політиці, визначення набору інструментів, які ефективно регулюють процес природокористування.

Економічна система в цілому — система виробництва, розподілу та споживання товарів, робіт і послуг. Будь-яке виробництво та споживання пов'язане зі зростаючим залученням природних ресурсів у сферу діяльності людства і супроводжується впливом на навколишнє середовище. Дослідженням цих проблем, поряд з іншими, займається галузь знання, яка має велике прикладне значення, — природокористування.

Значний внесок у розвиток природокористування зробили вчені, які працювали на межі наук про природні ресурси, охорону навколишнього середовища та економіку і стали видатними екологами: географи Д. Л. Арманд, І. П. Герасимов, економісти М. П. Федоренко та Т. С. Хачатуров, еколог М. Ф. Реймерс, філософ Е. В. Гірусов. Термін «природокористування» запропонований у 1958 р. російським географом Ю. М. Куражсковським. Нині *природокористування визначається як наука про можливості та напрями екологічно безпечного та невиснажливого використання ресурсів і властивостей природи для забезпечення сталого розвитку.*

Визначення включає принцип раціональності природокористування, тобто передбачає, з одного боку, його еколо-

гічну безпеку, з іншого — забезпечення потреби суспільства у природних ресурсах і середовищі для вивчення та розвитку. Іншими словами, на противагу принципу охорони від використання, проводиться принцип збереження та використання природи в усьому її різноманітті. Виходячи з цього, *об'єкт економіки природокористування як науки — комплекс взаємовідносин між природними ресурсами, природними умовами життя людини та соціально-економічним розвитком суспільства.*

Предмет природокористування як науки — пошук раціоналізації (та оптимізації) цих взаємин, пошук шляхів збереження природного середовища життєдіяльності людського суспільства. Іншими словами, предмет природокористування включає дослідження проблем ресурсокористування, тобто діяльності з використання, освоєння, поліпшення природних ресурсів, їх збереження та відтворення; проблеми охорони навколишнього природного середовища — діяльності щодо збереження та поліпшення навколишнього середовища життя людей, зменшення його деградації під впливом антропогенних впливів; проблеми охорони природи — діяльності з охорони багатства та різноманіття живої природи та середовища проживання, різноманітних природних об'єктів, збереження стійкості природних процесів і в цілому — збереження біосфери Землі.

12.1.2. Види природокористування

Існують різні підходи до виділення видів природокористування та їх класифікації. Із них найпоширенішими є чотири.

1. Природоресурсний підхід, заснований на виділенні основних видів природних ресурсів як об'єктів природокористування. Він дає можливість оцінювати масштаби та характер використання природних ресурсів, їх стан, конфлікти та суперечності між різними користувачами одного і того самого природного джерела ресурсів, виявити порушників стану ресурсних джерел. Наприклад, водокористування — промислове, комунально-побутове, сільськогосподарське водоспоживання, організація водного транспорту, гідроенергетики, рибальства, рекреації та туризму на водоймах і водотоках.

2. Господарський підхід, заснований на виділенні видів людської діяльності, що використовують природні ресурси та властивості навколишнього середовища для своїх цілей: промислове, сільськогосподарське природокористування. Цей підхід дозволяє оцінити сукупний вплив галузей госпо-

дарства на природні ресурси та умови середовища, виявити найбільші за масштабами впливу і екологічно найнебезпечніші види діяльності.

3. Екологічний підхід, заснований на оцінках характеру і розміру джерел забруднення та негативних наслідків, що виникають у навколишньому середовищі та природних ресурсах під впливом тих чи інших природокористувачів або їх поєднань. Так, водокористування розглядається як вид природокористування, що переважно кількісно вичерпує ресурси й умови середовища, лісокористування, переважно порушує ресурси та середовище.

4. Підхід «від реципієнта», який передбачає, що види природокористування поділяються з погляду основних реципієнтів, які сприймають ці дії. Промислове природокористування небезпечне для людей, їх здоров'я, умов проживання та життєдіяльності. Водокористування є небезпечним для цілісності екосистем. Лісокористування дає багатосторонній вплив, що викликає загальну деградацію середовища та природних ресурсів. Землекористування справляє небезпечну дію на стійкі глобальні біосферні процеси (кліматичні, ґрунтові, водообмінні, продукційні).

Два останні підходи дозволяють визначити масштаб і гостроту екологічних наслідків соціального, природоресурсного та біосферного характеру, причини, що їх викликають, визначити заходи з їх ослаблення або ліквідації.

Усі види людської діяльності та галузі економіки різною мірою використовують матеріали й продукти природного походження, а потім повертають у природу свої відходи. Тому проблеми природокористування мають універсальне значення, розглядати їх необхідно як єдину систему практичної діяльності людства з урахуванням специфіки галузей господарства.

За використаними властивостями та функціями, а також характером зв'язку залежно від природи виділяються основні галузі економіки та види природокористування.

Галузі, тісно пов'язані з природою:

- природоресурсні галузі — сільське, лісове, водне господарство, гідроенергетика, гірничорудна промисловість, промисли, які використовують природу як джерело ресурсів (ґрунтово-земельні, лісові, водні, мінеральні тощо);

- галузі ландшафтокористування — курортно-оздоровча діяльність, туризм, організація відпочинку, гірські, водні види спорту, заповідно-природоохоронна, науково-дослідна діяльність, — використовують природу як обов'язкову умову свого розміщення. Тут природа виступає джерелом предметів праці та споживання, засобом їх виробництва або

використовується і зберігається у менш трансформованих змінах, більш природному стані. У межах, які мінімально змінюють природні властивості території і зберігають її красу, унікальність і різноманіття, прокладають дороги та комунікації, влаштовують водотоки, укріплюють ґрунти, конструюють і створюють лісонасадження.

Галузі, пов'язані з природою опосередковано, через попередні:

- базові галузі промисловості — металургія, енергетика, хімічна та будівельна індустрія, нафтопереробка, переробка природного та супутнього газів, кам'яного вугілля, деревини, сільськогосподарської сировини;

- обробна промисловість, а також транспорт, інша інфраструктура.

Природа використовується, насамперед, як джерело сировини та вмістилище відходів виробництва. Важливо, скільки речовини у природи можна взяти і скільки вона може прийняти відходів, порушеної речовини та речовин, що не мають аналогів у природі; асимілювати їх, розсіяти, очистити тощо. Природа для цих галузей найменш значуща, проте самі вони впливають на навколишнє середовище досить сильно, оскільки створюють речовини, які не мають у ній аналогів.

Таким чином, від виду природокористування залежить характер впливу на природу, його кількість і якість, а також зацікавленість у збереженні, розвитку або перетворенні властивостей навколишнього середовища. Ступінь зацікавленості у збереженні властивостей навколишнього середовища для кожного користувача різна. *Чим більше вона спрямована на збереження «своїх» ресурсів і умов, угідь, тим ефективніше та раціональніше природокористування.*

Якщо ж діяльність з охорони природи для конкретного виду природокористування не важлива, а **спрямована в основному «назовні»** (очищення стоків та викидів, рекультивация земель або утилізація відходів), тобто в ній економічно зацікавлений не даний вид природокористування, а інші користувачі, то і **здійснюється вона менш активно**, тільки під наглядом і контролем з боку суспільства. Тому особливо важливим є вдосконалення різних механізмів управління природокористуванням у тих галузях людської діяльності, де відносно мала власна зацікавленість у збереженні ресурсів і умов середовища. Менеджмент природокористування покликаний пов'язати природоохоронну діяльність у всіх галузях економіки з їх власними інтересами, щоб уникнути виникнення між різними видами діяльності протиріч природокористування, що у крайніх ситуаціях виливаються в конфлікти природокористування. Цього можна

уникнути, приміром, за рахунок перетворення утилізації відходів на додаткове джерело доходу природокористування. Наприклад, біогаз, утилізація відходів (щорічне виробництво — до 10 млн т органічного палива).

Всі існуючі у природокористуванні заходи, що об'єднуються поняттям «природоохоронні», зводяться у три великі групи.

1. Внутрішньогалузеві заходи щодо зберігання та підвищення продуктивності, відтворення, економного витрачання природних ресурсів у галузях сільського, лісового, водного господарств. Група включає такі заходи, як меліорація та підвищення родючості земель, боротьба з ерозією, поліпшення та відновлення лісів, догляд за ними, пожезахисне лісорозведення, регулювання водного балансу та водотоків, комплексне використання родовищ сировини, палива тощо.

2. Міжгалузеві заходи для захисту даної галузі природокористування від забруднюючого та руйнівного впливу інших галузей природокористування шляхом створення санітарно-захисних, зелених, водоохоронних та інших зон, функціонального зонування населених місць, виділення особливо охоронюваних територій і об'єктів, виділення груп лісів за ступенем суворості їх охорони, ліквідації екологічно небезпечних виробництв.

3. Заходи в галузях, що виробляють велику кількість відходів і сильно порушують природні ландшафти з охорони суміжних природокористувачів, територій і населення від власного впливу. Сюди відносяться технологічні заходи: очисні споруди, утилізація, захоронення, далеке або глибоке відведення скидів, складування відходів, повторне використання та рециркуляція води, тепла, тари, хімічних реагентів, залишків споживання продукції (макулатури паперової та текстильної, металевої, хімічної продукції).

Широко застосовуються також планувальні заходи, які використовують здатність до самоочищення та асиміляційні властивості природних екосистем: облік напрямів вітрів, напрямку течії річок, розчинні характеристики водотоків, здатність ґрунтів і рослинності до переробки забруднень, характер рельєфу, схилів експозиції.

Усі галузі природокористування взаємопов'язані, тому що засновані на використанні єдиного об'єкта — природи. Тому при пошуку шляхів збільшення ефективності природокористування на будь-якому територіальному рівні слід аналізувати як види використаних природних ресурсів, так і галузі людської діяльності, в рамках яких вони використовуються, а також екологічні наслідки цих видів діяльності, у тому числі з позицій економіки природокористування.

12.1.3. Природні ресурси та природні умови

Основні поняття природокористування — природні ресурси та умови середовища.

Природні ресурси — елементи та властивості природи, які використовуються людиною для одержання матеріальних та інших благ. Природні ресурси мають природне походження, проте, щоб перетворити їх на сировину, паливо, енергію тощо, потрібні певні затрати праці на пошук, вивчення та освоєння, видобуток, відтворення та збереження. Унаслідок цих дій із боку людини вони стають компонентами соціально-економічної сфери, тобто знаходять соціально-економічну сутність.

Таким чином, залучені до сфери людської діяльності, природні ресурси належать одночасно до природної та соціально-економічної сфер, стають одним із двох основних об'єктів природокористування. Таке проміжне становище природних ресурсів між природою та суспільством дозволяє класифікувати їх за різними критеріями:

- **за природним джерелом походження:** мінеральні, водні, ґрунтові, земельні, рослинні та тваринні, ресурси сонячної радіації, енергії вітру, води, що рухається, тощо;

- **щодо можливого використання у господарській діяльності людини:** ресурси промислової сировини, паливні, енергетичні, сільськогосподарські, промислові, водогосподарські, рекреаційні тощо;

- **за вичерпністю та можливістю відновлення (екологічний критерій):** невичерпні (води Світового океану, кліматичні, енергія вітру, космічні (сонячна радіація, морські припливи), фізичні (енергія атомного ядра, земного тяжіння, магнетизму, підземного тепла тощо), хімічні (енергія хімічних реакцій)), вичерпні невідновні (мінеральне паливо, металеві та неметалеві руди, вугілля, газ, нафта, сланці) та вичерпні відновні ресурси (повітря, прісні води, гідроенергетичні ресурси, рослинні, тварини, ґрунтові ресурси, торф тощо);

- **за технічними можливостями експлуатації:** реальні, потенційні (потенційно-перспективні), рекреаційні;

- **за економічною доцільністю заміни:** ресурси замінні (паливо-енергетичні) та незамінні (повітря, вода);

- **за критерієм власності:** приватні, державні та громадські, а також власні чи орендовані.

При цьому важливо, що ступінь відновлюваності та вичерпності ресурсів багато в чому залежить від характеру природокористування. При нераціональній, хижацькій експлуатації деякі джерела відновних ресурсів можуть **втрачати здатність до відновлення**. Відомі численні випадки без-

поворотної втрати родючості ґрунтів, повного знищення видів тварин і рослин, вирубування лісів тощо. У той же час при впровадженні раціонального ресурсокористування можна частково відновлювати навіть ресурси з групи невідновних, а саме ресурси мінеральної (особливо — металевої) сировини за рахунок повторного використання виробів і продукції, що відпрацювала своє. Такі ресурси звуться **технічно відновні**.

Слід зазначити відмінність підходів до збереження та відтворення відновних і невідновних природних ресурсів із точки зору майбутнього та для майбутніх поколінь. Стосовно експлуатації відновних ресурсів **уважається безперечним принципом обов'язкового відтворення** ресурсів в еквівалентних або більших обсягах, ніж до початку їх експлуатації нинішнім поколінням людей.

Для невідновних ресурсів бажано дотримання «**правила Хартвіка**»: капітал, укладений у невідновний природний ресурс (наприклад, у родовище корисних копалин), у результаті експлуатації повинен трансформуватися в рівноцінний фінансовий або інший капітал, який зможуть використовувати майбутні покоління. Важливо зазначити, що такий капітал може ще протягом періоду використання невідновних ресурсів бути витрачений на пошук нових, що замінюють його, природних ресурсів, а також на наукові розробки, освіту та інші види так званого інвестування в людський капітал.

Історичний розвиток використання природних ресурсів людством йшов від використання відновлюваних (полювання, збиральництво, землеробство, скотарство тощо) до використання невідновних вичерпних ресурсів. У даний час у процес освоєння все ширше залучаються невичерпні ресурси, з якими пов'язані основні надії на подальший розвиток людства.

Природні умови — частина об'єктів природи, яка з тієї чи іншої причини ще не залучена у сферу економіки чи іншої людської діяльності, що виробляє споживчі цінності. Поділ природних умов і природних ресурсів чисто номінальний, оскільки, незважаючи на «нематеріальну» більшість природних умов, багато з них можуть отримати економічну оцінку. За кордоном, як правило, поняття «природні ресурси» та «природні умови» не розділяються.

Природоресурсний потенціал (ПРП) — сукупність виявлених і придатних для використання природних ресурсів при даному рівні розвитку виробництва (у світі, країні, регіоні, на локальному рівні). Він — найважливіша частина національного багатства країни (регіону), забезпечує їх сировинну та паливну незалежність і безпеку.

12.1.4. Економічна оцінка природоресурсного потенціалу

Критеріями оцінки природоресурсного потенціалу (табл. 12.1) служать:

- вартість первинної продукції, яку можна отримати при його повному та раціональному використанні протягом певного терміну (наприклад, за рік), та її частка у ВВП;
- частка запасів сировини та палива країни (регіону) в їх світовому запасі (або в запасах країни в цілому);
- кількість років можливого видобутку ресурсів у необхідному для країни (регіону) обсязі та асортименті;
- питома величина ресурсів, які припадають на одну людину або на 1 км³ території.

Потреба людства у природних ресурсах, навіть при вдосконаленні технологій і економному використанні, ще довго буде актуальною. За свою історію окремі країни та регіони неодноразово стикалися з проблемами дефіциту та виснаження тих чи інших природних ресурсів або з деградацією навколишнього середовища. Проте на глобальному рівні людство поки що не зіткнулося із серйозним дефіцитом будь-якого природного ресурсу.

Таблиця 12.1.

Компонентна структура природоресурсного потенціалу в економічних регіонах і областях України (Руденко, 2009)

Регіони, області	Частка від сумарного потенціалу в Україні, %	Потенціал ресурсів, %					
		мінеральних	водних	земельних	лісових	тваринних	природних
Східний	49,4	50,9	8,4	32,7	1,4	0,4	6,2
Дніпропетровська	10,9	68,9	4,8	21,3	0,3	0,4	4,3
Донецька	12,3	72,8	4,8	16,8	0,4	0,1	5,1
Запорізька	3,9	20,4	20,1	49,7	0,7	0,7	8,4
Кіровоградська	3,0	10,8	11,9	70,3	1,6	0,6	4,8
Луганська	8,8	73,8	6,8	13,8	0,8	0,2	4,6
Полтавська	3,5	11,5	11,0	68,1	2,9	1,1	5,4
Сумська	2,7	3,4	15,9	65,3	7,6	0,6	6,7
Харківська	4,3	14,2	11,4	54,6	3,9	0,5	15,3
Західний	35,1	6,6	17,1	55,0	9,3	0,5	5,1
Вінницька	3,6	2,1	9,7	79,1	3,5	0,4	5,1
Волинська	1,7	1,0	18,	55,2	16,2	0,7	9,2
Житомирська	2,9	5,5	15,9	59,8	12,6	0,1	9,5

Регіони, області	Частка від су-марного потен-ціалу в Ук-раїні, %	Потенціал ресурсів, %					
		міне-раль-них	вод-них	зе-мель-них	лісо-вих	тва-рин-них	при-род-них
Івано-Франківська	2,2	7,5	33,3	24,1	17,6	0,2	17,4
Київська	4,0	3,8	12,3	59,5	5,5	0,7	18,4
Львівська	3,7	22,5	22,7	29,2	11,1	0,2	14,3
Рівненська	1,8	5,0	16,4	55,0	16,1	0,1	6,8
Тернопільська	2,1	1,2	13,6	75,0	4,7	0,9	5,3
Хмельницька	2,7	3,5	13,8	72,6	3,8	1,0	5,9
Черкаська	3,0	5,8	12,7	67,7	4,6	0,2	8,3
Чернігівська	3,6	10,8	12,9	59,1	6,7	0,6	9,5
Чернівецька	1,3	5,2	18,3	50,0	12,6	0,3	13,7
Південний	15,5	5,1	18,7	57,4	1,3	1,0	16,9
АР Крим	6,0	10,0	19,3	39,0	1,8	0,5	29,6
Миколаївська	2,9	2,8	23,2	66,7	0,5	1,0	5,9
Одеська	3,7	1,8	11,1	71,8	1,3	0,5	13,5
Херсонська	2,9	1,6	22,7	67,1	1,0	1,0	6,4
Усього	100,0	28,3	13,1	44,4	4,2	0,5	9,5

Час передбачуваного повного вичерпання природного ресурсу визначається поки що «індексом статичних запасів». Він розраховується як відношення поточних резервів (запасів) ресурсу до його поточного споживання. Отриманий результат розглядається як час, що залишився до повного вичерпання даного ресурсу. Такого роду розрахунки здійснюються за наступних припущень:

1) споживання ресурсу до повного вичерпання залишається постійним, на рівні поточного споживання (мається на увазі, що не відбувається ані зростання, ані падіння обсягів споживання);

2) резерви (запаси) не поповнюються протягом усього періоду видобутку ресурсу (поточні та потенційні запаси повністю відомі).

Але навіть при врахуванні таких припущень неможливо дати точну оцінку вичерпання ресурсу. Наприклад, у 1934 р. статичний індекс запасів міді дорівнював 40. Це означало, що тривалість розробки міді не мала перевищити 40 років. Однак через 40 років, у 1974 р., цей індекс становив уже 57 років. Подібні зміни відбулися в ході XX ст. і з оцінками вичерпності інших природних ресурсів: нафти, залізної руди,

газу тощо. Виявлено, що статичний індекс має тенденцію до помилкової оцінки часу вичерпання ресурсів, передовсім через невизначеність багатьох складових його розрахунку.

У відомій роботі Римського клубу «Межі зростання» (1972) використовувався індекс «експонентний індекс запасу», що має тенденцію до ще більшої недооцінки часу вичерпання ресурсів, оскільки його розрахунок припускає, що споживання з часом збільшується постійними темпами. Таким чином, оцінки вичерпності невідновних природних ресурсів час від часу коригуються з урахуванням поповнення запасів у результаті їх розвідки та освоєння, а також за рахунок зміни темпів споживання.

12.1.5. Оцінка паливно-енергетичного ресурсу України

Основний органічний енергоносіє в Україні — **кам'яне та буре вугілля**. Загальні геологічні запаси кам'яного вугілля становлять 94,5 %, бурого — 5,5 %. За загальними оцінками, у надрах України може бути зосереджено до 300 млрд т вугілля. Якщо, за даними західних експертів, світових запасів нафти та газу вистачить на 80—90 років, то запасів вугілля — на 400 років. Це дає можливість розглядати сучасну вугільну енергетику як пріоритетну, а вугілля — як основний енергетичний ресурс України. Балансові, позабалансові та прогнозні ресурси вугілля в Україні становлять 117,3 млрд т, розвідані запаси — 52,6 млрд т, із них коксівне вугілля — 17,7 млрд т (31 %), антрацити — 8,3 млрд т (11,5 %). У розробці та підготовці для освоєння знаходяться запаси 23,6 млрд т.

Запаси кам'яного вугілля зосереджені в Донецькому (98 % загальних запасів) та Львівсько-Волинському басейнах (2 %), бурого вугілля — в основному у Дніпровському басейні.

Україна — одна з найдавніших нафтовидобувних держав світу. Відомі три **нафтові райони**: Прикарпатський, Дніпровсько-Донецький, Причорноморський. Промислова розробка нафтових родовищ у районі Борислава почалася у 1886 р. У 1908—1910 рр. у Західній Україні видобували по 1,5—2,0 млн т нафти щорічно. Це було в той час третім показником у світі (після США та Росії). Геологорозвідувальні роботи з нафти та газу в Україні ведуться в усіх трьох нафтогазоносних регіонах: Східному, Західному та Південному.

Початкові потенційні ресурси вуглеводнів України у перерахунку на умовне паливо складають 8417,8 млн т, у тому числі нафти — 1325,7 (15,7 %), газового конденсату — 380,5 млн т (4,5 %), газу вільного — 6435,7 (76,5 %), газу рідкого — 275,9 млрд м³ (3,3 %). Станом на 01.01.1997 р. на

державному балансі налічується 296 родовищ, із них 67 — нафтових, 10 — газонафтових і нафтогазових, 51 — нафто-газоконденсатних, 70 — газових і 98 — газоконденсатних. Початкові розвідані видобувні запаси становлять 3418,2 млн т умовного палива, тобто початкові ресурси вуглеводнів розвідані на 41 %, у тому числі по нафті — 33, вільному газу — 43 %. Ступінь виробленості (частина сумарного видобутку в початкових потенційних ресурсах) відповідно 21,4 і 24,2 %. Таким чином, 6382,7 млн т умовного палива (75,8 %) вуглеводневих ресурсів ще залишаються в надрах України, при цьому 5010,0 млн т умовного палива (59 %) складають нерозвідані ресурси.

Слід зазначити, що 1531,9 млн т у. п. (18,2 % початкових потенційних ресурсів вуглеводнів) знаходяться у межах шельфів Чорного та Азовського морів, які на сьогодні одні з найперспективніших районів для проведення пошуково-розвідувальних робіт.

Ресурсна база нафтогазовидобувної промисловості України дозволяє при її ефективному використанні стабілізувати, а в перспективі — підвищити видобуток нафти та газу. Вдале географічне розташування України на основних шляхах транспорту природного газу від потенційно найбільших у світі газодобувних регіонів Росії та Центральної Азії ставить Україну в ряд країн, які можуть бути гарантом забезпечення споживачів природним газом країн ЄС, робить надійними її політичні та економічні позиції на міжнародному ринку енергоносіїв.

Україна займає одне з чільних місць в Європі з видобутку **Уранової руди**. Прогнозовані запаси Уранової руди у Дніпропетровській області становлять 40 тис. т. Розвіданих запасів Уранової руди вистачить для виробництва ядерного палива з урахуванням кількості блоків АЕС на 150 років.

Балансові запаси **повітряно-сухого торфу** складають 2,7 млрд т.

Природний потенціал України для розвитку **нетрадиційних і відновних джерел енергії** становить близько 78 млн т у. п. на рік (100 %), який за напрямками використання розподіляється наступним чином: вітроенергетика — 24,6 млн т у. п. (31,4 %), мала гідроенергетика — 2,2 (2,9 %), сонячна енергетика — 4,9 (6,3 %), біоенергетика — 21,2 (27,1 %), штучні горючі гази та метан шахтних родовищ — 13,2 (16,9 %), інші напрямки використання джерел енергії (геотермальна енергетика, теплонасосні установки, рапсова олія, спирти, водопаливні емульсії, техногенні родовища, гумові відходи) — 12,0 млн т у. п. (15,4 %).

Потенційні ресурси потужних ГЕС складають до 4700 МВт. Потенційні ресурси (сумарні) малих річок України складають близько 2400 МВт. На цих річках існують 27 тис. ставків і водосховищ місцевого водогосподарського призначення, на яких можуть бути споруджені міні та мікроГЕС потужністю 5—250 кВт.

Сонячна енергія. В Україну річне надходження сонячного випромінювання складає 3500—5200 МДж/м², що знаходиться на одному рівні з країнами, які активно використовують сонячні колектори (США, Німеччина, Швеція тощо). Наприклад, тривалість сонячного сяйва по Києву з квітня по жовтень становить 130—300 год/місяць і не поступається іншим центральноєвропейським містам, де широко використовуються сонячні технології для теплозабезпечення.

Вся територія України придатна для розвитку сонячного теплопостачання. Мінімальні величини сонячного випромінювання в усіх пунктах спостерігаються у грудні. Сезонний період, коли використання сонячної енергії реальне для України, становить квітень—вересень, для південних районів — березень—жовтень. Річний обсяг енергії сонячної радіації, що досягає поверхні землі у великих містах України, має значення: Сімферополь — 4,99 ГДж/м², Одеса — 4,88, Донецьк — 4,44, Київ — 4,12, Суми — 3,89, Львів — 3,85 ГДж/м².

Біотехнології, утилізація відходів. Енергетичний потенціал визначається такими технологічними напрямками: анаеробне зброджування, спалювання відходів АПК та інших галузей, використання агрокультур для отримання спиртового палива шляхом ферментації, перетворення біомаси на газоподібні або рідкі види палива за допомогою термохімічних технологій, виробництво із рослинних культур масел і замінників дизельного палива.

Кількість відходів рослинної біомаси в Україні становить щорічно 40 млн т, що еквівалентно 25—30 млрд м³ газу; щорічні відходи тваринництва та птахівництва в Україні становлять 32 млн т, або 10,3 млрд м³. В Україні в лісовідвалах накопичилося понад 14 млн м³ відходів, у лісах знаходиться ще 7 млн м³, причому процес нарощування відходів триває.

Україна має значні потенційні ресурси **геотермальної енергії**. Районами її можливого використання є Крим, Закарпаття, Прикарпаття, Донецька, Запорізька, Луганська, Полтавська, Харківська, Херсонська, Чернігівська та інші області. За різними оцінками, потенційні ресурси геотермальної теплоти в Україні можуть забезпечити роботу геотермальних електростанцій (ГТЕС) загальною потужністю до 200—250 млн кВт (при глибинах буріння свердловин до 7 км

і періодах роботи станції 50 років) і систем геотермального теплопостачання загальною потужністю до 1,2—1,5 млрд кВт (при глибинах буріння свердловин до 4 км і періодах роботи систем 50 років).

Енергія з біомаси. Одна з вимог до країн-кандидатів до ЄС — рівень використання відновних джерел енергії не нижче середньоєвропейського (12 % на 2010 рік). Тому для України, яка має намір інтегруватися до Європи, це додатковий аргумент на користь активного розвитку відновних джерел енергії, у першу чергу біоенергетики. Виходячи з наявного потенціалу деревини, соломи, торфу та твердих побутових відходів, визнано обґрунтованим і доцільним впровадження в найближчі 10 років наступних технологій:

- опалювальні котельні на деревині (1—10 МВт) — 500 одиниць;
- промислові котли на деревині (0,1—5 МВт) — 500 одиниць;
- побутові котли на деревині (10—50 кВт) — 53 тис. одиниць;
- фермерські котли на соломі (0,1—1 МВт) — 16 тис. одиниць;
- опалювальні котельні на соломі (1—10 МВт) — 1400 одиниць;
- опалювальні котельні на торфі (0,5—1 МВт) — 1000 одиниць;
- проекти зі збирання та утилізації біогазу із полігонів твердих побутових відходів (0,5—5 МВт) — 90 одиниць.

Загальна теплова потужність цього обладнання становить понад 9000 МВт, що дає можливість замінити понад 5,2 млрд м³/рік споживання природного газу та зменшити викиди CO₂ на 13 млн т/рік. Ця програма реально може бути реалізована до 2015 р.

12.1.6. Нестача природних ресурсів

Загроза нестачі ресурсів, у тому числі екологічних, виникає все частіше і може посилитися в майбутньому, якщо не будуть вжиті всі можливі заходи до економного та екологічно ефективного їх використання. Один з основних напрямків раціоналізації використання природних ресурсів — ширше **застосування передових ресурсозберігальних технологій**, що дозволяють знижувати витрати сировини, матеріалів, палива та енергії на одиницю кінцевої продукції. Наприклад, розвиток порошкової металургії вже сьогодні дозволяє зберігати в середньому до 2500 т металу на 1000 т готових виробів із металевих порошків, що означає суттєву економію сировини

та палива порівняно з колишніми технологіями. При цьому собівартість продукції знижується в середньому на 30 %.

Все важливішим стає **багаторазове повторне використання** вже видобутої сировини. У цьому випадку оцінка вичерпних ресурсів може значно змінитися. Наприклад, створення систем оборотного, або замкненого водоспоживання у промисловості дозволяє значно скоротити використання чистої води. Включення в господарський оборот вторинних ресурсів і відходів виробництва дає великий економічний і одночасно — екологічний ефект. Як відомо, під відходами з економічної точки зору розуміються непридатні для виробництва даної продукції види сировини, її непотрібні залишки, речовини, які виникають у ході технологічного процесу (тверді, рідкі, газоподібні, а також тепло та енергія). Майже 70—80 % потреб світового господарства в енергії, паливі, сировині і матеріалах можуть бути задоволені за рахунок їх повторного використання. Зокрема, 20—25 % металу, що міститься у викинутих на звалище відходах споживання, можуть бути знову залучені до обігу при незначних витратах, а ще 40—45 % — після спеціальної обробки.

Собівартість кольорових металів, одержуваних із брухту чи відходів, у 3—6 разів нижча, ніж із рудної сировини. Вторинна сировина може дати майже половину обсягу виплавленої сталі. Вторинна переробка брухту кольорових металів потенційно може давати щорічно 20 % світової продукції міді, понад 30 % олова та алюмінію, близько 20 % цинку. Використання 1 т брухту чорних металів дозволяє заощаджувати 3,5—4,0 т залізної руди, а також марганцеву руду та нерудні речовини металургійної сировини. При цьому економляться енергетичні ресурси: 1 т брухту кольорових металів зберігає 1,5 т коксівного вугілля. Екологічні наслідки вторинного використання сировини можуть бути навіть істотнішими, ніж економічні. Наприклад, застосування вторинних ресурсів металів замість виробництва чавуну зменшує викиди в атмосферу в 7—8 разів, забруднення вод — у 4 рази, кількість твердих відходів — у 16 разів.

До останнього часу родовища природних ресурсів розробляли вибірково — у першу чергу освоювали найбагатші, зручно розташовані та великі. Малоймовірно, що навіть в умовах дефіциту або виснаження ряду ресурсів людство звернеться до звичайних гірських порід і морської води, щоб витягувати з них більшість мінеральних ресурсів, втрачаючи при цьому інтерес до їх локальної концентрації.

У даний час намітилася інша тенденція. У результаті глобального виснаження найбагатших родовищ і переходу на все бідніші та незручно розташовані джерела корисних

копалин, джерелом природних ресурсів усе частіше стають величезні відвали навколо старих копалень, з яких корисні речовини можна концентрувати за допомогою сучасних технологій збагачення. Наприклад, навколо старих копалень із видобутку міді, цинку, свинцю, залізних руд та інших металів зібралася маса відвалів із низьким вмістом тих чи інших корисних копалин, які можна вважати відкладеними для майбутнього використання. Як і раніше, спостерігаються величезні втрати природних ресурсів і збитки, яких зазнає середовище у процесі розробки родовищ корисних копалин. Так, при видобутку підземним способом у надрах у середньому втрачається через недосконалі або занадто дорогі технології 20—45 % вугілля, 15—25 % руд чорних і кольорових металів, 20—60 % гірничо-хімічної сировини. У середньому в окремих родовищах нафти видобувається лише 50—60 % розвіданих запасів. Втрати супутнього газу становлять тільки в нашій країні 20 млрд т/рік, він, як і раніше, в основному спалюється у факелах. У цих галузях необхідно впроваджувати нові ресурсозберігаючі технології, а також комплексно використовувати видобувну сировину.

12.1.7. Забезпечення екологічно збалансованого природокористування в Україні

Згідно з Національним планом дій передбачено вирішення таких завдань:

- підготовка та схвалення у 2012 році проекту Концепції 10-річних рамок політики сталого споживання та виробництва (ССВ) згідно з Йоганнесбурзьким планом дій, розробка та реалізація Стратегії та Національного плану дій до 2015 року;
- подальший розвиток національної системи кадастрів природних ресурсів, державної статистичної звітності з використання природних ресурсів і забруднення навколишнього природного середовища;
- технічне переоснащення виробництва на основі впровадження інноваційних проектів, енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій, маловідхідних, безвідхідних і екологічно безпечних технологічних процесів до 2020 року;
- введення до 2015 року системи економічних і адміністративних механізмів із метою стимулювання виробника до сталого й поновлюваного природокористування та охорони навколишнього природного середовища, широкого впровадження новітніх, більш чистих технологій, інновацій у сфері природокористування;

- підвищення енергоефективності виробництва на 25 % до 2015-го і до 50 % до 2020 року порівняно з базовим роком шляхом упровадження в енергетиці та ресурсозбереженні в галузях, які споживають енергію та енергоносії;

- збільшення обсягу використання відновлювальних і альтернативних джерел енергії на 25 % до 2015-го і на 55 % до 2020 року від базового рівня;

- збільшення до 2020 року частки земель, що використовуються в органічному сільському господарстві, до 7 %;

- створення до 2015 року екологічно та економічно обґрунтованої системи платежів за спеціальне використання природних ресурсів і збору за забруднення навколишнього природного середовища для стимулювання суб'єктів господарювання до раціонального природокористування.

Унаслідок загострення проблем охорони навколишнього середовища, якісного та кількісного виснаження природних ресурсів і погіршення середовища існування людства природокористування як наука активно розвивається останнім часом у всьому світі. В її науковий багаж великий внесок роблять екологія та біологія, лісівництво, ґрунтознавство, гідрологія, рослинництво. Всі ці науки об'єднує одне — природа як об'єкт використання та охорони, що стала життєво важливою стороною існування людства у XXI столітті. Вибір найраціональнішого та найефективнішого шляху природокористування в даний час — непроста еколого-економічна проблема, але вона закладає напрямки майбутнього розвитку людства.

12.2. Раціональне використання природних ресурсів

Основна ідея. Природні ресурси — національне багатство, і тому їх використанню, відтворенню та збереженню приділяється значна увага. Раціональне використання природних ресурсів регламентується відповідними законодавчими та нормативними документами (законами, постановами, наказами). Особлива увага приділяється спеціальному користуванню природними ресурсами, яке супроводжується їх вилученням із природного середовища. Об'єми та порядок такого вилучення також підлягають контролю з боку держави.

Смислові зв'язки. Природні ресурси — використання (загальне та спеціальне) — відтворення — охорона.

Ключові терміни. Об'єкти рослинного світу, рослинні природні ресурси, тваринні природні ресурси, охорона, використання, відтворення, законодавчі акти, дозволи на спеціальне використання природних ресурсів, ліміти, ґрунти,

ерозія (вітрова, водна, іригаційна, пасовищна, агротехнічна), надра, вилучення сировини, комплексне використання.

Мета — описати послідовність поводження із природними ресурсами, зв'язок порядку раціонального використання природних ресурсів із відповідними законодавчими документами, основні принципи раціонального використання, відтворення та ефективної охорони природних ресурсів — національного багатства України.

12.2.1. Рослинні природні ресурси, їх використання, відтворення та збереження

Поводження з рослинними природними ресурсами регламентується Законом України «Про рослинний світ». Згідно з цим законом *об'єкти рослинного світу — дикорослі та інші несільськогосподарського призначення судинні рослини, мохоподібні, водорості, лишайники, а також гриби на всіх стадіях розвитку та утворені ними природні угруповання. Природні рослинні ресурси — об'єкти рослинного світу, що використовуються або можуть бути використані населенням для потреб виробництва та інших потреб.*

Під час здійснення діяльності, яка впливає на стан охорони, використання та відтворення рослинного світу, необхідно дотримуватися таких основних вимог:

- збереження природного просторового, видового, популяційного та ценотичного різноманіття об'єктів рослинного світу;
- збереження умов місцезростання дикорослих рослин і природних рослинних угруповань;
- науково обґрунтоване, невиснажливе використання природних рослинних ресурсів;
- здійснення заходів щодо запобігання негативному впливу господарської діяльності на рослинний світ;
- охорона об'єктів рослинного світу від пожеж, захист від шкідників і хвороб;
- здійснення заходів щодо відтворення об'єктів рослинного світу;
- регулювання поширення та чисельності дикорослих рослин і використання їх запасів з урахуванням інтересів охорони здоров'я населення.

Ці вимоги враховуються під час розробки проектів законодавчих актів, загальнодержавних, міждержавних, регіональних програм та здійснення заходів з охорони, використання та відтворення рослинного світу.

Використання природних рослинних ресурсів здійснюється в порядку загального або спеціального використання.



Рис. 12.1. Ліс у Карпатах

У порядку **загального використання** природних рослинних ресурсів громадяни можуть збирати лікарську та технічну сировину, квіти, ягоди, плоди, гриби та інші харчові продукти для задоволення власних потреб, а також використовувати ці ресурси в рекреаційних, оздоровчих, культурно-освітніх і виховних цілях. Загальне використання природних рослинних ресурсів здійснюється громадянами з дотриманням правил, що затверджуються центральним органом виконавчої влади у галузі охорони навколишнього природного середовища, *без надання їм відповідних дозволів*. Загальне використання природних рослинних ресурсів у разі їх виснаження, різкого зменшення популяційного та ценотичного різноманіття тощо може бути обмежене.

Спеціальне використання природних рослинних ресурсів здійснюється за дозволом юридичними або фізичними особами для задоволення їх виробничих і наукових потреб, а також із метою отримання прибутку від реалізації цих ресурсів або продуктів їх переробки. За умови дотримання вимог законодавства можуть здійснюватися такі види спеціального використання природних рослинних ресурсів: збирання лікарських рослин, заготівля деревини під час рубок головного користування, заготівля живиці, заготівля кори, лубу, деревної зелені, деревних соків тощо, збирання квітів, ягід,

плодів, горіхів, насіння, грибів, лісової підстилки, очерету тощо, заготівля сіна, випасання худоби.

Використання природних рослинних ресурсів за умови додержання встановлених вимог **може здійснюватися з метою:** природоохоронною, рекреаційною, оздоровчою, культурно-освітньою, виховною, науково-дослідною, господарською (для забезпечення потреб населення та виробництва у технічній, лікарській, пряно-ароматичній, харчовій сировині з дикорослих рослин; для випасання худоби, для забезпечення інших потреб тваринництва; для потреб бджільництва; для потреб мисливського та рибного господарства).

Відтворення природних рослинних ресурсів здійснюється власниками та користувачами (у тому числі орендарями) земельних ділянок, на яких знаходяться об'єкти рослинного світу. Відтворення природних рослинних ресурсів забезпечується: сприянням природному відновленню рослинного покриву; штучним поновленням природних рослинних ресурсів; запобіганням небажаним змінам природних рослинних угруповань і негативному впливу на них господарської діяльності; зупиненням (тимчасово) господарської діяльності з метою створення умов для відновлення деградованих природних рослинних угруповань.

Охорона рослинного світу передбачає здійснення комплексу заходів, спрямованих на збереження просторової, видової, популяційної та ценотичної різноманітності і цілісності об'єктів рослинного світу, охорону умов їх місцезростання, збереження від знищення, пошкодження, захист від шкідників і хвороб, а також невиснажливе використання.

Охорона рослинного світу забезпечується:

- встановленням правил і норм охорони, використання та відтворення об'єктів рослинного світу;
- заборонаю та обмеженням використання природних рослинних ресурсів у разі необхідності;
- проведенням екологічної експертизи та інших заходів із метою запобігання загибелі об'єктів рослинного світу в результаті господарської діяльності;
- захистом земель, зайнятих об'єктами рослинного світу, від ерозії, селів, підтоплення, затоплення, заболочення, засолення, висушення, ущільнення, засмічення, забруднення промисловими і побутовими відходами та стоками, хімічними і радіоактивними речовинами та від іншого несприятливого впливу;
- створенням і оголошенням територій і об'єктів природно-заповідного фонду;

- організацією наукових досліджень, спрямованих на забезпечення здійснення заходів щодо охорони та відтворення об'єктів рослинного світу;
- розвитком системи інформування про об'єкти рослинного світу та вихованням у громадян дбайливого ставлення до них;
- створенням системи державного обліку та здійсненням державного контролю за охороною, використанням та відтворенням рослинного світу;
- занесенням рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів рослин до Червоної книги України і типових природних рослинних угруповань — до Зеленої книги України;
- встановленням юридичної відповідальності за порушення порядку охорони та використання природних рослинних ресурсів.

12.2.2. Тваринні природні ресурси, їх використання, відтворення та збереження

Поводження із тваринними природними ресурсами регламентується Законом України «Про тваринний світ». Згідно з цим законом тваринний світ — один із компонентів навколишнього природного середовища, національне багатство України, джерело духовного й естетичного збагачення та виховання людей, об'єкт наукових досліджень, а також важлива база для одержання промислової та лікарської сировини, харчових продуктів та інших матеріальних цінностей. В інтересах нинішнього та майбутніх поколінь в Україні за участю підприємств, установ, організацій і громадян здійснюються заходи щодо науково обґрунтованого, невиснажливого використання, відтворення та охорони тваринного світу.

Завдання законодавства України про використання, відтворення та охорону тваринного світу: регулювання відносин у галузі охорони, використання та відтворення об'єктів тваринного світу, збереження та поліпшення середовища існування диких тварин, забезпечення умов збереження всього видового та популяційного різноманіття тварин.

Об'єкти тваринного світу, а також нори, хатки, лігва, мурашники, боброві загати та інше житло і споруди тварин, місця токування, линяння, гніздових колоній птахів, постійних чи тимчасових скупчень тварин, нерестовищ, інші території, що є середовищем їх існування та шляхами міграції, підлягають охороні.

Під час проведення заходів щодо охорони, раціонального використання та відтворення тваринного світу, а також під час здійснення будь-якої діяльності, яка може вплинути на середовище існування диких тварин і стан тваринного світу, повинно забезпечуватися **додержання таких основних вимог і принципів:**

- збереження умов існування видового та популяційного різноманіття тваринного світу у стані природної волі;
- недопустимість погіршення середовища існування, шляхів міграції та умов розмноження диких тварин;
- збереження цілісності природних угруповань диких тварин;
- додержання науково обґрунтованих нормативів і лімітів використання об'єктів тваринного світу, забезпечення невиснажливого їх використання, а також відтворення;
- раціональне використання корисних властивостей і продуктів життєдіяльності диких тварин;
- платність за спеціальне використання об'єктів тваринного світу;
- регулювання чисельності диких тварин в інтересах охорони здоров'я населення та запобігання заподіяння шкоди довкіллю, господарській та іншій діяльності;
- урахування висновків екологічної експертизи щодо об'єктів господарської та іншої діяльності, які можуть негативно впливати на стан тваринного світу.

Громадянам гарантується право **безоплатного загального використання об'єктів тваринного світу** для задоволення життєво необхідних потреб (естетичних, оздоровчих, рекреаційних тощо). У порядку загального використання об'єктів тваринного світу здійснюється використання корисних властивостей життєдіяльності тварин — природних санітарів середовища, запилювачів рослин тощо, а також використання об'єктів тваринного світу в наукових, культурно-освітніх, виховних, естетичних та інших цілях, не заборонених законом.

До **спеціального використання** об'єктів тваринного світу належать усі види використання тваринного світу (за винятком випадків безоплатного любительського та спортивного рибальства у водних об'єктах загального користування), що здійснюються з їх вилученням (добуванням, збиранням тощо) із природного середовища. Спеціальне використання об'єктів тваринного світу здійснюється лише за відповідними дозволами чи іншими документами, що видаються в порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Можуть здійснюватися такі види спеціального використання об'єктів тваринного світу: мисливство, рибальство, включаючи добування водних безхребетних тварин,



Рис. 12.2. Любительське рибальство (безоплатне загальне використання об'єктів тваринного світу)

використання об'єктів тваринного світу в наукових, культурно-освітніх, виховних і естетичних цілях, використання корисних властивостей життєдіяльності тварин — природних санітарів середовища, запилювачів рослин тощо, використання диких тварин із метою отримання продуктів їх життєдіяльності, добування (придбання) диких тварин із метою їх утримання та розведення у напіввільних умовах чи в неволі.

Охорона тваринного світу включає систему правових, організаційних, економічних, матеріально-технічних, освітніх та інших заходів, спрямованих на збереження, відтворення і використання об'єктів тваринного світу. Охорона тваринного світу передбачає комплексний підхід до вивчення стану, розроблення та здійснення заходів щодо охорони та поліпшення екологічних систем, в яких перебуває і складовою частиною яких є тваринний світ.

Охорона тваринного світу забезпечується шляхом:

- встановлення правил і науково обґрунтованих норм охорони, раціонального використання та відтворення об'єктів тваринного світу;
- встановлення заборони та обмежень при використанні об'єктів тваринного світу;
- охорони від самовільного використання та інших порушень встановленого законодавством порядку використання об'єктів тваринного світу;

- охорони середовища існування, умов розмноження та шляхів міграції тварин;
- запобігання загибелі тварин під час здійснення виробничих процесів;
- формування екологічної мережі, створення державних заповідників, заказників і визначення інших природних територій та об'єктів, що підлягають особливій охороні;
- встановлення особливого режиму охорони видів тварин, занесених до Червоної книги України та до переліків видів тварин, які підлягають особливій охороні;
- розроблення та впровадження програм щодо збереження та відтворення видів диких тварин, які перебувають під загрозою зникнення;
- розведення в неволі рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів тварин, створення центрів та «банків» для зберігання генетичного матеріалу;
- встановлення науково обґрунтованих нормативів і лімітів використання об'єктів тваринного світу та вимог щодо засобів їх добування;
- регулювання вилучення тварин із природного середовища для зоологічних колекцій;
- надання допомоги тваринам у разі захворювання, загрози їх загибелі під час стихійного лиха і внаслідок надзвичайних екологічних ситуацій;
- організації наукових досліджень, спрямованих на обґрунтування заходів щодо охорони тваринного світу;
- виховання громадян у дусі гуманного ставлення до тварин;
- пропаганди важливості охорони тваринного світу;
- здійснення контролю у галузі охорони, використання та відтворення тваринного світу;
- проведення заходів екологічної безпеки;
- запобігання проникненню у природне середовище України чужорідних видів диких тварин і здійснення заходів щодо недопущення негативних наслідків у разі їх випадкового проникнення;
- створення системи державного обліку, кадастру та моніторингу тваринного світу;
- урахування питань охорони тваринного світу під час встановлення екологічних нормативів та здійснення господарської діяльності;
- регулювання вивезення за митний кордон України об'єктів тваринного світу;
- стимулювання діяльності, спрямованої на охорону, раціональне використання та відтворення тваринного світу;

- проведення відповідно до законодавства інших заходів і встановлення інших вимог щодо охорони об'єктів тваринного світу.

12.2.3. Поняття про обсяги та порядок вилучення живих природних об'єктів

Порядок видачі дозволів на спеціальне використання природних ресурсів і встановлення лімітів використання ресурсів загальнодержавного значення визначається Постановою Кабінету Міністрів № 459 від 10.08.1992 р., наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України № 115 від 26.05.1999 року і рядом інших нормативних документів.

Видача дозволів на спеціальне використання природних ресурсів здійснюється:

- немисливських видів тварин, природних ресурсів у межах територій і об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного значення (крім мисливських тварин), видів тварин і рослин, занесених до Червоної книги України, природних рослинних угруповань, занесених до Зеленої книги України, — органами Мінприроди;

- рибних запасів та інших об'єктів водного промислу, віднесених до природних ресурсів загальнодержавного значення, — органами Укрдержрибгоспу;

- ведмедя, кабана, лані, оленів благородного та плямистого, козулі, лося, муфлона, білки, бабака, бобра, нутрії вільної, ондатри, куниць лісової та кам'яної, норки американської, тхора лісового, а також вовка, лисиці, бродячих собак і котів, сірих ворон, сорок, граків не в мисливський сезон або в заборонених для полювання місцях — органами Держкомлісгоспу;

- вовка, лисиці, бродячих собак і котів, сірих ворон, сорок, граків, а також на селекційний та вибіркового діагностичний відстріл мисливських тварин для ветеринарно-санітарної експертизи в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду — органами Мінприроди;

- пернатої дичини, кроля дикого, зайця-русака, єнотоподібного собаки, вовка та лисиці, а також бродячих собак і котів, сірих ворон, сорок, граків (під час полювання на інші види мисливських тварин) — користувачами мисливських угідь;

- природних ресурсів місцевого значення — місцевими радами за погодженням з органами Мінприроди, а в разі видачі дозволів на використання ресурсів тваринного світу також за погодженням з органами Держкомлісгоспу.

Видача дозволу на спеціальне використання природних ресурсів здійснюється на підставі клопотання (заявки) природокористувача з обґрунтуванням потреби в цих ресурсах. Клопотання щодо видачі дозволу на спеціальне використання природних ресурсів, за винятком об'єктів тваринного світу, віднесених до природних ресурсів загальнодержавного значення, погоджується з відповідною місцевою радою, власником або постійним користувачем цих природних ресурсів. Для отримання дозволу на спеціальне використання природних ресурсів клопотання погоджується також із відповідними державними органами, а саме:

- Державним департаментом ветеринарної медицини — у разі використання ресурсів тваринного світу, у тому числі рибних запасів та інших об'єктів водного промислу, а у разі використання цих ресурсів із метою одержання лікувально-технічної сировини — також з органами МОЗ;

- Мінприроди — у разі спеціального використання рибних запасів та інших об'єктів водного промислу загальнодержавного значення, за винятком їх промислового добування, а також любительського та спортивного рибальства, яке здійснюється у порядку спеціального використання.

Ліміти використання рибних запасів та інших об'єктів водного промислу, віднесених до природних ресурсів загальнодержавного значення, у розрізі річкових басейнів, морських районів промислу, основних типів і категорій водойм щорічно затверджуються Мінприроди за поданням Укрдержрибгоспу на підставі обґрунтувань науково-дослідних установ і організацій.

Ліміти використання мисливських видів парнокопитних тварин, ведмеда, куниць лісової та кам'яної, норки американської, тхора лісового, бобра, нутрії вільної, ондатри, бабака, білки затверджуються на мисливський сезон Мінприроди за поданням Держкомлісгоспу на підставі пропозицій користувачів мисливських угідь.

Ліміти використання немисливських видів тварин затверджуються Мінприроди за кожним окремим видом цих тварин відповідно до подання спеціально уповноваженого органу виконавчої влади у сфері екології та природних ресурсів.

12.2.4. Охорона ґрунтів і заходи боротьби з ерозією

Ґрунт — найважливіший ресурс людства. Не буде ґрунту, придатного для одержання продуктів харчування, всі інші людські цінності втратять своє значення. Разом із цим ґрунт — це відновний ресурс, проте його відновлення на два-три порядки дорожче, ніж охорона. Антропогенний вплив на

грунти спричиняє їх деградацію, призводить до зниження продуктивності сільськогосподарських угідь. Під впливом деградації погіршується також якість ґрунтів. Нарада НАТО стосовно якості ґрунтів щодо екологічно стійкого розвитку сільського господарства та екологічної безпеки у країнах Центральної та Східної Європи (жовтень 1997 р., Польща) визначила поняття «якість ґрунтів» як їх здатність забезпечувати вирощування безпечної та поживної продукції рослинництва, що безперервно підтримується тривалий час, без шкідливої дії на навколишнє середовище. Це можна найкраще зрозуміти з контексту функції ґрунту, що розглядається як сума продуктивності та екологічної стійкості. Останнє визначається як здатність ґрунту через дію ґрунтових процесів відновлюватись після порушень, спричинених зовнішніми або внутрішніми стресами.

З усіх видів деградації, якщо оцінювати їх у світових масштабах, найпоширенішою та найшкідливішою є ерозія ґрунтів. За даними М. С. Кузнецова та Г. П. Глазунова (1996), у документах конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.) ступінь деградації ґрунтового покриву Землі оцінювався так: крайній ступінь деградації — 1 %, сильний — 15 %, легкий — 38 %, помірний — 46 %. Одночасно найпоширенішими видами деградації є: водна ерозія — 56 %, вітрова — 28 %, хімічна — 12 %, фізична деградація — 4 %.

Ерозією називається руйнування ґрунту та підґрунтя під впливом природних та антропогенних чинників. Це руйнування може спричинюватися талими та дощовими водами, що стікають схилом. У цьому випадку воно носить назву **водної** ерозії (рис. 12.3). Сильні вітри також здатні руйнувати ґрунти. Така ерозія називається **вітровою, або дефляцією**. У зв'язку з інтенсивним розвитком зрошення на землях схилів відбувається також ерозія, що носить назву **іригаційної**. Надмірне випасання природних кормових угідь обумовлює розвиток **пасовищної** ерозії. При цьому розбивається дернина, ґрунт переміщується схилом під копитами тварин, а це призводить до посилення як водної, так і вітрової ерозії. Ще виділяють **агротехнічну** ерозію — зміщення ґрунту вниз схилом у процесі оранки. На схилах крутістю понад 4° під час роботи полиці плуга в бік вододілу відбувається неповне відкидання скиби, а під час роботи полиці в бік підніжжя схилу — зміщення скиби донизу, яке є адекватним змиву ґрунту об'ємом 12 м³/га. Унаслідок цього на коротких стрімких схилах у привододільних їх частинах з'являється еродований ґрунт, а поблизу підніжжя, навпаки, — «намитий», тобто наораний, ґрунт.



Рис. 12.3. Водна ерозія ґрунту

Комплекс заходів щодо захисту ґрунтів від водної ерозії охоплює агротехнічні, лучномеліоративні, гідротехнічні та лісомеліоративні.

Агротехнічні заходи попередження водної ерозії здійснюються через реалізацію таких принципів:

- підвищення водопроникності ґрунтів;
- уповільнення швидкості стікання води;
- скріплення верхнього шару ґрунту коренями рослин;
- зменшення промерзання ґрунту в холодний період року та швидше розмерзання його навесні;
- залуження ерозійно небезпечних ділянок багаторічними травами;
- зміна структури посівних площ.

Лучномеліоративні протиерозійні заходи об'єднуються в чотири групи: агротехнічні, організаційно-господарські, гідротехнічні, лісомеліоративні.

Найважливіші з агротехнічних заходів такі: докорінне поліпшення пасовищ, докорінна меліорація пасовищ, у тому числі із засоленими та солонцюватими ґрунтами, поверхнєве поліпшення пасовищ і щілювання пасовищ та посівів трав.

До **організаційно-господарських заходів**, спрямованих на поліпшення природного травостою, умов його росту та розвитку, відносяться догляд за пасовищами та періодич-

не відновлення травостою пасовищ. Періодичний відпочинок — єдиний захід докорінного поліпшення кам'янистих пасовищ.

До **гідротехнічних заходів** відноситься загальне планування (вирівнювання) поверхні пасовищ, засипання промивин та виположування ярів.

Лісомеліоративні заходи також є дуже важливими на пасовищах.

Лісомеліоративні протиерозійні заходи. До них відносять: полезахисні лісосмуги, водорегулювальні лісосмуги, насадження навколо ставків і водойм, прибалкові насадження, насадження на незручних землях.

До **гідротехнічних протиерозійних заходів** відноситься облаштування водозатримних валів, валів-терас, валів-лиманів та валів-доріг.

Для попередження вітрової ерозії існують чотири групи заходів: підвищення структурності поверхневого шару ґрунту, підвищення шорсткості поверхні ґрунту (агротехнічні заходи), зменшення швидкості вітру у приземному шарі атмосфери та підвищення вологості у цьому шарі. Найефективніший результат досягається у випадку комплексного застосування цих заходів.

У районах інтенсивного прояву пилових бур організацію території господарств слід підпорядковувати заходам боротьби з ними. Рубежі (напрямні лінії обробки ґрунту) розташовують уперек вітрів, що спричиняють пилові бурі. Поля сівозмін нарізають довгою стороною вперек цих вітрів. На межах полів сівозмін створюють полезахисні лісосмуги. Усі агротехнічні заходи також проводять уперек панівних вітрів. На віброударних схилах поля сівозміни роблять вузькими, а полезахисні смуги — частішими.

12.2.5. Раціональне використання надр землі

Поняття раціонального використання надр тісно пов'язане з охороною надр, основними вимогами якої згідно з «Кодексом про надра» є:

- забезпечення повного та комплексного геологічного вивчення надр;
- додержання встановленого законодавством порядку надання надр у користування та недопущення самовільного користування надрами;
- раціональне вилучення та використання запасів корисних копалин і наявних у них компонентів;
- недопущення шкідливого впливу робіт, пов'язаних із користуванням надрами, на збереження запасів корисних

копалин, гірничих виробок і свердловин, що експлуатуються чи законсервовані, а також підземних споруд;

- охорона родовищ корисних копалин від затоплення, обводнення, пожеж та інших факторів, що впливають на якість корисних копалин і промислову цінність родовищ або ускладнюють їх розробку;

- запобігання необґрунтованій та самовільній забудові площ залягання корисних копалин і додержання встановленого законодавством порядку використання цих площ для інших цілей;

- запобігання забрудненню надр при підземному зберіганні нафти, газу та інших речовин і матеріалів, захороненні шкідливих речовин і відходів виробництва, скиданні стічних вод.

Постійне нарощування темпів видобутку продуктів для паливно-енергетичного комплексу та рудних і нерудних корисних копалин: для металургійної, хімічної, будівельної та інших галузей народного господарства призводить до значного порушення екологічного стану природного середовища та утворення в ньому небажаних напрямів розвитку природних процесів.

Найважливішою для людства у цьому комплексі є проблема охорони та раціонального використання геологічного середовища, оскільки в ньому містяться основні компоненти твердих, рідких, газоподібних корисних копалин. Крім того, в ньому містяться різні об'єкти, створені людиною в межах літосфери, — антропогенні геологічні утворення. Всі ці компоненти знаходяться у тісній взаємодії і визначають його динаміку.

Геологи, проектувальники та будівельники повинні оцінювати кожне родовище як комплекс корисних копалин. Дійсно, поряд з основною сировиною (вугіллям, залізними, мідними рудами тощо) всі складові речовини як у рудному тілі, так і в розкритих і вмісних породах, можуть бути корисними для економіки. Адже супутні компоненти (будівельні, хімічні тощо) за вартістю часто рівноцінні основній корисній копалині. У той же час розкриті та вмісні породи часто вважаються відходами гірничодобувних підприємств, і їх, як правило, складають у відвали.

Площі під відвалами бувають значно більшими, ніж площі власне кар'єрних розробок. За деякими оцінками, при видобуванні корисних копалин щорічно на поверхню землі виймається 150 млрд т так званих «пустих» порід. На початку ХХІ ст. загальна кількість піднятих на поверхню порід зросте у 4—6 разів. Із цієї величезної маси реалізується у вигляді продукції (тобто іде у виробництво) не більше 5 %. Це де-



Рис. 12.3. Сиваш

монструє потенційні можливості добувної промисловості при комплексній експлуатації родовищ.

За рахунок комплексної розробки покладів в Україні виготовляють вапнякові добрива, формувальні матеріали для лиття, шляховий та будівельний щебінь, цеглу тощо. При комплексній оцінці деякі родовища, які раніше вважалися непромисловими, переводяться в економічно рентабельні, оскільки містять певні дефіцитні для України супутні компоненти (апатити, фосфорити, боксити).

Однак повністю **використовувати відвали як сировинні ресурси при нинішньому рівні розвитку науки та виробництва неможливо**, тому площі під відвалами, як і всі землі, порушені гірничими роботами, повинні рекультивуватися.

Однією з основних вимог до розробки родовищ корисних копалин є застосування найраціональніших і **найтефективніших методів вилучення сировини** з надр. Справа в тому, що через недосконалі методи добування частина розвіданих запасів корисних копалин залишається в забоях і кар'єрах. Серед них — кам'яне та буре вугілля, залізні руди, калійні солі та інші види сировини. Боротьба за зменшення цих втрат — важлива ланка охорони надр. Цьому сприяють такі заходи, як удосконалення організації робіт, упровадження нових технологій видобутку. Скажімо, при розробці нафтових родовищ значна кількість нафти залишається в надрах. Застосування нових фізико-хімічних і теплових методів підтримування пластового тиску у процесі експлуатації нафтових родовищ дало змогу збільшити видобуток нафти на 10—25 %. Проводиться також вторинне добування нафти на старих відпрацьованих родовищах за допомогою обводнення, нагні-

тання газу, пари, теплових методів впливу на пласт (вогневе витіснення нафти) тощо.

Більшість видів мінеральної сировини багатокomпонентні. Це, зокрема, руди чорних і кольорових металів, нафта, газ, вугілля, горючі сланці, солі тощо. Іноді буває так, що загальна **цінність супутніх елементів** перевищує вартість основної сировини. Повнота вилучення супутніх компонентів визначає ступінь комплексності використання даної сировини.

Унікальні за складом та кількістю солей розсоли Сиваської затоки. Комплексна **переробка ропи** Сиваша (рис. 12.3) дає можливість добувати окис магнію та його солі, бром, кухонну сіль тощо.

Приклад комплексного використання сировини — **утилізація супутнього нафтового газу**. Відомо, що з кожною тонною нафти добувають до 150, а іноді і до 200 м³ нафтового газу — цінної енергохімічної сировини. Донедавна утилізація супутнього газу не перевищувала 65 %, значна кількість його спалювалась у факелах. Нині на окремих нафтопромислах України утилізацію газу доведено до 92—93 %.

Ще один приклад можливості комплексного використання — **менілітові (бітумінозні) сланці** Карпат. Запаси їх практично необмежені. Окрім безпосереднього використання як низькосортної енергетичної сировини, можлива також переробка їх для одержання різноманітних будівельних матеріалів (керамзиту, щебеню, кам'яного литва, асфальтобетону, сланцевої смоли тощо). У Львівсько-Волинському басейні цінною енергетичною та хімічною сировиною є **сапропеліти**, які залягають разом з **гумусовим вугіллям** і при видобутку останнього залишаються у надрах.

І, нарешті, ще одним дуже важливим аспектом охорони надр є виявлення, реєстрація та охорона геологічно цінних об'єктів, еталонів літосфери.

12.3. Експертна оцінка впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля

Основна ідея. Експертна оцінка впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності здійснюється шляхом оцінки кваліфікованими експертами чи експертною групою документації, яка вичерпно характеризує цю діяльність, — розділом ОВНС для проектованої та НЕЕО для здійснюваної діяльності. Ці документи ідентичні у способах оцінки впливу антропогенної діяльності на довкілля, але різняться за алгоритмом розробки та передачі цих документів на експертизу. Державна екологічна експертиза ОВНС та НЕЕО прово-

диться експертними підрозділами Мінекології відповідно до законів України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про екологічну експертизу».

Смислові зв'язки. Проектована діяльність — громадські слухання — розділ ОВНС — ЗЕН — екологічна експертиза. Екологічна ситуація в зоні впливу здійснюваної діяльності — моніторинг — громадські слухання — НЕЕО — екологічна експертиза.

Ключові терміни. Проектована діяльність, здійснювана діяльність, екологічна експертиза, громадські слухання, ОВНС, ЗЕН, НЕЕО, екологічний ризик, стресор, компоненти довкілля, еколого-експертний підрозділ.

Мета — охарактеризувати алгоритм експертної оцінки впливу проектованої та здійснюваної діяльності на стан навколишнього середовища, який полягає у випадку проектованої діяльності в аналізі сучасного стану довкілля, в прогностичній оцінці його зміни в результаті здійснення проектованої діяльності та розробці методів мінімізації впливу на довкілля проектованої діяльності, що фіксується в розділі ОВНС проекту. У випадку оцінки екологічної ситуації на екологічну експертизу передається НЕЕО, в якому формулюються особливості впливу діючого об'єкта на довкілля.

12.3.1. Правові та нормативні основи експертної оцінки впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля

Законодавчо та нормативно закріпленим методом оцінки впливу проектованої та здійснюваної діяльності на навколишнє середовище є екологічна експертиза. Законодавчий статус екологічної експертизи закріплюється законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про екологічну експертизу». Згідно із законом «Про екологічну експертизу» «Екологічна експертиза в Україні — вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань і об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація та дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання та відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки».

Мета екологічної експертизи — запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах. **Основні завдання екологічної експертизи:**

1) визначення ступеня екологічного ризику та безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;

2) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;

3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства;

4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього середовища та якість природних ресурсів;

5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

6) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Основні принципи екологічної експертизи:

1) гарантування безпечного для життя та здоров'я людей навколишнього природного середовища;

2) збалансованість екологічних, економічних, медико-біологічних і соціальних інтересів та врахування громадської думки;

3) наукова обґрунтованість, незалежність, об'єктивність, комплексність, варіантність, превентивність, гласність;

4) екологічна безпека, територіально-галузева та економічна доцільність реалізації об'єктів екологічної експертизи, запланованої чи здійснюваної діяльності;

5) державне регулювання;

6) законність.

Об'єкти екологічної експертизи — проекти законодавчих та інших нормативно-правових актів, документація із впровадження нової техніки, технологій, матеріалів, речовин, продукції, генетично модифікованих організмів, реалізація яких може призвести до порушення екологічних нормативів, негативного впливу на стан навколишнього природного середовища. Екологічній експертизі можуть підлягати екологічні ситуації, що склалися в окремих населених пунктах і регіонах, а також діючі об'єкти та комплекси, що мають значний негативний вплив на стан навколишнього природного середовища. Існує спеціальний порядок проведення екологічної експертизи військових, оборонних та інших об'єктів, інформація про які становить державну таємницю.

Найпоширеніші об'єкти екологічної експертизи:

- *для проектувальної діяльності* — проекти будівництва нових об'єктів антропогенної діяльності. Експертній оцінці підлягає спеціальний том передпроектної чи проектної документації «Оцінка впливів на навколишнє середовище» (ОВНС), який спеціально розробляється для екологічної експертизи у складі проектної документації на нове будівництво, розширення, реконструкцію та технічне переоснащення об'єктів промислового й цивільного призначення. При розробленні матеріалів ОВНС ліцензовані на цю діяльність організації керуються вимогами Державних будівельних норм ДБН А. 2.2-1-2003, стандарту України ДСТУ ISO-14001-97, чинними санітарними та протипожежними нормами, а також місцевими екологічними умовами та обмеженнями.

- *для екологічних ситуацій* — наукова еколоого-експертна оцінка ситуації (НЕЕО) в зоні впливу діючих об'єктів і комплексів на навколишнє середовище, яка розробляється компетентними науковими підрозділами чи організаціями.

Попри відмінності у підходах і алгоритмі розробки ОВНС і НЕЕО, склад і зміст матеріалів оцінки в цих документах впливу проекрованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля ідентичний.

12.3.2. Оцінка впливу проекрованої (ОВНС) та здійснюваної (НЕЕО) антропогенної діяльності на компоненти довкілля

Для оцінки впливів на навколишнє природне середовище виділяються такі його **компоненти**:

- клімат і мікроклімат;
- повітряне середовище;
- геологічне середовище;
- водне середовище;
- ґрунти;
- рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти.

Розглядаються тільки ті компоненти та об'єкти навколишнього середовища, на які впливає запланована діяльність, а також ті, сучасний стан яких не відповідає нормативному. Серед чинників впливу на навколишнє середовище слід розглядати просторові, енергетичні, хімічні, фізичні та інші. Додатково розглядаються впливи, пов'язані з надзвичайними ситуаціями, такими, як природно-вогнищеві захворювання, геохімічні аномалії, стихійні лиха, аварії тощо.

Для кожного компонента навколишнього середовища, що розглядається, наводяться:

- обґрунтування необхідності оцінки його характеристик;
- перелік впливів (включаючи опосередковані), які ранжируються за масштабом і значенням наслідків, та їх характеристика, що містить також якісні і кількісні параметри, ступінь небезпеки;
- обґрунтування меж зон впливів планованої діяльності, дані щодо розмірів санітарно-захисних зон і розривів;
- характеристика ретроспективного, сучасного та прогностичного станів навколишнього середовища, їх оцінка за фоновими та нормативними показниками з урахуванням можливих аварійних ситуацій;
- обґрунтування заходів щодо попередження та обмеження негативних впливів, оцінка їх ефективності та характеристика залишкових впливів;
- аналіз обмежень будівництва (експлуатації) за умовами навколишнього середовища;
- обсяг необхідної інженерної підготовки території.

Клімат та мікроклімат. До складу матеріалів підрозділу включаються:

- стисла характеристика кліматичної зони розміщення планованої діяльності;
- основні кількісні характеристики поточних і багаторічних кліматичних даних;
- оцінка очікуваних змін мікроклімату у випадках активних і масштабних впливів планованої (експлуатаційної) діяльності (значне виділення інертних газів, теплоти, вологи тощо);
- оцінка впливу кліматичних умов, несприятливих для розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі;
- можливості виникнення мікрокліматичних умов, що сприяють розповсюдженню шкідливих видів фауни та флори;
- особливості кліматичних умов, сприятливих для зростання інтенсивності впливів планованої (експлуатаційної) діяльності на навколишнє середовище.

Повітряне середовище. Підлягають аналізу впливи пріоритетних і специфічних забруднюючих речовин, що містяться у викидах об'єктів планованої (експлуатаційної) діяльності з урахуванням фонових концентрацій у межах зон впливу цих об'єктів. До складу матеріалів підрозділу включаються:

- характеристика джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу, схема їх розміщення, розрахунки маси викидів із посиланням на використані методики;
- результати розрахунків приземних концентрацій із посиланням на використані програмні засоби;
- дані фонового забруднення атмосфери в районі розміщення проектного об'єкта (дані натурних спостережень

на стаціонарних постах, підфакельних досліджень, розрахункові тощо);

- оцінка рівня забруднення атмосферного повітря, що створюватиметься проєктованим об'єктом, а також з урахуванням фонових рівнів забруднення за гігієнічними нормативами (гранично допустимими концентраціями (ГДК), групами сумачії, комплексними показниками та критеріями небезпеки);

- прогностичні (на розрахунковий період) фонові концентрації домішок без урахування впливу планованої діяльності та прогностичні на розрахунковий період рівні забруднення атмосферного повітря з урахуванням прогностичного фону та впливу планованої діяльності;

- оцінка забруднення атмосферного повітря при несприятливих метеорологічних умовах (НМУ) та відповідні метео-екологічні обмеження величин максимальних разових викидів;

- оцінка забруднення при можливих аварійних ситуаціях;
- обґрунтування рівнів допустимих викидів і заходів щодо запобігання або зменшення утворення та виділення речовин, що забруднюють атмосферне повітря;

- пропозиції щодо визначення розміру санітарно-захисної зони на підставі розрахунків забруднення атмосфери від об'єкта планованої діяльності;

- організація моніторингу стану атмосферного повітря, методи та засоби контролю.

Підлягають аналізу *характеристики шуму* від об'єкта планованої (експлуатаційної) діяльності:

- дані натурних вимірів існуючого фонових рівнів шуму (якщо вони мали місце);

- розрахункові рівні шуму від об'єкта планованої діяльності;

- обґрунтування заходів щодо зменшення шуму джерел;

- обґрунтування вимог до шумозахисних заходів.

Наводиться аналіз впливів теплових викидів, ультразвуку, електромагнітних та іонізуючих випромінювань і обґрунтовуються заходи щодо їх запобігання або зменшення.

Геологічне середовище. Наводиться загальна характеристика основних елементів геологічної, структурно-тектонічної будови, геоморфологічних особливостей і ландшафтів, аналіз існуючих і прогнозованих негативних ендегенних і екзогенних процесів і явищ природного та техногенного походження (тектонічних, сейсмічних, геодинамічних, зсувних, селевих, карстових, змін напруженого стану та властивостей масивів порід, деформації земної поверхні тощо) з урахуванням впливів планованої діяльності.

Водне середовище. Підлягають аналізу порушення гідрологічних і гідрогеологічних параметрів водних об'єктів і територій у зонах впливів планованої (експлуатаційної) діяльності, впливи на поверхневі та підземні води пріоритетних і специфічних забруднюючих речовин, що надходять у водне середовище у скидах стічних вод і фільтраційних витоках. Результати аналізу повинні відображати розподіл оцінюваних показників по акваторії та території, у контрольних створах, враховувати впливи, що підсумовуються, обґрунтовувати санітарні попуски, допустимі скиди та фільтраційні витоки. У матеріалах, що характеризують поверхневі води, стисло наводяться загальні відомості про водні об'єкти, основні дані щодо їх водозбірних басейнів і господарського використання, наявність пунктів спостережень за їх станом. Для оцінки впливів планованої (експлуатаційної) діяльності на **стан поверхневих вод** і основних угруповань водних організмів розглядають:

- морфометричні, гідродинамічні та водно-балансові параметри;
- якість вод, включаючи фізичні, хімічні, санітарно-гігієнічні, токсикологічні, паразитологічні, радіоекологічні характеристики;
- біологічні характеристики, включаючи видовий склад, чисельність, біомасу та біопродуктивність основних гідробіонтів, біоперешкоди їх існування тощо.

Матеріали, що характеризують підземні води, включають загальні відомості про басейн підземних вод, потужності зони активного водообміну, розвитку горизонтів підземних вод, дані про їх господарське використання, перелік і опис пунктів гідрогеологічних спостережень, результати яких використані у матеріалах ОВНС (НЄЕО).

Оцінка впливів планованої (експлуатаційної) діяльності на **підземні води** виконується для ґрунтових вод і водоносних горизонтів, що реально використовуються для питних, господарських, лікувальних та інших цілей. Для оцінки впливів розглядають:

- морфометричні, гідродинамічні, фільтраційні та водно-балансові параметри;
- якість вод, включаючи фізичні, хімічні, санітарно-гігієнічні та інші характеристики згідно з чинним законодавством;
- умови природної захищеності.

Окремо викладаються матеріали щодо якості води в місцях живлення водоносних горизонтів та водозабору.

Ґрунти. Підлягають аналізу впливи планованої (експлуатаційної) діяльності на ґрунти з урахуванням особливостей

землекористування, наявності площ цінних сільськогосподарських угідь, хімічного, біологічного та радіоактивного забруднення, вібрації, виникнення небезпечних інженерно-геологічних процесів і явищ та інших чинників, які негативно впливають на стан ґрунтів. Для оцінки впливів планованої (експлуатаційної) діяльності на стан ґрунтів враховують генетичні види ґрунтів, характеристики їх гумусового складу, механічні та водно-фізичні властивості, ландшафтно-геохімічні бар'єри (накопичення та міграція речовин), родючість, ступінь розвитку процесів деградації ґрунтів тощо.

Рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти. Наводиться коротка характеристика домінуючих екосистем, флори та фауни тощо. Вихідні дані для характеристики стану та оцінки змін рослинного і тваринного світу формуються на основі фондових даних і матеріалів натурних досліджень. Підлягають аналізу впливи на рослинний і тваринний світ тільки тих забруднюючих речовин, що надходять до навколишнього середовища в результаті планованої (експлуатаційної) діяльності. Оцінюється опосередкований вплив на флору та фауну техногенних змін клімату та мікроклімату, водного режиму, ґрунтового покриву, фізичних і біологічних факторів. Оцінюються зміни складу рослинних угруповань і фауни, видового різноманіття, популяцій домінантних, цінних і охоронюваних видів, їх фізіологічного стану та продуктивності, стійкості до хвороб.

12.3.3. Оцінка впливу на довкілля за допомогою екологічного ризику

Екологічний ризик — імовірність спричинення стресором шкоди життю або здоров'ю людини, навколишньому середовищу, життю або здоров'ю тварин і рослин з урахуванням тяжкості цієї шкоди. Виходячи з наведеного визначення, математично значення екологічного ризику можна відобразити за допомогою рівняння:

$$R = P \cdot PC,$$

де R — значення ризику, P — значення ймовірності впливу стресора, PC — значення ймовірності настання певних наслідків (захворювання, смерть або загибель).

Знаючи величину ризику та порівнюючи її з якоюсь певною величиною (прийнятний або допустимий ризик), можна зробити висновок про рівень небезпеки планованої (експлуатаційної) діяльності. Тут під терміном «**прийнятний ризик**» будемо розуміти ту величину ризику, з якою суспільство погоджується, враховуючи положення, що абсолютної безпеки

досягти неможливо, виходячи з економічних, технічних, етнічних та інших умов (концепція ненульового ризику).

Очевидно, що за умови перевищення прийняттого ризику необхідно застосувати якісь заходи, які б зменшили небезпеку впливу стресора до допустимого рівня. Для прийняття відповідних рішень проводиться аналіз ризику. **Аналіз ризику** включає три складові частини.

1. Оцінка ризику. На цьому етапі аналізується дія стресора на предмет виявлення можливих небезпек та причин їх виникнення. Оцінюється ступінь впливу небезпек на людину або довкілля. Оцінюється імовірність впливу. Наводиться якісна або кількісна характеристика ризику. Звичайно оцінка екологічного ризику складається з трьох стадій.

Перша стадія: формулювання проблеми. Це процес визначення можливого впливу стресора на людину та довкілля. Цей крок критичний — він забезпечує основу оцінки екологічного ризику. Формулювання проблеми містить три важливі складові: **визначення об'єктів впливу, побудова концептуальної моделі або моделей дослідження впливу і план аналізу впливу.** Для визначення об'єктів впливу екосистему розчленовують на дрібніші складові: види, функціональні групи, угруповання, середовище проживання тощо. Для кожної складової визначають важливість (необхідність) захисту та визначення ступеня ризику. Концептуальна модель або моделі повинні встановлювати ключові причинні зв'язки між стресорами та об'єктами впливу, які мають бути задіяні для оцінки ризику. Побудова правильної моделі надзвичайно важлива: якщо важливі зв'язки пропущені або неправильно інтерпретовані — можна отримати абсолютно невірну характеристику справжнього ризику. План аналізу впливу визначає шляхи та взаємозв'язки, які будуть досліджуватися для оцінки ризику. Тут же визначаються необхідні дані, аналітичні методи та достовірність отриманих результатів.

Друга стадія — аналіз. Це процес, який розглядає **дві основні компоненти ризику: дію стресорів і реакцію на них в екосистемі.** Завдання — визначити інгредієнти, необхідні для встановлення або передбачення реакції екосистеми на дію стресорів.

Третя стадія — характеристика ризику. Це завершальна фаза оцінки, в якій експерт ризику робить **висновки про ефекти**, що передбачаються у процесі дії стресорів. Експерт використовує результати аналізу, щоб оцінити ризик дії на об'єкти впливу, що ідентифіковані на першій стадії при формулюванні проблеми.

2. Управління ризиком. На цьому етапі значення ризику порівнюється з допустимим. Визначаються варіанти рі-

шень, спрямованих на зниження ризику. Здійснюється аналіз співвідношення витрат і ефективності зниження ризику для кожного з варіантів. Обирається оптимальний варіант. Управління ризиком — *процес, за допомогою якого особи, відповідальні за здійснення певного виду діяльності, можуть приймати рішення щодо її безпеки, використовуючи дані, отримані в процесі оцінки ризику*. Управління ризиком передбачає оптимальне розміщення доступних ресурсів для досягнення бажаної мети. Тому цей процес потребує: **1) визначення допустимого (прийнятного) ризику; 2) порівняльної оцінки можливостей та/або альтернатив для прийняття належного рішення**. Мета управління ризиком — зменшення його до прийнятного рівня або оптимізація ресурсів, яка ґрунтується на порівняльному аналізі. Зменшення ризику здійснюється шляхом запобігання небажаним подіям і зменшення імовірності або важкості наслідків.

3. Інформація про ризик. Під інформацією про ризик треба розуміти процес взаємного обміну інформацією та думками про природу ризику між зацікавленими особами, групами людей та інституціями. Повідомлення про ризик впливає на прийняття ризику і визначає прийнятні критерії безпеки. **Використання методології аналізу ризику дає низку відчутних переваг** порівняно з традиційними для України командно-контрольними методами регулювання, які ґрунтуються на зіставленні рівнів фактичного забруднення з їх нормативними величинами, оскільки дозволяє:

- розробляти механізми та стратегію різних регулюючих заходів для зниження ризику;
- одержати кількісні характеристики потенційної та реальної загрози здоров'ю населення та стану довкілля;
- порівнювати та ранжувати різні за ступенем вираженості ефекти (захворюваність, смертність або загибель);
- сприяти встановленню надійніших і безпечних нормативних рівнів забруднення;
- ідентифікувати в конкретних умовах найнебезпечніші фактори та найчутливіші групи населення та біоти;
- ранжувати території за ступенем ризику для здоров'я населення та біоти як на даний час, так і в перспективі;
- описати й оцінити залишковий ризик після застосування заходів щодо його зниження;
- ідентифікувати найчутливіші та ранимі підгрупи популяції;
- виявити найкритичніші області, де зниження рівня невизначеності приведе до найефективнішого підвищення достовірності характеристик ризику і, тим самим, забезпечить якнайкращі способи його зниження;

- понизити рівень невизначеності у процесі ухвалення рішень;
- використовувати одержані дані для ухвалення рішень щодо функціонального зонування територій;
- уточнювати, які промислові підприємства можуть бути залишені в місті, а які мають бути винесені за його межі;
- оптимізувати систему моніторингу в містах країни.

12.3.4. Особливості розробки та передачі на експертизу ОВНС та НЕЕО

Оскільки розділ ОВНС розробляється для проектованої діяльності, а НЕЕО — для здійснюваної, попри спільність у способах оцінки впливу антропогенної діяльності на довкілля (див. пункти 12.3.2 та 12.3.3), у алгоритмі розроблення та передачі цих документів на експертизу є певні особливості та відмінності.

Для розроблення розділу ОВНС використовується інформація про існуючий стан навколишнього середовища, фонові забруднення та існуючі забруднення, а також робиться прогноз (із використанням розрахункових методів) про зміни стану навколишнього природного середовища, які відбудуться внаслідок реалізації проекту, на який і розробляється розділ ОВНС. У результаті аналізу прогнозу змін стану навколишнього середовища відповідно до встановленого переліку впливів проводиться визначення комплексу заходів щодо попередження або обмеження небезпечних впливів планованої діяльності на навколишнє середовище, необхідних для дотримання вимог природоохоронного і санітарного законодавств та інших законодавчих і нормативних документів, які стосуються безпеки навколишнього середовища.

За результатами розробленого розділу ОВНС замовником і генпроектувальником або за їх дорученням виконавцем ОВНС складається заява про екологічні наслідки діяльності (ЗЕН), яка є юридичним документом щодо суті цих наслідків і гарантій виконання природоохоронних заходів із забезпечення безпеки навколишнього середовища на весь період здійснення планованої діяльності, є резюме матеріалів ОВНС. У ЗЕН повинні бути відображені:

- дані про плановану діяльність, мету та шляхи її здійснення;
- суттєві фактори, що впливають чи можуть впливати на стан навколишнього природного середовища з урахуванням можливості виникнення надзвичайних екологічних ситуацій;

- кількісні та якісні показники оцінки рівнів екологічного ризику та безпеки для життєдіяльності населення планованої діяльності, а також заходи, що гарантують здійснення діяльності відповідно до екологічних стандартів і нормативів;
- перелік залишкових впливів;
- вжиті заходи щодо інформування громадськості про плановану діяльність, мету та шляхи її здійснення;
- зобов'язання замовника щодо здійснення проектних рішень відповідно до норм і правил охорони навколишнього середовища та вимог екологічної безпеки на всіх етапах будівництва й експлуатації об'єкта планованої діяльності.

ЗЕН складається у стислій формі, містить тільки підсумкові результати ОВНС і необхідні коментарі.

Замовник планованої діяльності повинен забезпечити інформування в установленому порядку населення про проведення обговорення планованої діяльності та громадське обговорення проекту (широта обговорення повинна визначатися масштабами очікуваних впливів). У засобах масової інформації має бути опублікована заява про наміри, а основні результати планової діяльності мають обговорюватися на громадських обговореннях. Коригування матеріалів ОВНС за результатами громадського обговорення здійснюється за рішенням замовника та генпроектувальника. Мотиви невраховання тих чи інших рішень, за необхідності, передаються заінтересованій громадськості. Відкориговані матеріали ОВНС разом із супроводжуючими документами про громадську експертизу (якщо вона була проведена) та результати громадських обговорень передаються в подальшому на державну екологічну експертизу.

Для розроблення НЕЕО використовується інформація про існуючий стан навколишнього середовища на основі даних моніторингу декількох незалежних суб'єктів моніторингу протягом певної кількості років, яка дозволяє прослідкувати динаміку зміни стану компонентів навколишнього середовища внаслідок впливу на них здійснюваної діяльності. Результати узагальнюючого моніторингу стану навколишнього середовища в зоні впливу здійснюваної діяльності, результати екологічного аудиту (якщо він проводився) виносяться на громадські слухання. Протоколи громадських слухань використовуються у подальшому для розроблення НЕЕО.

Заявки на проведення державної екологічної експертизи екологічних ситуацій, що склалися в окремих населених пунктах або регіонах, яка проаналізована в НЕЕО, якщо рішення про державну екологічну експертизу цих ситуацій прийнято Кабінетом Міністрів України, подаються до еколого-експертного підрозділу Мінекології. В інших випадках заявки

на проведення державної екологічної експертизи зазначеної документації, а також документації по діючих об'єктах і комплексах подаються до еколого-експертних підрозділів органів Мінекології на місцях.

12.3.5. Порядок і послідовність проведення екологічної експертизи впливу проектованої та здійснюваної антропогенної діяльності на довкілля

В Україні здійснюються державна, громадська та інші екологічні експертизи. Висновки державної екологічної експертизи є обов'язковими для виконання. При прийманні рішень щодо подальшої реалізації об'єктів екологічної експертизи висновки державної екологічної експертизи враховуються нарівні з іншими видами державних експертиз. Висновки громадської та іншої екологічної експертизи мають рекомендаційний характер і можуть бути враховані у процесі проведення державної екологічної експертизи, а також для прийняття рішень щодо подальшої реалізації об'єкта екологічної експертизи.

Державна екологічна експертиза організується і проводиться еколого-експертними підрозділами, спеціалізованими установами, організаціями або спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів, його органів на місцях, а на території Автономної Республіки Крим — органу виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань екології та природних ресурсів із залученням інших органів державної виконавчої влади. До проведення державної екологічної експертизи можуть у встановленому порядку залучатися фахівці інших установ, організацій і підприємств, а також експерти міжнародних організацій.

Процедура проведення екологічної експертизи передбачає:

1) перевірку наявності та повноти необхідних матеріалів і реквізитів на об'єкти екологічної експертизи та створення еколого-експертних комісій (груп) відповідно до вимог законодавства (підготовча стадія);

2) аналітичне опрацювання матеріалів екологічної експертизи, у разі необхідності натурні обстеження та проведення на їх основі порівняльного аналізу та часткових оцінок ступеня екологічної безпеки, достатності та ефективності екологічних обґрунтувань діяльності об'єктів екологічної експертизи (основна стадія);

3) узагальнення окремих експертних досліджень одержаної інформації та наслідків діяльності об'єктів експертизи,

підготовку висновку екологічної експертизи та подання його заінтересованим органам і особам (заклучна стадія).

Державна екологічна експертиза проводиться за умов:

1) наявної або можливої потенційної небезпеки об'єктів екологічної експертизи для навколишнього природного середовища;

2) прийняття відповідного рішення Кабінетом Міністрів України, Урядом Автономної Республіки Крим, місцевими Радами чи їх виконавчими комітетами, судом та правоохоронними органами відповідно до законодавства;

3) обумовленості загальнодержавними екологічними інтересами.

У матеріалах оцінки впливу на навколишнє природне середовище запланованої (ОВНС) чи здійснюваної (НЕЕО) діяльності обґрунтовуються її доцільність і способи реалізації, можливі альтернативні варіанти рішень, характеристика стану навколишнього природного середовища території, види та рівні впливу на нього в нормальних і екстремальних умовах, можливі зміни його якісного стану, еколого-економічні наслідки діяльності, заходи щодо зменшення рівня екологічного ризику та забезпечення вимог екологічної безпеки.

Державна екологічна експертиза проводиться шляхом:

1) аналізу та оцінки об'єктів екологічної експертизи — групами спеціалістів еколого-експертних підрозділів чи спеціалізованих установ і організацій органів спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів;

2) еколого-експертних досліджень і оцінки об'єктів екологічної експертизи — спеціально створюваними комісіями із залученням фахівців-практиків і науковців інших підприємств, установ і організацій;

3) створення спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів спільно з іншими органами державної виконавчої влади міжгалузевих експертних комісій;

4) залучення на договірних засадах інших спеціалізованих організацій для попереднього експертного розгляду та підготовки відповідних пропозицій.

Граничні терміни проведення державної екологічної експертизи об'єктів:

1) групами спеціалістів еколого-експертних підрозділів, установ чи організацій спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів — до 45 календарних днів із продовженням у разі потреби до 60 днів, а у виняткових випадках, залежно від складності проблеми, — до 120 днів;

2) спеціально створеними міжгалузевими еколого-експертними комісіями чи іншими спеціалізованими організаціями — до 90 календарних днів;

3) за доопрацьованими матеріалами відповідно до висновків попередньої екологічної експертизи — до 30 календарних днів.

Висновки державної екологічної експертизи повинні містити оцінку екологічної допустимості та можливості прийняття рішень щодо об'єкта екологічної експертизи і враховувати соціально-економічні наслідки.

12.4. Економічні аспекти природокористування

Основна ідея. Природоресурсний потенціал як сукупність виявлених і придатних для використання природних ресурсів для досягнутого рівня розвитку виробництва у світі, країні, регіоні на локальному рівні є найважливішою частиною національного багатства країни (регіону), забезпечує їх сировинну та енергетичну незалежність і безпеку. Економічна оцінка природних ресурсів характеризується великою кількістю підходів і схем, які, проте, не завжди адекватно оцінюють природні ресурси та умови. Визначення розмірів збитків навколишньому середовищу, які компенсуються згідно з принципом повного відшкодування, здійснюється на підставі діючої нормативно-методичної документації, кадастрової оцінки природних ресурсів, а також такс для обчислення розміру відшкодування шкоди рослинному та тваринному світу. Еколого-економічні результати екологічних інвестицій — зниження витрати природних ресурсів, зменшення шкоди навколишньому середовищу забрудненнями. Економічні механізми забезпечення раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища — ефективніші інструменти управління, ніж адміністративні, правові та інші методи впливу на екологічну свідомість і поведінку людини.

Смислові зв'язки. Природні ресурси та умови — природоресурсний потенціал — його економічна оцінка — визначення розміру збитків навколишньому середовищу — екологічні інвестиції — економічні механізми раціонального природокористування.

Ключові терміни. Природні ресурси та умови, природоресурсний потенціал, економічна оцінка природних ресурсів, збитки навколишньому середовищу, екологічна шкода, екологічні інвестиції, раціональне природокористування.

Мета — охарактеризувати особливості економічного регулювання у сфері раціонального природокористуван-

ня, яке включає коректну економічну оцінку природних ресурсів і умов, механізм розрахунку величини заподіяної екологічної шкоди та шляхів її компенсації, особливості екологічних інвестицій і принципи раціонального природокористування.

12.4.1. Оцінка природних ресурсів

Існують різні підходи до оцінки природних ресурсів і умов. Для оцінки власне природних ресурсів найбільш теоретично обґрунтований підхід, орієнтований на рентну оцінку природних ресурсів, оскільки він дозволяє врахувати всі вигоди та витрати від їх використання. Однак рентний підхід у чистому вигляді націлений на розрахунок оцінки природного ресурсу тільки як елемента виробничої діяльності або як фактора виробництва й абсолютно не враховує інших властивостей природних ресурсів, не використаних безпосередньо для виробничих цілей.

Ринкові методи грошової оцінки ресурсів і умов навколишнього середовища засновані на використанні даних ринків (ціни продажів, тарифи та платежі, аукціонні ціни тощо). У загальному вигляді вартість ресурсу оцінюється за величиною доходу (або ренти) від його експлуатації, наприклад, протягом року. **Ринкова (рентна) оцінка відновлюваних ресурсів** заснована на визначенні доходу (ренти) від їх експлуатації з використанням даних ринку. Вона може виконуватися як для постійних, так і для змінних показників експлуатації ресурсу.

Рентна оцінка ресурсів навколишнього середовища за замикаючими затратами заснована на визначенні економії витрат на видобуток ресурсів.

Ринкова оцінка невідновних ресурсів заснована на визначенні вартості існуючих запасів газу, вугілля, металів тощо з урахуванням їх виснаження.

Метод чистої ціни розроблений Інститутом світових ресурсів як *добуток питомої ренти на зміну обсягу достовірних запасів*.

Метод поточної вартості розроблений на основі принципів, що використовуються ООН для еколого-економічного обліку вартості природних ресурсів і ресурсів навколишнього середовища. Цей метод можна застосовувати для оцінки відновлюваних і невідновних ресурсів середовища. Він може також використовуватися для часткової оцінки екологічних проблем, близькі аналоги яких трапляються у ринкових умовах. Крім того, метод може бути незамінний в умовах, коли нелегальна експлуатація природного ресурсу — наслідок тра-

диційних уявлень населення про ресурс як про безкоштовне загальнодоступне благо.

Неринкові прямі методи оцінки ресурсів та об'єктів навколишнього середовища дозволяють визначити їх цінність у ситуаціях, коли не існує ринків цих ресурсів або ці ринки погано розвинені, тобто в тих випадках, коли не можуть ефективно використовуватися ринкові методи. Суть цих методів зводиться до визначення вартості ресурсу або об'єкта навколишнього середовища шляхом виявлення його цінності для конкретних споживачів на основі даних про їх фактичне становище.

Метод суб'єктивної оцінки вартості оснований на визначенні сприйняття людиною оцінюваної зміни вартості ресурсу або об'єкта навколишнього середовища. Він полягає в опитуванні споживачів із метою виявлення їх реакції на певні зміни в оцінюваному ресурсі (об'єкті) навколишнього середовища: зміна якості, обсягів споживання тощо. Такі оцінки перебувають у прямій залежності від уподобань людей, які будуть визначати, чи отримають вони вигоду від передбачуваної зміни, чи вона завдасть їм шкоди. У ході опитувань з'ясовується готовність платити за використання ресурсу або об'єкта навколишнього середовища. Встановлюється ступінь бажання поліпшити існуючий стан навколишнього середовища, готовність відмовитися від певних аспектів його використання.

Метод транспортно-шляхових витрат заснований на принципі, згідно з яким споживачі несуть прямі транспортні витрати або витрачають свій час, щоб відвідати природний об'єкт. Ці витрати розцінюються як замінник плати за екологічну послугу (наприклад, вхідної плати). На основі інформації про витрати людей на відвідування природного об'єкта за мінусом коштів на догляд за ним визначається загальна вигода від використання цього об'єкта (наприклад, національного парку).

Метод гедонічного ціноутворення заснований на тому, що вартість навколишнього середовища можна визначити за сумами, які платять населення за товари, що містять екологічні характеристики. Наприклад, якщо в одному місці люди платять за будинки та землю більше, ніж в інших місцях, і якщо для пояснення цієї різниці вилучити всі інші неекологічні причини, то залишок і визначатиме величину вартості якості середовища.

Метод превентивних витрат заснований на принципі використання витрат на пом'якшення збитку від забруднення (превентивні витрати) як замінник оцінки попиту на оцінюване екологічне благо, наприклад фільтри для води.

Методи неринкової непрямой оцінки засновані на використанні даних про витрати, пов'язані з усуненням наслідків погіршення навколишнього середовища. Наприклад, забруднення ґрунту (вартість екологічної зміни ресурсу) оцінюється через зменшення врожайності сільськогосподарських культур та очищення водоєм від мулу.

12.4.2. Економічна оцінка екологічних збитків від забруднення

Поняття «шкода природному середовищу» включає в себе прямий і непрямий збиток. Збиток — вираження в грошовій формі результатів шкідливого впливу на навколишнє середовище. Нині існує розширене розуміння шкоди навколишньому природному середовищу та природним ресурсам, під яким розуміється грошова оцінка всіх негативних наслідків заподіяного забруднення навколишнього середовища та псування природних ресурсів. Під шкодою розуміються несприятливі для суб'єкта цивільного права майнові чи немайнові наслідки, що виникли в результаті пошкодження або знищення належного йому майна, а також у результаті заподіяння каліцтва або смерті громадянина (фізичній особі). Шкоди навколишньому природному середовищу з точки зору наслідків можна розділити на **шкоду економічну** та **шкоду екологічну**. Економічна шкода заподіюється економічним інтересам природокористувача. Вона може виражатися втраченою товарної продукції природи, упущеною вигодою, вимушеними витратами на відновлення майна та порушеного стану природного середовища. Екологічна шкода порушує екологічні інтереси суспільства у здоровому, сприятливому для життя навколишньому середовищі.

Матеріальним об'єктом заподіяння шкоди є якість навколишнього середовища, стан його екологічних систем, обмінні процеси, які протікають у біосфері. Шкода природному середовищу заподіюється як у результаті правомірної (тобто дозволеної державою) діяльності, так і внаслідок порушення природоохоронного законодавства (екологічного правопорушення). Відповідно до цього відповідальність суб'єкта, який заподіяв шкоду, може бути еколого-економічною чи еколого-правовою. *Еколого-економічна відповідальність* — відповідальність за правомірну, дозволена, вчинену з об'єктивних обставин шкоду. Вона настає за самим фактом заподіяння шкоди, незалежно від вини у діях суб'єкта, який заподіяв шкоду. *Еколого-правова відповідальність настає у випадку порушення природоохоронного законодавства.* Її підставою є факт вчинення екологічної шкоди, а не факт виникнення

шкоди. Екологічна шкода виражається у розриві природних зв'язків у природі. Неможливо виразити в грошовому еквіваленті збиток, заподіяний навколишньому середовищу (непоправна шкода), а відшкодування шкоди в натурі можливе лише часткове, тобто таке відшкодування носить умовний характер, оскільки **об'єкти природи не мають вартості (відносно заподіяної шкоди)**. У грошовій сумі оцінюється лише те, що, як правило, не можна відшкодувати в натурі (фактичне відшкодування шкоди).

Види об'єктів екологічної шкоди:

- антропогенний — шкода навколишньому середовищу;
- фізіологічний — шкода здоров'ю людини;
- генетичний — шкода майбутнім поколінням людства.

Шкода, завдана навколишньому середовищу, оцінюється *на основі фактично встановленого, інструментально виміряного та документально підтвердженого негативного впливу на навколишнє середовище.*

Величина компенсації збитку, що наноситься негативним впливом на навколишнє середовище, визначається як сума збитків, завданих різним природним ресурсам, але може бути визначена і за одним із них. Визначення розмірів збитків здійснюється на підставі діючої нормативно-методичної документації, кадастрової оцінки природних ресурсів, а також такс для обчислення розміру відшкодування шкоди рослинному та тваринному світу. Відшкодування шкоди потерпілій стороні може здійснюватися в натуральній і вартісних формах за рахунок власних коштів винуватця або коштів страхових організацій, які здійснюють екологічне страхування. При відшкодуванні застосовують такі основні принципи:

принцип повного відшкодування — загальний обов'язок порушника відшкодувати заподіяний збиток;

принцип відповідальності юридичних осіб і громадян;

принцип солідарної відповідальності за спільно заподіяні шкоди.

12.4.3. Еколого-економічна оцінка інвестицій

Інвестування — будь-яке вкладення коштів із метою отримання доходу та вигоди. Спільне для всіх варіантів інвестування — порівняння витрат і результатів, тобто оцінка ефективності інвестицій.

Матеріальна сфера інвестицій у природоохоронну діяльність — створення суб'єктами господарювання систем екологічного управління, впровадження більш чистого виробництва, технологій ресурсо- та енергозбереження, екологічне підприємництво, зокрема виробництво продукції, виконання

робіт і надання послуг природоохоронного призначення. Фінансова сфера інвестицій передбачає, наприклад, страхування екологічних ризиків.

Рішення про інвестування коштів у проект має прийматися з урахуванням значень відомих економічних критеріїв (чистий дисконтний дохід, індекс дохідності, внутрішня норма прибутковості, термін окупності) та інтересів усіх учасників інвестиційного проекту. Для інвестиційного природоохоронного проекту враховуються інші важливі соціальні фактори, частина з яких не піддається формальному обліку, а має особливий змістовний сенс.

Соціальні результати природоохоронних заходів виражаються у скороченні захворюваності людей, збільшенні тривалості їх життя, у сприятливих умовах життєдіяльності теперішнього та майбутніх поколінь, збереженні пам'яток природи та історичних цінностей.

Економічні результати — скорочення збитку, що наноситься природі, економія витрат природних ресурсів, зменшення забруднення навколишнього середовища, збільшення продуктивності промислової фауни, підвищення працездатності людей.

Екологічні результати — зниження негативних впливів на природу, збереження біологічного різноманіття. Соціально-економічні ресурси оцінюються за комплексними показниками поліпшення рівня життя людей, ефективності суспільного виробництва, збільшення національного багатства країни.

Еколого-економічні результати — зниження витрати природних ресурсів, зменшення шкоди навколишньому середовищу забрудненнями.

Як ілюстрацію особливостей еколого-економічної оцінки інвестиційного природоохоронного проекту наведемо приклад.

У процесі аналізу впливу автотранспорту на навколишнє середовище у плані підготовки до «Євро-2012» у великому промисловому місті визначені основні чинники, що підлягають впливу: установка нейтралізаторів відпрацьованих газів та озеленення. Відзначено, що у випадку збільшення автопарку ситуація починає стрімко погіршуватися. Тому бажано прийняти програми, які б поліпшили обстановку. Розглядалися три варіанти інвестиційних проектів: на 15, 30 і 40 млн грн.

У першому проекті передбачалось оснастити автопарк нейтралізаторами одного типу (дешевими), у третьому — іншого типу (дорогими), а в другому — одночасно з упровадженням нейтралізаторів першого типу проводити додаткове озеленення. Прогнозування наслідків прийняття першого

проекту показує збільшення захворюваності, зменшення рослинності та зниження рівня якості життя. Оскільки використання першого варіанта не приносить очікуваного ефекту, то його слід відкинути.

Прийняття другого або третього проекту покращує соціально-екологічну ситуацію. Причому для другого варіанта поліпшення екологічної ситуації відбувається на третій рік, за незначного погіршення за два перших роки, а впровадження третього варіанта забезпечує поліпшення соціально-екологічної ситуації відразу ж на першому році. Для вибору конкретного варіанта інвестиційного проекту слід враховувати ту обставину, що площа зелених насаджень у межах великого міста — величина дефіцитна. За індикаторами сталого розвитку міст на жителя міста має припадати 30 м² зелених насаджень. Міські насадження — це здоров'я дітей і поліпшення екологічної ситуації на перспективу. Кількість насаджень на людину обмежена, і другий варіант забезпечує лише короточасне поліпшення ситуації. Тому в умовах обмеженості фінансових ресурсів можливе прийняття другого варіанта проекту з одночасним обмеженням росту автопарку. Проте найефективніший — третій варіант проекту, оскільки об'єктивно зростання кількості автотранспорту буде продовжуватися.

12.4.4. Економічні механізми охорони навколишнього середовища

Збереження навколишнього природного середовища вимагає значних витрат коштів. Оцінки у грошових одиницях природних ресурсів та економічного збитку, заподіяного впливом господарської діяльності, недостатні. **Мета економічної діяльності — отримання прибутку, а екологічні витрати можуть знижувати конкурентоспроможність.** Концепція сталого розвитку якраз і спрямована на **пошук компромісу між економічним розвитком та екологічними обмеженнями**, тобто пошук якогось оптимального стану, відповідного економічно допустимого рівня забруднення. Заходи з охорони навколишнього середовища повинні бути економічно ефективні, а значить привабливі для інвесторів. Особливість оцінки економічної ефективності заходів з охорони середовища в тому, що відновлення природного середовища — процес тривалий. Дійсно, якщо зусилля міжнародного співтовариства щодо зниження викидів в атмосферу парникових газів увінчаються успіхом, то стабілізація глобального клімату відбудеться протягом тридцяти років. Забезпечення стабільного фінансування природоохоронної діяльності, вдосконалення економічних

інструментів — основні передумови реалізації екологічної політики в Україні до 2020 року.

Основний принцип національної екологічної політики — державна підтримка та стимулювання вітчизняних суб'єктів господарювання, які здійснюють модернізацію виробництва, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Особливо важливо стимулювати розвиток екологічного підприємництва, зокрема виробництво продукції, виконання робіт і надання послуг природоохоронного призначення. Унаслідок обмеженості бюджетних коштів важливим є пошук нових джерел фінансування природоохоронних заходів, спрямованих на ліквідацію забруднення, забезпечення екологічної безпеки, заходів, пов'язаних з відновленням та підтримкою природних ресурсів у належному стані. У зв'язку з цим необхідно забезпечити до 2020 року сприятливий податковий, кредитний та інвестиційний клімат для залучення коштів міжнародних донорів і приватного капіталу до природоохоронної діяльності.

Основними формами природоохоронної діяльності вважаються:

- розробка та впровадження природоохоронних заходів;
- науково-дослідні роботи, спрямовані на зниження впливу господарської діяльності на навколишнє природне середовище, екосистеми, біологічне різноманіття;
- поточна природоохоронна робота.

Заходи відносяться до природоохоронних за такими показниками:

- підвищення екологічності продукції, що випускається;
- скорочення споживання природних ресурсів і енергії на одиницю випущеної продукції;
- зменшення обсягів, рівнів та інтенсивності забруднення навколишнього середовища викидами, стоками, відходами, фізичними випромінюваннями;
- зниження концентрації шкідливих речовин у викидах, стоках, відходах.

Економічні механізми забезпечення раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища вважаються більш ефективними інструментами управління, ніж адміністративні, правові та інші методи впливу на екологічну свідомість і поведінку людини. Найслабшою ланкою діючого механізму економічного управління природокористуванням вважається недостатня зацікавленість підприємств-забруднювачів в ефективнішому та дбайливому використанні природних ресурсів, охороні навколишнього середовища. Одна з причин цього явища криється у все ще невизначеному обчисленні залежності глобального й економічного збитку від забруднення

і нераціонального використання природних ресурсів та умов на кінцеві показники діяльності господарських організацій. В основі економічних методів управління лежить вартісна оцінка природних ресурсів і природоресурсних багатств в цілому. Не менш важливу роль відіграє оцінка природних умов навколишнього середовища у вартісній формі, на жаль, поки що недостатньо розроблена та недостатньо застосовувана у практиці управління. Важливу роль в економічному стимулюванні природоохоронної діяльності відіграють платежі за забруднення та виснаження середовища і ресурсів, а також екологічне оподаткування природокористування. Різні економічні методи покликані стимулювати не тільки зменшення негативного впливу на природні ресурси та середовище, а й впровадження різних інновацій (нових відносин, методів та технологій).

12.5. Правові аспекти впливу діяльності людини на середовище

Основна ідея. Для забезпечення охорони навколишнього природного середовища від антропогенних впливів застосовується ряд механізмів нормативного та правового характеру, які реалізуються через такі види діяльності, як екологічна стандартизація, екологічна сертифікація, екологічне нормування, ліцензування екологічно значимої діяльності, екологічний контроль і моніторинг, екологічний аудит і управління природоохоронною діяльністю. Кожен із цих видів діяльності має свої особливості, відмінні ознаки, механізми реалізації. І тільки системне їх застосування може забезпечити необхідний стан навколишнього природного середовища та унеможливити його антропогенне забруднення.

Смислові зв'язки. Екологічна стандартизація — екологічна сертифікація — екологічне нормування — ліцензування екологічно значимої діяльності — екологічний контроль і моніторинг — екологічний аудит — управління природоохоронною діяльністю.

Ключові терміни. Стандарти, ISO, якість навколишнього природного середовища, екологічна сертифікація, екологічні норми та ліміти, нормативи плати за забруднення навколишнього середовища, ГДК, ГДВ, ГДС, ГДН, дозволи, погодження, сертифікати, ліцензії, екологічний моніторинг, екологічний аудит, екологічне управління, державне екологічне управління.

Мета — схарактеризувати функціонування окремих механізмів захисту довкілля від антропогенного забруднення, які реалізуються через певні, детально описані у розділі види

діяльності, та функціонування системи, яка об'єднує ці механізми, що є гарантією забезпечення якості навколишнього природного середовища.

12.5.1. Екологічна стандартизація

Стандартизація займає особливе місце в комплексі заходів щодо гарантування екологічної безпеки навколишнього природного середовища. Тільки в Євросоюзі прийнято близько 90 директив у галузі екології. Вони стосуються генеральної політики Євросоюзу з охорони навколишнього середовища, якості води та повітря, промислових ризиків, відходів, шумів тощо. Директиви Євросоюзу також спрямовані на методи контролю за забрудненням у промисловості; оцінку ступеня впливу державних і приватних проектів на навколишнє середовище; створення Європейського агентства з охорони навколишнього середовища, мережі контролю та забезпечення інформацією тощо.

Екологічні стандарти поділяються на міжнародні, державні, галузеві та локальні. **Міжнародні стандарти** затверджуються та впроваджуються Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO), **державні** — спеціальними постановами Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики, **галузеві** — наказом відповідного міністерства чи відомства, **локальні** — постановою відповідного територіального природоохоронного органу в межах його компетенції.

Стандарти в галузі охорони навколишнього середовища можна поділити на три групи:

- стандарти управління якістю навколишнього природного середовища;
- стандарти якості навколишнього природного середовища та дослідження якості;
- стандарти з охорони та захисту навколишнього природного середовища.

Система управління якістю навколишнього природного середовища — частина загальної системи менеджменту, яка включає організаційну структуру, діяльність щодо планування, обов'язки, відповідальність, досвід, методи, процеси та ресурси формування, аналіз та реалізацію екологічної політики. Враховуючи те, що управління навколишнім середовищем за своєю природою — міжнародна проблема, яка може бути вирішена тільки на міжнародному рівні, всі закони, нормативні документи та стандарти, що стосуються навколишнього середовища, повинні базуватися на одній науковій і методичній базі. Така заява зроблена ISO ще в 1970-ті роки, а в

1996 році опубліковано основні стандарти серії ISO 14000, які встановлюють загальні критерії для оцінювання відповідності систем управління навколишнім середовищем, а також принципи й процедури екологічного аудиту та кваліфікаційні критерії для аудиторів з екології. Україна з моменту вступу до ISO бере участь у роботі всіх її комітетів зі стандартизації якості повітря, води, ґрунту. Але найбільшу увагу українські спеціалісти приділяють роботі у комітеті ТК 207, який відповідає за підготовку стандартів з управління навколишнім середовищем. Держстандарт України першим серед країн СНД підготував міжнародні стандарти ISO 14001, ISO 14004, ISO 14010, ISO 14011, ISO 14012 і впровадив їх 1 січня 1998 р. зі статусом добровільних.

Система управління навколишнім середовищем має бути організаційною структурою, яка шляхом постійного моніторингу та періодичного аналізу має підтримувати ефективність функціонування з урахуванням змін внутрішніх і зовнішніх чинників, а кожен працівник організації повинен усвідомити свою відповідальність за покращення екологічних характеристик.

Стандарти якості навколишнього природного середовища та дослідження якості містять нормативи екологічної безпеки. До них відносять гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин у навколишньому середовищі; гранично допустимі рівні акустичного, електромагнітного, радіаційного та інших видів шкідливого впливу на навколишнє середовище; гранично допустимий вміст шкідливих речовин у продуктах харчування; гранично допустимі викиди та скиди в навколишнє середовище забруднюючих речовин; рівні шкідливого впливу біологічних і фізичних чинників.

Стандарти з охорони та захисту навколишнього природного середовища встановлюють загальні вимоги до охорони від забруднення атмосфери, гідросфери і ґрунтів; правила контролю якості повітря, води і ґрунтів; правила встановлення допустимих викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами; основні вимоги щодо охорони та раціонального використання природних ресурсів; загальні вимоги та правила поводження з відходами.

12.5.2. Екологічна сертифікація

Сертифікація — процедура підтвердження відповідності, за допомогою якої незалежна від виробника (продавця, виконавця) та споживача (покупця) організація засвідчує в письмовій формі, що продукція, процес або послуга відповідає встановленим вимогам. Цілковито новим і поки що незадіяним регулятив-

ним механізмом для України є екологічна сертифікація. Сучасний напрям створення та розвитку системи екологічної сертифікації України визначений у ст. 48 «Співпраця в галузі оцінювання стандартів та оцінювання відповідності» Угоди про партнерство та співпрацю між Євросоюзом і Україною. Впровадження екологічної сертифікації ставить за мету розв'язання нагальних завдань у трьох сферах діяльності держави:

- *у сфері функціонування господарського комплексу*: реалізація обов'язкових екологічних вимог природоохоронного законодавства під час ведення господарської діяльності; впровадження систем екологічного менеджменту у структури об'єктів управління; створення екологічно безпечних виробництв, технологічних процесів і обладнання; додержання вимог екологічної безпеки та запобігання забрудненню довкілля під час розміщення, переробки, транспортування, ліквідації та захоронення відходів виробництва й споживання; додержання вимог екологічної безпеки упродовж усього життєвого циклу будь-якої продукції; запобігання ввезенню в Україну екологічно небезпечної продукції, відходів, технологій і послуг;

- *у сфері інтеграції України до Європейського Союзу*: сприяння інтеграції економіки країни в Європейський ринок; гармонізація системи екологічної сертифікації з міжнародними та національними системами акредитації та сертифікації; підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції; усунення технічних бар'єрів у міжнародній торгівлі; надання екологічному сертифікату та екологічному знаку відповідності статусу документів, які в особі уповноваженого органу державної влади з екологічної сертифікації гарантують додержання вимог природоохоронного законодавства України;

- *у сфері міжнародного співробітництва у галузі охорони навколишнього природного середовища*: сприяння участі України у формуванні світового механізму охорони навколишнього природного середовища; забезпечення виконання Україною міжнародних угод, конвенцій та договорів у природоохоронній галузі; виконання міжнародних зобов'язань України у сфері управління якістю навколишнього природного середовища; забезпечення контролю за транскордонним переміщенням забруднювальних речовин та перевезенням небезпечних відходів.

Для державної системи сертифікації можна визначити такі об'єкти обов'язкової екологічної сертифікації:

- екологічно небезпечні — продукція, технології, виробництва;

- системи екологічного управління на виробництвах, пов'язаних із випуском екологічно небезпечної продукції;
- відходи виробництва та споживання, у тому числі екологічно небезпечні й ті, що є об'єктом транскордонного перевезення;
- діяльність у сфері поводження з відходами;
- очисні споруди;
- технології та обладнання для підготовки питної води;
- види тварин і рослин, що підпадають під дію Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої фауни та флори, які перебувають під загрозою винищення.

12.5.3. Екологічне нормування

Одним із базових механізмів регулювання навколишнього природного середовища є державне екологічне нормування.

Екологічні нормативи — закріплені законодавством норми, що регулюють природоохоронні та природоресурсні відносини, спрямовані на задоволення екологічних потреб суспільства та забезпечення оптимальної якості навколишнього середовища людини, мають кількісні значення і визначають рівень екологічної безпеки. **За юридичною силою** вони поділяються на законодавчі норми (закони) та підзаконні норми, які входять до урядових правових актів, нормативних актів міністерств і відомств, актів місцевого рівня, а **за змістом юридичного припису** — на попереджувальні, заборонні, відновлювальні, заохочувальні та каральні. Екологічні нормативи розробляються і вводяться в дію спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології й природних ресурсів та іншими уповноваженими державними органами відповідно до законодавства України.

Мета екологічного нормування — встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог щодо охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки.

Нормування в галузі охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів визначає кількісні показники, які повинні зменшувати антропогенний вплив суспільства до меж, у яких допускається така зміна природного середовища, а це, у свою чергу, дає змогу механізмам саморегуляції екосистем здійснювати процес відновлення природних ресурсів і не призводить до деградації довкілля.

Сьогодні розвиток екологічного нормування в Україні здійснюється для забезпечення:

- відповідності норм завданням збереження екосистем;
- розвитку нормативної бази як елемента управління та засобу контролю діяльності суб'єктів господарювання;
- ефективності норм як правових гарантій соціальної захищеності людини.

В екологічному нормуванні слід виокремити два напрями: саме нормування та лімітування. При нормуванні визначаються нормативи гранично допустимих викидів і скидів забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище та інших видів шкідливого впливу на нього, а також нормативи плати за забруднення навколишнього середовища і розміщення відходів. Мета лімітування полягає у затвердженні для підприємств, установ та організацій лімітів використання чи добування природних ресурсів, лімітів викидів і скидів забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище та лімітів на утворення і розміщення відходів.

До основних видів екологічного нормування, що використовуються в Україні, належать норми, ліміти та нормативи плати за забруднення навколишнього середовища, а також норми, ліміти та нормативи плати за використання природних ресурсів.

Існує **система показників**, за допомогою яких оцінюється антропогенний вплив — вплив забруднювальних речовин на навколишнє середовище. Основні з них — **гранично допустима концентрація (ГДК), гранично допустимий викид або скид (ГДВ, ГДС) та гранично допустиме навантаження (ГДН).**

У цілому гранично допустимі нормативи встановлюються для того, щоб поступово досягти нормативу якості природних ресурсів, тобто науково обґрунтованих значень концентрації забруднювальних речовин і показників якості (загальнофізичних, біологічних, хімічних, радіаційних) і санітарно-гігієнічних норм у місцях розташування джерел забруднення для забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини та природних екосистем.

Ліміти на природокористування — важливий регуляторний інструмент, який, обмежуючи економічне зростання, здійснює стабілізацію процесів виробництва та споживання, утримує їх у межах збалансованого екологічно безпечного функціонування суспільства. При цьому сутність такого інструменту базується на двох стратегічних засадах: обмеженості можливостей біосфери приймати, поглинати та асимілювати різного роду відходи, вироблені соціально-економічною системою, та кінцевому характері невідновлюваних природних ресурсів. Розробка лімітів у галузі охорони навколишнього природного середовища ґрунтується на відповідних екологічних нормах. Так, ліміти викидів і скидів забруднювальних

речовин стаціонарними джерелами, ліміти на розміщення відходів визначаються для підприємств, установ і організацій з урахуванням гранично допустимих обсягів і встановлюються у вигляді дозволів на викиди та скиди.

Окремий вид екологічних норм — **нормативи плати за забруднення навколишнього середовища та за використання природних ресурсів**. Вони — компоненти економічного механізму природокористування, які створюють стимули до раціонального використання природних ресурсів і забезпечують реальні джерела бюджетного фінансування природоохоронної діяльності. В охороні довкілля важливу роль відіграють нормативи плати за понадлімітне забруднення навколишнього середовища та понадлімітне використання природних ресурсів, які мають характер штрафних санкцій.

12.5.4. Ліцензування екологічно значимої діяльності

Згідно із Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» природокористування в Україні здійснюється в порядку загального та спеціального використання природних ресурсів.

Залежно від виду діяльності, природного ресурсу, ступеня шкідливості впливу на навколишнє природне середовище та інших чинників видаються дозвільно-погоджувальні документи різної юридичної сили: **дозволи, погодження, сертифікати, ліцензії**.

Право на проведення тих видів господарської діяльності, що підлягають обмеженню, реалізується через ліцензування. *Ліцензування належить до групи традиційних адміністративних механізмів управління*. Основні принципи державної політики України у сфері ліцензування — захист прав, законних інтересів, життя та здоров'я громадян, захист навколишнього природного середовища та забезпечення безпеки держави. Законодавча основа у цій сфері — Закон України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності», який визначає, що *ліцензування — видача, переоформлення та анулювання ліцензій, видача дублікатів ліцензій, ведення ліцензійних справ і ліцензійних реєстрів, контроль за дотриманням ліцензіатами ліцензійних умов, видача розпоряджень про усунення порушень ліцензійних умов, а також розпоряджень про усунення порушень законодавства у сфері ліцензування*.

Отже, ліцензія — єдиний документ дозвільного характеру, який дає право на ведення певного виду господарської діяльності, що, відповідно до законодавства, підлягає екологічному обмеженню. Ліцензування стосується екологічних аспектів і зумовлює необхідність врахування екологічних вимог.

Розвиток ліцензування природокористування та природоохоронної діяльності набуває в Україні дедалі ширшого застосування, оскільки воно належить до ефективних інструментаріїв екологічного управління. Ефективність ліцензування полягає у його комплексності, яке, крім адміністративних важелів управління, об'єднує інструментарії:

- інформаційний — екологічний аудит та екологічну експертизу;
- економічний — визначення умов справляння платежів;
- ринковий — укладення договору з ліцензіатом.

Право на видачу ліцензій мають органи ліцензування: Міністерство екології та природних ресурсів України, Державний комітет ядерного регулювання України, Національне космічне агентство України, Міністерство палива та енергетики України, Міністерство аграрної політики України, Державний комітет України по земельних ресурсах. За цими органами закріплені певні види господарської діяльності, що підлягають ліцензуванню. За видачу ліцензії справляється плата, розмір і порядок зарахування якої до Державного бюджету встановлюються Кабінетом Міністрів України. Розвиток екологічного ліцензування має два стратегічних напрями: окреме ліцензування та комплексне ліцензування.

Окреме ліцензування стосується видів діяльності в галузі охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, а також окремих видів природокористування з уведенням спеціальних дозволів на право розміщення в навколишньому середовищі викидів, скидів забруднювальних речовин і відходів. До сфери окремого ліцензування належать, згідно із Законом України «Про затвердження переліку особливо небезпечних хімічних речовин, виготовлення та реалізація яких підлягає ліцензуванню», — небезпечні відходи.

Комплексне ліцензування визначає право на здійснення одночасно викидів, скидів забруднювальних речовин у довкілля та розміщення відходів. Цей вид ліцензування поки що не знайшов свого застосування в Україні і потребує формування відповідної законодавчої бази.

У цілому екологічне ліцензування є процесом, що **складається з декількох етапів:**

- встановлення *нормативів впливу* на навколишнє природне середовище: гранично допустимих викидів і скидів, норм розміщення відходів, граничних норм вилучення природних ресурсів або ж відповідних тимчасових лімітів впливу та вилучення;
- обчислення з урахуванням різноманітних коефіцієнтів відповідних *ставок платежів за використання природного*

ресурсу або впливу на навколишнє середовище та встановлення конкретного розміру плати;

- внесення *нормативів, лімітів і ставок платежів у ліцензію та відповідний договір* на природокористування.

Після оформлення ліцензії ліцензіат стає об'єктом екологічного контролю.

12.5.5. Екологічний контроль і моніторинг

Державний екологічний моніторинг — базовий механізм системи державного екологічного управління, що створює її інформаційні основи. В Україні в межах своїх повноважень його здійснюють Міністерство екології та природних ресурсів України, Національне космічне агентство України, Міністерство охорони здоров'я, Міністерство аграрної політики, Державний комітет лісового господарства, Державний комітет по земельних ресурсах, Державний комітет по водному господарству, Державний комітет з питань житлово-комунального господарства та їхні органи на місцях.

Міністерство екології та природних ресурсів України здійснює спостереження за:

- джерелами промислових викидів в атмосферу та дотриманням норм гранично допустимих викидів;
- джерелами скидів стічних вод та дотриманням норм гранично допустимих скидів;
- станом поверхневих вод суші;
- станом ґрунтів сільськогосподарських угідь із визначенням залишкової кількості в них пестицидів і важких металів;
- викидами та скидами з об'єктів, на яких використовуються радіаційно небезпечні технології;
- станом і складом звалищ промислових і побутових відходів;
- станом наземних і морських екосистем;
- станом атмосферного повітря (у тому числі спостереження за транскордонним перенесенням забруднювальних речовин);
- атмосферними опадами;
- метеорологічними опадами;
- станом і режимом морських вод;
- станом ґрунтів;
- станом озонового шару у верхній частині атмосфери;
- радіаційною обстановкою (на пунктах радіоспостережень і в районах діяльності АЕС);

- станом сільськогосподарських посівів, запасами воло- ги у ґрунті та агрометеорологічними умовами формування врожаю;
- підземними водами з оцінкою їх ресурсів;
- ендегенними та екзогенними процесами;
- здійснює державне еколого-геологічне картування те- риторії України для оцінки стану геологічного середовища та його змін під впливом господарської діяльності.

Підприємства, установи та організації, незалежно від форм власності, діяльність яких призводить чи може призвести до погіршення стану навколишнього природного середовища, **зобов'язані вести спостереження** за викидами та скидами і розміщенням відходів.

Міністерство екології та природних ресурсів України разом з іншими органами державної виконавчої влади, на- званими вище, забезпечують вдосконалення мереж спосте- режень за станом навколишнього природного середовища, раціоналізацію та оптимізацію роботи служб спостережень, уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, удосконалення бази приладів і систем контролю, створен- ня міжвідомчого банку даних про стан навколишнього природного середовища, створення локальних, регіональ- них і національного центрів моніторингу навколишнього природного середовища, а також координує роботу, що проводиться в Україні за міжнародними природоохорон- ними програмами, у яких використовуються результати моніторингу.

Взаємодія зазначених органів, підприємств, установ, ор- ганізацій і забезпечення функціонування системи державного моніторингу навколишнього природного середовища на всіх рівнях здійснюються відповідно до міжвідомчих положень і технологічних інструкцій.

12.5.6. Екологічний аудит

Один із найефективніших інструментів економіко-еко- логічного контролю у процесі становлення ринкової еко- номіки — *екологічний аудит* — *незалежне дослідження усіх аспектів господарської діяльності підприємства будь-якої фор- ми власності з метою встановлення розміру його прямого та опосередкованого впливу на стан навколишнього природного середовища*. Мета екологічного аудиту — приведення приро- доохоронної діяльності до узгодження з вимогами законо- давства та нормативними актами, оптимізація використання природних ресурсів. *Ініціатор екологічного аудиту підприєм- ства — адміністрація підприємства*.

Міжнародною організацією стандартизації прийнятий Проект міжнародного стандарту 150/DIS 1410, який вміщує основні вказівки відносно екологічного аудиту у складі основних положень, процедури аудиту систем екологічного менеджменту та кваліфікаційних критеріїв екологічних аудиторів. До його затвердження як аналог рекомендовано використовувати Стандарт Європейського банку реконструкції та розвитку, яким розроблено Протокол екологічного аудиту для промислових підприємств загального типу, Стандартний формат аудиторського звіту, Робоче керівництво для аудиторів із питань охорони навколишнього природного середовища, здоров'я населення та екологічної безпеки.

Головні причини проведення екологічного аудиту такі:

- страхування (запобігання витратам на ліквідацію наслідків забруднення навколишнього середовища);
- конкуренція на ринку (товари повинні бути екологічно чистими, що підвищує попит на них на споживчому ринку; спеціальним ярликом виділяються товари, які пройшли екологічну перевірку);
- придбання (витрати на придбання забрудненої земельної ділянки або підприємства можуть виявитись завищеними, що неодмінно покаже подальша екологічна експертиза цих об'єктів);
- законодавство (необхідність роботи із забруднюючими матеріалами).

Оскільки мова йде про дослідження всіх аспектів господарської діяльності підприємства, **екологічний аудит повинен об'єднувати і розширювати програми та методики вже існуючих видів аудиту, а саме виробничого аудиту, аудиту фінансової діяльності, аудиту на відповідність.**

Висновок екологічного аудитора має вміщувати таку інформацію:

- висновок про адекватність природоохоронної та виробничої діяльності законодавству та нормативним актам;
- висновок про стан фінансово-економічної звітності, обліку, своєчасності та розміру поточних екологічних платежів, цілеспрямованості використання капітальних коштів, які виділені на охорону навколишнього природного середовища;
- оцінку впливу підприємства, на якому проводиться аудит, на стан середовища, здоров'я виробничого персоналу, дані про розмір викидів і скидів забруднюючих речовин, виробництво яких заборонено міжнародними зобов'язаннями держави;

- результати аналізу темпів росту виробництва продукції та кількості викидів і скидів забруднюючих речовин, споживання енергетичних і матеріальних ресурсів;
- результати порівняльного аналізу основних показників природоохоронної та виробничої діяльності підприємства і подібних підприємств України та інших країн;
- оцінку потенційної безпеки підприємства у разі виникнення аварійної ситуації, ефективність розробленого плану робіт із ліквідації осередків аварії, наявність необхідних матеріально-технічних засобів;
- висновок про професійну компетентність робітників природоохоронних служб підприємства, їх забезпеченість сучасними технічними засобами контролю за дотриманням гранично допустимих норм забруднення;
- інформованість керівного та виробничого персоналу про обсяг і характер забруднень навколишнього природного середовища підприємством, рівень морального й матеріального стимулювання за зниження рівня забруднення, енергетичної та матеріаломісткості виготовленої продукції.

12.5.7. Управління в галузі охорони навколишнього середовища

Загальне визначення екологічного управління, яке відображає існуючі відносини в системі «природа — суспільство» та їх антропогенний характер, можна сформулювати так: *екологічне управління — свідомий вплив людини на різноманітні господарські та природні об'єкти і процеси, що відбуваються в навколишньому середовищі, а також на людей, пов'язаних із ними, — який здійснюється для отримання бажаних результатів.*

Для того щоб екологічне управління відповідало своєму призначенню, необхідно дотримуватися таких вимог:

- принципи, методологія екологічного управління повинні бути адекватними задекларованим на глобальному і національному рівнях керівним принципам гармонізації життєдіяльності суспільства та збалансованого розвитку;
- впровадження і розвиток екологічного управління мають ґрунтуватися на екологічних функціональних законах і принципах та методології системного підходу;
- для забезпечення методологічної тотожності у підходах екологічне управління повинне мати у своїй основі систему міжнародних регламентів і стандартів, методологію системно-екологічного підходу;

- розвиток системного екологічного управління має ґрунтуватись на гуманітарних принципах і пріоритетах національної екологічної політики;

- функції екологічного управління повинні кореспондуватися із загальносистемними функціями адміністративного управління;

- екологічне управління має ґрунтуватися на власній законодавчій та нормативно-правовій базі, яка за своїм правовим впливом на розвиток суспільства повинна займати домінуюче місце й роль;

- ефективність екологічного управління забезпечується професійно підготовленим управлінським персоналом — екологічними менеджерами, підготовка яких здійснюється за спеціальними програмами;

- екологічне управління повинне мати у своєму розпорядженні власну інформаційну систему, яка забезпечує моніторинг реалізації прийнятих рішень.

За системними ознаками найвідчутніше впливають на процес гармонізації життєдіяльності суспільства та збалансованого розвитку зокрема такі системи:

- державного екологічного управління;
- корпоративного екологічного управління;
- місцевого екологічного управління чи самоврядування;
- громадського екологічного управління;
- басейнового управління;
- управління екологічними мережами (природно-заповідним фондом);
- управління екологічною безпекою.

Найвідоміші механізми екологічного управління такі:

- біотичне регулювання навколишнього середовища;
- еколого-господарський баланс територій;
- кадастровий;
- моніторинговий;
- законодавчий і нормативно-правовий;
- економічний;
- адміністративний;
- інформаційно-контрольний;
- науково-освітній;
- громадський.

У різноманітних системах екологічного управління ці управлінські механізми діють по-різному, але фундаментальний для всіх систем — механізм біотичного регулювання, через який реалізуються екологічні закономірності співіснування суспільства та природи.

12.5.8. Державне управління

На підставі біотичних принципів гармонізації життєдіяльності та збалансованого розвитку **головними напрямками державного екологічного управління** є:

- екологічне оздоровлення деградованих природних об'єктів, ландшафтів і стабілізація екологічного стану держави;
- відновлення природного потенціалу, заощадливе природокористування;
- формування національної екологічної мережі;
- охорона навколишнього природного середовища;
- забезпечення екологічної безпеки, зменшення антропогенного тиску та забруднення відходами;
- екологізація загальних функцій управління державою;
- екологізація соціально-економічного розвитку, впровадження принципів збалансованого розвитку;
- розвиток національного екологічного партнерства.

У державній системі екологічного управління застосовується **загальне управління**, яке здійснюється в особі державних законодавчих, виконавчих, правових органів, і **уповноважене, або спеціальне, управління**, яке здійснюється суб'єктами, що мають спеціальне повноваження на екологічне управління відповідно до чинного законодавства. Цей поділ має своє відображення у структурі функцій управління — загальних та спеціальних.

До загальних функцій належать: законодавче регулювання, прогнозування, планування, організація, координація, погодження, контроль і нагляд.

До спеціальних функцій належать: біовпорядження, ресурсовпорядження, розподіл і перерозподіл природних ресурсів, облік природних ресурсів, спеціалізований контроль, лімітування, нормування, експертиза, моніторинг, вирішення спорів, забезпечення відповідальності за екологічні правопорушення, стандартизація, аудит, сертифікація, ліцензування, страхування, організація освіти, інформування, постійне вдосконалення управління.

Органи загального державного управління — уповноважені законодавчими актами органи державної виконавчої влади, які, крім функцій загальнодержавного управління, виконують функції формування та забезпечення реалізації державної екологічної політики, визначення правових основ регулювання екологічних правовідносин, здійснення контролю за додержанням екологічного законодавства. До цих органів належать: Президент України; Верховна Рада України; Рада національної безпеки та оборони України;

Кабінет Міністрів України; Представництво Президента в АР Крим; Рада Міністрів АР Крим; Верховна Рада АР Крим; обласні державні адміністрації; Київська міська державна адміністрація; Севастопольська міська державна адміністрація; районні державні адміністрації; районні в АР Крим державні адміністрації; районні в м. Києві державні адміністрації; районні в м. Севастополі державні адміністрації.

До спеціально уповноважених законодавчими актами органів державної виконавчої влади, які виконують цільові функції екологічного управління, належать:

- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів — Міністерство екології та природних ресурсів України;
- Державна екологічна інспекція України;
- Державна екологічна інспекція Республіканського комітету АР Крим з екології та природних ресурсів;
- Державні екологічні інспекції в областях;
- Державна екологічна інспекція в м. Києві та м. Севастополі.

Таким чином, загальне державне екологічне управління в Україні здійснюється органами загального державного управління, а уповноважене (спеціальне) екологічне управління — суб'єктами, що мають спеціальне повноваження на екологічне управління відповідно до чинного законодавства. Слід зауважити, що структура та обов'язки органів державного екологічного управління України знаходяться в стані динамічних змін і оптимізації як в області ієрархічного підпорядкування, так і в області розподілу обов'язків і відповідальності за окремі напрямки екологічної політики держави.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».

Закон України «Про екологічну експертизу».

ДБН А. 2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.

Бобильов С. Н. Економіка збереження біорізноманіття (підвищення цінності природи). — М.: Наука, 1999. — 322 с.

Боков В. А., Луцик А. В. Основы экологической безопасности. — Сімферополь: Сонат, 1998. — 224 с.

Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. — К.: Інститут проблем національної безпеки, 2004. — 472 с.

- Корниенко В. І. Основы менеджмента устойчивого развития. — М.: Ступени, 2002. — 256 с.
- Кулагіна Г. Д. Статистика навколишнього середовища. — М.: МНЕПУ, 1999. — 246 с.
- Мазур І. І., Молдованов О. І., Шишов В. Н. Инженерная экология. — М.: Высш. шк., 1996. — Т. 1. — 637 с.
- Максименко Н. В., Задніпровський В. В., Клименко О. М. Організація управління в екологічній діяльності. — Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2008. — 340 с.
- Мацнєв А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Моніторинг та інженерні методи охорони довкілля. — Рівне: Рівненська друкарня, 2000. — 504 с.
- Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й. За пределами роста. — М.: Прогресс, 1994.
- Миронова Н. Г., Білецька Г. А. Екологічна стандартизація і сертифікація. — Львів: Новий світ, 2006. — 140 с.
- Моніторинг довкілля / під ред. В. М. Боголюбова. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 232 с.
- Мягков С. М. География природного риска. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 224 с.
- Орел С. М., Мальований М. С. Ризик. Основні поняття. — Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. — 88 с.
- Основи екології. Екологічна економіка та управління природо-користуванням / за ред. Л. Г. Мельника, М. К. Шапочки. — Суми: Університетська книга, 2005. — 759 с.
- Руденко В. П. Географія природоресурсного потенціалу України. — Л.: Світ, 1993. — 240 с.
- Стан світу 1999. Доповідь інституту Worldwatch про розвиток на шляху до сталого суспільства. — М.: Всесвіт, 2000.
- Титенберг Т. Экономика природопользования и охрана окружающей среды/ пер. з англ. К. В. Папенова. — М.: ОЛМА-Пресс, 2001. — 643 с.
- Чепурних Н. В., Новосьолов А. Л. Економіка та екологія: розвиток, катастрофи. — М.: Наука, 1996. — 432 с.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Закон України «Про екологічну експертизу» ([www.zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=45 %2F95- %E2 %F0](http://www.zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=45%2F95-%E2%F0))

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (www.zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1264-12).

Постанова Кабінету Міністрів України від 31 жовтня 1995 р. № 870 «Про порядок передачі документації на державну екологічну експертизу» ([http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=870-95- %EF](http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=870-95-%EF))

Агентство США з міжнародного розвитку та навколишнього середовища (US Agency for International Development (USAID) (www.usaid.gov/environment).

ГЕО-2007. Доповідь ЮНЕП (www.grid.no/geo2007).

Інститут Всесвітніх спостережень (Worldwatch Institute) (www.world-watch.org, www.un.org.ua/files/national_ecology.pdf).

Інтернет-видання газети Earth Times (www.earthtimes.org).

Національна Рада з питань науки та навколишнього середовища (National Council for Science and the Environment (NCSE)) (www.cnie.org).

Програма ООН з навколишнього середовища UNEP (United Nations Environment Program) (www.unep.net, www.unep.org/geo2000).

Проект «Зміни навколишнього середовища та безпеки» (Environmental Change and Security Project) — проект Міжнародного центру В. Вільсона, представлені поточні події з охорони навколишнього середовища, доповіді (www.ecsp.si.edu).

Проект «Зміни навколишнього середовища та безпеки» (Environmental Change and Security Project) (www.ecsp.si.edu).

Цілі світового розвитку на період 1990—2015 pp. (www.developmentgoals.org).

Лісовий кодекс України (<http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=3852-12>)

Кодекс України «Про надра» (http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=132_%2F94-%E2%F0)

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Мета та основні завдання екологічної експертизи.
2. Об'єкти екологічної експертизи.
3. Якою мірою оцінюється вплив на компоненти навколишнього середовища проектованої діяльності?
4. Яка загальна інформація наводиться в розділі ОВНС для кожного компонента навколишнього природного середовища, що розглядається?
5. Опишіть стадії аналізу ризику.
6. Особливості управління ризиком.
7. Особливості розробки заяви про екологічні наслідки.
8. Алгоритм розробки та передачі на державну експертизу НЕЕО.
9. Процедура проведення державної екологічної експертизи.
10. Можливі шляхи проведення державної екологічної експертизи.
11. Характеристика та класифікація природних ресурсів.
12. Дайте оцінку ринковим методам грошової оцінки ресурсів і умов навколишнього середовища.
13. Поняття та зміст критерію «шкода природному середовищу».
14. Економічні та екологічні результати інвестування.
15. Основні форми та заходи природоохоронної діяльності.
16. Дайте характеристику стандартам якості навколишнього природного середовища та дослідження якості.
17. В яких сферах діяльності держави екологічна сертифікація сприяє розв'язанню нагальних питань?

18. Охарактеризуйте напрямки екологічного ліцензування.
19. Назвіть основну тенденцію зміни стану глобального навколишнього середовища у ХХІ ст.
20. Назвіть 11 глобальних екологічних проблем за даними доповідей ГЕО-2002.
21. Назвіть 7 нових екологічних загроз людству за даними доповідей ГЕО-2007.
22. Коротко охарактеризуйте екологічні проблеми, пов'язані з використанням трансформаційних змін клімату, руйнуванням стратосферного озонного шару та порушенням погодних умов.
23. Коротко охарактеризуйте екологічні та соціально-економічні проблеми, пов'язані з виснаженням лісових ресурсів і скороченням біорізноманіття.
24. До яких соціальних і економічних проблем веде нестача прісної води?
25. Коротко охарактеризуйте екологічні та соціальні проблеми, пов'язані з деградацією земель і зменшенням продуктивності сільського господарства, продовольчої безпеки.
26. Коротко охарактеризуйте екологічні та соціально-економічні проблеми, пов'язані з різким зменшенням рибних запасів.
27. Назвіть основні економічні наслідки хімічного забруднення прибережних зон, води, землі та повітря.
28. Які екологічні наслідки глобальної урбанізації?
29. Які очікувані зміни основних екологічних проблем відповідно до фонових сценаріїв екологічної Стратегії України?
30. Перерахуйте основні напрямки зниження антропогенного та техногенного навантаження на навколишнє середовище в Україні до 2015 року.
31. Які завдання стоять перед екологами з припинення втрат біологічного та ландшафтного різноманіття?

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Правові основи проведення державної екологічної експертизи в Україні.
2. Нормативні основи розроблення розділу «Оцінки впливів на навколишнє середовище при проектуванні та будівництві підприємств, будинків і споруд».
3. Особливості оцінки впливу виробництва мінеральних добрив на повітряне середовище.
4. Особливості оцінки впливу виробництва алюмінію на водне середовище.
5. Порівняльна характеристика методу оцінки забруднення шляхом зіставлення фактичних рівнів забруднення з нормативними та методу аналізу ризику.
6. Відмінності у розробці та передачі на державну екологічну експертизу НЕЕО та ОВНС.
7. Порядок і послідовність проведення екологічної експертизи ОВНС.

8. Опишіть алгоритм проведення екологічної експертизи будівництва тракторного заводу.
9. Природні ресурси Півдня України.
10. Природні ресурси Західної України.
11. Порівняльна характеристика переваг і недоліків ринкових і неринкових методів грошової оцінки ресурсів та умов навколишнього середовища.
12. Шкода навколишньому середовищу, відповідальність за неї та відшкодування.
13. Екологічне інвестування та його результати.
14. Стандарти України в галузі охорони навколишнього природного середовища.
15. Характеристика об'єктів обов'язкової екологічної сертифікації.
16. Ліміти на природокористування та плата за забруднення.
17. Мій сценарій розвитку Європейського Союзу з урахуванням екологічних проблем.
18. Найбільш імовірний сценарій рішень екологічних проблем високорозвинених країн.
19. Екологічні завдання, які стоять перед країнами, що розвиваються.
20. Що може запропонувати Україна людству на Конференції Ріо + 20?
21. Імовірний сценарій виконання Стратегії в нашій країні.
22. Конференція ООН з навколишнього середовища та розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.) та її основні підсумки.
23. Десять років після Ріо: підсумки Всесвітнього саміту зі сталого розвитку (Йоганнесбург, серпень—вересень 2002 р.).
24. Роль України в міжнародних екологічних угодах і конвенціях.
25. Міжнародні угоди щодо зниження «парникового ефекту».
26. Міжнародні угоди про використання Світового океану.
27. Регіональні програми дій ООН щодо боротьби зі спустелюванням.
28. Конвенція про біологічне різноманіття: цілі та зміст.
29. Комплексний план заходів у Порядку денному на ХХІ століття.
30. Основні принципи державної екологічної політики України на період до 2020 року.
31. Реалізація проекту «Глобальна екологічна перспектива» (ГЕО-4).
32. Підсумки рішень по доповіді «Наше спільне майбутнє» Міжнародної комісії з навколишнього середовища та розвитку.
33. 27 принципів Декларації Ріо-де-Жанейро, слідувати яким погодилися глави держав.
34. Найважливіші чинники зміни глобального клімату.
35. Виснаження земельних, лісових ресурсів і скорочення біорізноманіття.
36. Стан здоров'я населення планети.
37. Проблема забруднення прибережних зон і руйнування екосистем.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Для експертизи проекрованої діяльності розробляється розділ:
а) ОВНС; б) НЕЕО; с) ЗЕН; d) ЗКПО?
2. Для експертизи екологічної ситуації розробляється розділ:
а) ОВНС; б) НЕЕО; с) ЗЕН; d) ЗКПО?
3. Компоненти та об'єкти навколишнього природного середовища, на які впливає планована діяльність, а також ті, сучасний стан яких не відповідає нормативному: а) не розглядаються в розділі ОВНС; б) розглядаються в розділі ОВНС; с) підлягають вилученню зі списку нормованих; d) передаються на розгляд у Кабінет Міністрів?
4. Для оцінки впливів на навколишнє середовище серед компонентів виділяється такий: а) космічний простір; б) виплавка металу; с) клімат і мікроклімат; d) соціальне середовище?
5. Другою стадією оцінки ризику є: а) характеристика ризику; б) управління ризиком; с) аналіз; d) формулювання висновків?
6. Величина ризику, з якою суспільство погоджується, враховуючи положення, що абсолютної безпеки досягти неможливо, виходячи з економічних, технічних, етнічних та інших умов, називається: а) небезпечний ризик; б) неприйнятний ризик; с) прийнятний ризик; d) абсолютний ризик?
7. Юридичним документом щодо суті екологічних наслідків діяльності та гарантій виконання природоохоронних заходів із забезпечення безпеки навколишнього середовища на весь період здійснення планованої діяльності є: а) ПТО; б) КХН; с) ЗЕН; d) РВО?
8. Громадські слухання повинні проводитись: а) перед розробкою НЕЕО; б) перед приїздом еколога-експертної групи; с) після оголошення експертного висновку; d) не повинні проводитись без референдуму?
9. У випадку наявної або можливої потенційної небезпеки об'єктів екологічної експертизи для навколишнього природного середовища: а) ці об'єкти не дозволяється експлуатувати; б) проводиться державна екологічна експертиза; с) інформація передається до прокуратури; d) проводиться референдум?
10. Екологічним критерієм класифікації природних ресурсів є: а) за природним джерелом походження; б) щодо можливого використання в господарській діяльності людини; с) за вичерпністю та можливістю відновлення; d) за технічними можливостями експлуатації?
11. До об'єктів екологічної шкоди належить: а) технологічний; б) глобальний; с) генетичний; d) вулканічний?
12. Стандарти Міжнародної організації зі стандартизації в галузі управління якістю навколишнього природного середовища відносяться до серії: а) 9000; б) 11000; с) 14000; d) 15000?
13. До об'єктів обов'язкової екологічної сертифікації не відноситься: а) екологічно небезпечні продукція, технології, виробництва; б) створення замкнутого водообігу; с) діяльність у сфері поводження з відходами; d) очисні споруди?

14. Одним із напрямків екологічного нормування є: а) ліцензування; б) екологічна експертиза; с) екологічний аудит; d) лімітування?

15. До дозвільно-погоджувальних документів не належать: а) сертифікати; б) свідоцтва акредитації; с) ліцензії; d) дозволи?

16. До сфери моніторингу Міністерство екології та природних ресурсів України не належить: а) стан поверхневих вод суші; б) стан наземних і морських екосистем; с) стан ґрунтів; d) мікробіологічне забруднення питної води?

17. Стан глобального навколишнього середовища: а) покращується; б) залишається стабільним; с) продовжує погіршуватися; d) значно покращується; е) катастрофічно погіршується?

18. Виберіть одну з глобальних проблем, яка найскладніше піддається корекції: а) хімічне забруднення, б) руйнування стратосферного озонового шару; с) нестача прісної води; d) зміна клімату; е) збільшення частоти та наслідків стихійних лих; f) скорочення біорізноманіття?

19. Виберіть регіон світу, в якому не відбувалося зростання темпів викидів CO₂: а) Європа; б) США; с) Африка; d) Південно-Східна Азія; е) Латинська Америка; f) країни СНД?

20. Вкажіть основну причину руйнування озонового шару: а) запуск космічних апаратів; б) глобальне виробництво та споживання хлорфторвуглеців (ХФВ); с) спалахи на Сонці; d) авіація; е) випробування ядерної зброї?

21. На початку 1990-х рр. обсяг вироблених у всьому світі небезпечних відходів складав: а) 200; б) 300; с) 400; d) 500; е) близько 800 млн т/рік?

22. Максимальна кількість постраждалих від стихійних лих припадає на: а) Азію; б) Латинську Америку; с) Європу; d) Африку; е) США та Канаду; f) Україну та країни СНД?

23. На частку сільського господарства світу припадає: а) 90 %; б) 70 %; с) 60 %; d) 40 %; е) 10 % споживання прісної води?

24. У результаті горіння лісів, саван, сільськогосподарських відходів, паливної деревини та деревного вугілля щорічно в атмосферу потрапляє: а) близько 1 млрд т Карбону, що становить 10 % його сумарних глобальних викидів; б) близько 2 млрд т Карбону, що становить 20 % його сумарних глобальних викидів; с) близько 3 млрд т Карбону, що становить 30 % його сумарних глобальних викидів; d) близько 4 млрд т Карбону, що становить 40 % його сумарних глобальних викидів; е) близько 5 млрд т Карбону, що становить 50 % його сумарних глобальних викидів?

25. За даними ВООЗ, у 2002 році передчасно померли через атмосферне забруднення: а) понад 100 000 людей; б) понад 300 000 людей; с) понад 500 000 людей; d) понад 600 000 людей; е) понад 800 000 людей?

26. На сьогодні під загрозою зникнення перебувають: а) понад 3 тисячі видів тварин і майже 20 тисяч видів рослин; б) понад 5 тисяч видів тварин і майже 40 тисяч видів рослин; с) понад 6 тисяч видів тварин і майже 50 тисяч видів рослин; d) понад 7 тисяч видів

тварин і майже 60 тисяч видів рослин; е) понад 8 тисяч видів тварин і майже 70 тисяч видів рослин; ф) понад 10 тисяч видів тварин і майже 90 тисяч видів рослин?

27. Протягом 2009 року в результаті виробничої діяльності утворилося відходів I—III класів небезпеки: а) 1,2 млн т; б) 0,2 млн т; с) 0,4 млн т; д) 0,8 млн т; е) 1,0 млн т?

28. Показники утворення відходів у великих містах досягають: а) 130—180; б) 230—280; с) 330—380; д) 430—480; е) 530—580 кг/рік на одну людину?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	а	8	а	15	б	22	а
2	б	9	б	16	д	23	б
3	б	10	с	17	с	24	д
4	с	11	с	18	д	25	е
5	с	12	с	19	а	26	д
6	с	13	б	20	б	27	е
7	с	14	д	21	с	28	с

Розділ 13

ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

13.1. Головні напрямки збереження природного середовища

Основна ідея. Головні напрямки збереження природного середовища України — охорона біорізноманіття, створення системи заповідних об'єктів, рекультивація, ремедіація та заповідання відпрацьованих земель і об'єднання територій та об'єктів природно-заповідного фонду в національну екомережу.

Смислові сполучення. Біорізноманіття — система заповідних об'єктів (у тому числі на основі рекультивації порушених гірничохімічним виробництвом земель) — національна екомережа.

Ключові терміни. Біорізноманіття, ландшафтне різноманіття, екосистема, об'єкти природно-заповідного фонду, природний заповідник, біосферний заповідник, національний природний парк, регіональний ландшафтний парк, заказник, пам'ятка природи, заповідне урочище, рекультивація

(гірничотехнічна, біологічна), ремедіація, терикони, національна екомережа.

Мета — охарактеризувати основні напрямки збереження природного середовища України, взаємозв'язок між ними та перспективи розвитку природоохоронних заходів для збереження та відновлення довкілля України.

13.1.1. Сучасний стан біологічного та ландшафтного різноманіття України

Займаючи менше 6 % площі Європи, Україна володіє близько 35 % її біорізноманіття. Біорізноманіття України нараховує понад 70 тисяч видів, з них флора — понад 27 тисяч, фауна — понад 45 тисяч видів. Однак протягом останніх років спостерігається збільшення кількості видів рослин і тварин, занесених до Червоної книги України.

Україна розташована на перетині міграційних шляхів багатьох видів фауни, через її територію проходять два основних глобальних маршрути міграції диких птахів, а деякі місця гніздування мають міжнародне значення. Більше 100 видів перелітних птахів охороняються відповідно до міжнародних зобов'язань.

До складу природно-заповідного фонду України входять понад 7608 територій та об'єктів загальною площею 3,2 млн га (5,4 % загальної площі країни) та 0,4 млн га у межах акваторії Чорного моря. Частка природно-заповідних територій в Україні недостатня. Вона залишається значно меншою, ніж у більшості країн Європи, де площі, зайняті під природно-заповідні території, становлять у середньому 15 %.

Екстенсивний розвиток сільського господарства призвів до значного зменшення ландшафтного різноманіття. Понад 40 % площі України в минулому були зайняті степовими ландшафтами. На сьогодні їх залишилося близько 3 %. На цих територіях зосереджено 30 % усіх видів флори та фауни, занесених до Червоної книги України.

За роки незалежності площа природно-заповідного фонду України збільшилася удвічі, але в окремих випадках об'єкти природно-заповідного фонду перебувають в управлінні центральних органів виконавчої влади, для яких природно-заповідна справа не є пріоритетом діяльності.

Основними загрозами біорізноманіттю є діяльність людини та знищення природного середовища існування флори і фауни, катастрофічне зменшення площі територій водно-болотних угідь, степових екосистем, природних лісів. Знищення навколишнього природного середовища відбувається внаслідок розорювання земель, вирубування лісів

із подальшою зміною цільового призначення земель, осушення або обводнення територій, промислового, житлового та дачного будівництва тощо. Поширення неаборигенних видів у природних екосистемах викликає значний дисбаланс у біоценозах. Управління збереженням біорізноманіття прісноводних і морських екосистем розвивається не так швидко, як для екосистем суші, що негативно впливає на обсяг рибних запасів і середовища перебування водних живих ресурсів.

Із метою припинення процесів погіршення стану природного середовища необхідно збільшувати площі земель екомережі, що є стратегічним завданням у досягненні екологічної збалансованості території України. Збільшення площі національної екомережі має насамперед відбуватися в результаті розширення існуючих та **створення нових об'єктів природно-заповідного фонду**.

Завдання щодо охорони біорізноманіття не вирішується під час приватизації земель, підготовки та виконання програм галузевого, регіонального та місцевого розвитку. Відсутність закріплених на місцевості в установленому законом порядку меж об'єктів природно-заповідного фонду призводить до порушення вимог заповідного режиму. Повільними є темпи встановлення у природі (на місцевості) прибережних захисних смуг уздовж морів, річок і навколо водойм, які виконують роль екологічних коридорів.

13.1.2. Охорона біорізноманіття як основа для збереження функцій екосистеми

Серед наукових основ заповідної справи одна з основних — розробка методів забезпечення охорони біорізноманіття на природно-заповідних територіях.

У 1990-х роках увага всього світу була прикута до **прийняття у 1992 р. у Ріо-де-Жанейро Конвенції про біологічне різноманіття**, яке є основою еволюції та функціонування систем біосфери, сталого забезпечення потреб населення Землі. У ній були охоплені положення попередньо прийнятих міжнародних конвенцій (Боннської, Бернської, Рамсарської), які наголошували на охороні окремих важливих ланок природи. У Конвенції про біологічне різноманіття наголошується на необхідності збереження видів, інших форм організації живих істот, екосистем і ландшафтів. Вона спрямована на охорону генофонду та умов його існування. Значна роль у цьому відведена природно-заповідним територіям, які мають охопити в цілому охорону біорізноманіття Землі та окремих її регіонів.

В Україні збереження біорізноманіття розглядається як природна основа екологічно збалансованого розвитку держави загалом і окремих її регіонів зокрема, оскільки забезпечує як функціонування екосистем та підтримку біосферної рівноваги, так і надає ресурси для розвитку багатьох галузей народного господарства. Кабінетом Міністрів України прийнято відповідну постанову (від 12.05.1997 р. № 439 «Про концепцію збереження біологічного різноманіття України»). За роки незалежного державотворення прийнято чимало програм, стратегій і планів, які передбачають або беруть до уваги досягнення цілей збереження біорізноманіття в контексті інших загальних і специфічних завдань охорони довкілля.

Програмно-стратегічні документи як екологічного спрямування, так і з питань економічного та соціального розвитку є складною палітрою. Їх можна поділити на види за різними класифікаційними ознаками: **за терміном програмування** (довго-, середньо- та короткострокові); **за масштабом поширення** (загальнонаціональні, регіональні, місцеві, галузеві, локальні), **за рівнем затвердження** (загальnodержавні та деякі регіональні програми затверджуються законами України, постановами Верховної Ради України, Указами Президента України, постановами Кабінету Міністрів України, що визначає їх пріоритетність, забезпеченість бюджетним фінансуванням тощо), **за змістом** (комплексні програми (прогнози) економічного та соціального розвитку і секторальні (міжсекторальні, цільові), **за ступенем опрацьованості шляхів та методів досягнення результатів** (прогнозні та програмні) тощо. Залежно від виду документів різняться порядок їх розроблення, затвердження та здійснення, джерела фінансового, матеріально-технічного, організаційного та іншого забезпечення.

Важливо зазначити, що в Основних напрямках державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки, затверджених Постановою Верховної Ради України від 05.03.1998 р., *збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, заповідна справа віднесені до основних пріоритетів охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів.* Тому важливо прослідкувати, наскільки послідовно цей пріоритет проходить через зміст інших програмних, прогнозних і стратегічних документів нашої держави.

Безпосередньо відповідно до основних принципів Конвенції про біологічне різноманіття Україною розроблені **Концепція збереження біологічного різноманіття України,**

Загальнодержавна програма формування національної екологічної мережі України на 2000—2015 роки, Загальнодержавна програма охорони й відтворення довкілля Азовського та Чорного морів, Державна програма «Ліси України» на 2002—2015 роки.

Однак хронологічно першим програмним документом, в якому зафіксовано принципи збереження біорізноманіття, стала **Програма перспективного розвитку заповідної справи в Україні** («Заповідники»), розроблена і прийнята ще до ратифікації Конвенції про біорізноманіття, але в дусі врахування основних положень Конвенції. Передбачена Програмою система заходів спрямована на збереження унікальних і типових ландшафтів, інших природних комплексів, біорізноманіття, у тому числі генофонду рослинного та тваринного світу, підвищення ролі заповідних територій у розробці наукових засад раціонального природокористування та охорони природи, розвитку природознавчих наук, здійсненні моніторингу довкілля, підготовці висококваліфікованих фахівців, екологічному та патріотичному вихованні громадян.

Програма передбачає розв'язання п'яти основних завдань:

- визначення стратегії розвитку заповідної справи;
- зміцнення наукових, організаційних, правових, фінансових, матеріально-технічних та інших засад розвитку заповідної справи;
- оптимізацію мережі природних і біосферних заповідників, національних природних парків, територій та об'єктів ПЗФ інших категорій;
- активізацію наукових досліджень на базі заповідних територій, посилення ролі Національної академії наук України у науково-методичному забезпеченні та координації роботи заповідників і національних природних парків, розробці наукових і організаційних засад заповідної справи;
- сприяння підвищенню ролі заповідної справи в екологічному та патріотичному вихованні громадян і підготовці фахівців, входженню України до міжнародної системи співробітництва з питань розвитку заповідної справи.

Відповідно до стратегії цієї Програми, а також наступних аналогічних програм, *природно-заповідний фонд України розглядається як складова частина світової системи природних територій та об'єктів, що перебувають під особливою охороною.*

Проаналізувавши стан створення заповідних територій, передбачених програмою «Заповідники» та Загальнодержавною програмою формування національної екологічної ме-

режі України на 2000—2015 роки, слід констатувати, що значна частина таких територій вчасно не була створена. Так, із 9 заповідників, передбачених програмою «Заповідники» (а саме Горганський (Івано-Франківська), Дністровські плавні (Одеська), Казантипський (АР Крим), Опукський (АР Крим), Південно-Подільський (Вінницька), Рівненський (Рівненська), Старогутський (Сумська), Тарханкутський (АР Крим), вчасно створено тільки 4 (Казантипський, «Горгани» (рис. 12.4), Опукський, Рівненський). Це стосується і національних природних парків. Програмою передбачено створення до 2000 р. 11 парків, у нормативні строки створений тільки один — «Вижницький».

13.1.3. Система заповідних об'єктів як засіб збереження природи

Території та об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ) **за походженням** поділяються на природні території й об'єкти та на штучно створені об'єкти.

Нині в Україні існує **11 категорій ПЗФ**, серед них *природний заповідник, біосферний заповідник, національний природний парк, регіональний ландшафтний парк, заказник, пам'ятка природи, заповідне урочище є природними територіями та об'єктами, тоді як ще 4 категорії ПЗФ, такі як ботанічний сад, дендрологічний парк, зоологічний парк, парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва, є штучно створеними об'єктами*. Категорія, до якої відноситься певна територія чи об'єкт ПЗФ, визначається відповідно до того цільового призначення та тих функцій і завдань, які ця територія чи об'єкт мають виконувати.

Крім поділу територій та об'єктів ПЗФ за їх походженням, вони розрізняються також і **за значенням**. Залежно від екологічної, наукової, історико-культурної, естетичної, оздоровчої та іншої цінності території та об'єкти ПЗФ можуть бути **загальнодержавного чи місцевого значення**. Ряд категорій ПЗФ можуть бути як загальнодержавного, так і місцевого значення (це стосується заказників, пам'яток природи, ботанічних садів, дендрологічних парків, зоологічних парків і парків-пам'яток садово-паркового мистецтва). Регіональні ландшафтні парки та заповідні урочища — категорії ПЗФ місцевого значення. А природні заповідники, біосферні заповідники та національні природні парки створюються лише на загальнодержавному рівні. Біосферні заповідники — категорія ПЗФ міжнародного значення, оскільки створення та функціонування всіх територій цього типу вимагає дотримання не лише національних,

а й міжнародних процедур. *Усі біосферні заповідники — елементи відповідної глобальної мережі, загальний реєстр якої ведеться Програмою ЮНЕСКО «Людина та біосфера».* Ряд із них — юридичні особи, інші створюються (оголошуються) без такого статусу.

Згідно з чинним законодавством, **статус юридичної особи** мають природні заповідники, біосферні заповідники, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, а також ботанічні сади, дендрологічні парки та зоологічні парки загальнодержавного значення. Заказниками, пам'ятками природи чи заповідними урочищами оголошуються території та об'єкти без надання їм статусу юридичної особи. Ботанічні сади, дендрологічні парки, зоологічні парки місцевого значення та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва можуть бути визнані юридичними особами або оголошуватись територією ПЗФ без такого статусу.

Об'єкти заповідної справи. Традиційно як об'єкти науки чи сфери людської діяльності прийнято розглядати певні досліджувані сутності, пізнавані реалії, причому безвідносно до їх матеріальних чи ідеальних іпостасей. У природничих науках і матеріальних видах діяльності їх об'єктами є звичайно матеріальні сутності, у гуманітарних — ідеальні. Із цього погляду особливість заповідної справи полягає в тому, що вона охоплює як сутності чисто матеріального гатунку (наприклад, фізичну територію, певні природні об'єкти тощо), так і торкається питань гуманітарного змісту (наприклад, морально-етичних аспектів охорони природи, цінності природи, екологічної освіти та виховання тощо). Отож вважати, що об'єктом заповідної справи є лише території та об'єкти, які становлять природно-заповідний фонд або потенційно можуть бути до нього включеними, було б не зовсім точно. Ці території — лише арени, на яких практично вирішуються завдання заповідної справи. Об'єктивно ця справа охоплює широке коло питань, об'єктна сутність яких виходить далеко за межі конкретної природоохоронної території чи їх мережі.

Матеріальними об'єктами заповідної справи можуть виступати природні територіальні комплекси, їх компоненти (передусім — рослинність і тваринний світ, а також геологічні утворення, водні тіла, ґрунти та інші), які становлять цінність із природоохоронної точки зору. Зокрема, це природні комплекси в межах існуючих територій ПЗФ. Також матеріальними об'єктами заповідної справи можуть бути і природні комплекси та їх компоненти у межах територій, які зараз не входять до складу ПЗФ, але які становлять цінність із природоохоронної точки зору.



Рис. 13.1. Природний заповідник «Горгани» (Івано-Франківська область)

Відтак, у територіальному відношенні її об'єкт — мало не вся територія держави.

Ряд категорій ПЗФ України (такі як ботанічний сад, дендрологічний парк, зоологічний парк, парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва) — матеріальні сутності, але є не суто природними територіями, а штучно створеними об'єктами. Отже, не тільки природні території та природні комплекси є матеріальними об'єктами заповідної справи, але й комплекси штучного походження, що мають особливу наукову, освітню, виховну та інші цінності і підлягають збереженню.

Ідеальні об'єкти заповідної справи. Як вказувалося вище, у сучасній філософській думці розуміння об'єкта науки чи певної людської діяльності не зводиться до того, що таким об'єктом має бути тільки матеріальне тіло. Ними також можуть бути і певні ідеальні сутності. Заповідна справа торкається багатьох морально-етичних і ціннісних аспектів взаємодії людини із природою. Отже, такі ідеальні феномени, як морально-етичні норми людського ставлення до живої та неживої природи, її сакральна, духовна, естетична та інші «нематеріальні» цінності, індивідуальні та соціальні (зокрема, етнічні) значення певних ландшафтів, їх символізм тощо

є тими об'єктами ідеальної природи, на які також спрямована заповідна справа. У наш час — гуманізації науки та інших форм людської діяльності, поширення у суспільстві екоцентричних світоглядів — значення таких ідеальних об'єктів заповідної справи неухильно зростає.

13.1.4. Рекультивація, ремедіація та заповідання відпрацьованих земель

Рекультивація, ремедіація та заповідання відпрацьованих земель — це запорука природного відновлення та формування вторинних екосистем.

У ході зростання кількості хімічних і гірничих підприємств і формування розвиненого гірничодобувного комплексу негативні регіональні зміни стану довкілля стали все відчутнішими. Порушення природного стану земель у процесі проведення гірничих робіт в основному пов'язане з видобутком кам'яного вугілля, рудних і нерудних корисних копалин, будівництвом трубопроводів. Значні площі займають відвали розкритих порід, терикони пустої породи та хвостосховища збагачувальних фабрик. Загальна площа порушених гірничими роботами земель в Україні складає понад 2,8 тис. км², із них близько 1,3 тис. км² знаходяться в експлуатації і 1,5 тис. км² підлягають рекультивації.

Рекультивація — не обов'язково повернення земельних ділянок до їх первісного стану. Адже в ряді випадків, наприклад на місці кар'єру, це неможливо. У широкому розумінні *рекультивація* — *приведення ділянок землі в той стан, який дозволяє використовувати їх надалі у сільському господарстві, для лісових посадок, будівництва, створення зон відпочинку.* У ряді випадків мова йде про створення штучних, але гармонійних ландшафтів, які доповнюють природні. Найпоширеніший тип порушень земної поверхні — відвали. Їхні техногенні форми дуже різноманітні: конічні, гребенеподібні, плоскі, платоподібні. Інший тип порушень — прогини та провали земної поверхні, що утворюються над шахтними полями, а також власне котловани кар'єрів. Серед останніх виділяються мультіподібні із розлогими схилами, циркоподібні, трапецієподібні, сухі та такі, що затоплюються підземними і поверхневими водами. Найважливіші етапи відновлення порушених земель — гірничотехнічна та біологічна рекультивація.

Гірничотехнічна рекультивація передбачає гасіння териконів, формування плоских відвалів, згладжування схилів, створення терас, засипання понижень. Сплановані поверхні перекриваються глинистою породою, будь-якою ґрунтовір-

ною породою (лес, супісок) і ґрунтом. Породи ґрунтового покриву ще до початку гірничих робіт зрізуються і зберігаються у спеціальних відвалах.

Біологічна рекультивація включає заходи з відновлення ґрунтів або створення на породних відвалах умов, що можуть забезпечити їх родючість. Із цією метою підбираються найстійкіші види рослин і створюються стійкі біоценози. На землях, які звільняються від гірничих робіт, створюють орні землі, сінокоси, пасовища (*сільськогосподарська рекультивація*), ведеться насадження лісу (*лісогосподарська рекультивація*). Іноді відроблені глибокі кар'єри використовують під водосховища, ставки (*водогосподарська рекультивація*). Біологічну рекультивацію земель, порушених у процесі добування марганцевих руд, здійснюють у Дніпропетровській області, вугілля, нерудних корисних копалин — у Донбасі. Гірничими роботами щодня порушуються площі земель, що вимірюються гектарами. Однак після того, як корисні копалини вибираються, кар'єр заповнюється розкритими породами і після планування поверхні засипається чорноземом, що зберігається у спеціальних відвалах-запасниках.

У Донецькому гірничопромисловому регіоні налічується 1186 териконів, із яких 390 горять. *Об'єм гірських порід у териконах і відвалах становить близько 1 км³*. У межах Донбасу терикони, що горять, щодобово викидають 162 т шкідливих газів (H_2S , SO_2 , CO тощо). У Львівсько-Волинському гірничопромисловому регіоні налічується 20 териконів, під якими зайнято 1400 га якісних родючих земель. Породні відвали — фактор інтенсивного забруднення ґрунтів, повітря, поверхневих і підземних вод. Навколо териконів спостерігаються підвищені концентрації таких елементів, як Кобальт, Нікель, Молібден, Барій і Плюмбум. Навіть на відстані 1—3 км від териконів виявлено підвищені концентрації Арсену, Цинку, Кадмію, Гідраргуму, Фосфору.

Рекультивація териконів, які є фактором інтенсивного забруднення ґрунтів, повітря, поверхневих і підземних вод, — досить актуальна проблема сьогодення. За обмежених фінансових можливостей, ліквідації значної кількості шахт важливого значення набуває наукове забезпечення пріоритетних за еколого-економічними критеріями природоохоронних заходів. Озеленення териконів — досить затратний природоохоронно-реабілітаційний захід і проводиться не на кожному вугледобувному підприємстві. Тому на даний час кількість озелених териконів досить незначна. Залісені терикони шахт: «Червоногвардійська», № 6—14 (м. Червоногвардійськ), ім. Орджонікідзе та інші гармонійно поєд-



Рис. 13.2. Породні відвали № 2 та № 3 (об'єднані) шахти «Юний комунар» (м. Юнокомунарівськ Донецької області)

нуються з навколишнім ландшафтом. На териконі шахти № 6—14 (м. Червоногвардійськ) проводили вибухові роботи. Унаслідок цього залишились незвичайної форми спечені утворення. Науковці Донецького медичного університету здійснили озеленення цього породного відвалу. На залісеному териконі шахти ім. Орджонікідзе створено сприятливі умови для існування тваринного світу. Тут водяться зайці, фазани та інші тварини. Деякі терикони самоозеленюються, але таке озеленення відбувається протягом десятків років, тому є не досить ефективним. На багатьох вугледобувних підприємствах (ш. «Червоний Профінтерн», ш. «Червоний Жовтень» та інші) породні відвали отерасовані, а кошти на їх озеленення не виділяються.

Використання відпрацьованих земель для вирощування сільськогосподарських культур чи запровадження промислового рибальства пов'язане із значним ризиком — адже досить часто землі забруднені продуктами попередньої гірничохімічної діяльності. Тому оптимальний шлях — заповідання відпрацьованих земель з одночасним проведенням ремедіації, внаслідок якої проводиться очищення ґрунтів і водних середовищ від забруднювачів.

Ремедіація — очищення території від небезпечних забруднювачів або стримування їх розповсюдження за допомогою природних мікроорганізмів чи рослин. Відомі приклади застосування ремедіації для очищення від нафтових забруднень, важких металів, органічних і металоорганічних сполук тощо. Внаслідок реалізації комплексного підходу — запові-

дання відпрацьованих земель з одночасним проведенням ре-медіації, треба сподіватися, вдасться через певний період часу реалізувати природне самовідновлення порушених земель і повернення їх до природного стану.

Приклади успішного відновлення відпрацьованих земель — створення штучної водойми та зони рекреації на базі Яворівського сірчаного кар'єру і створення штучної водойми та ландшафтного парку на базі Подорожнянського сірчаного кар'єру.

Шахтне об'єднання «Павлоградвугілля» веде роботи з рекультивуації порушених земель, використовуючи для засипки ділянок земної поверхні, які просіли, шахтну породу, що утворюється в результаті діяльності підприємства. Після цього територія покривається родючим шаром і на ній висаджується рослинність. У 2009 році рекультивовано та передано в землі запасу 15,1 га земель. Вартість робіт склала 4,3 млн грн. Крім того, «Павлоградвугілля» здійснює захист лісових масивів і сільськогосподарських угідь від затоплення за допомогою дренажних систем.

«Східенерго» здійснює технічну рекультивацію місць видалення відходів (золівідвалів). Так, на Курахівській ТЕС поверхню недіючого золівідвалу засипають шаром суглинку та рослинного ґрунту і засівають багаторічними травами. На ЦЗФ «Курахівська» намічено реалізацію проекту озеленення східного схилу породного відвалу.

Розвиток і впровадження описаних прикладів успішного відновлення порушених земель у масштабах України дозволить повернути нашим нащадкам відновлені землі у вигляді сформованих вторинних екосистем.

13.1.5. Території та об'єкти природно-заповідного фонду як елементи національної екомережі

Екомережа є комплексною багатофункціональною природною системою, основними функціями якої є збереження біорізноманіття, стабілізація екологічної рівноваги, підвищення продуктивності ландшафтів, покращення стану довкілля, забезпечення збалансованого сталого розвитку держави. В основу створення екомережі покладена ідея цілісності природи, взаємопов'язаності та нерозривності її складових систем усіх рівнів.

Національна екомережа України створюється згідно із Законом України від 21.09.2000 р. «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000—2015 рр.». Ідея екомережі уперше була сформована на європейському рівні. У 1995 р. міністрами

довкілля країн Європи схвалено Всеєвропейську стратегію збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, базовим напрямом реалізації якої стало *створення Всеєвропейської екомережі*. Ця мережа має об'єднати існуючі осередки природного різноманіття європейського значення в єдину територіальну систему, що простягається *від Уралу до Піренейського півострова*.

До природних осередків екомережі насамперед відносяться природоохоронні та природно-заповідні території, хоча часто вони включають буферні зони та екокоридори. В Україні природними осередками є природні заповідники, заповідні зони національних природних парків і біосферних заповідників, а охоронні зони навколо природних заповідників, рекреаційні зони в національних природних парках і буферні зони у біосферних заповідниках (резерватах) — за своєю суттю буферні зони.

Функцію екологічних коридорів у національних природних парках і біосферних заповідниках виконують видовжені природні елементи: річки та захисні лісові смуги, гористі смуги та яруги тощо, відповідно у господарській зоні та зоні антропогенних ландшафтів. Звичайно, буферних та екокоридорних функцій окремих ділянок природно-заповідних територій недостатньо для екомережі в цілому, хоча вони не можуть не враховуватись.

До складу національної екомережі України включаються території та об'єкти природно-заповідного фонду, ліси, водні об'єкти, водоохоронні зони та прибережні захисні смуги водних об'єктів, інші землі водного фонду, водно-болотні угіддя, сіножаті, пасовища, полязахисні лісові смуги, землі оздоровчого та рекреаційного призначення, а також землі історико-культурного призначення, транспорту, оборони та інші, що мають особливу цінність для охорони навколишнього природного середовища, збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, насамперед видів рослин і тварин, занесених до Червоної книги України, рослинних угруповань, занесених до Зеленої книги України.

До основних **природних регіонів** екомережі для їх збереження і можливостей відновлення належать: Карпатська гірська країна, Передкарпаття з Опіллям, Кримська гірська країна, Західне Полісся, Придніпровське Полісся, Східне Полісся, Подільська височина, Донецький кряж і Приазовська височина. Значну роль у національній екомережі мають відігравати розгалужені річкові мережі Дніпра, Дністра, Південного Бугу, Західного Бугу та Сіверського Дінця, українське узбережжя Азовського та Чорного морів.

У рамках виконання Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України **на 2000—2015 рр. має бути створено 29 національних природних парків, 7 біосферних заповідників**, розширено межі трьох природних та трьох біосферних заповідників, п'яти національних природних парків. Загалом площа природно-заповідного фонду України має розширитися більш ніж удвічі і **досягти 10 % площі держави**.

Формування екологічної мережі передбачає зміни структури земельного фонду України шляхом віднесення частини земель до категорій, що підлягають особливій охороні для забезпечення цілісності екологічної мережі на підставі наукового обґрунтування та економічної доцільності.

Програмою передбачено здійснення таких **основних заходів**:

- розширення та оптимізація мережі об'єктів природно-заповідного фонду;
- формування транскордонних природоохоронних територій;
- створення захисних лісових насаджень, полезахисних лісових смуг, залуження земель;
- рекультивація та ренатуралізація земель;
- забезпечення охорони водно-болотних угідь;
- забезпечення збереження популяцій рослин і тварин;
- здійснення спеціальних заходів для забезпечення міграції тварин;
- створення умов для відтворення різноманіття видів рослин і тварин;
- здійснення заходів щодо запобігання негативному впливу на природні комплекси екологічної мережі.

Передбачено також проведення спеціальних інвентаризаційних і наукових досліджень, створення центрів штучного розведення рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів рослин і тварин, інформування громадськості, здійснення заходів, які впливають із міжнародних зобов'язань України.

Загальнодержавна програма формування національної екомережі передбачає підготовку заявок щодо визнання цінностей природних територій України, насамперед у межах її природно-заповідного фонду, на міжнародному рівні, складання національного переліку об'єктів природної спадщини. Мають бути підготовлені подання на міжнародне визнання нових біосферних заповідників, внесені пропозиції до Переліку водно-болотних угідь міжнародного значення та Світової мережі біосферних резерватів.



Рис. 13.3. Водно-болотні угіддя

Для визначення територіальної структури екологічної мережі України, планування заходів щодо її формування, узгодження регіональних і місцевих схем, а також національної екологічної мережі із Всеєвропейською екологічною мережею розробляється *Генеральна схема екологічної мережі України*. Ця схема — складова частина Генеральної схеми планування території України.

Постановою Кабінету Міністрів України № 1296 від 29.08.2002 року передбачений моніторинг і заходи з реалізації Генеральної схеми планування території України. Серед показників моніторингу та заходів із реалізації схеми значне місце займають заходи з формування національної екомережі, у тому числі визначення потенційних природоохоронних територій міжнародного значення. Відображення у Генеральній схемі перспективи створення нових природно-заповідних територій є резервуванням території для подальшого заповідання. Розташування природно-заповідних територій більш детально обґрунтовується на схемах і в проектах районного планування областей, адміністративних районів, на територіальних комплексних схемах охорони природи.

Для проектування елементів і схем екологічної мережі не досить провести лише інвентаризацію та картографування складових частин як існуючих, так і потенційних. Необхідно визначити умови їх управління та інтегрувати їх у комплексне управління територіями. Одним із основних завдань планування національної, регіональних і місцевих схем екомережі є забезпечення умов відносно безконфліктного функціонування природи та суспільства. Тому кількісні параметри екомережі не можуть бути однаковими у різних районах і залежать від комплексу природних і соціально-економічних факторів. Очевидно, що значення екомережі зростає зі ступенем господарського освоєння території. Функціональна та планувальна структура екомережі ще більшою мірою залежить від конкретних умов і визначається природною цінніс-

тю місцевості, потребою у рекреаційних територіях, іншими природними та соціально-економічними факторами.

Режим охорони та використання території екологічної мережі встановлюється на основі науково обґрунтованих вимог, спрямованих на запобігання погіршенню стану природних комплексів, забезпечення їх збереження в екологічних, наукових та інших цілях. Режим територій та об'єктів екомережі визначається національним законодавством та відповідними міжнародними правовими документами.

13.2. Глобальні екологічні проблеми і стан навколишнього середовища в Україні

13.2.1. Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища

З 1995 р. Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (ЮНЕП) почала реалізацію проекту «Глобальна екологічна перспектива» (ГЕО). Завданнями проекту є оцінка стану глобального навколишнього середовища та вироблення рекомендацій з розробки екологічної політики, планування дій і розподілу фінансових ресурсів для вирішення екологічних проблем.

ЮНЕП має зосередити свої зусилля на шести тематичних пріоритетах: зміна клімату; катастрофи та конфлікти; екосистемне управління; екологічне керівництво; шкідливі речовини та небезпечні відходи; ефективність використання ресурсів — стійке споживання та виробництво.

Для поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки в Україні передбачається широкий комплекс заходів відповідно до Керівних принципів сталого просторового розвитку Європейського континенту.

У даному підрозділі розглянемо реальні зміни у стані навколишнього середовища, що відбулися в кінці першого десятиліття XXI ст., а також перспективи розв'язання глобальних та національних екологічних проблем.

13.2.2. Стан глобального навколишнього середовища

Головне джерело інформації — Проект «Глобальна екологічна перспектива» («Проект ГЕО»), здійснюваний Програмою ООН із навколишнього середовища та розвитку (ЮНЕП).

За допомогою організацій системи ООН, які беруть участь у проекті ГЕО, проект отримує інформацію про проблеми охорони навколишнього середовища та природо-

користування, що аналізується асоційованими науковими центрами. Для забезпечення порівняння результатів створена єдина методологія моніторингу та дослідження. Нарешті, урядові органи, які розробляють екологічну політику у відповідних країнах, дають свої пропозиції для врахування у проекті. Результати проекту публікуються у доповідях, технічних звітах, інформаційних записках, субрегіональних звітах і **розміщуються на сайті www.grid.no.geo**.

Перша доповідь опублікована в 1997 р. (GEO-1). Доповідь (GEO-4) «Глобальна екологічна перспектива: навколишнє середовище для розвитку» (2007) — дієвий приклад ефективного міжнародного співробітництва в екологічній сфері. У дослідженні взяли участь близько 400 окремих вчених і політиків, а також понад 40 центрів та 1000 запрошених фахівців. Доповідь доступна на всіх офіційних мовах ООН (англійською, арабською, іспанською, китайською, російською та французькою) **за адресою: <http://www.unep.org/geo2007>**.

Відправною точкою GEO-4 є 1987 рік, в якому Міжнародна комісія з навколишнього середовища та розвитку (МКОСР) опублікувала свою успішну доповідь «Наше спільне майбутнє». **Комісія Брундтланд** заснована в 1983 р. відповідно до резолюції 38/161 Генеральної Асамблеї ООН для спостереження за критичними проблемами в навколишньому середовищі та розвитку. Вона заснована у період безпрецедентного збільшення тиску на світове середовище, коли песимістичні прогнози щодо майбутнього людства вже стали звичайною справою.

Доповідь Комісії Брундтланд, в якій досліджувався зв'язок між розвитком і навколишнім середовищем, зажадала від політиків розгляду взаємозалежності між екологічними, економічними та соціальними питаннями при вирішенні глобальних проблем. У ній досліджувалися такі виниклі глобальні проблеми:

- населення та людські ресурси;
- продовольча безпека;
- види та екосистеми;
- енергія;
- промисловість;
- урбанізація.

Найближчим і, можливо, найзначнішим *результатом доповіді «Наше спільне майбутнє» була організація Конференції ООН із навколишнього середовища та розвитку (ЮНСЕД), також відомої як зустріч на найвищому рівні «Планета Земля», яка зібрала безліч глав держав у Ріо-де-Жанейро у 1992 році. На цьому саміті зустрілося 108 глав*

держав, у паралельній зустрічі НУО взяли участь понад 24000 представників неурядових організацій (НУО) та 17000 відвідувачів. Зустріч на найвищому рівні «Планета Земля» зміцнила взаємодію між країнами, НУО та вченими і фундаментально змінила ставлення до управління навколишнім середовищем. Держави підтримали переосмислення концепції економічного розвитку та пошук шляхів припинення знищення природних ресурсів і зменшення забруднення планети.

Прийнята в Ріо-де-Жанейро декларація містить 27 принципів, слідувати яким погодилися глави держав для досягнення цілей, сформульованих Комісією Брундтланд. Ключові зобов'язання декларації розглядають інтегроване питання навколишнього середовища і передбачають розвиток ухвалених рішень, включають постанову про оплату за забруднення, визнання загальної, але диференційованої відповідальності за порушення цих принципів, разом з тим було наголошено на використанні обережного підходу у прийнятті остаточних рішень.

У 2000 році відбулася Всесвітня зустріч, на якій у **Порядку денному на XXI століття** було сформульовано комплексний план заходів, спрямованих на сталий розвиток. Він містить 40 розділів, які можна поділити на чотири основні сфери:

1) соціальні та економічні проблеми, як-от злидні, людське здоров'я та ріст населення;

2) охорона природних ресурсів і управління ними, включаючи атмосферу, ліси, біорізноманіття, знешкодження відходів та токсичних хімікатів;

3) роль дев'яти великих спільнот у здійсненні програми сталого розвитку (місцева влада, жінки, фермери, діти та молодь, місцеве населення, робітники та профспілки, НУО, науково-технічні кадри, бізнес і промисловість);

4) спосіб реалізації, включаючи передачу технології, фінансування, науку, освіту та інформацію для громадськості.

Як програма сталого розвитку «Порядок денний на XXI століття» залишається найбільш значним документом, але не має юридичної сили.

Початок XXI ст. приніс розуміння необхідності термінового вирішення проблем навколишнього середовища та розвитку. На саміті 2000 року було прийнято декларацію та визначено цілі й завдання для покращення людського благополуччя. Світові лідери прагнули вжити заходів до скорочення рівня бідності у світі, пообіцяли звільнити людей від «загрози життю на планеті, непоправно зіпсованій діяльніс-

тю людини, ресурси якої більше не відповідають потребам» (ООН, 2000).

Через два роки після Декларації тисячоліття та через десятиліття після зустрічі на найвищому рівні «Планета Земля» у Ріо-де-Жанейро світові лідери на **Всесвітній зустрічі на найвищому рівні зі сталого розвитку в Йоганнесбурзі 2002 року (МСУР)** знову підтвердили, що сталий розвиток — головна мета міжнародної програми. У саміті взяли участь понад 21 000 чоловік із 191 держави. Генеральний секретар ООН намітив для розгляду п'ять пріоритетних галузей: водопостачання і санітарія, енергетика, охорона здоров'я, сільське господарство і біологічне різноманіття та охорона екосистем.

Світові лідери пообіцяли один одному «прискорити досягнення термінових соціо-економічних і екологічних цілей», які містяться в йоганнесбурзькій Декларації зі сталого розвитку. На цьому історично важливому саміті також досягнуті нові зобов'язання, що стосуються води та санітарії, подолання бідності, енергетики, сталого виробництва та споживання, хімікатів та управління природними ресурсами.

Протягом останніх 20 років спостерігалось зростання кількості наукових оцінок, таких як Міжурядова група із кліматичних змін, Оцінка екосистем на рубежі тисячоліть і Глобальні екологічні перспективи. **У 1988 році заснована Міжурядова група з кліматичних змін** для оцінки наукової, технічної та соціально-економічної інформації щодо зміни клімату на об'єктивній, відкритій і зрозумілій основі. У 2007 році МГЗК випустила Четверту аналітичну доповідь. Ці наукові оцінки відображають роботу тисяч експертів усього світу. Вони сприяли кращому розумінню екологічних проблем. В результаті конференцій і оцінок, згаданих вище, було прийнято чимало багатосторонніх угод із навколишнього середовища (МСО).

Згідно з **доповіддю ГЕО-2002** найбільше побоювання викликають: 1) зміна клімату; 2) руйнування стратосферного озонового шару; 3) порушення кругообігу Нітрогену; 4) хімічне забруднення; 5) збільшення частоти та наслідків стихійних лих; 6) порушення погодних умов під впливом течії Ель-Ніньо; 7) виснаження земельних, лісових ресурсів і скорочення біорізноманіття; 8) нестача прісної води; 9) забруднення прибережних зон і руйнування екосистем; 10) забруднення повітря; 11) комплексна деградація навколишнього середовища в районах урбанізації.

У **довіді ГЕО-2007** висвітлюються поточні екологічні загрози людському благополуччю:

1) деякі випадки зміни клімату негативно впливають на здоров'я людини, виробництво продовольства, безпеку та доступність ресурсів;

2) екстремальні погодні умови все більше впливають на вразливі людські спільноти, особливо на найбідніші;

3) забруднення, як усередині, так і зовні приміщень, досі викликає безліч передчасних смертей;

4) деградація земель зменшує продуктивність сільського господарства, приводячи до зниження доходів, а отже продовольчої безпеки;

5) скорочення постачання чистої води піддає небезпеці людське здоров'я та економічну активність;

6) різке зменшення рибних запасів створює економічні втрати та скорочення харчових ресурсів;

7) збільшуються темпи вимирання видів, що загрожує втратою унікального генетичного фонду — можливого джерела майбутніх медичних і сільськогосподарських досягнень.

Вибір, зроблений сьогодні, визначає, як ці загрози будуть розвиватися в майбутньому. Унеможливити такі несприятливі екологічні тенденції буде дуже складно. Якщо не буде вжито заходів, імовірність краху екосистемного постачання очевидна. Тому вже сьогодні абсолютно необхідно знайти відповідне рішення.

Зміни глобального клімату залежать від таких найважливіших факторів:

1) зростання чисельності населення світу, зокрема Північної Америки, де промислові викиди становлять 20 т на душу населення (порівняно з 1 т на душу населення в Африці);

2) темпи зростання світової економіки;

3) ціни на паливні ресурси;

4) розробка та впровадження енергозберігаючих технологій.

На Землі за останнє століття спостерігаються **явні ознаки потепління**. *Одинадцять з останніх дванадцяти років (1995—2006) входять до числа 12 найтепліших років за час зафіксованих документальних спостережень глобальної температури поверхні (з 1850).* Зміна клімату, імовірно, впливає на екологічні регуляторні системи, що призводить до зростання інтенсивності екстремальних погодних явищ у багатьох регіонах Землі та збільшення стихійних лих для більшості населення світу. Під час урагану Катріна в США 2005 року люди, що не мали особистого транспорту, не могли покинути місто. Люди з проблемами здоров'я або фізично ослаблені мали значно менше шансів вижити в цунамі в Індійському океані

2004 року. У селах Північної Азії в Індонезії серед померлих було понад 80 % жінок. У Шрі-Ланці також спостерігався високий коефіцієнт смертності серед інших уразливих груп: дітей і літніх людей.

Зміна клімату відбувається внаслідок **зростання концентрації CO₂**, що надходить в атмосферу при спалюванні палива, виробництві цементу та спалюванні газу у факелах. Світове зростання викидів вуглекислого газу відбувається, в основному, у результаті **використання викопного палива, що покриває 82 % світової потреби в енергії (дані 2004 р.)**. Традиційна біомаса (деревина та гній) залишається важливим джерелом енергії у країнах, що розвиваються, у яких 2,1 млрд людей використовують її для опалення та приготування їжі.

Концентрація CO₂ в атмосфері в 1997 р. досягла **360 частин на мільйон, викиди збільшилися учетверо порівняно з 1950 р.** Середньорічні темпи збільшення викидів CO₂ складають близько 1,3 %, і зростання відбувається в усіх регіонах світу (крім Європи та країн СНД). Це свідчить про неминучу глобальну зміну клімату, що може призвести до непередбачуваних екологічних і соціально-економічних наслідків.

За прогнозами, концентрація CO₂ на рівні **550 частин на мільйон призведе до підвищення температури на 2,0—5,5 °С**. Для негайної стабілізації концентрації цього газу необхідно скоротити викиди на 50—70 %, що абсолютно неможливо. Згідно з середньостроковим сценарієм Міжурядової групи ВМО/ЮНЕП щодо зміни клімату (МГЗК), до **2100 р. середні глобальні температури підвищаться на 2—3 °С**, що буде найбільш значним потеплінням за останні 10 тис. років. Середній рівень Світового океану підніметься на 50 см, що призведе до переселення мільйонів людей із дельт і ймовірно знищить деякі островні держави. У країнах із помірним кліматом збільшиться виробництво сільськогосподарської продукції, у той час як у тропічних і субтропічних країнах посиляться нестача продовольства. Збільшиться тривалість і частота як паводків, так і засух. Тепліший клімат розширить ареали проживання переносників інфекцій, що призведе до **збільшення захворюваності населення**.

Світова потреба в енергії продовжує рости, піддаючи природні ресурси та навколишнє середовище все більшому навантаженню. За майже три десятиліття світова потреба в первинній енергії щорічно збільшувалася на 2,1 %, з 5 566 млн т у перерахунку на нафту в 1971 році до 11 204 млн т у 2004 році. Понад дві третини цього збільшення обумовлено країнами, що розвиваються. У 2004 році споживання первинної енергії

на душу населення в країнах ОЕСР все ще було удесятеро вищим, ніж у південній частині Сахари. Загальний внесок більш чистих джерел енергії, таких як сонячна енергія та енергія вітру, все ще залишається мінімальним. Необхідність заборони, врегулювання зростання потреби в енергії, збільшення різноманіття палива та зменшення дестабілізуючих кліматичних викидів як ніколи на часі.

Збереження стратосферного озону. Вважається, що основною причиною руйнування озонового шару є споживання хлорфторвуглеців (ХФВ) — найпоширеніших з озоноруйнівних речовин (ОРР). Одним із головних негативних наслідків руйнування озонового шару є зростання захворюваності на рак шкіри, хвороби очей та імунної системи. Завдяки відмові від використання ХФВ у розвинених країнах потреба в цих речовинах скоротилася з 1,1 млн т у 1986 р. до 160 тис. т у 1996 р. Наслідком цього стало скорочення ОРР у нижніх шарах атмосфери починаючи з 1994 р.; вважається, що до 2050 р. озоновий шар відновиться на рівні 1980-х років. А до 2060 р. ризик захворювань також почне знижуватися. Між руйнуванням озонового шару та потеплінням клімату встановлено зворотний зв'язок. *Втрати стратосферного озону призвели до охолодження нижніх шарів атмосфери, що компенсувало приблизно 30 % ефекту потепління.* Тому відновлення озонового шару прискорить процеси потепління у перспективі.

Токсичні хімікати та небезпечні відходи. Їх джерела — всі види людської діяльності, особливо хімічні виробництва, енергетика, целюлозно-паперова, гірничодобувна, легка промисловість. Токсичні хімікати здійснюють багатоаспектний вплив на здоров'я людини та стан екосистем, включаючи пряму шкоду здоров'ю та генетичні відхилення. Найнебезпечніші — важкі метали (Плюмбум, Гідраргум, Вольфрам, Ванадій, Кадмій) і стійкі органічні забруднювачі (ДДТ, альдрин, дільтрин, гептахлор тощо). Пестициди та органічні забруднювачі — причина порушення дії ендокринної, імунної, репродуктивної, неврологічної, гормональної систем людини. Особливо сильний вплив мають токсичні хімікати та небезпечні відходи на здоров'я дітей, викликаючи численні порушення функцій, у тому числі порушуючи розумову діяльність і соціальну адаптацію.

На початку 1990-х років обсяг вироблених в усьому світі небезпечних відходів становив близько 400 млн т на рік, з яких у країнах ОЕСР (Організація економічного співробітництва та розвитку, що включає 30 економічно розвинених країн) вироблялося 300 млн т. Посилення заходів контролю та регулювання призвело до зростання витрат на видалення

відходів, що зробило вигідним **експорт відходів у країни, що розвиваються**. У цілому ситуація із забрудненням токсичними хімікатами та небезпечними відходами нині стабілізується: знижується емісія важких металів, поліпшується очищення стічних вод і технології спалювання сміття. Однак при поліпшенні ситуації у короткостроковій перспективі середньострокові та довгострокові наслідки забруднення залишаються вельми небезпечними.

Стихійні лиха. До них включають землетруси, виверження вулканів, пожежі, повені, урагани, тропічні шторми, зсуви та інші явища, що призводять до загибелі людей і економічних збитків. Серед стихійних лих найчастіші — урагани (240 на рік) та повені (170 на рік) — на них припадає 85 % усіх матеріальних збитків. Останніми роками помітно зросла інтенсивність повеней, що пов'язано з глобальними змінами клімату та надмірною зарегульованістю стоку річок. Повені 2002 і 2003 рр. в Європі призвели до незначних людських втрат, але колосального економічного збитку (5—10 млрд доларів). За останні три десятиліття від стихійних лих загинуло 3 млн чоловік, а десятки мільйонів залишилися без засобів до існування. Тенденція намічається у збільшенні кількості стихійних лих і збільшенні тяжкості їхніх наслідків.

Ель-Ніньо. Даний термін використовується для позначення виникнення потеплілих течій у східній частині Тихого океану, пік якого припадає на Різдво. У 1997—1998 рр. Ель-Ніньо характеризувався швидким розвитком і підвищенням температури на 2—5 °С вище норми. Глобальна температура підвищилася у середньому на 0,44 °С. В Екваторіальній Африці та на заході США це викликало значні опади та повені. У Бразилії, на півдні Африки та в Індонезії — найсильніші посухи. Сумарний економічний збиток перевищив 15 млрд доларів. Явище Ель-Ніньо стає все частішим і масштабнішим. Тому у середньостроковій перспективі слід очікувати посилення негативного впливу Ель-Ніньо на стан глобального природного середовища та світової економіки.

Виснаження земельних, лісових ресурсів і скорочення біорізноманіття. Деградація ґрунтів вразила приблизно 1,9 млрд га земель по всьому світу, із них приблизно 550 млн га — в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, 500 млн га — в Африці та 300 млн га — у Латинській Америці. Отже, у найбільшій частині світу деградація земель набула загрозливих масштабів. Не менш серйозні проблеми пов'язані з деградацією лісових ресурсів. У світі щорічно зникає 11 млн га лісів, із них половина — у Латинській

Америці. Головна причина зникнення лісів — сільсько-господарське освоєння територій та лісозаготівлі. Деревина також залишається єдиним джерелом енергії у багатьох країнах, що розвиваються. Істотний вплив на зменшення лісів справляють лісові пожежі. В кінці 1990-х років у Південно-Східній Азії та Бразилії вони сталися на площі близько 8 млн га і зачепили життєво важливі інтереси 20 млн чол. А сумарний збиток здоров'ю людей був оцінений в 1,4 млрд доларів. Внаслідок горіння лісів, саван, сільськогосподарських відходів, паливної деревини та деревного вугілля щорічно в атмосферу потрапляє близько 4 млрд т Карбону, що становить 40 % його сумарних глобальних викидів. Зміни у структурі та складі лісів ведуть до істотного скорочення біорізноманіття. Особливо це стосується лісів Амазонії, Південно-Східної Азії та інших екваторіальних територій. На сьогодні під загрозою зникнення перебувають понад 7 тисяч видів тварин і майже 60 тисяч видів рослин. Скорочення біорізноманіття звужує генетичні ресурси та стійкість тварин і рослин до впливу факторів навколишнього середовища, включаючи збудників захворювань. Інтенсивне сільськогосподарське виробництво США та Європи вже зіткнулося з цією проблемою, з'явилися спалахи небезпечних захворювань (ящур, коров'ячий сказ). У 1992 році на Всесвітньому саміті з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро прийнято Конвенцію про біологічне різноманіття. Її ратифікували 188 країн, і, таким чином, вона стала одним з найбільш представницьких міжнародних договорів. У 2000 році світові лідери прийняли Декларацію тисячоліття, в якій визначили цілі розвитку в XXI столітті у восьми областях. Одна із цих цілей спрямована на скорочення темпів втрати біорізноманіття.

Скорочення обсягів чистої води. Незважаючи на те, що доступ до чистої води та санітарні умови були поліпшені, у 2002 році понад 1,1 млрд людей потребували чистої води і 2,6 млрд — поліпшення санітарних умов. *Якщо існуючі моделі споживання не зміняться, до 2025 р. кожні двоє з трьох жителів Землі потерпатимуть від нестачі прісної води.* Крім буквальної нестачі води, продовжує погіршуватися її якісний склад. Концентрація фекальних бактерій у річках Азії у 50 разів перевищує стандарти ВООЗ. У світовому масштабі забруднена вода впливає на здоров'я 3 млрд чол. і щорічно є причиною смерті 15 млн дітей у віці до п'яти років. 1,8 млн дітей щорічно помирають від діареї — другим за поширеністю у світі захворюванням, що призводить до дитячої смертності. На частку сільського господарства припадає

70 % споживання прісної води. Однак частки промисловості та комунально-побутового господарства збільшуються, що посилює конкуренцію за використання прісних вод і вимагає впровадження нових технологій і механізмів розподілу водних ресурсів. Загальна тенденція використання ресурсів прісних вод полягає у наростаючому виснаженні їх запасів і погіршенні якості. Ця тенденція характерна навіть для розвинених країн.

Стан атмосфери. Прийняття Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великій відстані привело до значного скорочення викидів окислювальних газів у розвинених країнах. Так, в Європі викиди діоксиду Сульфуру знизились наполовину. Проте в Азії викиди наростають загрозливими темпами, особливо в Китаї та Японії. В усіх регіонах світу рівень атмосферного забруднення буде визначатися у подальшому чотирма факторами: розвитком енергетики, індустрії, транспорту та горінням біомаси. За прогнозами, *випуск продукції до 2050 р. подвоїться, а попит на енергію зросте утричі.* Якщо країни, що розвиваються, будуть слідувати стандартній стратегії індустріалізації, то викиди забруднюючих речовин значно збільшаться, а слідом за ними — і темпи деградації навколишнього середовища в Азії, Латинській Америці та Африці.

Урбанізація. В усьому світі триває урбанізація, особливо у країнах, що розвиваються, де міграція із сільських місцевостей продовжує підживлювати міське зростання. *До кінця 2007 року уперше в історії у містах стало жити більше людей, ніж у сільській місцевості.* У Північно- та Південно-Східній Азії міське населення збільшилося з 28—29 % у 1986 році до 44 % у 2005-му і, за прогнозами, досягне 59 % до 2025 року. У деяких місцях площа міст збільшується швидше, ніж населення: процес, відомий, як зростання міської території. Наприклад, у період з 1970 по 1990 рік загальна площа 100 найбільших міських територій США збільшилася на 82 %. І тільки половина цього збільшення обумовлена зростанням чисельності населення. Зростаюча кількість мешканців міст живе в незадовільних житлових умовах, основні комунікації в яких частково або повністю відсутні. У багатьох африканських містах, розташованих на південь від Сахари, імовірність смерті дітей від інфекцій, які передаються через воду, або респіраторних захворювань більша, ніж у сільських дітей. На 2005 рік кількість мешканців найбідніших районів склала майже 1 млрд осіб. Міграція та урбанізація комплексно пов'язані зі змінами навколишнього середовища. Деякі з причин міграції — стихійні лиха та деградація земель і місцевих екосистем.

Міста — основні споживачі енергії, ресурсів і головні джерела забруднення навколишнього середовища. Екологічні «сліди» міст набагато перевищують їх власну територію (наприклад, для Лондона відзначається перевищення у 125 разів). Скупченість населення, від якого відстає розвиток транспортної та інженерної інфраструктури, використання всіх міських земель під забудову, розвиток промислових зон призводять до наростаючого екологічного дискомфорту, зростання захворюваності та смертності населення. Забруднення повітря в містах — одна з найпоширеніших екологічних проблем, які впливають на здоров'я людей майже в усіх регіонах світу. Хоча забруднення повітря у багатьох промислово розвинених країнах зменшилося, в інших регіонах (особливо в Азії) воно зросло. Там швидке зростання населення, економічний розвиток і урбанізація супроводжували збільшення використання викопного палива та погіршення якості повітря.

Забруднення як усередині, так і зовні приміщень. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), понад 1 млрд людей в азіатських країнах потерпають від забруднення повітря, рівень якого перевищує допустимі значення. У 2002 році, за даними ВООЗ, понад 800 000 людей передчасно померли через атмосферне забруднення ТЧ₁₀ (тверді часточки, діаметром менше 10 мкм) і 1,6 млн — через забруднення повітря ТЧ₁₀ усередині приміщень. Очевидно, що урбанізація країн світу, які розвиваються, буде погіршувати стан навколишнього середовища. Тим не менше, тенденції розвитку приміських зон у США та Європі показують можливість вирішення екологічних проблем при достатньому фінансуванні.

Забруднення прибережних зон і руйнування екосистем. Більше третини населення Землі живе в межах 100 км від морських узбереж (у Латинській Америці — 60 %). *Населення прибережних районів, за прогнозами, до 2025 року досягне 6 млрд.* Тому не менше 50 % усіх забруднень надходить у прибережну зону, яка забруднена Нітрогеном, важкими металами, органічними сполуками. Додаткові джерела забруднення — морський транспорт (особливо нафтові танкери), морський видобуток корисних копалин. Разом із зростанням вилову риби (з 50 млн т у 1975 р. до 97 млн т у 1995 р.) забруднення призводить до виснаження рибних запасів. Майбутнє прибережних зон і рибних запасів пов'язане з розвитком аквакультури, яка може запропонувати економічно ефективно використання прибережних зон і виступити захисником морських екосистем.

Демографічна ситуація. Щорічне зростання світового населення зменшилося з 1,7 % у 1987-му до 1,1 % у 2007 році. Пояснити ці зміни чисельності населення може демографічний зсув, зміна темпів народжуваності та смертності від високих до низьких. У результаті економічного розвитку коефіцієнти народжуваності падають у всіх регіонах. У 2000—2005 роках коефіцієнт народжуваності у світі склав 2,7 дитини на жінку порівняно з 5,1 дітей на жінку 50 років тому. У кінцевому рахунку, рівень народжуваності може впасти навіть нижче двох, коефіцієнта заміщення покоління, що призведе до скорочення населення світу. На цій стадії знаходяться деякі європейські країни, населення яких старішає.

Тривалість життя. Середня тривалість життя у багатьох частинах Африки за останні 20 років зменшилася, частково в результаті пандемії СНІДу. З 1981 року, коли був виявлений перший випадок захворювання на СНІД, померло понад 20 млн чоловік у всьому світі. Встановлено, що у 2005 році 39,5 млн дорослих і дітей жили з ВІЛ, 24,7 млн із них — в африканських країнах на південь від Сахари. У країнах, які взяли на себе основний удар захворювання, пандемія призвела до зменшення середньої тривалості життя, скорочення кількості здорових сільськогосподарських робітників, зростання бідності.

За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я, нині стан навколишнього середовища — причина чверті всіх захворювань, що їм можна запобігти. У першу чергу це стосується таких чинників, як забруднена вода, незадовільні санітарно-гігієнічні умови, задимленість, вплив переносників хвороб, які щорічно стають причиною смерті близько 3 млн чоловік, у тому числі 2 млн через малярію. Хімічне забруднення загострює перебіг таких хвороб, як туберкульоз, бронхіт, серцево-судинні та онкологічні захворювання, астма. Застосування пестицидів — причина 3,5—5,0 млн випадків гострих отруєнь на рік. Зміни в навколишньому середовищі також призводять до виникнення хвороб. З 1980 року спалахнули знову понад 35 інфекційних захворювань. У це число входять як раніше невідомі, нові захворювання, такі як ВІЛ, атипова пневмонія та пташиний грип (H5N1), так і захворювання, які раніше вважалися виліковними (лихоманка денге, малярія та бубонна чума). До розвитку епідемій призвели зміни навколишнього середовища, спричинені людиною, такі як зміни клімату, зміни у землекористуванні та взаємодія з дикою природою. Дикі тварини — ссавці, птахи та рептилії контактують із безліччю інших видів і з незліченною кількістю

людей, що збільшує ризик передачі хвороб. Зауважимо, що протягом епідемії атипової пневмонії 2003 року дехто з перших хворих у китайській провінції Гуандун займалися торгівлею або приготуванням м'яса диких тварин для їжі. Спочатку хвороба могла бути передана людині від африканських кажанів на місцевих ринках диких тварин. Атипова пневмонія швидко поширилася шляхом авіасполучення в 25 країн по п'яти континентах. Спалах хвороби може швидко перерости у світову епідемію, адже понад 700 млн людей щорічно подорожують повітряним транспортом.

Встановлено, що щорічно люди, які живуть в районі річки Конго, споживають від 1,1 до 3,4 млн тонн м'яса диких тварин, у тому числі горил або шимпанзе. З 2000 по 2003 р. 13 із 16 спалахів лихоманки Ебола в Габоні та Республіці Конго сталися в результаті оброблення туш. Торгівля м'ясом дичини, комерційне полювання на диких тварин для отримання м'яса призвели до винищення популяції довгоживучих видів, що знаходяться під загрозою зникнення, наприклад шимпанзе. Оскільки масштаби торгівлі по суті глобальні, м'ясо приматів було виявлене навіть на ринках Парижа, Лондона, Брюсселя, Нью-Йорка, Чикаго, Лос-Анджелеса, Монреалю та Торонто. Контакт із кров'ю та рідинами приматів під час полювання та забою збільшує для людей загрозу нових вірусів. Збільшення захворюваності та смертності, пов'язане зі станом навколишнього середовища, має очевидну тенденцію до зростання.

Таким чином, економічні та соціальні наслідки негативного впливу на навколишнє середовище дуже значні, вимагають негайного прийняття комплексних заходів щодо вирішення проблем. Існуючі тенденції глобальної зміни навколишнього середовища такі, що стан усіх його компонентів (клімату, екосистем, земельних і рослинних ресурсів тощо) продовжує погіршуватися. Для Європи та Північної Америки спостерігається стабілізація стану навколишнього середовища, проте економічний розвиток азіатських, латиноамериканських і африканських країн за рахунок екстенсивних (ресурсних) факторів погіршує стан глобального навколишнього середовища, що перекриває позитивний ефект, досягнутий у розвинених країнах. Сумарний щорічний збиток, нанесений світовій економіці, може бути оцінений у сотні мільярдів доларів, що робить економічно обґрунтованими заходи для збереження середовища існування. Ще більша шкода пов'язана з погіршенням здоров'я населення планети.

13.2.3. Антропогенне та техногенне навантаження на навколишнє середовище в Україні

Згідно з текстом Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» від 21.12.2010 р. № 2818-VI антропогенне та техногенне навантаження на навколишнє середовище в Україні в декілька разів перевищує відповідні показники в розвинених країнах світу. Тривалість життя в Україні становить у середньому близько 70 років (у Швеції — 80, у Польщі — 74). Значною мірою це обумовлено забрудненням навколишнього середовища в результаті здійснення виробничої діяльності підприємствами гірничодобувної, металургійної, хімічної промисловості та паливно-енергетичного комплексу.

Атмосферне повітря. Основними причинами незадовільного стану якості атмосферного повітря в населених пунктах є:

- недотримання підприємствами режиму експлуатації пилогазоочисного обладнання;
- нездійснення заходів щодо зниження обсягу викидів забруднюючих речовин;
- низькі темпи впровадження новітніх технологій;
- значне збільшення кількості транспортних засобів, зокрема тих, що вичерпали термін придатності.

За даними державної статистичної звітності 2009 року, основними забруднювачами атмосферного повітря є **підприємства переробної та добувної промисловості і підприємства електро- та теплоенергетики** (відповідно 31 і 21 та 40 % загального обсягу викидів забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення). Викиди забруднюючих речовин пересувними джерелами становлять 39 % загальної кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Викиди забруднюючих речовин **автомобільним транспортом** становлять 91 % від кількості забруднюючих речовин, яка викидається пересувними джерелами.

До забруднюючих речовин, що переважно викидаються в атмосферне повітря, належать **оксид Нітрогену, оксид Карбону, діоксид та інші сполуки Сульфуру, пил.**

Протягом останніх років у промислово розвинених містах в атмосферному повітрі постійно реєструвалася наявність до 16 поліциклічних ароматичних вуглеводнів, з яких 8 — канцерогени, груп нітрозамінів (нітрозодіметиламін і нітрозодіетиламін) і важких металів (Хром, Нікель, Кадмій, Плюмбум, Берилій). При цьому в обсягах забруднення хімічними канцерогенами найбільшу питому вагу мають сполуки класу поліциклічних ароматичних вуглеводнів.

У цілому канцерогенний ризик в 2009 році досяг 6,4—13,7 випадків онкологічних захворювань на 1 тисячу осіб, що значно перевищує міжнародні показники ризику.

Відходи та небезпечні хімічні речовини. Протягом 2009 року в результаті здійснення суб'єктами господарювання виробничої діяльності утворилося 1,2 млн т відходів I—III класів небезпеки. Основна частина цих відходів (0,9 млн т, або 75 % загального обсягу) віднесена до III класу небезпеки, а відходи I—II класів небезпеки складають відповідно 3,8 і 299,2 тис. т.

Гостра проблема — утилізація побутових відходів. Питомі показники утворення відходів у середньому становлять 220—250 кг на рік на одну людину, а у великих містах досягають 330—380 кг на рік відповідно. Тверді побутові відходи в основному захоронюються на 4157 звалищах і полігонах загальною площею близько 7,4 тис. га і лише близько 3,5 % твердих побутових відходів спалюються на сміттєспалювальних заводах. За розрахунками, близько 0,1 % побутових відходів небезпечні.

Значною загрозою для навколишнього середовища та здоров'я людини є медичні відходи, що містять небезпечні патогенні та умовно патогенні мікроорганізми. Щорічно утворюється приблизно 350 тис. т медичних відходів, що становлять потенційний ризик поширення інфекцій.

Останніми роками спостерігається тенденція до збільшення обсягу утворення та вивезення на полігони твердих побутових відходів. Обсяг вивезених твердих побутових відходів, який у 2009 році досяг 50,1 млн м³, збільшується щороку майже на 4 млн м³. У 2009 році послугами зі збору твердих побутових відходів охоплено тільки 72 % населення.

Серед твердих побутових відходів збільшується частка відходів, які не піддаються швидкому розпаду та потребують значних площ для зберігання. Кількість перевантажених звалищ складає 243 одиниці (5,8 % їх загальної кількості), а 1187 одиниць (28,5 %) — не відповідають нормам екологічної безпеки.

На кінець 2009 року в Україні на 2987 складах накопичено понад 20 тис. т непридатних пестицидів, більше половини яких — невідомі суміші високотоксичних пестицидів, що належать до переліку стійких органічних забруднювачів ООН.

Поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки в країні передбачає широкий комплекс заходів відповідно до Керівних принципів сталого просторового розвитку Європейського континенту (Ганновер, 2000 р.).

Щодо атмосферного повітря планується зменшення обсягу викидів загальнопоширених забруднюючих речовин:

- стаціонарними джерелами до 2015 року на 10 %, до 2020 року — на 25 % базового рівня;
- пересувними джерелами шляхом встановлення нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах до 2015 року відповідно до стандартів Євро-4, до 2020 року — Євро-5.

Будуть встановлені цільові показники вмісту небезпечних речовин в атмосферному повітрі, зокрема для важких металів, неметанових летких органічних сполук, зважених часток пилу (діаметром менше 10 мкм) і стійких органічних забруднюючих речовин із метою їх урахування при встановленні технологічних нормативів викидів забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення. Відповідно до міжнародних зобов'язань України в рамках Кіотського протоколу проводиться оптимізація структури енергетичного сектора національної економіки шляхом збільшення обсягу використання енергетичних джерел із низьким рівнем викидів CO₂ до 2015 року на 10 % і до 2020 року на 20 %.

Охорона водних ресурсів передбачає, насамперед, упровадження інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом. Реконструкція існуючих і будівництво нових міських очисних споруд дозволить знизити до 2020 року на 15 % рівень забруднення вод (насамперед органічними речовинами, сполуками Нітрогену та фосфору), а також зменшити до 2020 року на 20 % скидання недостатньо очищених стічних вод, виконати в повному обсязі нормативні вимоги до джерел централізованого питного водопостачання. Заходи щодо зниження рівня забруднення морських вод і територіального моря дозволять до 2020 року запобігти зростанню антропогенного впливу і відновити унікальні екосистеми Чорного та Азовського морів.

Охорона земель і ґрунтів приведе до зменшення до 2020 року в середньому на 5—10 % площ орних земель за рахунок схилів крутизною понад 30°, земель водоохоронних зон, консервації деградованих і малопродуктивних та техногенно забруднених сільськогосподарських угідь із подальшим їх залісненням у лісовій і лісостеповій зонах та залуженням у степовій зоні. Ліси — опора життя в біосфері. Планується великомасштабне збільшення до 2020 року площі озеленення до 17 % території держави шляхом відновлення лісів і лісорозведення на земельних ділянках лісового фонду, створення захисних лісових насаджень на землях сільськогосподарського призначення та землях, відведених для заліснення, відновлення та створен-

ня нових лісових поєзахисних смуг. На землях, порушених при проведенні гірничих робіт, у результаті здійснення виробничої діяльності підприємствами хімічної, гірничодобувної, нафтопереробної промисловості буде проведена рекультивация та екологічна реабілітація на площі не менше 4,3 тис. га. Тут може бути використаний унікальний досвід лісової рекультивации порушених земель вчених Дніпропетровського національного університету — чл.-кор. НАНУ, проф. Травлєєва А. П., проф. Белової Н. А., Зверковського В. М., Булахова В. Л. та ін.

Для припинення втрат біологічного та ландшафтного різноманіття на період до 2015—2020 рр. ставляться такі завдання:

- створення системи заходів із контролю за видами-вселенцями в екосистемах, у тому числі морських;
- розвиток методології та подальше застосування вартісної оцінки екосистемних зон;
- доведення площі національної екомережі до рівня 41 % території країни;
- розширення площі природно-заповідного фонду до 15 % загальної території країни.

Виконання наведених масштабних завдань дозволить поліпшити стан навколишнього природного середовища до рівня, безпечного для життєдіяльності населення, з урахуванням європейських стандартів якості навколишнього природного середовища.

13.3. Міжнародні та державні програми і законодавчі акти в галузі збереження середовища та раціонального використання природних ресурсів

Основна ідея. Різке загострення відносин людини та природи обумовило необхідність розроблення і впровадження міжнародних природоохоронних програм (міжнародна біологічна програма, людина і біосфера, збереження біорізноманіття та ландшафтів, червоні списки рослин і тварин), а на їх основі — угод і конвенцій, які б сприяли збереженню природних ресурсів планети. Україна — учасник практично всіх цих міжнародних заходів, ідеї яких знаходять своє відображення в національних програмах і природоохоронних законах України. Основні засади природоохоронної політики України знайшли своє відображення в Стратегії державної екологічної політики України на період до 2020 року, яка має статус Закону України.

Смислові зв'язки. Міжнародні природоохоронні програми — міжнародні угоди та конвенції — ратифікація Украї-

ною міжнародних угод і конвенцій — національні програми та природоохоронні закони України — Стратегія державної екологічної політики України на період до 2020 року.

Ключові терміни. Міжнародна біологічна програма, людина і біосфера, червоні списки, біорізноманіття, конвенція, Червона книга України, Зелена книга України, Стратегія державної екологічної політики України, принципи національної екологічної політики.

Мета — описати взаємозв'язки між міжнародними природоохоронними програмами й розробленими на їх основі конвенціями та угодами і системою природоохоронних нормативно-правових актів України та Стратегією державної екологічної політики України на період до 2020 року.

13.3.1. Міжнародні програми та постанови про збереження природних ресурсів

Міжнародні програми та постанови про збереження природних ресурсів — міжнародна біологічна програма, людина та біосфера, збереження біорізноманіття та ландшафтів, червоні списки рослин і тварин.

Відносини суспільства і природи, які загострилися в середині ХХ ст., вимагали проведення глибоких досліджень на загальнопланетарному рівні, що знайшло відображення в Міжнародній біологічній програмі (МБП), яка була розпочата в 1964 і тривала до 1971 р. Основним її завданням було дослідження біопродуктивності рослин (наземних, прісноводних і морських) як природних, так і створених людиною екосистем, закономірності їх розподілу з метою раціонального використання.

У 1974 р. ЮНЕСКО проголосила нову програму «Людина і біосфера» (МAB), яка включала чотирнадцять проєктів. Головне її завдання полягало у вивченні впливу господарської діяльності на стан, динаміку та корисні функції наземних і водних екосистем і біосферу в цілому. Відмінність цієї програми від попередньої полягала в її комплексності, охопленні не лише екосистем, а й економічних та соціальних аспектів. Для її виконання створено національні комітети у 102 країнах. Керівний орган програми — Міжнародна координаційна рада (МКР), до складу якої входять представники 34 країн, обраних на Генеральних конференціях ЮНЕСКО, що збираються на щорічних сесіях. У період між сесіями поточну роботу виконує бюро. Програма стимулювала розвиток екологічного руху у різних країнах світу, що вплинуло на формування людської свідомості та на керівництво держав. Зокрема, виникли



Рис. 13.4. Біосферний резерват «Розточчя» (Львівська область)

такі міжнародні благодійні організації, як «За наше спільне майбутнє» та інші.

Спершу в межах національних програм МАБ-комітетів було розпочато 14 проектів, які охоплювали вивчення різних типів екосистем, а також соціальні проблеми. Пізніше, з 1974 р., діяльність почала зосереджуватися на формуванні репрезентативної системи Всесвітньої мережі біосферних резерватів, що слугують полігонами комплексних досліджень, моніторингу. Якщо в 1970-ті роки головним завданням для біосферних резерватів вважалася охорона природних ресурсів, то після Конференції ООН у Ріо-де-Жанейро (1992) *сформульовано нову парадигму — збереження біорізноманіття — від внутрішньовидового до екосистем, підтримки якості навколишнього середовища на засадах принципів сталого розвитку*. Це знайшло відображення у таких програмних документах, як Севільська стратегія для біосферних резерватів, Мадридський план дій (Мадрид, 2008).

Біосферні резервати, за Севільською стратегією, хоча і формуються на базі певної природоохоронної території, що є їх ядром, але включають природні буферні та транзитні антропогенно змінені зони. Мета їх створення полягає не тільки у збереженні природних культурних цінностей, а й у використанні як моделей забезпечення сталого розвитку

регіону: відповідного землеустрою, збереження традиційної системи ведення сільського господарства, національної спадщини та забезпечення туризму.

У результаті було окреслено **функції біосферних резерватів**, які полягають у наступному:

- збереження та захист генетичних ресурсів, видів, екосистем і ландшафтів;
- підтримання наукових і освітніх проектів щодо проведення досліджень, екологічного моніторингу;
- наукове та матеріально-технічне забезпечення сталого розвитку.

У Мадридському плані дій, розрахованому до 2013 р., визначені такі **чотири цілі біосферних резерватів**:

- дослідження питань збереження та використання біорізноманіття, пом'якшення наслідків змін клімату, адаптації до них, забезпечення соціально-економічного, культурного добробуту людського суспільства;
- активне використання біосферних резерватів як навчальних осередків для забезпечення сталого розвитку регіонів на основі співробітництва науковців, політиків, населення з метою поліпшення екологічних, економічних і соціальних умов;
- збір, зіставлення, узагальнення, поширення інформації про досвід програм МАБ ЮНЕСКО;
- підготовка нового покоління кадрів, менеджерів, здатних забезпечити координацію, управління, діяльність біосферних резерватів на засадах сталого розвитку (вчених, політиків і представників влади).

У Дрездені у 2011 р. прийнято **Декларацію про біосферні резервати та зміни клімату**, що включає 19 пунктів, із яких відмітимо лише чотири:

- організувати належні законодавчі, адміністративні та інституційні механізми на національному або місцевому рівні для біосферних резерватів, надати їм відповідні повноваження, забезпечити відповідне фінансування і персонал для адміністрування та виконання відповідних функцій;
- підтримувати проблемно-орієнтовані, міждисциплінарні та прикладні дослідження, моніторинг і оцінку місцевих даних щодо змін клімату та його впливу на природу біосферних резерватів, використання результатів цих знань у національних і міжнародних науково-дослідних програмах, проектах;
- активізувати зусилля на використання біосферних резерватів як навчальних об'єктів для забезпечення сталого розвитку, збереження біорізноманіття, розв'язання екосистемних і економічних проблем;

- розвивати всесвітню мережу біосферних резерватів як один із ключових об'єктів ЮНЕСКО: полігонів досліджень для кращого розуміння наслідків змін клімату на людське суспільство, культуру та біотичне різноманіття, екосистемні процеси, світової природної та культурної спадщини, а також розглянути можливість включення біосферних резерватів у глобальні скоординовані міждисциплінарні дослідницькі програми щодо зміни клімату.

Велику увагу приділяє МАБ ЮНЕСКО **організації транс-кордонних біосферних резерватів**. Останні забезпечують міжнародне співробітництво, обмін досвідом, інформацією, формування міждержавних екомереж із метою збереження біорізноманіття у природних зонах. **На 2010 р. у світі створено 563 біосферних резервати у 102 країнах**, найбільше їх створено в таких країнах, як США (48), Іспанія (41), Мексика (40), Російська Федерація (39), Китай (28).

Глобальний вплив антропогенного фактора, який діє протягом декількох тисячоліть, досяг таких масштабів, що викликає руйнацію довкілля та суттєві зміни його компонентів, зокрема і біотичної складової. Останнє проявляється у знищенні популяцій, скороченні ареалів аж до повного знищення видів, а відтак втрати генофонду. У ХХ—ХХІ ст. ці процеси набирають все загрозливіших масштабів. *За даними МСДП, за останні 500 років вимерло 844 види рослин і тварин, а зараз понад 22 тис. видам організмів загрожує вимирання, серед яких кожний третій вид — амфібія, кожен четвертий — хвойна рослина та ссавці, кожен восьмий — птахи.*

Тому питання збереження біорізноманіття — одне із найактуальніших, що знаходить відображення у ряді юридичних документів. Такими документами є червоні списки, зокрема, **Світовий червоний список Міжнародної спілки охорони природи (IUCN) та Європейський червоний список, а також списки Бернської конвенції**.

Міжнародні природоохоронні конвенції та угоди, до яких приєдналась Україна, охоплюють велике коло екологічних проблем, із них найвідоміші та найважливіші:

- Конвенція про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовище існування водоплавних птахів (Рамсар, 1971);

- Конвенція про охорону всесвітньої культурної та природної спадщини (Париж, 1972);

- Конвенція про збереження мігруючих видів диких тварин (Бонн, 1979);

- Конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої фауни та флори, що перебувають під загрозою зникнення (Вашингтон, 1979);
- Конвенція про охорону дикої флори, фауни та природних середовищ існування в Європі (Берн, 1979);
- Європейська конвенція про основні принципи транскордонного співробітництва між територіальними общинами або органами влади (Мадрид, 1980).
- Угода про збереження популяцій європейських кажанів (Лондон, 1991);
- Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті (Еспоо, 1991);
- Конвенція про біологічне різноманіття (Ріо-де-Жанейро, 1992);
- Угода про збереження афро-євразійських мігруючих водно-болотних птахів (Гаага, 1995);
- Конвенція про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер (Гельсінкі, 1992);

13.3.2. Законодавчі акти України про збереження природи

На збереження та оздоровлення навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів спрямоване природоохоронне законодавство. Охорона навколишнього природного середовища здійснюється різними засобами, у тому числі і правовими. *Правова охорона навколишнього природного середовища — сукупність правових норм, встановлених державою і спрямованих на виконання заходів щодо збереження і оздоровлення навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки тощо.* Завдання правової охорони навколишнього середовища полягає у регулюванні відносин у галузі його охорони, використання та відновлення шляхом закріплення в законодавстві обов'язкової для всіх міри належної поведінки щодо середовища проживання. Сучасними нормативно-правовими актами, що регулюють *основи організації охорони навколишнього природного середовища*, є *Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про тваринний світ», «Про охорону атмосферного повітря», «Про карантин рослин», «Про природно-заповідний фонд України» та інші, а також відповідні кодекси (земельний, водний, лісовий).*

Важливе місце у системі законодавчих актів про охорону природи займає Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», прийнятий 25.06.1991 року, що

визначає правові, економічні та соціальні основи організації охорони навколишнього природного середовища. Домінуюче положення цього закону зумовлене тим, що він регулює екологічні відносини на базі єдиних для всього екологічного права принципів і правил. У ньому вперше в законодавчому порядку отримали самостійне закріплення **екологічні права та обов'язки громадян**, екологічна експертиза, засоби забезпечення екологічної безпеки. Закон визначає державну, громадську та інші види експертизи, закріплює обов'язковість її проведення у процесі законотворчої, інвестиційної, управлінської, господарської та іншої діяльності, що впливає на стан навколишнього природного середовища. В окремі розділи закону включені норми, які регламентують використання природних ресурсів, контроль і нагляд, а також економічний механізм забезпечення охорони навколишнього природного середовища.

В Україні, як і в ряді інших країн, за аналогією з міжнародними червоними списками випущена Червона книга (ЧКУ). *Червона книга — основний державний документ, що містить відомості про ті види рослин, грибів і тварин, які перебувають під загрозою знищення та потребують захисту.* В Україні випущено три видання ЧКУ: перше (1980) — містило 151 вид рослин та тварин; друге (1996) — 541 вид рослин, грибів та 542 — тварин; третє (2009) — 826 видів рослин і грибів та 542 — тварин.

Територія України, що знаходиться у межах трьох природних зон і представлена двома гірськими системами, займає 6 % площі Європи. Тут нараховується *понад 27 тис. видів рослин (15 тис. грибів і слизовиків, понад 1 тис. лишайників, понад 800 мохоподібних, понад 4 тис. водоростей і понад 5 тис. видів судинних рослин) та 45 тис. видів тварин (понад 35 тис. комах, 3,5 тис. інших членистоногих, 1800 — найпростіших, 1600 — круглих червів, 1280 — плоских червів, 440 — кільчастих червів, 200 — риб і круглоротих, 17 — земноводних, 21 — плазунів, 400 — птахів і 108 ссавців).*

До Червоної книги занесено 611 видів судинних рослин, 46 — мохоподібних, 60 — водоростей, 52 — лишайників, 57 — грибів, 2 — гідроїдні поліпи, 2 — круглих, 9 — кільчастих червів, 31 — ракоподібних, 2 — павукоподібних, 3 — багатоніжок, 69 — риб, 8 — земноводних, 11 — плазунів, 87 — птахів, 68 — ссавців. Таким чином, до цього видання включено близько половини видів земноводних і плазунів і більше половини — ссавців, що мешкають в Україні. Що стосується нижчих категорій (родин), то до книги занесені всі види дельфінів, тюленів, рукокрилих, більшість птахів роду яструбових, соколових, качкових, совових тощо.



Рис. 13.5. Гусінь метелика махаона (вид занесено до Червоної книги України)

Відбір видів для занесення їх до Червоної книги України **ґрунтувався на комплексі критеріїв**, у тому числі таксономічних, хорологічних (особливості поширення в Україні та загальний ареал), популяційних (чисельність, щільність, віковий спектр, відтворення, динаміка та структура популяцій, тенденції змін популяційних параметрів), еколого-ценотичних (види, приурочені до рідкісних біотопів, яким загрожує знищення), флорогенезисних (реліктовість видів, характерних для певних історичних епох), онтогенетичних (складний цикл розвитку, симбіотичні зв'язки з іншими організмами, наприклад з грибами-мікоризоутворювачами; специфічний спосіб живлення, як у комахоїдних рослин тощо), естетичних (декоративні види, які масово знищують у природі тощо), прагматичних (практичне значення: лікарські, технічні, культові, генофонд для вивчення нових культурних сортів тощо).

Структура Червоної книги така: статті розміщені у розділах, сформованих за систематичним принципом. Кожна стаття починається з української та латинської (наукової) назви виду; за потреби також наводяться синонімічні назви, що дає можливість однозначно ідентифікувати вид. Вказана належність видів у рослин і грибів — до родини, у тварин — до класу, ряду, родини. Наводиться **природо-**

охоронний статус видів відповідно до Закону України «Про Червону книгу України»: зниклі у природі в Україні, зникаючі, вразливі, рідкісні, неоцінені, недостатньо відомі. У наступних розділах подається інформація про наукове значення, ареал і поширення видів в Україні, чисельність та структуру популяцій, причини їх зміни, умови зростання або особливості біології, загальна морфологічна характеристика, режим збереження та заходи з охорони, розмноження та розведення у спеціально створених умовах, господарське та комерційне значення, основні джерела інформації: видання ілюстроване рисунками, фотознімками та картами поширення видів.

Підрахунки, проведені для рослин, показали, що зафіксовано 2 зниклі з природи види, 14 — зникли з території України, 177 належать до зникаючих, 289 — до вразливих, 249 — до рідкісних, 69 — до неоцінених і 26 — до недостатньо відомих. При цьому 119 видів наводяться для Полісся, 154 — для Центральноєвропейської провінції (рівнинна частина західних областей України), 145 — для Української Лісостепової провінції, 70 — Середньоруської, 73 — Паннонської Лісостепової провінції, 246 — для Степової зони, 179 — для Гірського Криму та 207 — для Карпат.

Цілком інша картина вимальовується, якщо проаналізувати поширення цих видів по адміністративних регіонах України. Тут перше місце посідає Кримська АР — 334 види, наступні місця займають Закарпатська — 268 видів та Івано-Франківська — 227 видів. Найнижчі показники характерні для Дніпропетровської, Запорізької та Кіровоградської областей, території яких істотно трансформовані антропогенним впливом, тому багато типових для зони степових видів уже зникли.

ЧКУ — важливий документ, що відіграватиме суттєву роль у природоохоронній діяльності нашого суспільства.

Важливим кроком для організації збереження рідкісних та зникаючих видів флори і фауни в окремих регіонах України може стати створення регіональних Червоних книг. У цьому випадку у кожній області України окрім охорони «загальнодержавних» рідкісних видів могли б зосередитися й на збереженні таких, що зникають саме у цьому регіоні. Навіть якщо такі види і не занесені до Червоної книги України. На жаль, закон не передбачає створення таких книг, тому вони створюються лише за ініціативи місцевих органів влади і не мають юридичної сили.

Документом, який регламентує збереження рослинних угруповань, є **Зелена книга України**. Перше неофіційне наукове видання Зеленої книги здійснене в 1987 р. У 2002 р.

затверджена постанова КМ України «Положення про Зелену книгу України». У 2009 р. опубліковане друге офіційне видання. У ньому наводяться дані про 800 рідкісних, таких, що перебувають під загрозою зникнення, та типових рослинних угруповань, які підлягають охороні. Як Червона книга України, так і Зелена книга України є основою для створення заповідних об'єктів, сприяє розбудові екомережі України, раціональному використанню збережень та відтворенню рослинних ресурсів.

13.3.3. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2020 року

21 грудня 2010 року Законом України затверджені **«Основні засади (стратегія) державної екологічної політики до 2020 року»**. Згідно з цим законом **першопричинами екологічних проблем України є:**

- успадкована структура економіки з переважаючою часткою ресурсо- та енергоємних галузей, негативний вплив якої був посилений переходом до ринкових умов;
- зношеність основних фондів промислової та транспортної інфраструктури;
- існуюча система державного управління у сфері охорони навколишнього природного середовища та регулювання використання природних ресурсів, відсутність чіткого розмежування природоохоронних і господарських функцій;
- недостатня сформованість інститутів громадянського суспільства;
- недостатнє розуміння у суспільстві пріоритетів збереження навколишнього природного середовища та переваг сталого розвитку;
- недотримання природоохоронного законодавства.

Метою національної екологічної політики є стабілізація та поліпшення стану навколишнього природного середовища України шляхом інтеграції екологічної політики до соціально-економічного розвитку України для гарантування екологічно безпечного природного середовища для життя та здоров'я населення, впровадження екологічно збалансованої системи природокористування та збереження природних екосистем.

Основними принципами національної екологічної політики є:

- посилення ролі екологічного управління у системі державного управління України з метою досягнення рівності трьох складових розвитку (економічної, екологічної, со-

ціальної), яка зумовлює орієнтування на пріоритети сталого розвитку;

- врахування екологічних наслідків під час прийняття управлінських рішень, при розробленні документів, які містять політичні або програмні засади державного, галузевого (секторального), регіонального та місцевого розвитку;

- міжсекторальне партнерство та залучення зацікавлених сторін;

- запобігання надзвичайним ситуаціям природного та техногенного характеру, що передбачає аналіз і прогнозування екологічних ризиків, які ґрунтуються на результатах стратегічної екологічної оцінки, державної екологічної експертизи, а також державного моніторингу навколишнього природного середовища;

- забезпечення екологічної безпеки та підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи;

- відповідальність нинішнього покоління за збереження довкілля на благо прийдешніх поколінь;

- участь громадськості та суб'єктів господарювання у формуванні та реалізації екологічної політики, а також урахування їх пропозицій при вдосконаленні природоохоронного законодавства;

- невідворотність відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

- пріоритетність вимог «забруднювач навколишнього природного середовища та користувач природних ресурсів платять повну ціну»;

- відповідальність органів виконавчої влади за доступність, своєчасність і достовірність екологічної інформації;

- доступність, достовірність і своєчасність отримання екологічної інформації;

- державна підтримка та стимулювання вітчизняних суб'єктів господарювання, які здійснюють модернізацію виробництва, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Національна екологічна політика спрямована на **досягнення таких стратегічних цілей:**

1. Підвищення рівня суспільної екологічної свідомості.
2. Поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки.

3. Досягнення безпечного для здоров'я людини стану навколишнього природного середовища.

4. Інтеграція екологічної політики та вдосконалення системи інтегрованого екологічного управління.

5. Припинення втрат біологічного та ландшафтного різноманіття та формування екологічної мережі.

6. Забезпечення екологічно збалансованого природокористування.

7. Удосконалення регіональної екологічної політики.

Основні інструменти реалізації національної екологічної політики:

- законодавство у сфері охорони навколишнього природного середовища;
- міжсекторальне партнерство та залучення зацікавлених сторін;
- оцінка впливу стратегій, програм, планів на стан навколишнього природного середовища;
- удосконалення дозвільної системи у сфері охорони навколишнього природного середовища;
- екологічна експертиза та оцінка впливу об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища;
- екологічний аудит, системи екологічного управління, екологічне маркування;
- екологічне страхування;
- технічне регулювання, стандартизація та облік у сфері охорони навколишнього природного середовища, природокористування та забезпечення екологічної безпеки;
- освіта та наукове забезпечення формування і реалізації національної екологічної політики;
- економічні та фінансові механізми;
- моніторинг стану довкілля і контроль у сфері охорони навколишнього природного середовища та забезпечення екологічної безпеки;
- міжнародне співробітництво у сфері охорони навколишнього природного середовища та забезпечення екологічної безпеки.

Досягнення цілей Стратегії здійснюватиметься в **два етапи**. До 2015 року передбачається забезпечити стабілізацію екологічної ситуації, уповільнення темпів зростання антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище, створення умов для підвищення рівня екологічної безпеки населення, започаткування переходу до природоохоронних стандартів Європейського Союзу, розроблення відповідних нормативно-правових актів, підвищення громадської активності у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Протягом 2016—2020 років передбачається здійснити поступове розмежування функцій з охорони навколишнього природного середовища та господарської діяльності з вико-

ристання природних ресурсів, імплементацію європейських екологічних норм і стандартів, екосистемне планування, впровадження переважно економічних механізмів стимулювання екологічно орієнтованих структурних перетворень, досягнення збалансованості між соціально-економічними потребами та завданнями у сфері збереження навколишнього природного середовища, забезпечити розвиток екологічно ефективного партнерства з державою.

13.4. Сталий розвиток і його забезпечення

Основна ідея. Сталим є такий розвиток, який відповідає потребам сучасності без заподіяння шкоди інтересам і потребам майбутнього. З урахуванням причинно-наслідкових зв'язків генеральною метою стратегії сталого розвитку є збереження людства. А завдання стратегії сталого розвитку — збереження умов, у яких може існувати й розвиватися людство, тобто збереження біосфери та локальних екосистем. На основі аналізу концепції сталого розвитку та його основних принципів розглядаються умови переходу України на засади сталого розвитку. Проведено аналіз явищ і процесів у природі та суспільстві України, які підлягають перетворенню.

Смислові зв'язки. Довкілля — соціум — економіка — стратегія сталого розвитку — концепція переходу України на засади сталого розвитку.

Ключові терміни. Сталий розвиток, стратегія збереження людства, екологізація економіки, еко-ресурсна ємність, ентропійний ресурсопотік, коеволюція.

Мета — пояснити особливості стратегії сталого розвитку, мету стратегії сталого розвитку та головні принципи його концепції, а також особливості умов переходу України на засади сталого розвитку.

13.4.1. Концепція сталого розвитку, цілі та завдання

Термін «сталий розвиток» — офіційний український відповідник англійського терміна «sustainable development». За визначенням Всесвітнього комітету з питань довкілля та розвитку при ООН, «сталий розвиток» — зобов'язання суспільства діяти у спосіб, що підтримуватиме життя і дозволить нашим нащадкам жити комфортно у дружному, чистому та здоровому світі, іншими словами, сталий розвиток — розвиток, який відповідає потребам сучасності без заподіяння шкоди інтересам і потребам майбутнього.

Сталий розвиток — керований розвиток, основою його керованості є системний підхід і сучасні інформаційні технології, які дозволяють відносно точно моделювати різні варіанти напрямків розвитку, прогнозувати їх результати та обирати оптимальні.

З урахуванням причинно-наслідкових зв'язків *генеральною метою стратегії сталого розвитку є збереження людства*, а завданням стратегії сталого розвитку — збереження умов, у яких може існувати й розвиватися людство, тобто збереження біосфери та локальних екосистем.

Ряд теоретиків вважають сталий розвиток найперспективнішою ідеологією XXI століття і навіть усього третього тисячоліття, яка, з поглибленням наукової обґрунтованості, *витіснить усі існуючі світоглядні ідеології* як такі, що є фрагментарними та неспроможними забезпечити збалансований розвиток цивілізації.

У наш час сила ідеї сталого розвитку пояснюється тим, що вона відображає й одночасно спонукає до змін у нашому баченні щодо розуміння взаємозв'язку між економічною діяльністю людей і природним світом — замкненою екологічною системою (екосистемою), що має скінченні матеріальні ресурси і не може збільшуватись. Одна з умов сталого розвитку полягає в тому, що потреби економічної діяльності у зовнішній екосистемі для поновлення сировинних ресурсів «на вході» і поглинання відходів «на виході» повинні обмежуватись на рівнях, що можуть бути підтримувані цією екосистемою. Така зміна бачення тягне за собою *перехід від економічного принципу кількісного збільшення (зростання) до якісно нового напрямку майбутнього прогресу — принципу якісного поліпшення (розвитку)*.

Проблема забезпечення сталого розвитку суспільства безпосередньо пов'язана з комплексом економічних, екологічних і соціальних характеристик. Це означає, що параметри, які характеризують сталий розвиток, повинні охоплювати як соціальний, економічний, так і екологічний вектори. **Концепція сталого розвитку ґрунтується на п'яти головних принципах.**

1. Принцип екологізації економіки. Перегляд економічної та секторальної політики з метою «інтерналізації екстерналій» — трансформування зовнішніх екологічних і соціальних факторів, пов'язаних із виснаженням природних ресурсів, забрудненням довкілля, на стратегію внутрішніх витрат виробництва та їх інтеграцію у процес ринкового ціноутворення. Законодавче забезпечення інноваційної еколого-економічної політики включає *«торгівлю квотами на*

викиди», «еко-трудова податкова реформа», розвиток «органічного сектора».

2. Принцип еко-ресурсної ємності. Обмеження, які існують у галузі експлуатації природних ресурсів, хоча і відносні, але абсолютно реальні. Вони пов'язані у першу чергу з обмеженою здатністю біосфери до самовідновлення, а також із сучасним рівнем техніки та соціальної організації.

3. Принцип ентропійного ресурсопотоку. Ентропійний ресурсопотік речовини (енергії) — фундаментальніший, ніж кругообіг обмінних вартостей. Ніяка економіка не може в принципі існувати без ентропійного потоку (економіка без кругообігу обмінних вартостей — економіка натурального господарства). Таким чином, економічна діяльність фундаментально залежить від наявності джерел вхідної низькоентропійної речовини (енергії). Це *низькоентропійні джерела двох видів*. Перші пов'язані із сучасним перетворенням потоку сонячної енергії, а другі пов'язані з корисними копалинами Землі. Перші є відновлюваними ресурсами, другі — невідновлюваними.

4. Принцип сталого споживання та виробництва. Необхідно погодити стан життя тих, хто користується надмірними засобами (грошовими та матеріальними), з екологічними можливостями планети, зокрема відносно використання енергії та матеріальних ресурсів — *принцип самообмеження споживання та виробництва*. Розміри та темпи росту населення повинні бути погоджені з виробничим потенціалом глобальної екосистеми Землі, що змінюється. Необхідно задовольнити елементарні потреби всіх людей і всім надати можливість реалізувати свої прагнення до більш благополучного життя. Без цього сталий і тривалий розвиток просто неможливий.

5. Принцип коеволюції. Коеволюційний розвиток людей і природи полягає у симетричній коеволюції людських систем (цінності, знання, культура, технології, артефакти) та природних систем, з їх постійною взаємодією, а також взаємним впливом і адаптацією до змін у цих двох світах. Люди не звільнені від коеволюційного процесу, що підносить одні види та скорочує інші. Згідно з «парадигмою коеволюції» *спроможність людства до адаптації буде завжди залишатися критично важливою*. А це вимагає збереження всіх видів різноманіття в наших стосунках зі світом природи та проведення мудрої політики для збереження рівних можливостей у майбутньому перед лицем невизначеності.

У центрі концепції сталого розвитку — **збереження людини як біологічного виду та прогресивний розвиток її як особистості**. Дві групи життєво важливих потреб (фізіологічних

і особистісних), що забезпечують умовно безкінечне підтримання існування людського суспільства, поєднуються словом «соціальні». Їх задоволення у сучасному суспільстві відбувається, головним чином, за рахунок діяльності економічної сфери (тобто виробничої системи та пов'язаних із нею економічних відносин). Загальновизнано, що соціальні проблеми можуть задовольнятися при достатньому рівні матеріального благополуччя людей, коли задовольняються основні потреби у житлі, їжі, питній воді, одязі, засобах гігієни, фізичного та інформаційного контакту із природою тощо. На основі вищезазначеного можна систематизувати найважливіші моменти, які утворюють проблематику сталого розвитку.

13.4.2. Забезпечення умов переходу України на засади сталого розвитку

У Комітетах Верховної Ради України на початку 2002 року розглядався законопроект «Про Концепцію переходу України до сталого розвитку», внесений народними депутатами Ю. Самойленком та В. Хазаном — членами Комітету з питань екологічної політики, природокористування та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи, проте концепція так і не була прийнята і в подальшому більше не розглядалась. Нижче наведені основні ідеї цієї концепції.

Майбутнє України як цивілізованої, високорозвиненої, заможної держави — у її відкритості, використанні надбань світової цивілізації, із застосуванням методів і механізмів захисту свого економічного суверенітету та утвердження національних цінностей.

Розробка стратегії та довготривалих програм соціально-економічного розвитку й охорони навколишнього природного середовища в контексті сталого розвитку має базуватись на таких принципах:

- діяльність у державі має підпорядковуватись законам природи та обмеженням, які ними визначаються;
- пріоритетність національних інтересів, національної культури та національної ідентичності у загальноцивілізаційному поступі світового співтовариства;
- одержаний від господарської діяльності результат не може бути меншим від шкоди, заподіяної навколишньому природному середовищу;
- недопустимість екстенсивного використання природних ресурсів;

- природні ресурси України належать її народові й становлять матеріальну основу його існування, незалежно від форм власності вони мають використовуватися з урахуванням потреб нинішнього та майбутніх поколінь;

- інтелектуальний потенціал нації як провідна продуктивна сила українського суспільства має постійно нарощуватися та вдосконалюватися;

- забезпечення здоров'я людини та її соціальної захищеності — пріоритетна політика держави;

- всі перетворення мають бути спрямовані на утвердження засад гуманізму, демократії та цінностей громадянського суспільства.

Мета переходу України до сталого розвитку — забезпечення високої якості життя нинішнього та майбутніх поколінь на основі збалансованого розв'язання проблем соціально-економічного розвитку, збереження навколишнього природного середовища, раціонального використання та відтворення природоресурсного потенціалу держави. Основні ідеї сталого розвитку співзвучні культурі та світоглядним цінностям українського народу, в історії та традиціях якого завжди було дбайливе ставлення до землі, води, природи взагалі.

З урахуванням притаманних Україні географічних, демографічних, соціально-економічних і екологічних особливостей **основними завданнями на перехідний період до сталого розвитку України є:**

- розв'язання проблеми бідності як основного соціального завдання;

- раціональне використання ресурсів;

- збалансований розвиток економіки в межах екологічного простору держави;

- забезпечення високої якості стану навколишнього природного середовища;

- суттєве послаблення наслідків Чорнобильської аварії;

- досягнення демографічної стабільності;

- сприяння становленню громадянського суспільства.

Згідно із системним підходом до явищ і процесів у природі та суспільстві **перетворенню підлягають:**

- засоби та структура господарського комплексу країни;

- технології масового виробництва та споживання;

- суспільні відносини;

- соціально-економічні механізми природокористування;

- управлінські структури на державному та регіональному рівнях.

Необхідність розв'язання проблеми на макрорівні та їх комплексність визначають провідну роль держави при пе-

реході на шлях сталого розвитку. Державне регулювання повинне відповідати концептуальним уявленням про функціонування господарського комплексу в межах екологічного простору країни, національну безпеку, суспільну мораль, духовні та культурні цінності суспільства. **Пріоритетними напрямками** мають бути:

- макроекономічне планування та довгострокові програми модернізації національної економіки;
- створення умов для збільшення частки енерго- та ресурсозберігаючого виробництва;
- розробка системи стимулювання виробництва екологічних товарів і розвиток екологічних послуг;
- забезпечення зайнятості населення, справедливий розподіл ресурсів і доходів.

Перехід України до сталого розвитку можливий за умов **забезпечення сталого розвитку всіх її регіонів**. Програми переходу до сталого розвитку кожного регіону інтегруються в загальну державну політику у цій сфері.

Першочерговим завданням регіональної політики сталого розвитку є забезпечення збалансованого розвитку регіонів та мегаполісів на основі збереження їх структурних регіональних особливостей, природноресурсного потенціалу, господарсько-екологічної ємності. Адміністративно-територіальний устрій має закріпити такий регіональний статус України, який би спирався на природно-історичні особливості регіону й унеможлилював будь-які прояви порушення цілісності держави. На регіональному рівні основна мета сталого розвитку — збалансований розвиток території в межах екологічного простору регіону, а також узгодження дій із розвитком інших регіонів України. Досягненню цієї мети має бути підпорядкована регіональна політика, при цьому кожен регіон має розробляти та реалізовувати власну концепцію переходу на шлях сталого розвитку, яка повинна бути спрямована на:

- досягнення природно-господарської збалансованості в соціально-економічному розвитку регіонів;
- формування регіонального господарського механізму, що відповідає основним цілям сталого розвитку держави;
- врахування особливостей, притаманних кожному регіону, своєрідності природоресурсних, географічних, історичних, економічних, соціальних та інших умов.

ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Закон України «Про рослинний світ».
Закон України «Про тваринний світ».
Лісовий кодекс України.

- Кодекс України «Про надра».
- Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року».
- Закон України «Про природно-заповідний фонд України».
- Охорона ґрунтів / М. М. Шикула, О. Ф. Гнатенко, Л. Р. Петренко, М. В. Капштик. — К.: Знання, КОО, 2004. — 398 с.
- Агроекологія / М. М. Городній, М. К. Шикула, І. М. Гудков та ін. — К.: Вища школа, 1993. — 416 с.
- Агроекологія / О. В. Смаглій, А. Т. Кардашов, П. В. Литвак та ін. — К.: Вища освіта, 2006. — 671 с.
- Боголюбов В. М., Прилипка В. А. Стратегія сталого розвитку. — Херсон: Олді-плюс, 2009. — 322 с.
- Буркинський В. Екологічно чисте виробництво. Наукові засади впровадження та розвитку // Вісн. НАН України. — 2006. — № 5. — С. 11—17.
- Ганєєв І. Г., Кулагина А. А. Ремедиация и рекультивация техногенно деградированных земель // Вестник ОГУ. — 2009. — № 6 (100). — С. 554—557.
- Геологія з основами геоморфології / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко, О. В. Чепіжко, М. Д. Крочак. — Чернівці: Букрек, 2010. — 400 с.
- Екологія для рослинництва / П. В. Литвак, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак, О. А. Дереча. — Житомир: Полісся, 2001. — 230 с.
- Зелена книга України / під ред. Я. П. Дідуха. — К: Альтерпрес, 2009. — 448 с.
- Мандрик В. О. Відтворення порушених земель: зарубіжний досвід, механізм фінансування // Національний лісотехнічний університет України: Науковий вісник. — 2005. — Вип. 15.3. — С. 208—212.
- Мельник Л. Г. Основи стійкого розвитку. — Суми: Університетська книга, 2006. — 325 с.
- Червона книга Дніпропетровської області (рослинний світ) / відп. ред. А. П. Травлєєв; авт.-уклад.: Б. О. Барановський, В. В. Тарасов. — Дніпропетровськ: Баланс-Клуб, 2010. — 498 с.
- Червона книга Дніпропетровської області (тваринний світ) / Під ред. О. Є. Пахомова. — Дніпропетровськ: ТОВ «Новий друк», 2011. — 488 с.
- Червона книга України. Рослинний світ. / під ред. Я. П. Дідуха. — К.: Глобалконсалтинг, 2009. — 912 с.
- Червона книга України. Тваринний світ. / під ред. І. А. Акімова. — К.: Глобалконсалтинг, 2009.

АДРЕСИ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

- Закон України «Про природно-заповідний фонд України» (<http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2456-12>)
- Закон України «Про рослинний світ» (<http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=591-14>)
- Закон України «Про тваринний світ» (<http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2894-14>)

Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» (<http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2818-17>)

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (<http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1264-12>)

Про порядок видачі дозволів на спеціальне використання природних ресурсів і встановлення лімітів використання ресурсів загальнодержавного значення ([http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=459-92- %EF](http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=459-92-%EF))

Агентство США з міжнародного розвитку та навколишнього середовища (United States Agency for International Development (USAID & the Environment) (www.usaid.gov/environment).

Гильдия экологов (<http://www.ecoguild.ru/members/bioflora4.htm>)

Інститут Всесвітніх спостережень (World Watch Institute) (www.world-watch.org).

Інтернет-видання газети Earth Times (<http://www.earthtimes.org>).

Національна Рада з питань науки та навколишнього середовища (National Council for Science and the Environment (NCSE)) (<http://www.cnie.org>).

Риболов України (<http://rybolov-ua.com/pravo/20-zakonodatelstvo/295-vodnie-resursy.html>)

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Сучасний стан біорізноманіття України.
2. Принципи збереження біорізноманіття в Україні.
3. Класифікація об'єктів природно-заповідного фонду в Україні.
4. Принципи рекультивації вугільних териконів.
5. Склад національної екомережі України.
6. Основні заходи формування екологічної мережі України.
7. Агрономічна меліорація, її характеристики.
8. Методи очищення стічних вод тваринницьких ферм.
9. Принципи впровадження екологічно чистого виробництва.
10. Види спеціального використання природних рослинних ресурсів.
11. Шляхи забезпечення охорони тваринного світу.
12. На які види спеціального використання природних ресурсів здійснюється видача дозволів?
13. Комплекс заходів щодо захисту ґрунтів від водної ерозії.
14. Основні вимоги охорони надр згідно з «Кодексом про надра».
15. Цілі біосферних резерватів згідно з Мадридським планом дій.
16. Червона книга України.
17. Першопричини екологічних проблем України згідно з «Основними засадами (стратегією) державної екологічної політики до 2020 року».
18. Головні принципи концепції сталого розвитку.

ТЕМИ АНАЛІТИЧНИХ ОГЛЯДІВ

1. Характеристика ландшафтного різноманіття України.
2. Основні рішення Конвенції про біологічне різноманіття (1992).
3. Об'єкти заповідної справи Донецчини.
4. Застосування ремедіації для очищення ґрунтів від нафтових забруднень.
5. Екологічні коридори України, їх характеристика.
6. Основні принципи агрономічної меліорації.
7. Шляхи зменшення забруднення навколишнього середовища від ведення тваринництва.
8. Аналіз концепції екологічно чистого виробництва в Україні.
9. Основні вимоги щодо здійснення діяльності, яка впливає на стан охорони, використання та відтворення рослинного світу.
10. Завдання законодавства України про використання, відтворення та охорону тваринного світу.
11. Система видачі дозволів на вилучення живих природних об'єктів в Україні.
12. Види ерозії ґрунтів та їх характеристика.
13. Принцип раціонального вилучення та використання запасів корисних копалин.
14. Програма ЮНЕСКО «Людина і біосфера».
15. Характеристика Зеленої книги України.
16. Основні принципи національної екологічної політики та шляхи їх реалізації.
17. Стратегія сталого розвитку для України та світу — спільні та відмінні риси.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Україна володіє: а) 20; б) 25; в) 30; г) 35 відсотками біорізноманіття Європи?
2. Конференція про біологічне різноманіття проходила в 1992 р. у: а) Лондоні; б) Гаазі; в) Ріо-де-Жанейро; г) Парижі?
3. В Україні існує: а) 7; б) 9; в) 11; г) 13 категорій природно-заповідного фонду?
4. Біологічна рекультивація включає в себе заходи: а) згладжування схилів; б) відновлення ґрунтів; в) створення терас; г) засипання понижень?
5. Закон України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000—2015 рр.» прийнятий в: а) 1999; б) 2000; в) 2001; г) 2002 році?
6. Найнебезпечнішим забрудником ґрунтових вод від ведення тваринництва є: а) бензол; б) важкі метали; в) аміак; г) фосфати?
7. Основною ідеєю екологічно чистого виробництва є: а) упереджувальний підхід; б) сучасні технології очищення стоків; в) залучення іноземних інвестицій; г) фотографія робочого дня?
8. Не можуть здійснюватися такі види спеціального використання природних рослинних ресурсів: а) заготівля сіна; б) випасання худоби; в) перевірка адаптації нових видів шкідників; г) збирання

квітів, ягід, плодів, горіхів, насіння, грибів, лісової підстилки, очерету?

9. Ліміти використання немисливських видів тварин затверджуються: а) Держкомлісгоспом; б) Мінприроди; с) Державним департаментом ветеринарної медицини; d) органами МОЗ?

10. Дефляцією називається: а) водна ерозія; б) вітрова ерозія; с) іригаційна ерозія; d) пасовищна ерозія?

11. Аббревіатурою МАБ позначається програма ЮНЕСКО: а) Міжнародна біологічна програма; б) Людина і біосфера; с) Міжнародне біорізноманіття; d) Міжнародна екомережа?

12. Зелена книга України містить відомості про: а) збереження рослинних угруповань; б) види рослин, грибів і тварин, які перебувають під загрозою знищення та потребують захисту; с) екологічні коридори; d) критичні стани екомережі України?

13. Підвищення рівня суспільної екологічної свідомості згідно з «Основними засадами (стратегією) державної екологічної політики до 2020 року» є: а) метою національної екологічної політики; б) першопричиною екологічних проблем України; с) стратегічною метою екологічної політики; d) принципом національної екологічної політики?

ВІДПОВІДІ НА ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь	№ питан-ня	Від-повідь
1	d	2	с	3	с	4	b
5	b	6	с	7	a	8	с
9	b	10	b	11	b	12	a
13	с						

АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ

Бобильов Юрій Петрович — канд. біол. наук, доцент кафедри зоології та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Бригадиренко Віктор Васильович — канд. біол. наук, доцент кафедри зоології та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Булахов Валентин Леонтійович — канд. біол. наук, професор кафедри зоології та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Гайченко Віталій Андрійович — д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри загальної екології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Гассо Віктор Якович — канд. біол. наук, доцент, завідувач кафедри зоології та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Дідух Яків Петрович — член-кореспондент НАН України, д-р біол. наук, професор, завідувач відділом екології фітосистем Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України.

Івашов Анатолій Васильович — д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри екології та раціонального природокористування Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського.

Кучерявий Володимир Панасович — д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології Національного лісотехнічного університету України.

Мальований Мирослав Степанович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка».

Мищик Леонід Павлович — д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Пахомов Олександр Євгенович — д-р біол. наук, професор, декан факультету біології, екології та медицини Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Царик Йосип Володимирович — д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри зоології Львівського національного університету ім. Івана Франка.

Шабанов Дмитро Андрійович — канд. біол. наук, доцент кафедри зоології та екології тварин Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна.

Навчальне видання

ЕКОЛОГІЯ

Підручник
для студентів вищих навчальних закладів

Головний редактор *К. В. Лимаренко*
Відповідальна за випуск *Л. В. Дмитрієва*
Художній редактор *Л. П. Вировець*
Технічний редактор *Г. С. Таран*
Комп'ютерна верстка: *О. М. Правдюк*
Коректор *А. М. Гопаченко*

Підписано до друку 30.09.13. Формат 84×108 ¹/₃₂.
Умов. друк. арк. 35,28. Облік.-вид. арк. 42,76.
Тираж 1500 прим. Замовлення №

ТОВ «Видавництво Фоліо»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 3194 від 22.05.2008 р.

61057, Харків, вул. Римарська, 21А
Електронна адреса: www.folio.com.ua
E-mail: realization@folio.com.ua
Інтернет-магазин www.bookpost.com.ua

Надруковано з готових позитивів
у ТОВ «Видавництво Фоліо»
61057, Харків, вул. Римарська, 21А
Свідоцтво про реєстрацію
ДК № 3194 від 22.05.2008 р.

Екологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / кол. авторів; за загальною ред. О.Є. Пахомова; худож.-оформлювач Г.В. Кісель. — Харків: Фоліо, 2014. — 666 с.

ISBN 978-966-03-6619-0.

У підручнику розглядаються основні етапи становлення екології як науки, простежено закономірності утворення екологічних систем, охарактеризовано взаємини живих організмів із середовищем їх існування, визначено фундаментальні екологічні питання. Біосферу в цілому представлено як єдине, цілісне утворення, яке перебуває під інтенсивним впливом людини. Викладено сучасні уявлення про механізми та наслідки деградації екологічних систем, накреслено шляхи збереження біологічного та ландшафтного різноманіття окремих екосистем та біосфери в цілому.

Для студентів вищих навчальних закладів, а також для підготовки та підвищення кваліфікації керівників підприємств і організацій, спеціалістів у галузі охорони навколишнього середовища.

УДК 504
ББК 28.081

реклама 1

реклама 2

реклама 3