

Міністерство освіти і науки України  
Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка  
Кафедра ботаніки, екології та методики навчання біології

# **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

*Навчальний посібник  
для студентів денної/заочної форми навчання,  
з освітньої програми «Екологія»  
за спеціальністю 101 Екологія*



Полтава 2023

УДК 502.1(075.8)

С40

**Рецензенти:**

*С. І. Дубінін*, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри біології, здоров'я людини та фізичної реабілітації Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

*С. В. Алексеєва*, доктор педагогічних наук, головний науковий співробітник відділу дидактики Інституту педагогіки НАПН України.

*Н. О. Арістова*, доктор педагогічних наук, професор, завідувач відділу міжнародних зв'язків та наукової співпраці Інституту педагогіки НАПН України.

**Укладачі:**

*Дяченко-Богун М. М.*, доктор педагогічних наук, професор кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка

*Гомля Л. М.*, доцент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка

Затверджено вченою радою Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка (протокол № 13 від 30.06.2023 року).

Навчальний посібник «Системний аналіз якості навколишнього середовища» для студентів денної/заочної форми навчання з освітньої програми «Екологія» за спеціальністю 101 Екологія.

У навчальному посібнику запропоновано теоретичний матеріал, який допоможе актуалізувати знання, що необхідні для вирішення завдань, пов'язаних з проведенням досліджень, стосовно аналізу якості навколишнього середовища. У навчальному посібнику представлено також матеріали до самостійної роботи студентів. Інформаційно-освітній матеріал навчального посібника допоможе здобувачам першого, другого рівня вищої освіти опанувати зміст курсу.

© Дяченко-Богун М. М., Гомля Л.М. 2023

© ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2023

## ЗМІСТ

ТЕМА 1: РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ЇХ ВИНИКНЕННЯ В ЕКОЛОГІЇ.....	7
1. Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем .....	7
2. Історія розвитку системних уявлень.....	7
3. Основні напрямки системних досліджень .....	9
4. Передумови та необхідність виникнення системного підходу.....	9
5. Предмет системного аналізу.....	11
6. Методи екологічних досліджень.....	12
7. Основні проблеми та наукові напрямки сучасної екології.....	15
8. Роль в екології системного підходу.....	17
9. Основні етапи розвитку системного аналізу як розділу екологічної науки .....	17
Питання для самоперевірки студентів.....	20
Рекомендовані джерела інформації .....	20
ТЕМА 2: ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ СИСТЕМ ЯК НАУКОВА ОСНОВА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ.....	21
1. Концептуальна еволюція системного світогляду.....	21
2. Становлення теорії систем як галузі наукового знання.....	22
3. Синергетика як новий напрям наукових досліджень.....	24
Питання для самоперевірки студентів.....	27
Рекомендовані джерела інформації .....	27
ТЕМА 3: ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ .....	28
1. Принципи системного підходу.....	28
2. Поняття: системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, функції, стану, процесу.....	30
3. Поняття та класифікація структур систем.....	32
4. Особливості структурно-топологічного аналізу.....	34
5. Види потоків в системах. Діаграми потоків даних.....	34
Питання для самоперевірки студентів.....	36
Рекомендовані джерела інформації .....	36
ТЕМА 4: ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЙ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ .....	37
1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб .....	37
2. Методології системних досліджень .....	38
3. Основні етапи розв'язування проблем в системному аналізі.....	40
4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем в екології .....	42
Питання для самоперевірки студентів.....	45
Рекомендовані джерела інформації .....	45
ТЕМА 5: МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА СИСТЕМНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ .....	46
1. Аксиоматичний підхід дослідження систем .....	46
2. Метод «чорної скриньки» .....	46
3. Невизначеність при побудові моделей «вхід-вихід» .....	47

4. Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі .....	47
5. Імітаційне моделювання при прийнятті рішень .....	48
Питання для самоперевірки студентів .....	48
Рекомендовані джерела інформації .....	48
<b>ТЕМА 6: КЛАСИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ .....</b>	<b>49</b>
1. Загальні підходи до класифікації систем .....	49
2. Класифікація систем за принципом функціонування .....	50
3. Поняття складності та масштабності систем .....	50
4. Властивості складних систем .....	51
5. Класифікація систем за способом керування .....	52
6. Моделювання систем .....	52
7. Моделювання як спосіб наукового пізнання .....	54
8. Поняття адекватності моделі .....	55
9. Класифікація моделей .....	56
10. Короткий запис моделі .....	57
11. Складна система. Різноманіття живих систем .....	58
12. Роль живої речовини в утворенні середовища існування .....	61
13. Біосфера як цілісна система .....	64
14. Різноманітність форм життя та біогенний кругообіг .....	65
15. Рівні організації живої матерії .....	67
16. Екологія угруповань (синекологія) та екосистемологія .....	70
17. Регуляція біосистем .....	71
18. Екосистеми та біогеоценози .....	72
19. Місто як соціально-екологічна система .....	73
20. Міські біогеоценози .....	74
21. Класифікація окультуреності біогеоценозів. Характеристика, приклади .....	77
22. Кругообіг речовин і енергії в природі з позицій системного аналізу .....	78
23. Причини порушення кругообігу речовин .....	82
Питання для самоперевірки студентів .....	83
Рекомендовані джерела інформації .....	83
<b>ТЕМА 7: АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ В СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ .....</b>	<b>84</b>
1. Аналітичний підхід до дослідження складних систем .....	84
2. Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування .....	85
3. Системні особливості моделей інформаційних систем .....	87
Питання для самоперевірки студентів .....	88
<b>ТЕМА 8: ЕКСПЕРТНІ МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ .....</b>	<b>90</b>
1. Загальна характеристика експертних методів у системному аналізі .....	90
2. Збір інформації. Підготовка проекту рішень .....	90
3. Основні стадії експертного аналізу. Підбір експертів .....	91
4. Метод «мозкового штурму» .....	93
5. Метод дерева цілей .....	93
6. Метод дельфі .....	94
Питання для самоперевірки студентів .....	95
<b>ТЕМА 9: СОЦІАЛЬНИЙ СВІТ У ДИСКУРСІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ .....</b>	<b>97</b>
1. Соціальний організм як феномен соціальної взаємодії .....	97
2. Соціальний організм у структурно-функціональному вимірі .....	99
3. Соціальний гомеостаз у призмі системного підходу .....	100
4. Соціальний організм у контексті розвитку планетарної спільноти .....	102
5. Адаптаційні можливості соціальної системи у вимірі системного аналізу .....	105
6. Глобалізм і антиглобалізм у аспекті системного аналізу .....	108
Питання для самоперевірки студентів .....	110

Рекомендовані джерела інформації .....	110
ТЕМА 10: СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЯК ОБ'ЄКТ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ .....	111
1. Еволюція ідей сталого розвитку суспільства .....	111
2. Сутність, зміст і умови сталого розвитку суспільства .....	114
3. Сучасні теорії, концепції та моделі сталого розвитку суспільства .....	117
Питання для самоперевірки студентів .....	122
Рекомендовані джерела інформації .....	122
ТЕМА 11: ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ .....	124
1. Характеристики угруповань. Екологічний баланс .....	124
2. Роль кліматопу у функціонуванні біосфери та екосистем. Загальні особливості кліматопу .....	126
3. Сонячна радіація. Газовий склад атмосфери та роль її складових у біосфері. Вологість атмосфери. Рух атмосфери .....	127
4. Функціональна роль гідросфери .....	129
5. Роль фітоценозу у біосфері та екосистемах. Роль фітоценозу у наземних екосистемах. Роль фітоценозу у водних екосистемах .....	132
6. Роль мікробіоценозу у біосфері та екосистемах. Роль бактерій у наземних екосистемах. Роль бактерій у водних екосистемах .....	136
7. Функціональна роль зооценозу у біосфері та екосистемах .....	145
8. Ланцюги живлення та трофічні рівні в різних типах екосистем з позицій системного аналізу .....	151
9. Лісові та трав'янисті типи екосистем. Аналіз різних типів лісів, лучних і болотистих фітоценозів з використанням системного підходу .....	154
10. Основні екологічні проблеми сучасного землеробства та шляхи їх вирішення з позицій системного аналізу .....	158
11. Головні заходи забезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми (загальна оптимізація довкілля в індустріальних регіонах) з позицій системного аналізу .....	161
Питання для самоперевірки студентів .....	166
Рекомендовані джерела інформації .....	166
ТЕМА 12: СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЛОКАЛЬНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ .....	167
1. Поняття популяції. Популяція як елемент екосистеми .....	168
2. Популяційний ареал .....	170
Кількість особин .....	170
Щільність популяції .....	171
Вікова структура .....	171
Статева структура .....	172
Просторова структура .....	172
Віталітетна структура .....	174
Етологічна структура .....	174
3. Динаміка чисельності популяцій .....	174
Експоненційне та логістичне зростання чисельності популяції .....	175
Виживання популяції .....	176
Швидкість відновлення популяції .....	177
Обмежувальні чинники зростання популяції .....	177
Причини вимирання популяцій .....	177
4. Уявлення про стратегію популяцій .....	179
Життєздатність популяцій .....	181
Керування популяціями .....	181

Охорона популяцій .....	182
Експлуатація промислових популяцій.....	183
5. Моніторинг популяцій .....	184
6. Організм і середовище. Адаптації організмів.....	185
7. Закономірності впливу екологічних чинників.....	187
8. Екологічна ніша .....	189
Історичний розвиток поняття «еконіша» .....	189
Розмірність ніш і оцінка їх перекриття.....	191
Спеціалізація ніш.....	193
Структуризація еконіш.....	194
9. Загальні принципи адаптації на рівні організму.....	195
Правило оптимуму.....	195
Комплексний вплив чинників.....	196
Лімітуючі фактори. Правило мінімуму .....	198
10. Правило двох рівнів адаптації .....	199
11. Принципи екологічної класифікації організмів.....	200
12. Активна життєдіяльність і спокій .....	201
13. Найважливіші абіотичні фактори та адаптації організмів до них .....	202
Температура, сонячна радіація .....	203
Світло .....	211
Водне середовище .....	217
Наземно-повітряне середовище життя .....	222
Ґрунт і рельєф.....	224
14. Виникнення та розвиток уявлень про консорцію.....	228
15. Індивідуальна консорція. ....	231
Питання для самоперевірки студентів:.....	232
Рекомендовані джерела інформації: .....	232

# ТЕМА 1: РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ЇХ ВИНИКНЕННЯ В ЕКОЛОГІЇ

## План

1. Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем.
2. Історія розвитку системних уявлень.
3. Основні напрямки системних досліджень.
4. Передумови та необхідність виникнення системного підходу.
5. Предмет системного аналізу.
6. Методи екологічних досліджень.
7. Основні проблеми та наукові напрямки сучасної екології.
8. Роль в екології системного підходу.
9. Передумови формування та основні етапи розвитку системного аналізу як розділу екологічної науки.

## 1. Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем

Загальна теорія систем вивчає можливі аспекти дослідження систем, в тому числі і прийняття рішень в них. Системний аналіз є складовою частиною теорії систем разом із такими дисциплінами, як: кібернетика, інформатика, дослідження операцій та системотехніка.

Розвиток методів системного аналізу в основному пов'язаний із розвитком складових частин загальної теорії систем.

**Кібернетика** – вивчає системи зі зворотнім зв'язком і аспект керування інформацією в цих системах, розглядаючи при цьому строго формалізовані задачі.

**Інформатика** – займається дослідженням процесів збереження, накопичення, перетворення, передачі даних та інформації із застосуванням комп'ютерної техніки.

**Дослідження операцій** – вивчає методи прийняття рішень при цьому переважно розглядаються формалізовані задачі.

**Системотехніка** – наука, яка вивчає застосування методів системного аналізу для дослідження технічних схем.

**Системний аналіз** – це сукупність методологічних засобів, які використовуються для підвищення ступеня

обґрунтованості рішень у складних (слабко-структурованих) проблемах політичного, військового, наукового, соціального і економічного характеру. Системний аналіз передбачає розгляд об'єктів як систем, переважно цілеспрямованих. Основні методологічні засади системного аналізу базуються на принципах системного підходу.

ТС – теорія систем К - кібернетика

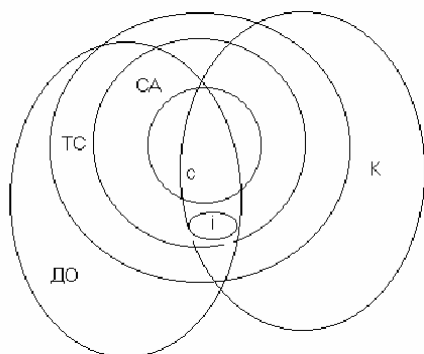
ДО – дослідження операцій СА – системний аналіз

С - системотехніка І - інформатика

Необхідність вивчення методологій та методів системного аналізу обумовлена потребами його застосування при створенні та розвитку комп'ютеризованих інформаційних систем. У яких існують складні часто слабо структуровані зв'язки між елементами. Не систематизоване внесення змін в елементи та зв'язки цих систем часто призводить до зниження ефективності їх функціонування.

## 2. Історія розвитку системних уявлень

Історія розвитку методів системного аналізу стосується розвитку складових загальної теорії систем і пов'язана із розвитком двох понять: системності та керування, яке включає етапи прийняття рішень. Обидва поняття усвідомлено чи неусвідомлено застосовували ще з давніх-давен.



Розглянемо основні історичні віхи, які супроводжували наукове становлення цих понять.

1. Питання про науковий підхід до керування складними системами вперше в конкретному вигляді було поставлене **М.А. Ампером** в його роботі «Дослідження філософії наук, або аналітичний виклад класифікації всіх людських знань» (част. I — 1834 р., II — 1843 р.), в якій була виділена наука про керування державою, названа кібернетикою.

2. Польський вчений **Броніслав Трентовський**, професор Фрайбургського університету, видав в 1843 р. в Познані польською мовою книгу «Ставлення філософії до кібернетики як до мистецтва керування народом». Особливістю праці Броніслава Трентовського було відображення наукових основ практичної діяльності керівника – «гібернаета». Сенс грецького слова  $\chi\omicron\beta\epsilon\rho\nu\omega$  (гіберно) був добре зрозумілий ще в ХІХ-му сторіччі — адміністративна одиниця, населена людьми. В ширшому сенсі — об'єкт керування, до складу якого входять люди, а  $\chi\omicron\beta\epsilon\rho\nu\epsilon\tau$  (гібернет) — особа, що керує ресурсами та людьми, які населяють територію, який повинен вміти, виходячи з загального блага, примиряти деякі суперечності, інші — загострювати, скеровуючи розвиток до потрібної мети. За Трентовським дійсно ефективно керування повинно враховувати всі внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на об'єкт керування, а головна складність його реалізації пов'язана зі складністю поведінки людей. Броніслав Трентовський далеко просунувся в розумінні та усвідомленні системності людських колективів, груп, розумінні складності керування людьми.

3. Наступний етап у вивченні системності як самодостатнього предмета пов'язаний з прізвищем **О. О. Богданова** (справжнє прізвище – Малиновський), який протягом 1911-1925 рр. видав 3 томи книги «Всеобщая организационная наука (тектология)».

За Богдановим в суспільстві (і в біологічних системах) існує функціональна сторона, його прагнення швидко адаптуватися, і консервативна – це архітектурна схема організації. Лише активне використання зовнішнього середовища забезпечує збереженість системи. Здійснюючи позитивну селекцію, система за рахунок зовнішнього середовища збільшує кількість внутрішніх зв'язків, підвищує свою складність, підвищуючи разом з цим ефективність свого функціонування. Негативна селекція видаляє всі вибухонебезпечні джерела, долаючи внутрішній антагонізм організації, підвищує її однорідність, порядок в ній, систематизацію, структурну стійкість. Але одночасно негативна селекція зменшує функціональну ефективність організації.

4. Відчутний вплив на усвідомлення деяких аспектів поняття системності та особливо керування мають роботи **Н. Вінера**. Його праця «Кібернетика», що вийшла з друку в 1948 р. визначає кібернетику як «науку про управління та зв'язок в тваринах та машинах». Пізніше Вінер почав аналізувати процеси в людському суспільстві з точки зору кібернетики. З кібернетикою пов'язаний розвиток таких системних уявлень, як типізація моделей систем, виявлення особливого значення зворотних зв'язків у системі, підкреслення принципу оптимальності в управлінні та синтезі систем, усвідомлення значення інформації та можливостей її кількісного описання, розвиток методології моделювання, особливо проведення обчислювальних експериментів із застосуванням комп'ютера (що привело до розвитку важливого напрямку моделювання — імітаційного). Однак кібернетика найбільш сильно проявила свої можливості при дослідженні технічних систем.

5. Виникнення загальної теорії систем (ЗТС) пов'язують з іменем австрійського фізіолога **Людвіга фон Берталанфі**, який в 20—30-і роки займався питаннями системного підходу при вивченні живих організмів, розвиваючи загальну точку зору на необхідність цілісного підходу в біології та фізіології. У 1956 р. він організував наукове товариство з досліджень у області ЗТС, що видавало щорічні збірники наукових праць, в яких системний підхід розглядався як універсальна концепція, що об'єднує інтереси різноманітних наук. У 1962-1968 рр. Л. фон Берталанфі включав в ЗТС багато наук: кібернетику, теорію інформації, теорію рішень, топологію, факторний аналіз, теорію множин, теорію мереж, теорію автоматів, теорію масового обслуговування, теорію графів.



### 3. Основні напрямки системних досліджень

Людвіг фон Берталанфі виділяє наступні три основні тенденції в ЗТС: наука про системи; системна технологія; системна філософія.

1. **Наука про системи** досліджує застосування системних концепцій у фізичних, суспільних науках та науках про поведінку емпіричним чином. Увага зосереджується на науковому вивченні цілого та цілісності на протигагу до поелементного, редукаціоністського підходу. Реалізуються спроби оцінки рівнів складності та способів взаємодії і взаємних стосунків між компонентами системи, що аналізується. Широко використовуються математичні моделі для визначення подібності та ізоморфізмів в різних видах систем.
2. **Системна технологія** розглядає проблеми, що виникають у промисловості та суспільстві, які можна досліджувати шляхом застосування теорії систем. У системному аналізі, науці про управління, дослідженні операцій, інформатиці та промисловій інженерії концепції ЗТС трансформуються при пошуку практичних розв'язань конкретних проблем.
3. **Системна філософія** намагається концептуалізувати взаємні зв'язки та взаємні залежності між теоріями, що сформульовані в різних сферах наукових досліджень, є спробою об'єднати розділи традиційної науки в межах філософських концепцій загальних систем.

Особливо слід відзначити розвиток системної технології стосовно технічних систем, що дозволило започаткувати новий науковий напрямок – системотехніку. **Системотехніка** виникла у США на початку 50-х років і описує своєрідні «правила поведінки» інженера, що конструює складні системи. Основними завданнями системотехніки є:

- виявлення та описання найзагальніших системних характеристик та закономірностей, що не залежать від конкретного типу технічних комплексів;
- розроблення експериментальних методів, що дозволяють з достатнім рівнем достовірності та за умови прийнятного об'єму ресурсів оцінити теоретичні концепції;
- розроблення методів реалізації принципів системотехніки при створенні та використанні конкретних систем.

Розвиток основних тенденцій в ЗТС спричинив виникнення системології. Вона розглядається як «комплекс понять і концепцій, що стосуються і системного підходу, і системного аналізу, і загальної теорії систем, і системотехніки, і теорії ієрархічних систем», тобто є поєднанням «науки про системи» та окремих аспектів «системної філософії».

### 4. Передумови та необхідність виникнення системного підходу

Зародження системного аналізу пов'язують з 2-ю світовою війною та діяльністю «Ренд Корпорейшн» в області планування розвитку озброєнь. Початкове в системному аналізі (СА) найповніше використовувались методи та математичні засоби теорії дослідження операцій, але в подальшому почали широко застосовуватися евристичні методи (Дельфі, ПАТТЕРН та інші).

**Суттєвим в системному аналізі є наступне:** аналіз систем є способом розгляду проблеми; математичний апарат та комп'ютери можуть бути тут необхідними, але інколи достатніми можуть бути серйозні роздуми над проблемою; в будь-якому аналізі, що пов'язаний з прийняттям рішення в умовах невизначеностей, метою якого є вплив на вибір способу дії, незалежно від його складності, наявні такі елементи, як ціль (цілі), альтернативи (засоби досягнення цілей), витрати чи ресурси (те, що необхідно витратити для реалізації кожної з альтернатив), модель, критерії, згідно з якими обирається альтернатива.

Система є тим ізоморфним принципом, який проникає через усі кордони, що склалися між окремими науками історично, незалежно від того, що ці науки вивчають якісно зовсім різні класи явищ: машини, організми, суспільство.

Системний підхід виник як реакція на бурхливий розвиток аналітичних підходів в науці, які все більш віддаляли творчу думку від проблеми «цілісного організму». Серед підходів, які суттєво вплинули на формування принципів системного підходу слід виділити:

- логічний позитивізм,
- аналітична дедукція,
- редукціонізм,
- казуальна (причинна) логіка,
- індуктивний підхід.

**Логічний позитивізм** стверджує, що існує «об'єктивна» реальність, яка є незалежною та неспотвореною нашими особистими перспективами чи суб'єктивними інтерпретаціями світу. Однак факти є багатовимірними і можуть інтерпретуватися по-різному. Крім того, кожна група вчених надаватиме особливе значення такому підходу до розв'язання складних проблем, який є найсуміснішим з її філософією та методологією.

**Аналітична дедукція** та редукціоністська логіка стверджують, що найкраще можна пояснити ціле шляхом пояснення його частин, тобто редукціоніст розв'язує складну проблему шляхом розбиття її на складові та окремого дослідження кожної з них, що приводить до розвитку спеціалізованих дисциплін з певними сферами дослідження та впливу. Отже, виникає множинність в підходах, вчені спілкуються в межах своїх дисциплін, не розуміють наукову мову (тезаурус предметної області) один одного і не є в стані оперувати з системними проблемами.

В більшості випадків наше мислення ґрунтується на **концепції причинності**, монолітної **казуальної (причинної) логіки**. Згідно детерміністської концепції, спостереження (колишні стани системи) разом із законами природи визначають її майбутній стан

Редукціонізм є позитивним явищем у тому сенсі, що він забезпечує концептуальну основу, засоби і процедури для ідентифікації та вивчення важливих факторів, що входять у визначення проблеми. Однак дедуктивні методи не працюють або працюють погано, якщо наявно багато пов'язаних між собою факторів або вони неусвідомлені як фактори.

**Індуктивний** погляд ґрунтується на узагальненні окремих спостережень, тобто різні наукові дисципліни — це необхідні, але недостатні підґрунтя, використовуючи які ми формуємо теорії про досвід та знання. Системний підхід синтезує індуктивний та дедуктивний спосіб мислення з залученням інтуїтивних підходів (натхнення, образні типи мислення та ін.).

Одним з призначень системного аналізу (СА) є правильний відбір системного інструментарію для розв'язання поставленої проблеми. Декомпозиція мети — теж одне з призначень СА. Ще одне призначення СА — це формування критеріїв відбору засобів для досягнення цілей.

Обґрунтування вибору рішення — це теж одне з призначень СА **Призначення системи**, створеної людьми, спочатку визначається тими, хто її проектував, а пізніше користувачі пристосовують систему відповідно до своїх цілей. Система може мати різні призначення в залежності від точки зору спостерігача. Отже, поява та розвиток методів СА викликані новими рисами в тих проблемах, які людина повинна розв'язувати в сучасних умовах, а саме:

- зрослий масштаб проблем, які підлягають вирішенню;
- зростання взаємного впливу проблем одна на іншу;
- великий ризик неефективних витрат та втрат — а це приводить до вимоги старанно обґрунтовувати рішення;
- необхідність правильної постановки цілей, формування програми їх досягнення.

## 5. Предмет системного аналізу

Системний аналіз спрямований на розв'язання складних проблем. Проблема виникає тоді, коли є розходження між бажаним та дійсним, тобто це абстрактна категорія, що відображає розуміння людьми мотивів своєї діяльності. Проблеми породжуються та розв'язуються людьми, а тому поняття «проблема» має людські риси сприйняття, що породжує наступні труднощі:

- неясність розуміння проблеми;
- складності постановки проблем на віддалену перспективу;
- складність класифікації проблем і, як наслідок, вибір неадекватних засобів їх розв'язання;
- спотворена оцінка проблем (близькі, але дрібні проблеми затуляють великі, але віддалені);
- неправильна оцінка значимості проблем внаслідок вузькопрофесійної точки зору;
- змішування цілей, які необхідно досягнути, з засобами їх досягнення.

**Метою застосування системного аналізу** до конкретної проблеми є підвищення ступеня обґрунтованості рішення, що приймається.

Для СА важливими є наступні **методологічні принципи**:

- органічна єдність суб'єктивного та об'єктивного;
- структурність системи, що визначає цілісність та стійкість характеристик системи;
- динамізм систем;
- міждисциплінарний характер системних досліджень;
- органічна єдність формального та неформального при проведенні СА.

На відміну від доволі широкої системної методології системний аналіз обмежують дві наступні особливості:

- системні аналітики вивчають лише штучно створені системи, в яких людині належить надзвичайно важлива, а в багатьох випадках і вирішальна роль;
- головна задача СА — прийняття рішень і управління.

**Системний аналіз** — це методологія дослідження таких властивостей та відношень в об'єктах, які важко спостерігаються та важко розуміються, за допомогою представлення цих об'єктів у вигляді цілеспрямованих систем та вивчення властивостей цих систем та взаємних відношень як відношень між цілями та засобами їх реалізації.

Системний аналіз відрізняється від інших методів дослідження тим, що:

- враховує принципову складність об'єкта, що досліджується; бере до уваги розгалужені та стійкі взаємні зв'язки його з оточенням; враховує неможливість спостереження ряду властивостей об'єкта та оточуючого середовища;
- реальні явища, їх властивості та зв'язки з оточенням переводяться далі в абстрактні категорії теорії систем;
- ґрунтуючись на відомих властивостях складних систем дозволяє виявити нові конкретні властивості та взаємні зв'язки конкретного об'єкта дослідження;
- на відміну від інших методів, в яких точно визначені об'єкти, включає як один з важливих етапів визначення об'єкта, його знаходження чи конструювання;
- орієнтується не на розв'язання «правильно сформульованих» задач, а на створення правильної постановки задачі, вибір відповідних методів для її розв'язання;
- основне в СА — знайти шлях, яким можна перетворити складну проблему в простішу, яким чином не лише складну до розв'язання, але й для розуміння, проблему перетворити в послідовність задач, для яких існують методи їх розв'язання;

СА завжди конкретний — завжди має справу з конкретною проблемою, конкретним об'єктом дослідження, є продуктивним тоді, коли застосовується до розв'язання завдань певного типу. Системний аналіз застосовується для розв'язання складних проблем, що пов'язані з діяльністю людей.

Людську діяльність умовно можна поділити на дві області:

- рутинна діяльність, розв'язання регулярних, щоденних завдань;
- розв'язання нових задач, які виникають вперше.

Окрім того, проблеми розрізняються за ступенем їх структурованості:

- добре структуровані та сформульовані кількісно;
- слабо структуровані, в яких зустрічаються як кількісні, так і якісні оцінки;
- неструктуровані, якісні проблеми.

Перший тип проблем не потребує СА, оскільки існує потужний апарат математичного моделювання та строгі кількісні методи розв'язання. Основною областю застосування методів СА є слабо структуровані проблеми, а для розв'язання неструктурованих проблем в більшості застосовуються евристичні методи.

Потреба в СА виникає в тому випадку, коли виникають наступні ситуації:

- розв'язується нова проблема, і за допомогою СА вона формулюється, визначається, що і про що потрібно дізнатися, і хто повинен знати;
- розв'язання проблеми передбачає координацію цілей з множиною засобів їх досягнення;
- проблема має розгалужені зв'язки, що викликають віддалені наслідки в різних галузях, і прийняття рішення в таких випадках потребує врахування сукупної ефективності та повних затрат;
- існують варіанти розв'язання проблеми або досягнення взаємно пов'язаного комплексу цілей, які важко порівняти;
- створюються нові складні системи;
- здійснюється вдосконалення, реконструювання виробництва, необхідна реінженерія бізнес-процесів;
- при створенні інформаційних систем та комп'ютеризованих систем керування;
- коли важливі рішення повинні прийматися за наявності невизначеності та ризику та (або) на достатньо віддалену перспективу.

Для забезпечення успіху СА потрібно:

- застосовувати його у тих випадках, для яких він призначений;
- наявність потреби, зрозумілої мети та (або) призначення;
- відповідальне ставлення як аналітиків, так і організації-замовника;
- наявність накопиченої інформації, досвіду, ідей та уявлень про предмет дослідження;
- відображення в результатах СА реального стану справ та реальних шляхів розв'язання проблем, а не «обґрунтування» суб'єктивних рішень;
- наявність ресурсів — кваліфікованих експертів, обладнання, грошових засобів;
- аналіз можливого впливу сторонніх побічних факторів (прогноз наукових відкриттів, винаходів, політичної ситуації).

## **6. Методи екологічних досліджень.**

Методологічною основою екології як науки про екосистеми є системний підхід. Система, як відомо, це впорядковано взаємодіючі і взаємопов'язані компоненти, що утворюють єдине ціле.

**Екологічні системи** – складні структури організованої матерії, в яких при об'єднанні компонентів в більші функціональні одиниці виникають нові, або, як їх ще називають, *емерджентні* властивості екологічного рівня, не можна передбачити, виходячи з властивостей компонентів, що становлять цей рівень.

Дійсно, окремі лісові дерева, кущі, трави, гриби, птахи, комахи, звірі мають свої якісні характеристики, але всі разом вони творять нову якість – ліс. Однак, крім емерджентних властивостей кожної системи існують і сукупні властивості.

Виходячи з *принципу емерджентності* для вивчення цілого не обов'язково знати всі його компоненти. Такий метод вивчення системи називають *холістичним*.

Крім холістичного методу в науці часто застосовують і *редукційний метод*, тобто аналіз частин цілого. Ці два методи не протиставляються, а поєднуються. Ідеальне вивчення будь-якого рівня системи – це вивчення тричленної ієрархії: системи, підсистеми, надсистеми.

Системний підхід до вивчення екосистеми вимагає вирішення трьох *основних завдань*:

1. Вивчення її складових частин і взаємодіючих з нею об'єктів оточуючого середовища;
2. Встановлення структури екосистем, тобто сукупності внутрішніх зв'язків і стосунків, а також зв'язків між екосистемою і оточуючим середовищем;
3. Знаходження функції F, яка визначає характер змін компонентів екосистем і зв'язків між ними під дією зовнішніх об'єктів.

Для вирішення цих трьох завдань використовують три основні групи методів:

1. Польові спостереження;
2. Експеримент в полі і лабораторії;
3. Моделювання.

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

1. Методи, за допомогою яких збирається інформація про стан екологічних об'єктів: рослин, тварин, мікроорганізмів, екосистем, біосфери;
2. Методи обробки отриманої інформації, згортання, ущільнення та узагальнення;
3. Методи інтерпретації отриманих фактичних даних.

Будь-яке екологічне дослідження починається зі *спостережень*, відмітною рисою яких є невтручання спостерігача в перебіг процесів. Такі спостереження можуть здійснюватися, так би мовити, неозброєним оком, що було характерним для екології першої половини ХХ століття.

В останні десятиріччя екологічні спостереження ведуться із застосуванням різноманітних приладів та механічних засобів. Це вже начебто і не спостереження в побутовому значенні цього слова, а отримання інформації про стан об'єктів.

У сучасній екології спостереження за допомогою приладів – один з основних методів дослідження. Шлях до нього був досить довгим – від описів картин природи, чудові взірці яких зустрічаються в працях А. Гумбольта, А. Уоллеса, Ч. Дарвіна в перші половині ХІХ століття, до сучасних комп'ютерних баз даних видового складу, параметрів середовища тих чи інших екосистем.

Для вивчення властивостей природного середовища – повітря, води та ґрунту – застосовуються різноманітні прилади та устаткування, до обслуговування яких доводиться залучати спеціально підготовлені інженерні кадри. Специфічним є також і методи вивчення живих організмів. Для їх реалізації спеціалісти-біологи.

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

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

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

Прикладом екологічного експерименту може служити внесення мінеральних добрив у замкнену водойму з реєстрацією розміру первинної біопродукції та взаємозв'язків різних груп організмів; штучне витоπτування й ущільнення ґрунту в лісах чи на луках для встановлення впливу реакції (відпочинку населення) на цій екосистемі тощо. Широкої популярності набули результати комплексних польових експериментів, проведених у 1956–1964 роках у лісових біогеоценозах під керівництвом В.М. Стукачова.

Всесвітнє значення мають численні експерименти, здійснені в 1964–1974 роках взяли участь учені практично всіх країн світу, і вона дала дуже важливі результати по встановленню основних глобальних закономірностей біопродукційного процесу.

Значну роль в екології відіграють модельні експерименти. Вони проводяться в спеціальних лабораторіях, лабораторних установках в полягають у вирощуванні окремих видів рослин чи розведенні тварин у контрольованих екологічних умовах. У результаті таких експериментів було отримано чимало цікавих даних і висновків. Класичними є лабораторні експерименти з інфузоріями. У них уперше було виявлено роль щільності популяції і хижацтва в народжуваності, смертності і підсумковій чисельності особин.

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

У результаті спостережень та експериментів у розпорядженні еколога накопичується сукупність наукових факторів. Але за науковий факт не можна приймати результати будь-якого спостереження. Важливим критерієм достовірності результатів спостережень та експериментів є відтворність. Вона досягається, як правило, багаторазовим повторенням спостережень та експериментів. Результати таких повторюваних спостережень або обліків у сукупності складають так звану *вибірку*.

Відповідне статистичне опрацювання даних дослідження дозволяє оцінити рівень статистичної достовірності результатів та вважати їх науковим фактом.

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

**Науковий метод.** Екологічні дослідження вимагають систематичного дотримання чотирьох послідовних етапів:

1. Спостереження.
2. Формування на основі спостережень теорії про закономірність досліджуваного явища.
3. Перевірка теорії наступними спостереженнями й експериментами.
4. Спостереження за тим, чи передбачення, основані на цій теорії, правдиві.

Факти базуються на прямих або непрямих спостереженнях, що виконані за допомогою органів відчуття або приладів. Усі факти, які належать до конкретної проблеми, називаються даними.

Спостереження можуть бути якісними (описувати колір, форму, смак, зовнішній вигляд) або кількісним. Кількісні спостереження є точнішими. Вони включають вимірювання величини або кількості, наочним виразом яких можуть бути якісні ознаки.

Внаслідок спостережень отримують так званий «сирий матеріал», на основі якого формулюється гіпотеза.

**Гіпотеза** – це науково обґрунтоване припущення, яке базується на спостереженнях, за допомогою якого можна пояснити те чи інше явище.

Для оцінки гіпотези проводять серію експериментів з метою отримання нових результатів, які б підтверджували або ж заперечували гіпотезу. В більшості гіпотез обговорюється ряд факторів, які могли б вплинути на результати наукових спостережень. Ці факти називають *змінними*.

Гіпотези можна об'єктивно перевірити в серії експериментів, у ході яких по чергово виключається по одній із змінних, що впливають на результати наукових спостережень. Вказану серію експерименту називають *контрольною*. В конкретному випадку перевіряється вплив тільки однієї змінної.

Найвдаліша гіпотеза стає *робочою гіпотезою*, і якщо вона здатна встояти при спробах її усунення і вдало передбачає раніше не зрозумілі факти і взаємозв'язки, то вона може стати *теорією*.

Загальний напрям наукового дослідження полягає в досягненні вищих рівнів передбачуваності. Якщо теорію не здатні змінити жодні факти, а відхилення від неї регулярні і передбачувані, то її можна перевести в ранг *закону*.

В міру збільшення сукупності знань і вдосконалення методів дослідження гіпотези і навіть міцно вкорінені теорії можуть дискутуватися, видозмінюватися і навіть відкидатися. Наукові знання за своєю природою динамічні і народжуються в процесі полеміки, а достовірність наукових методів постійно піддається сумніву.

## **7. 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 біосфері 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 середовищотвірних 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 ХХ—ХХІ 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; Мойсеєв, 2000).
3. Відмова від природопідкорювальної ідеології еґо- (антропо-) центризму та формування ідеології та методології екоцентризму, спрямованих на екологізацію економіки, виробництва, 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.

## **8. Роль в екології системного підходу**

**Системна екологія** — сукупність принципів і концепцій системного аналізу стосовно до екології. Системна екологія як формалізований цілісний підхід стала самостійним розділом загальної екології в результаті розвитку сучасних формальних математичних методів, кібернетики, обробки даних на ЕОМ, інформатики тощо, а також формального спрощення складних екосистем. Системна екологія відкриває реальний шлях до вирішення проблем, пов'язаних із середовищем проживання людини.

**Завдання «системної екології»** — це проводити дослідження структури і функціонування екологічної системи та ролі в ній різних популяцій (видів) з метою оцінки можливості прогнозування розвитку екосистеми і динаміки складових її елементів, а також вирішувати завдання управління ними. Це досить складні завдання і для їх рішення повинні залучатися математичні методи, методи моделювання та комп'ютерні технології.

**Основним методом досліджень** у «системній екології» є системний аналіз, який являє собою синтетичну дисципліну, що розробляє способи дослідження різноманітних складних систем або ситуацій при нечітко поставлених цілях (критеріях). Такі дослідження необхідні для визначення науково обґрунтованої програми дій з урахуванням не тільки об'єктивної, але і суб'єктивної інформації. При системному підході використовуються математичний апарат теорії дослідження операцій, методи багатовимірної статистики і методи неформального аналізу, такі як метод експертиз, метод опитування, евристичні методи та комп'ютерне моделювання. Істотною частиною дослідження систем є вибір способу опису змін, що відбуваються в них, і формалізація такого опису. Складність формалізації визначається поєднанням різнотипних факторів, що характеризують систему, наприклад поєднання екологічних, економічних та інших факторів. По суті, нині ми як мінімум повинні розглядати «еколого-економічні» системи у зв'язку з антропогенним впливом людини.

Розробка методів системного аналізу як наукової дисципліни ведеться за кількома напрямками. Одним із найважливіших з них є створення принципів побудови та використання моделей, що імітують протікання реальних процесів, способів їх об'єднання в системи і такого подання в ЕОМ, яке забезпечувало б простоту їх використання без втрати адекватності. Інший напрямок пов'язаний з вивченням організаційних структур і насамперед систем, яким притаманна ієрархічна організація. Незважаючи на значну кількість опублікованих робіт з системного аналізу, досі відсутні практичні керівництва з цієї дисципліни, в тому числі стосовно екології.

## **9. Основні етапи розвитку системного аналізу як розділу екологічної науки**

В ході історичного розвитку і процесі формування предмету екології виявлялися певні парадигмальні орієнтації цієї науки. Першою за значимістю і в історичному сенсі в екології є **еволюціоніська парадигма**. Її концептуальні засади були утверджені переважно у працях англійських натуралістів Ч. Лайєля та Ч. Дарвіна. Суть її полягає у розробленні нової методології і теорії виникнення екологічних феноменів - адаптацій, доцільності, прогресу та ін.

Ч. Лайель, передовсім у праці "Основи геології", заперечує традицією залучення надприродних сил для з'ясування природних явищ. Для пояснення подій минулої геологічної історії Землі знання сутності нині діючих сил. Запропонований принцип уніформізму (актуалізму) ґрунтувався на тезі: вивчення сучасного є ключем до пізнання минулого.

Ч. Лайель обґрунтував, що геологічні шари земної кори неоднорідні та відмінні одні від одних, а тому неподібність, зафіксована стратиграфічне, може слугувати водночас і показником тяглості відповідних груп організмів у часі. Він вважав також, що види здатні змінюватися, пристосовуючися до довкілля, що ці зміни відбуваються поступово, повільно але неминуче, що добуті властивості успадковуються та ін. Загалом ці висновки досить адекватно відображали феноменологію біогенезу. А принцип уніформізму став наріжним каменем будь-якого дослідження, пов'язаного з реконструкцією минулих подій.

Вирішальний вплив на впровадження наукової методології в екологію справили праці Ч. Дарвіна. Запропонована ним теорія еволюції шляхом природного добору є одним з найвидатніших інтелектуальних здобутків людства, і тому значення її виходить далеко за межі біології та екології.

За теорією еволюції, сенс розвитку полягає не у сходженні до ідеального типу організації, а в постійному, невпинному пристосуванні видів до довкілля, досягненні з ним стану рівноваги. Мірилом прогресу виду постає вже не досконалість будови, а здатність виживати в конкретних умовах середовища. Зрозуміло, що цей висновок має і суто екологічний зміст.

Сам Дарвін досліджував і конкретні екологічні питання. Аутоекологічні спостереження, зокрема, спонукали до формування багатьох тез раннього дарвінізму. Відомо, що порівняння споріднених видів птахів Південної Америки та Галапагоських островів, сучасних та викопних лінивців було поштовхом до трансформізму. Опис видів, що заселили ту чи іншу ділянку суходолу чи моря, засвідчував, що доцільність будови та способу життя вказаних організмів адаптивна, конкретна і визначається умовами природного оточення. У разі зміни останнього неминуче мають настати і зміни біоти: міграція, вимирання або виникнення нових пристосувань.

Дарвін виконав і низку синекологічних досліджень. У праці "Будова та розподіл коралових рифів" (1842) аналізуються надвидові системи, фактично - цілісний біогеоценоз. Екологічна характеристика окремих видів, що заселяють атоли, коралові рифи, морське середовище, доповнюється думками щодо закономірностей існування їх у певній системі вищого порядку. Такий підхід є необхідним, коли довоколишні зміни стосуються всього біогеоценозу. Останнє буває, зауважував Дарвін, коли атоли опускаються під воду, внаслідок чого його мешканці опиняються в зовсім іншій екологічній ситуації. У такому разі відбувається зміна одних видів іншими, котрі краще пристосовані до життя на певній глибині. Отже, змінюється вся екосистема.

В розвитку екології як самостійної науки суттєва роль належить дослідженням і методологічним узагальненням В.І.Вернадського. **Вчення про біосферу утвердило нові парадигмальні виміри і орієнтації екології і природознавства в цілому.**

Про біосферу (як сукупність живих істот) писав ще Ж.-Б. Ламарк у праці "Гідрогеологія" (1802). Австрійський геолог Е. Зюсс використовував цей термін для позначення утворених живими організмами викопних порід ("Про походження Альп", 1875). Німецький геолог І. Вальтер вживав цей термін у традиції Зюсса. Український геолог П. Тутківський писав про біосферу як про просторове розміщення біоти на планеті. В. І. Вернадський у низці праць, передовсім у книзі "Біосфера" (1926), що була практично одночасно видана основними європейськими мовами, розробляє принципово нове розуміння феномена біосфери - як якісно відмінного від усіх інших об'єкта, як області існування життя на планеті, як найбільшого біокосного тіла на Землі. Тобто біосфера - це своєрідна "плівка життя", що огортає поверхню планети, залишаючись при цьому цілісним, динамічним, самоорганізованим утвором, що постійно розвивається. Як ціле, у свою чергу, біосфера включена у ще обширніше довкілля - глибинні породи Землі, з одного боку, космічний простір - з іншого. Таким чином, біосфера постає об'єктом не

лише земним, а й космічним. Згодом у середині ХХ ст. самим В. І. Вернадським, а також видатним французьким мислителем П. Тейяр де Шарденом була сформульована концепція ноосфери. Остання - це такий стан біосфери, котрий визначається діяльністю людини.

Наприкінці ХІХ- на початку ХХ ст. в науковому пізнання починає стверджуватися **системний підхід** до аналізу об'єктів. Вимоги системності були опрацьовані в праксеології Т. Котарбінським, тектології А. Богдановим, викладені у загальній теорії систем Л. фон Берталанфі, вченні про гомеостазис К. Бернара та ін. Системна парадигма почала проявляти свої орієнтири і в екології. Найвідсутнішим чином вони реалізувалися в обґрунтуванні концепцій екосистеми та біогеоценозу, що означало перехід до системного мислення в екології. Особливу роль у цьому зіграли праці Й. Пачоського, В. Сукачова та А. Тенслі.

Й. Пачоський, український еколог та ботанік, ще наприкінці ХІХ ст. запропонував виділити для вивчення рослинних угруповань науку флорологію (пізніше, в 1910 р. він зупинився на терміні фітосоціологія). Члени рослинної спільноти, за доказами вченого, зв'язані не лише екологічними умовами, а й "певною залежністю соціального гатунку", внаслідок чого утворюється нове ціле - "життєва одиниця вищого порядку". Тобто, він обґрунтував факт єдності ценозів з певним ландшафтом, унаслідок чого утворюється якісно інший об'єкт, що відповідає методологічним орієнтаціям системного аналізу

Російський еколог В. Сукачов є автором терміна "фітосоціологія" (1908). Незалежно від інших дослідників він уводить поняття і розробляє концепцію біогеоценозу і відповідно визначає біогеоценоз як сукупність на певному проміжку земної поверхні однорідних природних явищ (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу та світу мікроорганізмів, ґрунту і гідрологічних умов), яка має свою особливу специфіку взаємин цих утворюючих цю сукупність компонентів і певний тип обміну речовиною й енергією між собою та іншими явищами природи, яка являє собою внутрішньо суперечливу діалектичну єдність, що перебуває у постійному рухові, розвитку. Найважливіший результат біогеоценологічних досліджень полягав в обґрунтуванні тези про реальність біогеоценозу як природного тіла, окресленого у просторі, зі специфічними зв'язками між компонентами, здатного до самоорганізації та саморозвитку.

Потужні імпульси для **утвердження системного підходу** пов'язані також з іменами Ч.Елтона та А.Тенслі. У книзі "Екологія тварин" (1927) Ч.Елтон сформулював теоретичні засади таких узагальнень, як піраміда чисел, екологічна ніша, ланцюги та цикли харчування, сукцесії тощо. Продовжуючи цю традицію, А. Тенслі дійшов висновку, що несистемних об'єктів в екології практично не буває, що відобразила запропонована ним **концепція екосистеми**. За Тенслі (1935), екосистемами слід вважати біотичні угруповання найрізноманітнішого об'єму та рівня разом ізпритаманними їм екологічними умовами. Отже, екосистема - це безрозмірна стійка система живих та неживих компонентів, у яких здійснюється зовнішній та внутрішній кругообіг речовин та енергії.

В 1959 р. на симпозіумі з уніфікації основних понять екології, що працював у рамках ІХ Міжнародного ботанічного конгресу (Канада) було визнано рівнозначність понять "біогеоценоз" та "екосистема". Отже, їх можна вживати як синоніми.

Наведений історичний екскурс, зрозуміло, не є вичерпним. Але він дає певне уявлення про час та причини постання найважливіших ідей сучасної екології, які істотно визначали її становлення як науки. В межах формування певних парадигм ці ідеї продовжують впливати на її подальший теоретичний розвиток у різноманітності форм пізнання.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Дати визначення поняттю «системний аналіз».
2. Охарактеризувати основні напрями системних досліджень.
3. Що є предметом системного аналізу?
4. Які є методи екологічних досліджень?
5. Вказати основні проблеми та наукові напрями сучасної екології?
6. Дати визначення поняттю «екологічні системи».
7. Яка роль в екології системного підходу?
8. Дати визначення поняттю «системна екологія».
9. Описати основні етапи розвитку системного аналізу як розділу екологічної науки.

### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 2: ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ СИСТЕМ ЯК НАУКОВА ОСНОВА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### План

1. Концептуальна еволюція системного світогляду.
2. Становлення теорії систем як галузі наукового знання.
3. Синергетика як новий напрям наукових досліджень.

### 1. Концептуальна еволюція системного світогляду

**Світогляд** - це «система поглядів, звернених на об'єктивний світ і місце людини в ньому, на ставлення людини до довколишньої дійсності та самої себе, а також зумовлені цими поглядами основні життєві позиції людей, їхні переконання, ідеали, принципи пізнання й діяльності, ціннісні орієнтації».

Основу світогляду формують погляди, що створюють узагальнену картину світу (природи й суспільства), визначають місце і роль людини в ньому, фіксують норми поведінки та цінності життя, вказують життєві орієнтири.

У світогляді акумулюються найрізноманітніші знання про світ і людину. Але не кожне, навіть перевірене наукою знання, є складовою світогляду. Специфіка світогляду в тому, що у ньому створюється не якась узагальнена модель дійсності і буття в ній людини, а головним чином осмислюється сукупність відношень «людина— світ». Причому характер цих відношень розкривається з погляду історично визначених соціально-культурних потреб, інтересів, ідеалів і цінностей.

У будь-якій своїй історичній формі світоглядні уявлення мають відповідати на основне питання — питання про призначення людини, тобто про те, якими є цілі, цінності та способи справжнього людського буття.

Світогляд — це форма суспільної самосвідомості людини. У ньому відбувається осмислення й оцінка світу і місця в ньому людини, її ставлення до навколишньої реальності та самої себе.

У світогляді за допомогою відчуттів, образів, понять, ідей, теорій відбувається освоєння різних типів відношення «людина — світ». З цього погляду в структурі світогляду, як правило, виділяють чотири аспекти, що фіксують і розкривають основні способи та грані людського буття, тобто типи відношень «людина — світ».

1. *Онтологічний* (онтологія — вчення про буття). У цьому аспекті світогляду розглядається узагальнена картина походження світу й людини, розкриваються їхні структурні особливості, характер взаємозв'язків, основні закономірності. Найсуттєвішою тут є проблема співвідношення буття світу і людського буття, тобто те, яким чином і якою мірою зовнішні фактори (Бог, природа, соціальне середовище) визначають сутність людини, мету, цінності та способи її існування.

В онтологічному аспекті розглядаються відмінності між історичними типами світогляду — міфологічним, релігійним, науковим.

2. *Гносеологічний* (гносеологія — вчення про пізнання). У цьому аспекті розкривається пізнавальне ставлення людини до світу і самої себе. Визначаються можливості пізнання, його межі, найоптимальніші форми і методи пізнавальної діяльності. З'ясовуються критерії істинності здобутого знання. Спектр поглядів на проблему пізнання й самопізнання досить широкий, оскільки само пізнання — стихійний процес, в якому сумнів цілком природний.

Однією з форм пізнання є агностицизм — заперечення пізнаваності світу. Так у філософському вченні Канта визнається можливість пізнання, але водночас стверджується, що пізнати можна лише явища, сутність речей і процесів — буття світу і людина в цілому непізнавані.

Інші філософські концепції, наприклад, гегелівське вчення чи філософія марксизму, визнають можливість одержання повного й істинного знання. Гносеологічний аспект світогляду дає вирішення проблеми співвідношення форм і методів пізнання, їхньої оптимальності. Наприклад, проблема співвідношення чуттєвого і раціонального

пізнання, віри й розуму. Цей світоглядний аспект покликаний відповісти на питання про мету пізнання світу й самопізнання людини.

3. *Практичний, або праксиологічний.* У цьому аспекті світогляду розкривається ставлення людини до світу і самої себе з погляду можливості, меж і способів її діяльності. Найсуттєвішим тут є питання про свободу волі людини і те, як вона має діяти, щоб досягнути своєї мети, сенсу життя в цілому.

Як показує історія розвитку людських уявлень, традиційною є дискусія з приводу того, що визначає людську поведінку, чи має людина свободу у виборі цілей та способів своєї діяльності.

Альтернативними є трактування, одне з яких стверджує, що життя людини наперед визначене, інше — що людина істота вільна. Вона може довільно обирати цілі своїх дій та шляхи їх досягнення.

Перша світоглядна настанова була властива для багатьох релігійних та філософських концепцій, їх називають фаталістичними.

Другий підхід характерний для деяких сучасних філософських напрямів, наприклад — екзистенціалізму. Він визнає, що людина з самого початку істота вільна, вона приречена на свободу, її життя — це нескінченний процес вибору й здійснення своїх життєвих шляхів.

У праксиологічному аспекті пропонується вирішити питання про вибір найбільш значущих для реалізації сутності людини способів людської діяльності — пізнавальної, виробничої (наприклад, ставлення до праці у протестантизмі), моральної.

4. *Аксеологічний* (аксеологія — вчення про цінності). Це центральний аспект світогляду. Крізь нього переломлюється решта світоглядних знань про світ і людину. У цьому аспекті відбувається осмислення цінностей людського життя (моральних, естетичних, соціально-політичних і т. д.). Через аксеологічний аспект пропонується вирішення проблеми сенсу життя людини, тобто те, як вона повинна жити, будувати свою долю, до якої мети прагнути, як оцінювати себе і своє існування, на що сподіватися.

Таким чином, у світогляді через різні форми відображення розкривається сукупність відношень «людина - світ», які називають духовно-практичними. Іноді їх поділяють на духовні й практичні. За такого підходу перший (онтологічний) і третій (праксиологічний) аспекти світогляду визначаються відображенням практичних відношень, другий (гносеологічний) і четвертий (аксеологічний) — духовних відношень. Проте чітко розмежувати відношення «людина — світ» і визначити їх як суто практичні й духовні можна лише за значних припущень, розділивши, наприклад, пізнання і практику на самостійні, автономні, суттєво не взаємопов'язані одна з одною реальності.

За своєю природою духовне і практичне — це два нерозривні моменти людського буття. Практична діяльність (перетворення природи, людини людиною) ґрунтується на пізнанні й усвідомленій діяльності (визначення цілей, самоусвідомлення), тобто духовному освоєнню людиною дійсності.

## **2. Становлення теорії систем як галузі наукового знання**

Поняття "система" (організм, лад, союз, ціле, складене із частин) з'явилося в Древній Греції близько 2000 років тому. Античні вчені (Аристотель, Демокрит, Платон і інші) розглядали складні тіла, процеси й міфи світобудови як компоненти різних систем (наприклад, атомів, метафор).

Вклад вчених ренесансу (Коперник, Галілей, Ньютон і інші) дозволив перейти до геліоцентричної системи світу, до категорій таких як "річ і властивості", "ціле й частина", "субстанція й атрибути", "подібність і розходження" і ін. В подальшому розвиток системного аналізу відбувається під впливом різних філософських течій, теорій про структуру пізнання й можливості пророкування (Бекон, Гегель, Ламберт, Кант, Фіхте й інші). У наслідку такого розвитку системний аналіз займає позицію методологічної науки.

Натуралісти XI-XX ст. (Богданов, Берталанфі, Вінер, Ешбі, Цвіккі й інші) не тільки зробили актуальною роль модельного мислення й моделей у природознавстві, але й сформували загальні системоутворюючі принципи, принципи системності наукового

знання, "об'єднали" теорію відкритих систем, філософські принципи й здобутки природознавства. В наш час розвиток теорія систем, системний аналіз отримали під впливом здобутків як класичних галузей науки (математика, фізика, хімія, біологія, історія й ін.), так і неklasичних галузей(синергетика, інформатика, когнітологія, теорії нелінійної динаміки й динамічного хаосу, катастроф, нейроматематика, нейроінформатика й ін.).

Необхідно виділити вплив техніки (з найдавніших часів) і технології (сучасності) на розвиток системного аналізу, а саме, на її прикладну область - системотехнікові, на методологію проектування складних технічних систем. Це вплив - взаємне: розвиток техніки й технології доповнює системний аналіз новими методами, моделями, середовищами.

Епоха створення основ системного аналізу була характерна розглядом найчастіше систем фізичного або філософського (гносеологічного) походження. Однак постулат (Аристотеля): "Важливість цілого вище важливості його тридцятимільйонних" пізніше замінив інший постулат (Галілея): "Ціле пояснюється властивостями його тридцятимільйонних". Значущий внесок у створення й збагачення системного аналізу, системного мислення внесли такі вчені: Р. Декарт, Ф. Бекон, И. Кант, И. Ньютон, Ф. Енгельс, А.И. Берг, А.А. Богданов, Н. Вінер, Л. Бергаланфі, Ч. Дарвін, И. Пригожин, Е. Ешбі, А.А. Ляпунов, Н.Н. Моисеев і інші.

Системний аналіз і теорія систем з'явилися ще зовсім недавно і є молодими напрямками у наукових дослідженнях. Розвиток продовжується й у наш час. Початок формування понятійного апарату системних досліджень відносять до 30—50-х років ХХ ст. та пов'язують з роботами відомого австрійського вченого-біолога Людвіга фон Бергаланфі. Але цей процес має глибші історичні корені. Біологи та психологи вже давно дійшли висновку, що при дослідженні цілісного організму дуже рідко вдається спостерігати за зміною однієї визначеної змінної у чистому вигляді. Зміни одного з параметрів, як правило, спричиняють взаємопов'язані зміни багатьох інших, що, в свою чергу, впливають на перший.

Для дослідження подібних процесів необхідно створити певну модель досліджуваної системи, яка б враховувала найсуттєвіші взаємозв'язки та імітувала на абстрактному рівні поведінку об'єкта. Але деякі прийоми моделювання при аналізі складних систем ще задовго до біологів, психологів та соціологів застосовували економісти. Тут доречно згадати, наприклад, про відомі «Економічні таблиці» Франсуа Кене. Інші аспекти системного аналізу (інформаційний та управлінський) також давно є предметом уваги економістів. Економісти розглядали процеси управління в системах, які складаються із взаємопов'язаних між собою елементів, раніше, ніж ці проблеми були сформульовані в загальнотеоретичному аспекті в інших науках — у техніці, в біології і задовго до того, як вони були сформульовані в кібернетиці. Апарат системного аналізу дає можливість розкрити та зрозуміти закономірності функціонування технічних, біологічних, соціальних систем, логіку їхнього внутрішнього розвитку, і тому він широко застосовується в цих науках.

Сьогодні загальна теорія систем є наукою, що вивчає поведінку систем з метою виявлення основних властивостей їх поведінки. Ця теорія призначена визначити та пояснити яким чином з окремих елементів утворюється складна єдність цілого, нова сутність. Перехід від властивостей елементів до властивостей системи представляє найважливішу задачу теорії систем. Сучасна наука про складні системи розвивається у трьох напрямках:

- створення концептуальних і методологічних основ;
- формування і формалізація нових задач;
- розробка методів і апарату вирішення.

Наочним прикладом цього революційного процесу є бурхлива поява нових галузей знань, нових наукових дисциплін, які виникають на стиках старих, поява комплексних „гібридних” наук, створення нових наук на основі багатосторонніх зв'язків між старими науками, народження нових принципів нових методів і принципів дослідження, котрі дають плідні результати. Такими новими „синтетичними” дисциплінами є фізична хімія, астроботаніка, біохімія, біоніка (біологічна кібернетика), хімічна фізика, інженерна

біологія, нейроінформатика, геонформаційні системи і технології та багато інших.

Синтез різних наук виявився у вищому ступені плідним. Є підстави вважати, що дана тенденція стає найважливішою, бо найбільш великі відкриття нашого часу зроблені на стику різних наук, де народились нові наукові дисципліни і напрямки. Всі ці новотвори – результат спільної дії двох зовні протилежних процесів: диференціації та спеціалізації, розподілу і інтеграції. Тобто, при вирішенні певних проблем відбувається синтез наукових знань, здійснюється комплексний підхід та перенесенням методів і принципів дослідження з однієї області в іншу, взаємопроникнення методів. Інтеграція приводить до висновку, що більшість проблем можуть отримати правильне наукове висвітлення тільки у тому випадку, якщо вони будуть опиратися на різні науки – суспільні, природні та технічні.

Щоб дійсно глибоко досліджувати якісь процеси, необхідний синтез, інтеграція висновків конкретних наук і результатів дослідження різних спеціалістів – інженерів, соціологів, філософів, економістів, психологів і т. ін.

**Перша особливість** сучасного наукового пізнання – диференціація та інтеграція в розвитку науки.

**Друга, особливість**, полягає в придбанні сучасними науками все більшої строгості і точності. Відомо, що науковий процес нерозривно пов'язаний з використанням математики. Знання в науці про системи можуть бути отримані як знання про класи систем або шляхом моделювання на комп'ютері. Прикладом математично отриманих знань про системи можуть бути принципи максимуму ентропії і мінімуму інформації, закон необхідного розмаїття Ешбі. Прикладами знань, отриманих моделюванням на ЕОМ є вплив кількості змінних і зв'язності системи на її стабільність, вплив взаємозв'язку між структурами і поведінкою системи і т. ін.

Однак, кількісний аналіз неприпустимо абсолютизувати, не можна виходити за рамки доцільного. Обчислення самі по собі, в тому числі і за допомогою самих сучасних комп'ютерів, загрожують виродитись в гру цифр. Більше того, звичка до обчислень може навіть відучити думати.

**Третя особливість** – сучасна наука розвивається більш динамічно, ніж раніше.

**Четверта особливість** – на наш погляд, в Україні спостерігається серйозна криза освіти, яка полягає у тому, що вона орієнтована на знання, уміння і навички, але не на розуміння і творче мислення. Взагалі ця схема зовсім непогана, вона досить ефективна для підготовки робочих, водіїв, льотчиків і деяких інших спеціальностей, але досить малоефективна для навчання інженера, менеджера, економіста і т. ін., оскільки в цих професіях важливі не просто знання, а їх системність і розуміння.

### **3. Синергетика як новий напрям наукових досліджень**

**Синергетика** - новий напрям у пізнанні людиною природи, суспільства і самого себе, сенсу свого існування. Нова якість у пізнанні досягається за рахунок використання нелінійного мислення і синтезу досягнень різних наук при конструюванні образу світобудови.

**Термін "синергетика" походить від грецького "сінергос" - спільно діючий.** У даному випадку маються на увазі спільні зусилля вчених багатьох областей знання з пошуку нових парадигм пізнання явищ природи, суспільства і створення наукової картини світу, що відповідає сучасним вимогам. На стиках наук, на шляхах їх інтеграції в рамках нелінійного мислення з'являється можливість дійсно по-новому поглянути на результати досліджень в астрономії та космології, фізики і хімії, математики, біології, інших природничих науках, науках про людину і суспільство. При цьому відбувається не тільки інтеграція наукових досягнень, пов'язаних з використанням різних теоретико-методологічних напрямів сучасності, але і звернення до найбільш продуктивним ідеям всіх часів і народів, зокрема, до ідей давнини, як на Сході, так і на Заході.

У мислителів Сходу (особливо Китаю та Індії) синергетика запозичує і розвиває далі філософські концепції цілісності світобудови (усі в усьому) і ідею загального закону, єдиного шляху, якого дотримуються і світ в цілому, і людина у ньому. Від Заходу ж вона



успадковує традиції аналізу з використанням математичного апарату, опору на експеримент. Серед філософських течій нового часу на становлення синергетики вплинули як діалектичний матеріалізм, а й деякі ідеї позитивізму, онтологізма, редукціонізму. На такій концептуальній основі синергетика веде діалог з минулим, сьогоденням і майбутнім. У результаті формується принципово нова теорія і методологія пізнання, яка, спираючись на останні досягнення математичного моделювання за допомогою сучасної обчислювальної техніки, стала конкурентом філософії.

Синергетика - це не тільки своєрідний синтез багатьох наукових методів дослідження, методологічних систем, теоретичних побудов, а й переведення їх у нові виміри постнекласическої науки, що відбивається у формуванні відповідного категоріального апарату. У результаті ми отримуємо нові виміри природної та соціальної дійсності, нові методи її опису, аналізу, типологізації, інтерпретації явищ і процесів, їх осмислення.

У синергетики складається і власний предмет дослідження. Вона вивчає закономірності та механізми самоорганізації (переходу від хаосу до порядку) у відкритих нелінійних системах складної конфігурації, якими, безумовно, є і природа в цілому, і людське суспільство, і багато систем штучного походження. Будучи тісно пов'язаною з кібернетикою, математичним моделюванням і системним підходом до вивчення реальності, синергетика розширює наші уявлення про саморусі і розвитку матерії, взаємозв'язку матеріального і духовного, дозволяє по-іншому поглянути на еволюційні процеси в природі, на процеси виникнення життя і людини, на перспективи людської цивілізації в космологічних просторово-часових масштабах.

Специфіка предмета синергетики полягає в тому, що вона вивчає процеси самоорганізації у відкритих системах під кутом зору нелінійного мислення. Об'єктом ж дослідження є складноорганізовані нерівноважні системи, що знаходяться на різних стадіях переходу від хаосу до порядку і назад. Евристичні можливості синергетики знаходяться використання практично у всіх галузях знання.

Синергетика не є вже сформованою наукою. До нового напрямку міждисциплінарних досліджень приєднуються представники самих різноманітних галузей знання, які, природно, йдуть до осмислення ідей синергетики з позицій своєї вихідної спеціалізації, будь то фізика або математика, біологія або хімія, філософія чи соціологія, економіка чи кібернетика.

До теперішнього часу на Заході склалися і активно функціонують дві головні школи досліджень у галузі синергетики. По-перше, це брюссельська школа лауреата Нобелівської премії з хімії за 1977 рік Іллі Романовича Пригожина (з числа нащадків російських емігрантів, що покинули Росію після революційних подій 1917 року). По-друге, школа німецького вченого-фізика Г. Хакена, який очолює Інститут синергетики і теоретичної фізики та Штутгарті (Німеччина). Саме він першим почав використовувати термін «синергетика».

В результаті розробки ідей синергетики та відповідних методів системних і міждисциплінарних досліджень відкривається перспектива виходу на розуміння інтегральних сценаріїв розгортання подій у Всесвіті на мікро-, макро- і мегауровнях, що дозволить переосмислити і роль людини у глобальних процесах, в структурі пізнавальної та практичної діяльності. З цих позицій легше визначити стратегію рішення і суто земних проблем. Загальні контури такої стратегії вже вимальовуються. Від одвічної боротьби з природою людство починає переходити до пошуку свого призначення в ній, до коеволюції з природою.

У певній частині свого сенсу синергетика і такі поняття як самоорганізація, саморозвиток і еволюція мають спільність, яка дозволяє вказати їх усі в якості результатів синергетичного процесу. Особливо самоорганізація стійко асоціюється сьогодні з синергетикою. Однак такі асоціації мають подвійне значення. З одного боку, ефект самоорганізації є істотним, але, тим не менше, одним з компонентів, що характеризують синергетику, з іншого - саме цей компонент додає виділений сенсу всьому поняттю синергетики і, як правило, є найбільш істотним і представляють найбільший інтерес.

Не тільки результати, а й умови, причини і рушійні сили самоорганізації мають

альтернативи. Так, у розгляді І.Р. Пригожина стосовно дисипативним структурам мова йде про когерентної самоорганізації, альтернативою для якої є континуальна самоорганізація індивідуальних мікросистем, розроблена і запропонована А.П. Руденко. Головним достоїнством «континуальної» самоорганізації, запропонованої А.П. Руденко, є те, що саме такий підхід дозволяє провести розгляд зв'язку самоорганізації та саморозвитку. Відповідно до розвиненими поглядами сутність прогресивної еволюції полягає в саморозвитку континуальної самоорганізації індивідуальних об'єктів. Показується, що здатністю до саморозвитку і прогресивної еволюції з природним відбором володіють тільки індивідуальні мікрооб'єкти з континуальної самоорганізацією і що саме прогресивна хімічна еволюція здатна бути підставою для виникнення життя.

Отже, виходячи з існуючих традицій, спираючись на основний задум Г. Хакена і раніше наведену мною формулювання, можна запропонувати наступне визначення:

**СИНЕРГЕТИКА** - (від грец. Synergetikos - спільний, узгоджено діючий) - наукова дисципліна, що вивчає процеси утворення і масових (колективних) взаємодій об'єктів (елементів, підсистем): (1) відбуваються у відкритих системах у нерівноважних умовах, (2) супроводжуються інтенсивним обміном речовиною і енергією підсистем з системою і системи з навколишнім середовищем; (3) характеризуються мимовільно (відсутністю жорсткої детермінації ззовні) поведінки об'єктів (підсистем), що поєднується з їх взаємодій і (4) мають результатом впорядкування, самоорганізацію, зменшення ентропії, також еволюцію систем.

Представляється доцільним відхилитися від прагнення до визначення саме синергетики і констатувати те, чим реально займаються фахівці у зв'язку з дослідженнями із синергетики. У зв'язку з цим пропонується наступне визначення:

#### *Синергетична концепція самоорганізації*

1. Об'єктами дослідження є відкриті системи в нерівноважному стані, що характеризуються інтенсивним (потоким, множинно-дискретним) обміном речовиною і енергією між підсистемами і між системою з її оточенням. Конкретна система занурена в середовище, яке є також її субстратом.

2. Середовище - сукупність складових її (середовище) об'єктів, що знаходяться в динаміці. Взаємодія досліджуваних об'єктів у середовищі характеризується як близькодействія - контактна взаємодія. Серед об'єктів може бути реалізована в фізичній, біологічній та іншій середовищі більш низького рівня, що характеризується як газоподобная, однорідна або суцільна. (У складі системи реалізується дальнодійність - польове і опосередковане (інформаційне) взаємодія).

3. Розрізняються процеси організації, і самоорганізації. Загальною ознакою для них є зростання порядку внаслідок перебігу процесів, протилежних встановлення термодинамічної рівноваги незалежно взаємодіючих елементів середовища (також віддалення від хаосу за іншими критеріями). (Організація, на відміну від самоорганізації, може характеризуватися, наприклад, освітою однорідних стабільних статичних структур).

4. Результатом самоорганізації стає виникнення, взаємодія, також взаємодій (наприклад, кооперація) і, можливо, регенерація динамічних об'єктів (підсистем) складніших в інформаційному сенсі, ніж елементи (об'єкти) середовища, з яких вони виникають. Система та її складові є істотно динамічними утвореннями.

5. Спрямованість процесів самоорганізації обумовлена внутрішніми властивостями об'єктів (підсистем) в їх індивідуальному і колективному прояві, а також впливами з боку середовища, в яку "занурена" система.

6. Поведінка елементів (підсистем) і системи в цілому, істотним чином характеризується спонтанністю - акти поведінки не є строго детермінованими.

7. Процеси самоорганізації відбуваються в середовищі поряд з іншими процесами, зокрема протилежної спрямованості, і можуть в окремі фази існування системи як переважати над останніми (прогрес), так і поступатися їм (регрес). При цьому система в цілому може мати тенденцію або зазнавати коливання до еволюції або деградації і розпаду.

Самоорганізація може мати у своїй основі процес перетворення або розпаду структури, що виникла раніше в результаті процесу організації. Наведене розгорнуте визначення є якщо і не цілком досконалим, то все - таки необхідним кроком на шляху конкретизації змісту, яке відноситься до синергетики, і вироблення критеріїв для створення моделюючої самоорганізується середовища.

Про співвідношення синергетики і самоорганізації слід цілком точно сказати, що зміст, на який вони поширюються, і закладені в них ідеї невідривні один від одного. Вони, однак, мають і відмінності. Тому синергетику як концепцію самоорганізації слід розглядати в сенсі взаємного звуження цих понять на області їх перетину.

#### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Розкрити поняття «системний світогляд»
2. Охарактеризувати становлення теорії систем як галузі наукового знання.
3. Дати визначення поняттю «синергетика».
4. Зробити історичний нарис синергетики.
5. Вказати основні завдання синергетики.

#### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 3: ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### План

1. Принципи системного підходу.
2. Поняття системи, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, елементу, функції, стану, процесу.
3. Поняття та класифікація структур систем.
4. Особливості структурно-топологічного аналізу.
5. Види потоків в системах. Діаграми потоків даних.

### 1. Принципи системного підходу

Формування вимог до системи та до методології розв'язування проблем досягається шляхом визначення основних положень, або принципів системного підходу, які є досить загальними твердженнями, що узагальнюють досвід роботи людини зі складними системами. Такими принципами є наступні:

**Принцип остаточної (глобальної) мети:** глобальна мета системи має абсолютний пріоритет;

**Принцип єдності:** сумісний розгляд системи і як цілого, і як сукупності компонентів (елементів, підсистем, системотворчих відношень);

**Принцип зв'язності:** довільна компонента системи розглядається сумісно з її зв'язками з оточенням;

**Принцип модульності:** в багатьох випадках в системі доцільно реалізувати декомпозицію на складові (модулі) різного ступеня загальності та розглядати її як сукупність модулів та зв'язків між ними;

**Принцип ієрархії:** в більшості випадків в системі доцільно реалізувати ієрархічну побудову та (або) впорядкування (можливий напівпорядок) її складових за важливістю;

**Принцип функціональності:** структура системи та її функції повинні розглядатися сумісно з пріоритетом функції над структурою;

**Принцип розвитку:** необхідно враховувати змінність системи, її здатність до розвитку, розширення, заміни складових, накопичення інформації;

**Принцип децентралізації:** в управлінні системою співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається призначенням та метою системи;

**Принцип невизначеності:** невизначеності та випадковості повинні братися до уваги при визначенні стратегії та тактики розвитку системи.

Принцип остаточної (єдиної, генеральної, глобальної) мети означає, що в системі все повинно бути спрямоване на досягнення призначення, підпорядковане глобальній меті. Будь-які зміни, удосконалення та управління повинні оцінюватися виходячи з того, чи сприяють вони досягненню остаточної мети. В дещо модифікованому вигляді принцип остаточної мети застосовується до систем, що не є цілеспрямованими — для таких систем поняття остаточної мети замінюється поняттям основної функції, основної властивості системи. Принципи єдності, зв'язності та модульності доволі тісно пов'язані між собою, але якщо принцип єдності відображає «погляд ззовні» на систему, то принцип зв'язності орієнтує на «погляд зсередини» системи. На різних етапах дослідження системи ці погляди можуть знаходитися у різному співвідношенні.

Принцип модульності вказує на можливість розгляду замість частини системи сукупності входів та виходів цієї частини, тобто дозволяє абстрагуватися від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи.

Принцип ієрархії акцентує увагу на корисності відшукування або створення в системі ієрархічного характеру зв'язків між її елементами, цілями, модулями. Ієрархічні системи, зазвичай, створюються та досліджуються «згори», починаючи з аналізу модулів вищих рівнів ієрархії. У випадку відсутності ієрархії дослідник повинен вирішити, в якому порядку він буде розглядати складові системи та напрямок конкретизації своїх уявлень.

Принцип функціональності стверджує, що довільна структура тісно пов'язана з функціями системи та її складових, і створювати (досліджувати) структуру необхідно

після зрозуміння функцій системи. З практичної точки зору це означає, що у випадку надання системі нових функцій доцільно переглядати її структуру, а не прагнути «втиснути» нову функцію в стару структуру.

Принцип розвитку повинен закладатися при побудові штучних систем як здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження якісних особливостей. Межі розширення функцій та модернізації повинні бути чітко усвідомленими творцями штучної системи, тому що існують доцільні межі універсальності системи. Можливості для розвитку закладаються шляхом надання системі властивостей до самонавчання, самоорганізації, штучного інтелекту.

Принцип децентралізації орієнтує на розумний компроміс між повною централізацією та наданням здатності реагувати на певні дії частинам системи. Система з повною централізацією буде негнучкою, нездатною до пристосування; ймовірно, що в такій системі інформаційні канали, що ведуть до керуючого елементу, виявляться перевантаженими, а сам керуючий елемент буде нездатним опрацювати таку велику кількість інформації. Однак чим децентралізованішими будуть рішення в системі, тим складніше їх узгодити з точки зору досягнення глобальної мети. Досягнення спільної мети в сильно децентралізованій системі може забезпечуватися лише стійким механізмом регулювання, що не дозволяє сильно відхилитися від поведінки, яка веде до досягнення спільної мети. В усіх таких випадках діє сильний зворотний зв'язок.

В системах, що не мають стійких механізмів регулювання, наявність того чи іншого рівня централізації є необхідністю, і це пов'язане з оптимальним співвідношенням керуючих дій, які отримуються «згори» певним елементом з діями, що продукуються цим елементом самостійно.

Загальне правило є наступне: ступінь централізації повинен бути мінімальним, що забезпечить досягнення остаточної мети.

Окрім того є ще один аспект централізації та децентралізації: «згори» надходять узагальнені керуючі дії, які конкретизуються на нижніх рівнях. Оскільки конкретизація можлива неєдиним способом, то нижні рівні отримують ще один «ступінь свободи». Хоча, з іншого боку, з точки зору верхнього рівня, деякі керуючі дії загального характеру можуть бути неправильно проінтерпретовані нижнім рівнем.

Принцип невизначеності стверджує, що в багатьох (більшості, коли це стосується штучних систем за участю людини) випадках ми працюємо з системою, про яку ми не все знаємо, чи не все розуміємо у її поведінці. Це може бути система з невідомою структурою, непередбачуваним перебігом деяких процесів, зі значними відмовами, з невідомими зовнішніми втручаннями. Частковим випадком невизначеності є випадковість — ситуація, коли вид події відомий, але вона може трапитися, або ж ні. На ґрунті такого означення можна ввести повне поле подій — множину подій, про яку відомо, що якась з подій, що належать до цієї множини, обов'язково трапиться. Врахування невизначеності в системі можливо як на ґрунті принципу гарантованого результату, так і спробою описання за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики або ж лінгвістичних змінних, а підвищення рівня надійності досягається шляхом введення резервування.

Принципи системного підходу є загальними положеннями, що відображають абстраговані від конкретного змісту прикладних проблем відношення.

Тому цілком послідовним є запитання: «Яким чином застосувати такі знання?»

**Для конкретної системи чи проблемної ситуації принципи системного підходу повинні бути конкретизовані**, тобто насамперед повинна бути дана відповідь на запитання: «Що означає той чи інший принцип у цій предметній області та в цій конкретній ситуації?» Наповнення принципів конкретним змістом виконується системним аналітиком. Це дозволяє у випадку складних систем краще побачити суттєві особливості проблеми, врахувати важливі взаємні зв'язки. В багатьох випадках інтерпретація системних принципів в конкретних умовах дозволяє піднятися на новий рівень розуміння системи загалом, вийти за межі розгляду її «зсередини». Така інтерпретація може приводити до висновків про відсутність умов для застосування деяких з принципів або їх незначного впливу в певних конкретних умовах.

Багаторазове застосування принципів системного підходу в різних системах приводить до розвитку у дослідника особливого, системного типу мислення. Саме тому результати застосування системних принципів та методологій є певною мірою мистецтвом і вимагають системноаналітичного досвіду.

## **2. Поняття: системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, функції, стану, процесу**

Базовим поняттям системного аналізу є система. Незважаючи на загальність цього поняття, воно має чіткі трактування, залежно від джерел походження.

Виділяються дві групи визначень системи.

Першу групу утворюють визначення, які не виділяють поняття цілісності системи: «Система – це множина об'єктів разом з відношеннями між об'єктами та між їх атрибутами (властивостями)».

Історія визначень такого типу зрозуміла і має джерело походження – природничі науки, в яких дослідник йшов шляхом від простого до складного — поділяв систему на елементи, розглядав властивості окремих частин і способи їх взаємодії, отримуючи таким чином уявлення про систему як про сукупність взаємопов'язаних елементів. Однак не завжди із властивостей елементів та їх відношень можливим є виведення загальних властивостей системи.

**Інша група визначень включає цілісність як важливу властивість системи** (це поняття є властивим для складних систем). Дійсно, якщо в результаті детального вивчення системи знайдена властивість, яку не можна поставити у відповідність ні одному з її елементів, то визначення першої групи виявляється недійсним, і потрібно «довизначити» систему. В цьому сенсі **система – це комплекс взаємопов'язаних елементів та взаємозв'язків між ними, що утворюють цілісність, що є особливою єдністю з середовищем та є елементом «надсистеми», і цій цілісності притаманні властивості, мета цілі та функції не властиві окремим елементам.**

Виходячи з визначень цієї групи систему  $S$  будемо розглядати у вигляді кортежу

$$S = \langle M, X_s, X_{\xi}, F \rangle,$$

де  $M$  – множина елементів системи,  $X_s$  – множина зв'язків між елементами системи,  $X_{\xi}$  – множина зв'язків між елементами системи та зовнішнім середовищем,  $F$  – множина нових (системних) функцій, властивостей, призначень.

Наявність істотних стійких зв'язків, саме істотних, а не будь-яких (відношень) між елементами або (та) їхніми властивостями, що перевершують по силі зв'язки (відношення) цих елементів з елементами, що не входять у дану систему, є важливим атрибутом системи. Саме ці зв'язки визначатимуть інтегративні властивості системи.

Властивість цілісності відрізняє систему від простого набору елементів і виділяє її з навколишнього середовища.

Важливими властивостями системи є комунікативність, інтегративність, ступінь рівноваги та стійкості, адаптація.

**Комунікативність** – степінь зв'язку з зовнішнім середовищем.

**Поняття інтегративності** визначає фактори, які утворюють і зберігають систему.

**Рівновага** системи – це здатність зберігати деякий стан при відсутності збурень.

**Стійкість** – здатність системи повертатись до попереднього стану, після того як вона була з нього виведена.

**Адаптація** – здатність системи до цілеспрямованого пристосування.

Визначення елементів не системи (середовища), які пов'язані із системою, впливають на неї і є під її впливом, є надзвичайно важливим етапом системних досліджень.

Уведення часових характеристик при дослідженні системи розкриває суть важливих її властивостей перебувати у певному стані та змінювати ці стани в часі.

**Стан системи** – це зафіксовані значення характеристик системи, важливі для цілей дослідження. Зміна довільної з числа цих характеристик означатиме перехід системи до

іншого стану. Отже, отримаємо набір станів, який ще не є процесом.

**Процес** – це набір станів системи, що відповідає впорядкованій неперервній або дискретній зміні деякого параметра, що визначає характеристики чи властивості системи. В більшості випадків таким параметром є час.

Процес зміни станів системи в часі відображає її **динаміку**. Процеси в системі мають різноманітне значення. Зокрема, процеси створення комп'ютеризованої інформаційної системи вимагають реалізації різних “під процесів”, які забезпечують основну функцію розробника. Отже, процеси описуються як залежності виходів від входів в модулях різного ступеня узагальнення або різного рівня ієрархії. При цьому принципово не важливо, чи сприяє, а чи перешкоджає загалом той чи інший процес реалізації системою своїх функцій.

**Середовище** – це сукупність всіх об'єктів, які впливають на систему, а також об'єктів, що змінюються під впливом системи, але не входять до її складу. Весь наш світ можна розглядати як гігантську систему, але ми не досліджуємо Всесвіт практично кожен раз, коли виникає проблема. Тому певна система є підсистемою Всесвіту, а Всесвіт лише в найбільш широкому сенсі можна називати середовищем цієї системи, а в абсолютній більшості середовище – це все те, що взаємодіє з системою, тобто теж певна підсистема Всесвіту.

Між середовищем та системою існують відношення, які узгоджуються через **призначення** системи. Зміна оточуючого середовища призводить до зміни призначення системи. Розуміння призначення не є сталим під час вивчення системи. Воно може змінюватися в процесі конкретизації. Відображенням призначення є мета.

Мета – відображає те, що може чи повинно виникнути, прообраз майбутнього, стан, який бажано досягнути. Вона тією чи іншою мірою присутня у свідомості людини, яка здійснює довільний вид діяльності, і переноситься ним на багато природних та штучних систем. Пізнання мети допомагає зрозуміти сутність систем, що досліджуються, і власне тому інтерес до змісту цього поняття безперервно зростає. Мета може змінюватися залежно від розвитку в часі призначення.

Мета має декілька аспектів. Пізнавальний аспект мети відповідає прогнозу майбутнього, а конструктивний – можливим способам переходу до бажаного майбутнього чи плану дій. У тих випадках, коли мета відносно проста, усвідомлення мети включає і спосіб її досягнення, а у випадку складної мети – план набуває самостійного значення як елемент постановки мети. План встановлює послідовність етапів досягнення мети, визначаються засоби та методи, строки дій.

Виходячи із мети системи її елемент можна розглядати як деякий об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що має ряд важливих властивостей, але внутрішня будова якого безвідносна до мети дослідження.

Мета конкретизується шляхом декомпозиції за допомогою цілей.

**Декомпозиція** – це поділ системи на частини з метою зробити зручнішими певні операції з цією системою. Найважливішим стимулом і суттю декомпозиції є спрощення системи, надміру складної для розгляду цілком.

З точки зору мети дослідження системи її елементи не піддаються подальшій декомпозиції при обраному рівні розгляду системи.

**Функція системи** – це дії, які виконує система система або може виконувати для досягнення мети і реалізації свого призначення.

Функцію елемента зручно розглядати як сукупність його станів у просторі та часі. При взаємодії функцій доволі часто виникає нова властивість (властивості), які не виявляються в кожному окремому елементі системи. Одна й та ж функція може здійснюватися декількома шляхами.

Одним зі способів розкриття внутрішньої суті мети є побудова дерева цілей. Цілі в часовому аспекті поділяються на тактичні цілі, макроцілі, та ідеали.

**Тактичні цілі** – це бажані результати, досягнення яких відбувається за визначений і порівняно короткий період часу. **Макроцілі** досягаються за довший час і вимагають для цього досягнення хоча б однієї тактичної цілі. **Ідеали** – це такі цілі, які ніколи не

досягаються, але до яких система постійно наближається, реалізуючи деякі тактичні та макроцілі.

За наявністю інформації про способи досягнення цілей виділяються наступні класи цілей:

**Функціональна ціль** – це ціль, спосіб досягнення якої відомий системі, що вже досягала цю ціль. Функціональні цілі повторюються в часі та просторі. Прикладами такого типу цілей є результати виконання виробничих операцій, що періодично повторюються, стандартні функції управління та ін.

**Ціль-аналог** – це образ, який отриманий в результаті дії іншої системи, але який ні разу не досягався системою, що розглядається, а якщо і досягався, то за інших умов зовнішнього середовища.

**Ціль розвитку**, або нова ціль – це ціль, яка ніколи і ніким раніше не досягалася. Така ціль по суті пов'язана з утворенням нових систем.

Ці типи цілей пов'язані одна з іншою. Ціль розвитку за умови її успішного досягнення однією з систем перетворюється в ціль-аналог для всіх інших систем, а для даної системи стає функціональною ціллю за умови незмінних зовнішніх умов та ціллю-аналогом за умови змінених зовнішніх умов.

### **3. Поняття та класифікація структур систем**

Поняття структури є одним з основних в системному аналізі. За ступенем зв'язку та розумінням будови чи сприйняття системи розрізняють форми, сукупності та структури.

**Форма** – це зовнішній вигляд об'єкта безвідносно до його суті. **Сукупність** – це з'єднання або набір в одну множину безвідносно до форми чи порядку.

**Структура** – це множина частин або форм (елементів), які знаходяться у взаємодії та специфічному порядку у просторі і в часі елементів і зв'язків системи, необхідному для реалізації функцій. Отже, функція є первинною щодо структури.

Властивістю структури є можливість існування протягом певного часу за допомогою зв'язуючого пристосування для збереження елементів (частин) та їх відношень приблизно в одному й тому ж порядку, реагуючи при цьому на дії середовища.

Структура системи зберігається та збагачується через її функціональні трансформації, в той же час структура полегшує ці перетворення. В організаціях та в більш широкій соціальній структурі наявні зв'язуючі сили, що підтримують форму структури. З точки зору практики представлення структури бажано спростити, щоб ідентифікувати її елементи та взаємні зв'язки між ними. Структура системи може бути охарактеризована за типами зв'язків, які в ній є або які в ній переважають. Найпростішими зв'язками є паралельне, послідовне з'єднання та обернений зв'язок. Обернений зв'язок виконує регулюючу роль у системі.

Можливості структури в достатньо повній мірі розкриваються її топологічними ознаками.

У літературі приводиться багато різних класифікацій систем у залежності від їх природи, ступеню складності, форми взаємодії.

По-перше, за Платоном, всі системи діляться на природні і штучні, тобто створені людиною.

Серед природних: система галактик, планетарні системи, сонячна система, періодична система хімічних елементів за Д. Менделєєвим, системи кристалів, біологічні системи обміну речовин і т.д.

Штучні системи: соціальні, галузеві, системи - охорони здоров'я, освіти, мистецтв, музики і другі.

Англійська класифікація систем(1982):

1. Концептуальні, сукупність концепцій, характеристик, це наука, теорії, моделі. Всі вони пов'язані з теоретичними структурами і не мають аналогів у реальному світі.
2. Емпіричні - це конкретні операційні системи, які складаються із людей, матеріалів, техніки, ресурсів і т.п.



3. Природні - зв'язані з природою; у створенні цих систем людина не брала участі метagalactic, сонячна система, живі організми.
4. Штучні - створені людиною.
5. Соціальні - товариства, партії, заклади.
6. Відкриті системи - це системи, які взаємодіють з навколишнім середовищем, іншими системами, живими організмами.
7. Замкнуті - майже не взаємодіючі з навколишнім середовищем: системи «чорна дірка».
8. Постійно - існуючі протягом тривалого періоду часу.
9. Тимчасові - системи, які створюються на певний час, а потім ліквідуються.
10. Стабільні — ознаки і функції яких довгий час не змінюються.
11. Статичні - системи, в яких відсутній або майже відсутній рух (система кристалу).
12. Динамічні - системи, в яких безперервно і активно спостерігаються рух, зміни.

За ступенями складності системи поділяються на прості, складні і дуже складні. Прості системи складаються із невеликого числа елементів і виконують обмежені функції.

Складні – мають значну кількість елементів, розгалужену структуру і виконують більш складні функції.

За обумовленістю дій виділяють системи з детермінованими (прогнозовані дії) і з випадковими діями, тобто взаємодії між елементами не прогножуються.

М.І. Сетров (1978) створив свою класифікацію систем, в основу її покладено принцип лінійного ієрархічного ряду структурних рівнів.

Ця класифікація відтворює найбільш природну суть.

Згідно з цією класифікацією всі системи поділяються на:

- закриті і відкриті;
- фізичні і органічні;
- біологічні і соціальні,
- природні - штучні;
- логічні - механічні; с
- статичні - динамічні;
- некеровані - керовані;
- зовнішні - внутрішні;
- з прямим зв'язком - зі зворотним зв'язком;
- негативні - позитивні;
- адаптивні - самоудосконалюючі.

За ієрархічною структурою системи можуть бути першого, другого, третього і наступних рівнів.

При цьому первинною системою рахуються такі, в яких не дозволяється подальше розчленування складових її елементів.

Ієрархічні системи мають свої особливості:

- послідовне вертикальне розташування підсистем, які складають конкретну систему;
- пріоритет дій і право втручатися у підсистему верхнього рівня;
- залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання своїх функцій низовими рівнями.
- залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного своїх функцій низовими рівнями.

Крім цих систем розрізняють економічні, інформаційні та організаційні системи і т.ін. Отже, структура є стійкими взаємними зв'язками між елементами системи, які забезпечують її цілісність. Структура є найконсервативнішою характеристикою системи: хоча стан системи змінюється, структура її зберігається незмінною іноді дуже тривалий час. Якщо розглядати поняття «структура» у взаємному зв'язку з поняттям «мета», то під

структурою слід розуміти спосіб досягнення мети.

#### **4. Особливості структурно-топологічного аналізу**

При аналізі структури важливим є її топологічний аналіз. Метою топологічного аналізу є відображення можливостей структури для реалізації функцій, виходячи з наявних елементів та відношень між ними, не вникаючи у їх змістовний опис. У випадку аналізу структури системи використовують 3 етапи опису зв'язків:

- встановлення зв'язків, тобто чи є зв'язок, чи він відсутній;
- встановлення напрямку;
- встановлення характеру зв'язків (потоків).

Основні завдання, які розв'язуються на першому етапі:

- визначення зв'язаності системи;
- виділення ізольованих, тобто зв'язаних в собі підсистем;
- виділення циклів;
- визначення мінімальних та максимальних послідовностей елементів, що розділяють елементи один від одного.

На другому етапі розв'язують такі задачі:

- визначення зв'язаності системи;
- проводять топологічну декомпозицію з метою виділення структур підсистем;
- аналіз та виділення входів та виходів;
- визначення рівнів у структурі шляхом побудови порядкових функцій;
- визначення мінімальних та максимальних шляхів;
- розрахунок структурно-топологічних характеристик.

На останньому етапі визначають місцеві та загальні контури управління, проводять декомпозицію зв'язків, будують оператори з'єднання елементів структури із розщепленими зв'язками. Для проведення топологічного аналізу необхідно формалізувати структуру.

Найпростіший спосіб формалізації структури це відображення її графічно на основі графів, коли елементам системи відповідають вершини графа, а зв'язкам між елементами – дуги або ребра, залежно від глибини вивчення структури. Основним недоліком графічного представлення є неможливість його використання для топологічного аналізу із застосуванням ЕОМ.

#### **5. Види потоків в системах. Діаграми потоків даних**

**Зв'язок** (потік) – це важливий з точки зору розгляду системи обмін речовиною, енергією, інформацією між елементами та зовнішнім середовищем і елементами системи.

Функції системи реалізуються через потоки енергії, людей, матеріальні та інформаційні. Структуру можна розглядати також як множину обмежень на потоки в просторі та часі. Структура ініціює потоки, спрямовуючи їх вздовж певних шляхів (каналів), перетворює їх з певною затримкою в часі (час перетворення), в певних випадках припускає регулювання та обернений зв'язок. Структура може змінюватися в часі самостійно, а також під впливом потоків, впливає на потоки і є системою в межах системи. Потоки, які є необхідними для збереження первісної структури, називаються підтримуючими, а ті, що є результатами дії системи та її структури – потоками продукції.

Найважливішими потоками у складних системах є інформаційні, оскільки вони супроводжують усі інші потоки і окрім цього достатньо часто є домінуючими. Процесами збирання перетворення, зберігання та представлення інформаційних потоків із використанням комп'ютерної техніки займається інформатика, яка для кількісного оцінювання розмірів інформації розглядає її у вигляді деякого коду (двійкового). Однак з точки зору користувача такий підхід не завжди є прийнятним, наприклад частіше користувач визначає об'єм потоків інформації за кількістю повідомлень, знаків, файлів, розкриває їх внутрішню структуру і оцінює кількість елементів (атрибутів).

Відображення структури системи, у якій зв'язками є інформаційні потоки, можна здійснити за допомогою діаграм потоків даних DFD (data flow diagrams). Ці діаграми використовують для аналізу та моделювання інформаційних систем з метою мінімізації

потоків даних та зменшення їх об'єму, виявлення як дублювання інформації, так і дублювання шляхів її передавання. DFD відображають джерела та споживачів інформації, вид та напрямок передачі інформації, елементи накопичення та процеси перетворення, при цьому використовуються різні засоби відображення елементів (нотації).

Аналіз систем на основі DFD Метод був запропонований De Marco (1978), а також доповнений Gane та Sarson (1979р) в структурній системній методології. В нотаціях запропонованих De Marco використовується чотири типи елементів:

- процеси перетворення інформації (див. рис 2.3 а);
- елементи накопичення даних (див. рис.2.3 б);
- потоки даних (див. рис. 2.3 в);
- елементи зовнішнього середовища – джерела та споживачі інформації

**Процеси** відображають функції системи, тобто, “що система і/або як виконує”. Кожен процес має один або декілька входів та виходів. Процес має назву та номер. Основними властивостями процесів є: простота назв та “консервування” даних.

Назви процесів повинні вказувати на дії, відповідати назвам функцій, які виконує система, та по можливості бути короткими – одним словом чи словосполученням. Не слід вживати назви процесів без змісту, тобто, які не розкривають функцій системи, наприклад, “Виконання стандартних операцій”, “Опрацювання даних” і т.п. Якщо у процесі об'єднано декілька функцій одного рівня ієрархії, то назви цих функцій повинні відобразитися в назві процесу, наприклад, “Реєстрація замовлення та аналіз можливості його виконання”.

“Консервування” даних стосовно процесу означає, що процеси не вводять нових елементів в структуру інформації, тобто: у вихідних потоках з процесу не може бути інформації, якої не було у вхідних потоках.

При побудові діаграм слід розрізняти фізичні та логічні процеси. Фізичні процеси окрім розкриття дії, тобто “що система виконує”, вказують на засоби, тобто “як, яким чином” вона виконує функції. Наприклад, логічному процесу “перевірка замовлення” може відповідати такий фізичний процес: “введення замовлення оператором”.

**Елементи накопичення даних** відображають факт накопичення даних однотипної структури і їх запису на фізичні носії: паперові (довідники, реєстраційні журнали) бази даних, тощо. Фактично вони є часовими розрізами потоків даних. Елементи накопичення обов'язково повинні бути зв'язані з процесами за допомогою потоків даних (інформація не може записуватися чи зчитуватися самостійно без процесу). Назви елементів накопичення повинні бути простими і відповідати однорідному об'єкту. Наприклад, неправильно є назва елементу накопичення: “Заяви та розклад роботи устаткування”, оскільки інформація про об'єкт “Заяви” абсолютно відрізняється від інформації про об'єкт “Устаткування”. Властивість “консервування” даних стосовно елементу накопичення означає, що у вихідних потоках з елементу накопичення може бути тільки та інформація, яка була у вхідних потоках в цей елемент. Зазвичай вхідні та вихідні потоки для елементів накопичення мають бути ідентичними.

**Зовнішні елементи** є поза системою і відображають джерела та споживачів інформації. Якщо моделюють одну частину системи (підсистему), то інша може бути зовнішнім елементом.

**Потоки даних** відображають зв'язки між компонентами системи. мають напрямок і назву даних, що передаються. Назви потоків повинні бути простими, одним словом і відображати назви документів або назви його частин, показників, файлів. Якщо один і той самий потік проходить опрацювання у декількох процесах, то в його назві повинна відобразитися назва виконаної дії. Наприклад, потік “Замовлення” після процесу “Підтвердження замовлення” матиме назву “Підтвержене замовлення”. Потоки можуть бути:

- між двома процесами;
- між процесом і елементом накопичення;
- між зовнішнім елементом і процесом.

При побудові діаграм потоків даних слід мати на увазі, що простота та ясність їх

побудови повинна бути настільки високою, що не вимагатиме ніяких додаткових змістовних пояснень.

Особливістю DFD є принципова їх відмінність від блок-схем опису алгоритмів розв'язування задач. Основними відмінностями DFD по відношенню до блок-схем є:

- відсутність потоків, що розщеплюються без участі процесів;
- відсутність на діаграмі ліній потоків, що перетинаються;
- відсутність елементів розв'язування (порівняння із визначенням напрямків передачі інформації), контролюючих елементів (процесів), та потоків, які запускають на виконання проце ;
- відсутність на діаграмі циклів та детального опису процесів.

Як правило, на початкових стадіях DFD включає і логічні, і фізичні процеси, оскільки для її побудови використовується реально існуюча система чи технологія, тобто реалізована фізично. Тому актуальною є процедура трансформації однієї DFD в іншу (логічної в фізичну, або з фізичної в логічну). Для трансформації фізичної DFD в логічну необхідно:

- вилучити усі процеси, які відносяться виключно до фізичних;
- розширити фізичні функції та потоки до логічних шляхом переходу з DFD верхніх рівнів на більш деталізовані;
- провести аналіз процесів на нижніх рівнях розширеної фізичної DFD з метою їх пере комбінування: – вилучення фізичних процесів та об'єднання логічних для переходу на вищий рівень вже логічної DFD.

Важливим питанням, яке розглядається при структурному аналізі є визначення потужності зв'язків. Потужність речовинних і енергетичних зв'язків оцінюється порівняно просто за інтенсивністю потоку речовини або енергії. Для інформаційних зв'язків оцінкою потенційної потужності може служити її пропускна спроможність, а реальної потужності – дійсна величина потоку інформації. Проте в загальному випадку при оцінці потужності інформаційних зв'язків необхідно враховувати якісні характеристики переданої інформації (цінність, корисність, вірність і т. п.).

#### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Вказати принципи системного підходу.
2. Дати визначення поняттю «тактичні цілі»
3. Дати визначення поняттю «система».
4. Вказати приклади соціальних, природних та тимчасових систем.
5. Охарактеризувати класифікацію структур систем.
6. Визначити особливості структурно-топологічного аналізу.
7. Охарактеризувати визначення «потоки даних».

#### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальноїтеорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теоріяметодолія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 4: ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЙ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### План

1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб.
2. Методології системних досліджень.
3. Основні етапи розв'язування проблем в системному аналізі
4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем в екології.

### 1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб

**Методологія** – це базове начало системного аналізу (СА). Вона включає визначення понять, предметної області, принципи системного підходу, а також постановку та загальну характеристику основних проблем організації системних досліджень.

Для підтримання реалізації методології достатньо часто використовують комп'ютерні засоби та спеціальні пакети прикладних програм – CASE-засоби.

Більшість CASE-засобів проектування інформаційних систем ґрунтується на парадигмі *методологія-метод-нотація-засіб*. Тобто, деталізація методології здійснюється за допомогою методів, а відображення результатів застосування методів здійснюється за допомогою нотацій.

Методологія визначає основні керуючі положення для оцінювання та обрання проекту інформаційної системи, що розробляється, кроки проектування, їх послідовність, правила розподілення та призначення методів.

**Метод** – це систематична процедура або техніка генерації описань компонентів (наприклад, проектування потоків та структур даних).

**Нотації** призначені для описання структури системи, елементів даних, етапів опрацювання. В набір нотацій включаються графи, діаграми, таблиці, блок-схеми, формальні та природні мови.

**Засоби** – це інструментарій для підтримання та посилення методів. Ці інструменти підтримують роботу користувачів у процесі створення та редагування графічного проекту в інтерактивному режимі, вони сприяють організації проекту в вигляді ієрархії рівнів абстракції, реалізують перевірки компонентів на відповідність.

Методологія для побудови та розв'язання системних проблем являє собою певну цілісність і відноситься до цілеспрямованих систем.

Процес розв'язування проблем в системному аналізі розглядається, як деяка система процедур, яка має свою структуру, ієрархію та організацію.

Основні призначення та вимоги до методології:

- скеровувати осіб, що приймають рішення (ОПР), до пояснення взаємодії елементів у системі, розуміючи й те, що деякі елементи можуть діяти незалежно від інших;
- виявляти та пояснювати тенденції до більшої спеціалізації та зменшення зв'язності елементів системи;
- ідентифікувати та впорядковувати домінуючі елементи перед описанням системи як єдиного цілого, орієнтувати на використання обмежених ресурсів насамперед для управління домінуючими елементами;
- при збиранні релевантної інформації про систему використовувати творчі здібності ОПР для визначення бажаного призначення та структури системи, ідентифікації складових частин та формування альтернативних стратегій втручання;
- орієнтувати на остаточний результат, полегшуючи порівняння альтернатив з метою вибору найприйнятнішої;
- включати механізм оберненого зв'язку з метою аналізу негативної ентропії, еволюції та стійкості;
- як відкрита система методологія повинна використовувати інформацію з зовнішнього середовища для перевірки правильності управління системою та

модифікації її призначення або дозволяти імітувати реакції зовнішнього середовища.

При дослідженні та конструюванні систем виникають наступні дві основні проблеми.

**Проблема побудови.** Яким чином при заданих макроцілях та цілях побудувати систему, яка їх успішно реалізує? Ця проблема розв'язується шляхом модифікації як конструкції системи, так і цілей і макроцілей з врахуванням існуючих обмежень до моменту досягнення сумісності і по суті є проблемою, яка розв'язується шляхом стратегічного планування.

**Проблема керування.** Яким чином необхідно керувати системою, модифікувати її структуру та потоки для реалізації нею свого призначення таким чином, щоб забезпечити динамічну стійкість. Приклад — керування суспільством з взаємодіючими економічним, соціальним та політичним потенціалами для його динамічної стабілізації.

## 2. Методології системних досліджень

Основні етапи системних досліджень можуть відрізнятися залежно від предметної області та специфіки проблеми. Однак спільним при цьому залишається схема “мета – способи досягнення мети – ресурси”. Мета зазвичай структурується у вигляді дерева (мультидерева) цілей.

У таблиці 9.1. наведено особливості реалізації етапів системних досліджень сформульовані різними школами системних аналітиків.

На ґрунті основних наведених понять та термінів, що використовуються при дослідженні складних систем, будуються загальні способи використання цих понять у вигляді методологій системного дослідження, що у свою чергу включають певну послідовність кроків.

Таблиця 9.1.

Особливості реалізації етапів системних досліджень сформульовані різними школами системних аналітиків

За С.Л. Оптнером	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ідентифікація симптомів</li> <li>2. Визначення актуальності проблеми</li> <li>3. Визначення мети</li> <li>4. Визначення структури системи та її дефектів</li> <li>5. Вивчення можливостей</li> <li>6. Знаходження альтернатив</li> <li>7. Оцінка альтернатив</li> <li>8. Вироблення рішення</li> <li>9. Визнання рішення</li> <li>10. Запускання, процес рішення</li> <li>11. Управління процесом реалізації рішення</li> <li>12. Оцінка реалізації та її наслідків</li> </ol>
За С. Янгом	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначення мети організації</li> <li>2. Виявлення проблеми</li> <li>3. Діагноз</li> <li>4. Пошук рішення</li> <li>5. Оцінки і вибір альтернативи</li> <li>6. Узгодження рішень</li> <li>7. Затвердження рішення</li> <li>8. Підготовка до вводу в дію</li> <li>9. Управління застосуванням рішення</li> <li>10. Перевірка ефективності</li> </ol>

За Н.П. Федоренком	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Формулювання проблеми</li> <li>2. Визначення мети</li> <li>3. Збір інформації</li> <li>4. Вироблення максимальної кількості альтернатив</li> <li>5. Відбір альтернатив</li> <li>6. Побудова моделі у вигляді рівнянь, програм чи сценаріїв</li> <li>7. Оцінка витрат</li> <li>8. Випробовування чутливості рішення (параметричне дослідження)</li> </ol>
За С.П. Никаноровим	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виявлення проблеми</li> <li>2. Оцінка актуальності проблеми</li> <li>3. Аналіз обмежень проблеми</li> <li>4. Знаходження критеріїв</li> <li>5. Аналіз існуючої проблеми</li> <li>6. Пошук можливостей (альтернатив)</li> <li>7. Вибір альтернатив</li> <li>8. Забезпечення визначення</li> <li>9. Визнання рішення (прийняття формальної відповідальності)</li> <li>10. Реалізація рішення</li> <li>11. Визначення результатів рішення</li> </ol>
За Ю.І. Черняком	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналіз проблеми</li> <li>2. Визначення системи</li> <li>3. Аналіз структури системи</li> <li>4. Формулювання загальної мети і критерію</li> <li>5. Декомпозиція мети, виявлення потреби в ресурсах, композиція цілей</li> <li>6. Виявлення ресурсів, композиція цілей</li> <li>7. Прогноз і аналіз майбутніх цілей</li> <li>8. Оцінка цілей і засобів</li> <li>9. Відбір варіантів</li> <li>10. Діагноз існуючої системи</li> <li>11. Побудова комплексної програми розвитку</li> <li>12. Проектування організації для досягнення мети</li> </ol>
За Ф.І. Перегудовим і Ф.П. Тарасенком	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначення конфігуратора</li> <li>2. Визначення проблеми і проблематики</li> <li>3. Виявлення мети</li> <li>4. Формування критеріїв</li> <li>5. Генерування альтернатив</li> <li>6. Побудова та використання моделей</li> <li>7. Оптимізація</li> <li>8. Вибір</li> <li>9. Декомпозиція</li> <li>10. Агрегування</li> <li>11. Дослідження інформаційних потоків</li> <li>12. Дослідження ресурсних можливостей</li> <li>13. Спостереження та експерименти над досліджуваною системою</li> <li>14. Реалізація, впровадження результатів аналізу</li> </ol>

### **3. Основні етапи розв'язування проблем в системному аналізі**

Розвиток або побудова проблем в системному аналізі здійснюється за деяку послідовність кроків. Ця послідовність називається життєвим циклом системи (System life cycle) або проблемно-розв'язувальним циклом.

Першим кроком при створенні життєвого циклу є побудова структури всіх видів діяльності.

Діаграма показує, певну послідовність досягнення цілей. Наприклад, існуюча комп'ютерна система повинна бути випробувана для одержання комп'ютерної моделі даних. Такі графи – діаграми можуть використовуватися на кінцевих стадіях розвитку системи або для розв'язування спрощених проблем.

На практиці доводиться змінювати деякі види діяльності та послідовність їх виконання. Тому життєвий цикл описують у вигляді етапів високого рівня, а детальні види діяльності описують у вигляді графа в рамках кожного етапу на більш пізніх стадіях розвитку системи.

Вибір певного циклу розв'язування проблем залежить від типу та складності проблеми. Найчастіше для розвитку протоколюючих КІС використовують лінійні життєві цикли. Рідше – прототипування та еволюційний розвиток.

Лінійний життєвий цикл складається з послідовності етапів, в якій жоден етап не може початися, поки не закінчився попередній етап. Після кожного етапу формується звіт. Звіт включає: інформацію про те що було зроблено на даному етапі; план для наступного етапу, включаючи його забезпечення ресурсами; опис системи на даному етапі. Цей звіт використовується, як системними аналітиками, проектувальниками так і менеджерами для того щоб знати, як просувається проект і направити його по оптимальному руслу.

#### ***Етап 1. Опис проблеми (Problem definition)***

Етап включає опис проблеми, її складові, мету, цілі та головні можливі напрямки досягнення мети – альтернативи.

Основою для формулювання мети є: визначення недоліків системи, наприклад, відсутність її певних частин; стратегічний план розвитку, який відображає, які частини в системі необхідно розвивати; аналоги, порівняння з якими дозволить відобразити недоліки; обмеження на ресурси, які дозволять визначити що варто робити в даному проекті, а що не варто. Для визначення недоліків слід керуватися такою їх класифікацією: відсутні функції; незадовільне виконання функцій; надмірна вартість реалізації функцій.

Правильне визначення мети та цілей проекту є дуже важливим, тому, що проекти будуть змінюватися в залежності від постановки мети. Мета проекту формується в загальному і повинна відповідати усуненню недоліків. Конкретизація мети проводиться в цілях та підцілях, які формулюються шляхом постановки запитання: Як можна досягнути мети (цілі)? При цьому слід вибирати ті цілі, які є реальними. Нереальні цілі слід поступово відкидати.

У такий спосіб формується дерево цілей, вершиною якого є мета, а на нижньому рівні – задачі. Реалізація дерева цілей дозволить досягнути мети, тобто розв'язати проблеми.

Наступний крок при описі проблеми – генерація набору напрямків- альтернатив – для досягнення мети (дерева цілей). Кожна альтернатива повинна характеризуватися такими властивостями: функціональною, технічною (технологічною), економічною. Функціональна властивість альтернативи відображає наскільки буде досягнута мета при її реалізації, тобто що в новій системі буде покращено. Технічна (технологічна) – дає відповідь при аналізі альтернативи: Чи технічно можна реалізувати дану альтернативу, або Чи дозволяє її реалізувати сучасний рівень технологій? Економічна характеристика альтернативи відображає який буде зиск від реалізації альтернативи і які витрати при цьому необхідні.

На етапі генерування альтернатив не потрібна надмірна їх деталізація. Альтернатива повинна давати чітке уявлення про вартість проекту та наскільки нова система буде здатна до виконання своїх функцій. На цій стадії достатньо оцінити, чи



альтернатива, яка буде проектом є хороша і достатня для досягнення мети. Судження про те що представляє собою опис альтернативи в загальному вигляді є дуже суб'єктивним. Однак цей опис повинен відображати основну ідею проекту, тобто, що в новій системі буде покращено і переконувати людину, що це варто додаткових коштів та праці. При описі альтернативи також чітко повинно бути відображено: устаткування яке необхідно закупити для проекту; які функції у системі буде виконувати користувач, а які передаватимуться комп'ютеру; яку інформацію буде продукувати система користувачу. При формуванні альтернатив розглядають три групи стосовно рівня комп'ютеризації системи: повний, середній та мінімальний.

### ***Етап 2. Вивчення можливостей розв'язання***

На цьому етапові визначаються обмеження на розробку, тобто які частини розробляються, які використовуються з існуючої системи, які необхідно замовляти. Визначаються необхідні ресурси на побудову системи, строки, якісний та кількісний склад людських ресурсів. Тобто формуються всі вимоги та рекомендації які потім використовуються менеджерами проекту.

Наступним кроком на цьому етапі є детальний опис проекту із визначенням матеріальних, часових і людських ресурсів на його реалізацію.

### ***Етап 3. Аналіз системи***

Метою цього етапу є відображення властивостей існуючої системи, зображення її структури у вигляді, наприклад DFD. На цьому етапі аналітиками проводиться загальний аналіз системи з використанням різних методів моделювання.

Отримана (детальна) модель системи переважно є складною, ієрархічної структури, тобто включає сукупність моделей, які утворюють цілісність. Найчастіше ця модель представляється за допомогою діаграм потоків даних із наступною деталізацією потоків даних та процесів. Процеси можуть описуватися на формальному рівні, наприклад, у вигляді моделей "чорна скринька", алгоритмічно чи за допомогою таблиць рішень.

### ***Етап 4. Проектування системи***

Метою цього етапу є створення моделі "нової" системи, у якій будуть відсутні виявлені проблеми і досягнута внаслідок реалізації відібраної альтернативи мета проекту. Побудова нової моделі здійснюється двома підетапами: побудова загальної моделі (структури) та її окремих компонент.

При відображенні структури "нової" системи на першому етапі зручно використати діаграми потоків верхніх рівнів, які включатимуть нові процеси, що реалізують нові чи модифіковані функції з новими чи перерозподіленими потоками даних та нові елементи накопичення. На підетапі детального проектування проводиться специфікація компонент системи.

На цьому етапі проектувальники повинні: відібрати обладнання необхідне для побудови системи; точно визначити нові програми, чи змінити існуючі, а також бази даних; розробити процедури користувачів та описати як їх використовувати.

### ***Етап 5. Конструювання системи***

Результатом етапу є працююча система (розв'язані проблеми), що не має визначених недоліків своєї попередниці.

Цей етап так як і попередній поділяється на два підетапи: розвиток і виконання, але на відміну від двох попередніх на яких у більшій мірі використовується принцип "зверху до низу", тобто операції декомпозиції, на даному етапі головним є принцип "знизу до верху", тобто агрегування.

Спочатку конструюються компоненти системи, для яких розроблені специфікації на етапі проектування. Цими компонентами можуть бути програми, які реалізуватимуть функції системи, бази даних і т.д.

Поєднання компонент здійснюється згідно загальної моделі системи, також розробленої на етапі проектування.

Закінчується етап передачею працюючої системи користувачам.

#### ***Етап 6. Тестування та експлуатація***

Результатом цього етапу є підтвердження досягнення мети проекту та повноти реалізації дерева цілей.

Перевіряється все те що планувалось на стадії опису системи, знаходяться помилки в роботі системи і виправляються під час її експлуатації.

В лінійному життєвому циклі розглядають лінійну послідовність типу “етап за етапом”. Однак в практичних дослідженнях етапи можуть повторюватися. Наприклад через те що систему неможливо побудувати виділеними ресурсами, або недостатньо інформації одержано на попередньому етапі. В результаті від лінійних циклів розв’язування проблем необхідно переходити до контурних.

У випадку великої системи використовується по-крокове проектування. На кожному кроці розв’язуються проблеми в одній із підсистем. Кожен крок являє собою лінійний життєвий цикл.

### **4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем в екології**

Методологія є абстрактною схемою, що визначає послідовність орієнтуючих дій, тобто дослідження конкретної системи буде більшою або меншою мірою відрізнятись від розглянутих схем.

Методологія системного дослідження, орієнтована насамперед на дослідження існуючих систем та виявлення проблем, включає до свого складу наступні кроки.

#### ***Формування загальних уявлень про систему***

*1. Виявлення призначення, мети, головних цілей, функцій, властивостей системи. Формування (вибір) основних предметних понять, що використовуються в системі.*

Необхідно виявити основні результати діяльності (виходи) системи, визначити їх тип: інформаційні, матеріальні, енергетичні; поставити їм у відповідність певні поняття (вихід підприємства — продукція; яка?, вихід системи проектування — документація (що саме? які описання, креслення?), вихід системи управління — сигнали (для чого? в якому вигляді?).

*2. Виявлення основних складових (модулів) системи та їх функцій; розуміння єдності цих складових в межах системи.*

Попереднє ознайомлення з внутрішнім змістом системи, виявлення агрегованих (узагальнених) складових системи, їх значення в системі. Отримання первинної інформації про структуру та характер основних зв'язків та системотворчих відношень у системі. Таку інформацію зручно представляти у вигляді різноманітних структурних схем системи, на яких виявляється характер руху потоків у системі (паралельний, послідовний), взаємодія між складовими. Результатом цього етапу є структурна схема системи в тому чи іншому представленні залежно від мети дослідження та домовленостей, що вживаються в досліджуваній предметній області. Особливу увагу слід звернути на виявлення системотворчих відношень та факторів, тобто того, що в першу чергу робить систему системою.

*3. Виявлення основних процесів у системі, їх значення, умов перебігу, етапності, стрибків, змін стану та інших особливостей в функціонуванні системи, виокремлення основних керуючих факторів.*

Вивчається динаміка найважливіших змін в системі, перебіг подій, вводяться параметри стану, аналізуються фактори, що змінюють ці параметри та забезпечують перебіг процесів, умови початку та завершення процесів. Вивчається керованість процесів та їх вплив на здійснення системою своїх основних функцій, класифікуються основні керуючі дії, їх тип, джерела та ступінь впливу на систему.

*4. Виявлення основних елементів оточення системи (не-системи), з якими пов'язана система, що вивчається, характеру зв'язків системи з елементами оточення.*

Досліджуються зовнішні дії на систему (входи системи), їх тип (інформаційні, матеріальні, енергетичні), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються межі того, що вважається системою, виявляються елементи оточення, на які спрямовані вихідні дії системи («не-система»). Досліджується еволюція системи, шлях її формування, що в багатьох випадках полегшує розуміння структури та особливостей функціонування системи. У результаті отримується чіткіше уявлення про основні функції системи, її залежність, вразливість чи невразливість від зовнішнього середовища.

*5. Виявлення невизначеностей та випадковостей у ситуаціях визначального впливу їх на систему.*

Цей крок виконується у випадку, коли дія невизначеностей та випадковостей у процесі функціонування є значною. Зазвичай отриманої інформації достатньо, якщо досліджуються системи, з якими надалі не передбачається безпосередньої праці. Якщо ж систему необхідно глибоко вивчати, покращувати, керувати нею, то необхідним є поглиблене її вивчення.

#### **Формування поглиблених уявлень про систему**

*6. Виявлення розгалуженої структури, ієрархії, формування уявлень про систему як про сукупність модулів, що пов'язані входами-виходами.*

*7. Виявлення всіх елементів та зв'язків, важливих для цілей розгляду, їх співвіднесення до ієрархії системи, ранжування елементів та зв'язків за важливістю.*

Кроки 6 та 7 тісно пов'язані один з одним. Крок 6 — це межа пізнання «всередині» достатньо складної системи для особи, що оперує системою загалом. Глибші знання про систему будуть мати лише фахівці, що відповідають за окремі її частини. Для не дуже складних систем рівень кроку 7 може досягнути і одна людина. Пізнання системи — це не просто відділення суттєвого від несуттєвого, але й більша увага до суттєвішого. Деталізація стосується і зовнішніх зв'язків системи з «не-системою», оточуючим середовищем. Кроки 6—7 — це завершальні кроки цілісного вивчення системи. Подальші кроки розглядають вже окремі сторони, а тому важливо ще раз повернутися до розгляду системотворчих відношень та факторів, на роль кожного елемента та відношення для системи загалом, на розуміння того, чому вони повинні бути такими чи є такими з точки зору єдності системи.

#### **Врахування змін та невизначеностей у системі**

Досліджується повільна, зазвичай небажана зміна властивостей системи, її «старіння», можливість заміни окремих складових, які не лише сповільнюють старіння, але й дозволяють покращити якість системи порівняно з початковим рівнем. Це можливості вдосконалення штучної системи, покращення характеристик її складових та додавання нових компонентів, накопичення інформації з метою кращого її використання, перебудова структури системи, її розвиток.

Основні невизначеності в системі досліджені на кроці 5. Однак недетермінованість присутня і в системі, що не призначена до функціонування в умовах випадкового характеру входів та зв'язків. Врахування невизначеностей у системі реалізується декількома шляхами.

По-перше, можна оцінювати «найгірші», в певному сенсі «граничні» можливі ситуації і на цьому ґрунті робити висновки про поведінку системи взагалі — цей спосіб ґрунтується на використанні принципу гарантованого результату, тобто забезпечення потрібного рівня функціонування системи за найгірших умов.

По-друге, на ґрунті інформації про стохастичні характеристики системи (математичне сподівання, дисперсія, моменти вищих порядків та ін.) визначаються ймовірнісні характеристики виходів системи. В цьому випадку отримуються певним чином «усереднені» або інтервальні характеристики системи.

По-третє, достатньо надійну систему можна побудувати й з ненадійних елементів

шляхом дублювання та інших прийомів — математично оцінити такий підхід можливо шляхом застосування результатів теорії надійності.

Дослідження невизначеностей трансформується в дослідження чутливості найважливіших властивостей системи, тобто ступеня впливу зміни потоків на входах системи на зміну її виходів, структури системи та властивостей її елементів.

Дослідження функцій та процесів у системі з метою управління ними. Формування управлінь та процедур прийняття рішень. Формування системи управління на ґрунті окремих керуючих дій.

Для цілеспрямованих систем цей крок має важливе значення. Основні керуючі фактори вже розглянуті на кроці 3. Для ефективного управління та вивчення його впливу на функції та властивості системи необхідне глибоке знання системи. Тому аналіз управлінь реалізується лише на цьому кроці, після всебічного розгляду системи. Єдиний розгляд всіх цілеспрямованих втручань у поведінку системи є по суті аналізом системи керування, яка переплетена з основною системою, але чітко вирізняється з точки зору основної функції — керування.

Виявляється, де, коли і як (в яких елементах системи, в яких час, в яких процесах, стрибках, виборах, логічних переходах) система керування діє на основну систему, наскільки це ефективно, прийнятне та якісно реалізоване. При розгляді управлінь у системі повинні бути досліджені можливості переведення входів та деяких параметрів в керуванні, визначені припустимі межі значень управлінь та способи їх реалізації.

Шляхом виконання кроків 6—9 реалізується поглиблене дослідження системи. Далі згідно цієї методології надходить моделювання системи. Деякі з властивостей системи доцільно вивчати на моделях й на кроках 6—9, однак про створення моделі системи можна вести мову лише тоді, коли система повністю вивчена.

### ***Моделювання системи як етап її дослідження***

#### ***Побудова сукупності моделей для описання системи***

На цьому кроці система розглядається з точки зору зручного відображення її властивостей для створення описання системи, придатного для передбачення її поведінки та виведення неочевидних властивостей. Точність моделювання повинна бути мінімальною, яка ще забезпечує відображення всіх важливих особливостей системи. Відсутність надлишкової деталізації — це зменшення об'єму вхідних даних, вимог до ресурсів моделюючого комп'ютера, але з іншого боку занадто проста модель не описує суттєві якісні особливості системи (є неадекватною системою) і приведе до формування неправильних висновків про поведінку системи. Знаходження межі розумної складності моделі є далеко не тривіальним завданням, і практично вона остаточно визначається в процесі моделювання на конкретних прикладах.

Отже, ставиться мета — створити таке описання системи, яке б дозволяло передбачати її поведінку та виявляти неочевидні властивості. Якщо на попередніх етапах можливим був розгляд моделей та системи без відділення одного від іншого, то тут їх необхідно розрізняти, а також чітко уявляти ступінь огрублення та наближеності моделі.

### ***Супровід системи***

***Накопичення досвіду роботи з системою та її моделлю, уточнення інформації про систему, вдосконалення моделей.***

Перевірка та дослідна експлуатація наших знань про систему, їх достатності та відповідності в процесі роботи з системою та її моделлю. При виявленні невідповідностей між передбачуваною та дійсною поведінкою системи можливо потрібен буде перегляд аналізу структури та ієрархії для знаходження неправильно визначених елементів та відношень і доповнення новими. Ще раз перевіряється ступінь адекватності моделі системі. Накопичення досвіду має ще й значний психологічний ефект для користувачів.

***Оцінка граничних можливостей системи, дослідження відмов, виходів з ладу, відхилень від норми.***

Працездатність системи перевіряється її періодичним або постійним тестуванням.

Набір таких тестів може бути достатньо складним і сам утворювати систему, що включатиме опрацювання та розшифровування результатів тестування, їх комплексний аналіз. Відмови та інші незаплановані явища вивчаються з точки зору ймовірності їх виникнення, попереджуючих заходів, варіантів реагування на них.

*Розширення функцій (властивостей) системи, зміна вимог до неї, нове коло задач, нові умови роботи, включення системи елементом в систему вищого рівня.*

Реалізується часткова зміна призначення системи та пов'язана з цим перебудова її функціонування. Необхідно визначити всі відмінності нової ситуації, її вплив на наявну структуру та властивості елементів, систему керування, наскільки і яким чином можна їх модифікувати.

Включення системи в якості елемента до певної макросистеми вимагатиме перегляду основних зв'язків з «не-системою» (макросистемою та оточенням). Формулювання вимог з боку макросистеми може викликати необхідність перегляду всіх основних системних понять та зачепити всі етапи дослідження.

### ***Особливості створення нової системи***

Ця ж методологія може застосовуватися і у процесі створення нової системи. Послідовність етапів залишається такою ж, але змінюється їх спрямованість — по суті вони будуть етапами «попереднього проектування», після чого, власне, виконується етап створення нової системи.

Отже, оскільки системний аналіз застосовується для розв'язування найрізноманітніших задач із застосуванням найрізноманітнішого інструментарію, послідовність загальних етапів системного аналізу фіксується у вигляді методології. Однак, аналізуючи роботи різних авторів, виявляється, що й на рівні методології пропонуються різноманітні послідовності дій, хоча слід відзначити спільність поглядів та принципову єдність підходів до поділу процесу системного аналізу на етапи.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Дати визначення поняттям: «методологія», «метод», «засіб».
2. Охарактеризувати послідовність методологія-метод-нотація-засіб
3. Визначити методологію системних досліджень.
4. На що орієнтована методологія системного дослідження?
5. Описати основні етапи розв'язання проблем в системному аналізі.
6. Дати визначення поняттю життєвого циклу системи.

### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія, методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 5: МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА СИСТЕМНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

### План

1. Аксиоматичний підхід дослідження систем.
2. Метод “чорної скриньки”.
3. Невизначеність при побудові моделей “вхід-вихід”.
4. Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі.
5. Імітаційне моделювання при прийнятті рішень.

### 1. Аксиоматичний підхід дослідження систем

Аксиоматичний підхід є найбільш поширених підходів при формальному дослідженні систем. Його особливістю є те, що модель будується на певних базових припущеннях, які не вимагають теоретичного обґрунтування – *аксіомах*.

Окрім базових припущень про внутрішні системні механізми, що вивчаються, при аксіоматичному підході важливим є припущення про достатність математичної моделі для досягнення мети моделювання.

Основними вимогами до базових припущень є:

- несуперечність системи аксіом;
- абстрактність, яка включає терміни та символи формальної мови, вислови на них побудовані, які формують математичні вирази для опису характерних властивостей системи чи правила виведення нових виразів.

Базові припущення формуються на основі змістовного (вербального) описання функціонування системи. Процес побудови аксіоматичної моделі вимагає інтерпретації та переведення змістовного описання на мову строгих математичних відношень та термінів. При цьому усуваються багатозначність трактування, неповнота, неясність та неконкретність властиві змістовному описанню.

Послідовність досліджень при аксіоматичному підході.

1. Відображення уявлень дослідників про систему за допомогою змістовного опису системи.
2. Формалізація змістовного опису та побудова системи аксіом – як уявлень про майбутню модель системи.
3. Отримання моделі системи на основі аксіом шляхом гомоморфного відображення реальних властивостей системи за допомогою формалізованого виведення.
4. Інтерпретація моделі на основі пояснення теоретичних результатів – як відображення результатів діяльності реальної системи. Перевірка достовірності, точності, повноти моделі та встановлення меж змістовної відповідності.
5. Побудова теорії за результатами інтерпретації та визначення меж її застосування. Пояснення за допомогою теорії відомих фактів поведінки системи.
6. Застосування теорії з метою виявлення нових властивостей системи.
7. Експериментальне підтвердження отриманих результатів застосування теорії.

Аксиоматичний підхід добре зарекомендував себе при побудові детермінованих моделей та при розв’язуванні проблем, що можуть бути строго формалізовані. Складні ж проблеми, є слабо структурованими і не можуть бути повністю формалізовані. Як правило аксіоматичний підхід можна з успіхом застосовувати для дослідження окремих підсистем та елементів у детермінованому середовищі.

### 2. Метод «чорної скриньки»

Кібернетичне трактування неможливості повної ідентифікації усіх властивостей системи, її структури втілилося в ідеї “чорної скриньки”.

Моделі “чорної скриньки” дозволяють відобразити ті входи та виходи системи необхідні для вивчення однієї з сторін її функціонування, тому називаються моделями

“вхід-вихід”. При побудові такої моделі встановлюється відношення між цими входами та виходами. Модель “вхід- вихід” відображає основні властивості системи, такі як цілісність та відносна ізолюваність через наявність зв’язок із зовнішнім середовищем.

### **3. Невизначеність при побудові моделей «вхід-вихід»**

При побудові моделі “вхід-вихід” проблемою є визначення тих входів та виходів, які необхідно включати до складу моделі, оскільки при вивченні системи модель постійно модифікується. Реальна система взаємодіє із середовищем через нескінченну кількість способів, тобто через нескінченну кількість входів та виходів. Критерієм відбору цих входів та виходів є цільове призначення системи, суттєвість того чи іншого зв’язку системи із середовищем. У моделі ми вимушені відображати скінченну кількість взаємодій і тим самим існує висока ймовірність не включення саме тих входів та виходів, які найбільш суттєво визначають властивості системи.

Складність проблеми відбору найбільш значущих входів та виходів посилюється ще й тим, що невключені зв’язки із зовнішнім середовищем не зникають, а певним чином діють незалежно від нас і тим самим ускладнюють вивчення поведінки системи.

При побудові моделей “вхід-вихід” невраховані та невідомі зв’язки із зовнішнім середовищем представляють за допомогою *спрощених моделей невизначеності*. Сучасні підходи до побудови моделей “вхід-вихід” побудовані на відображенні однієї з таких форм невизначеності: *стохастичної* та *теоретико-множинної*, або їх комбінації.

У випадку прийняття гіпотези про випадкову (імовірнісну) природу дії неврахованих та невідомих зв’язків із зовнішнім середовищем використовують стохастичну форму невизначеності. Суть її у кількісному виразі зводиться до того, що дія середовища на систему і системи на середовище відображається у випадкових змінах характеристик контрольованих і врахованих зв’язків. Для дослідження випадкових змін цих характеристик використовують методи статистичного оцінювання.

Теоретико-множинна форма невизначеності виникає в тому випадку, коли природа дії неврахованих та невідомих зв’язків із зовнішнім середовищем невідома. Тоді у кількісному виразі дія середовища на систему і системи на середовище відображається в характеристиках контрольованих і врахованих зв’язків у вигляді належності значень цих характеристик певним відомим множинам. цих зв’язків певним множинам. Якщо ці множини визначені у нечітких з точки зору математики термінах, то для опису невизначеності використовують теорію нечітких множин. і про них можна тільки сказати, що вони змінюються в певних межах. Частковим випадком опису теоретико-множинної форми невизначеності є інтервальне представлення характеристик системи, тобто у вигляді інтервалів можливих значень.

Процедури перевірки гіпотез про форми невизначеності побудовані на аналізі експериментальних даних, способі їх отримання та природи формування.

Залежно від способу опису форм невизначеності при побудові моделей “вхід-вихід” використовують різні підходи до моделювання: детермінований, стохастичний та теоретико-множинний чи інтервальний. Кожен із вказаних підходів визначатиме відповідну методологію побудови моделей “вхід- вихід”.

### **4. Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі**

Побудова оптимізаційних моделей з математичної точки зору передбачає використання дескриптивних моделей у такому складі: модель (моделі) критеріїв, моделі обмежень. Така постановка дозволяє знайти оптимальні дії для ефективного функціонування системи, або Паретто-оптимальну множину оптимальних дій (у випадку великої кількості критеріїв).

Оптимізаційна модель вимагає змістовного опису і будується у такій послідовності:

1. Розробка дескриптивної моделі, яка описує якість функціонування системи та визначає мету.
2. Побудова множини критеріїв оцінки якості та визначення шкал їх вимірювання.
3. Проведення статистичних досліджень і узгодження з ними моделі.

4. Формалізація задач знаходження оптимальних розв'язків.
5. Вибір методу розв'язування оптимізаційної моделі
6. Оцінювання результатів розв'язування оптимізаційної задачі та їх інтерпретація.

В системному аналізі проблеми оптимізації пов'язані з тим, що незначні зміни в умовах задачі можуть привести до вибору суттєво різних альтернатив. Інша проблема оптимізації полягає в тому, що знайдене локально-оптимальне рішення може бути й зовсім не оптимальним з точки зору “надсистеми”, що вимагає координувати критерії підсистем з критеріями системи.

При дослідженні складних систем поняття оптимальності набуває дещо іншого трактування, ніж це прийнято в математиці. В цих умовах проблема вибору оптимальної альтернативи полягає, *по-перше* – в наявності великої кількості критеріїв та необхідності урахування їх різної важливості, а *по-друге* в нечіткості формулювання мети, що призводить до нечіткого, описового формулювання критеріїв.

### **5. Імітаційне моделювання при прийнятті рішень**

Імітаційні моделі дозволяють проводити чисельні експерименти є надзвичайно універсальними. При експериментуванні на імітаційній моделі можливе внесення таких змін:

- в структуру моделі моделей поведінки,
- параметрів моделей,
- параметрів та законів розподілу випадкових факторів
- значень та зміни в часі зовнішніх змінних.

Імітаційна модель повинна відповідати таким вимогам:

- логічна причинно-наслідковість повинна відповідати характеристикам системи, що моделюється
- характер та зміст інформації про процеси, що спостерігаються за допомогою моделі повинні зберігатися подібними до системи
- в моделі повинні спостерігатися змінні, що є суттєвими з точки зору дослідника в реальній системі.

Реалізація імітаційного підходу набуває все більших можливостей з розвитком комп'ютерної техніки і це своєю чергою відбивається на розробці методологій імітаційного моделювання. Методології імітаційного моделювання являють собою комбінування методологій побудови складових імітаційних моделей, таких як застосовуються при аксіоматичному підході, побудові оптимізаційних моделей та моделей “чорної скриньки”.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Дати визначення поняттю «аксіоматичний підхід».
2. Вказати послідовність досліджень при аксіоматичному підході.
3. Охарактеризувати метод «чорної скриньки».
4. Визначити проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі.
5. Вказати основні завдання імітаційного моделювання.

### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.



## ТЕМА 6: КЛАСИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

### План

1. Загальні підходи до класифікації систем.
2. Класифікація систем за принципом функціонування.
3. Поняття складності та масштабності систем.
4. Властивості складних систем.
5. Класифікація систем за способом керування.
6. Моделювання систем.
7. Моделювання як спосіб наукового пізнання.
8. Поняття адекватності моделі.
9. Класифікація моделей.
10. КORTEЖНИЙ запис моделі.
11. Складна система. Різноманіття живих систем.
12. Роль живої речовини в утворенні середовища існування.
13. Біосфера як цілісна система.
14. Різноманітність форм життя та біогенний кругообіг.
15. Рівні організації живої матерії.
16. Екологія угруповань (синекологія) та екосистемологія.
17. Регуляція біосистем.
18. Екосистеми та біогеоценози.
19. Місто як соціально-екологічна система.
20. Міські біогеоценози.
21. Класифікація окультуреності біогеоценозів. Характеристика, приклади.
22. Кругообіг речовин і енергії в природі з позицій системного аналізу.
23. Причини порушення кругообігу речовин.

### 1. Загальні підходи до класифікації систем

В основу будь-якої класифікації мають бути покладені характерні ознаки об'єктів класифікації. Наявність чи відсутність відповідної ознаки в об'єкті дозволяє віднести його до певного класу. Класифікація – це перший крок при дослідженні системи.

Найчастіше системи класифікуються за такими ознаками:

- призначення;
- ступінь взаємодії із зовнішнім середовищем;
- походження;
- спосіб організації;
- та характер взаємодії між елементами;
- спосіб керування;
- принципи функціонування.

За призначенням системи поділяються на *пасивні* та *цілеспрямовані* (активні).

*Пасивні* – це пристрої, що використовуються для виконання вимог, усвідомлених їх творцями (автомобілі, літаки).

*Цілеспрямовані* – сприймають потреби, щоб сприйняти і формувати дії з множини альтернативних для задоволення власних потреб. Їх цілі можуть змінюватися в часі, адаптуватися до середовища та змінювати його.

За ступеню взаємодії із зовнішнім середовищем системи класифікуються на *відкриті* або *замкнені* (автономні).

Відкрита система, яка досягає рівноваги стає замкненою. Цілеспрямовані системи є відкритими. Відкриті системи можуть зберігати високий рівень організованості і розвиватися у бік збільшення складності.

Чисто замкнутих систем не існує. Вони розглядаються замкнутими виключно з точки зору якоїсь частини середовища.

За походженням системи класифікуються *створені природою* та *людиною*.

Створені природою класифікуються на *живі* та *неживі*.

За елементами системи поділяються на *абстрактні* (символи, знаки, букви, цифри) та *фізичні* (предмети, явища, процеси).

За способом організації: структуровані і слабо структуровані.

За типом та характером взаємодії між елементами системи класифікуються на *прості* та *складні*.

За способом керування на: керовані ззовні, самокеровані та з комбінованим керуванням.

## **2. Класифікація систем за принципом функціонування**

Одними із найбільш поширених класів систем є комп'ютеризовані (автоматизовані) системи управління. Їх особливість полягає в тому, що елементами такої системи є люди (персонал). Найчастіше за класифікаційну ознаку для таких систем вибирають принцип функціонування.

За принципом функціонування такі системи поділяються на транзакційні (протоколюючі), системи підтримки прийняття рішень та геоінформаційні системи.

Системи *транзакційного* типу виконують прості операції перетворення зв'язків між елементами вхідної інформації з метою формування вихідної. Вони фіксують одиничні моменти функціонування системи. При цьому елементи вхідної та вихідної інформації співпадають.

*Системи підтримки прийняття рішень* призначені для розв'язування більш складніших задач пов'язаних із перетворенням структури вхідної інформації на основі певних правил (знань) у вихідну інформацію, яка відрізняється від вхідної не тільки зміненими зв'язками, але і самими елементами. Як правило такі системи мають елементи штучного інтелекту, відрізняються наявністю великої кількості взаємопов'язаних алгоритмів функціонування. Окремі з них мають властивості самоорганізації та розвитку алгоритмів функціонування.

*Геоінформаційні системи* – це системи у яких управління процесами опрацювання інформації здійснюється за допомогою графічного інтерфейсу, виконаного на основі географічних, топографічних карт, планів. Такі системи можуть включати як елементи чисто систем транзакційного типу (транзакція посилається вибором відповідного об'єкта на карті) так і елементи систем підтримки прийняття рішень.

## **3. Поняття складності та масштабності систем**

Одною із основних класифікаційних ознак є складність системи, яка визначається типом та характером взаємодії між елементами системи.

Складність не може бути висловлена за допомогою одного показника і її визначення залежить від галузі наук та застосування системи. Складність зазвичай необхідно виразити кількісно, хоча вона означає дещо якісне. Необхідно розрізняти *статичну* та *динамічну* складність. Статична складність - це внутрішня складність системи, а динамічна – це складність керування системою.

*Важкість і складність* є різні поняття. Складна проблема є слабо структурованою і має велику кількість розв'язань, які своєю чергою мають багато призначень. Для складних систем властивими є різні системні моделі, які описують її різні сторони та різну глибину проникнення.

Для вимірювання складності кількісно використовують різні концепції:

- алгоритмічна, яка визначає складність довжиною алгоритму відтворення системи;
- обчислювальна – пов'язує алгоритмічну складність та обчислювальні ресурси;
- інформаційна – розуміє складність з точки зору ентропії системи;
- статистична – характеризує складність через міру затрат на розпізнаваність розподілів ймовірностей;
- теоретико-множинна, інтервальні концепція складності – характеризує складність через міру затрат на забезпечення розпізнаваності множин значень
- логічна – побудована на аналізі предикатів, які характеризують систему;

– множинна – визначає складність як кількість елементів системи

*Алгоритмічна складність* базується на понятті функції, що може бути обчислена за допомогою алгоритму при його реалізації машиною Тьюринга. Алгоритмічна складність задає складність описання алгоритму розв'язання задачі. Такий підхід дозволяє порівнювати складність тільки в межах визначеного класу задач.

Алгоритмічна складність доповнюється *обчислювальною*, яка характеризує витрати різних обчислювальних ресурсів на розв'язування заданого класу задач. Міру обчислювальної складності характеризують також: надійність обчислень; можливість розпаралелювання обчислювального процесу; частоту звертань до складових комп'ютера та розподіл даних та проміжних результатів між постійною і оперативною пам'яттю.

*Інформаційна концепція* розглядає складність розв'язання оптимізаційних задач. Поняття “найкраще рішення” є не математичною проблемою, а проблемою СА. Достатньо часто для оцінки складності оптимізаційних задач розглядають її розмірність та необхідну точність отриманого результату, тобто обсягом інформації для отримання розв'язку. Однак тут також потрібно враховувати реальні витрати обчислювальних ресурсів та складність алгоритму реалізації обраного методу оптимізації.

*Статистична концепція складності* побудована на тому, що поведінка складних систем є не передбачуваною, але агреговані характеристики таких систем є статистично стійкими. Встановлення цих характеристик, перевірки апріорних гіпотез на яких вони базуються вимагає відповідних обсягів спостережень, вартісна оцінка збирання якої є характеристикою складності.

*Теоретико-множинна, інтервальна концепція складності* також стосується поведінки систем в умовах невизначеності, коли агреговані характеристики систем можливо отримати в множинному (інтервальному) вигляді. Для забезпечення мінімальних розмірів множин значень чи функціональних коридорів характеристик необхідно отримати певні обсяги вихідної інформації з гарантованою точністю. Витрати на ці процеси характеризують складність об'єкта.

Отже за масштабністю і складністю системи розділяємо на *великі і малі* та на *складні і прості*.

*Великі системи* – це системи, які обов'язково розглядаються як сукупність підсистем. При цьому, для їх дослідження використовуємо два шляхи композицію та декомпозицію. Композиція – це дослідження від елементів, підсистем до системи. Декомпозиція – коли нова інформація отримується зі знання системи загалом.

*Складні системи* – це цілеспрямовані для розв'язування багатоцільових задач і для їх опису використовують взаємопов'язаний комплекс моделей.

#### **4. Властивості складних систем**

*Загальність та абстрактність*, коли як система розглядаються предмети, явища природи, різні процеси.

*Множинність* – одна і та ж сукупність елементів може бути множиною різних систем. Кожна сукупність відрізняється системоутворчими властивостями та конкретними відношеннями елементів у сукупності.

*Цілісність* – система поводить себе як єдине ціле.

*Емерджентність* – наявність властивостей у системі, які не можуть бути отримані із властивостей елементів. Для отримання властивостей системи необхідно аналізувати відношення між її елементами. Цілісність обумовлена властивістю емерджентності.

*Еквіпотенційність* – система є підсистемою вищого рівня і в той же час вона є системою зі своїми елементами і зв'язками.

*Синергізм* – ефективність функціонування системи є вища ніж сумарна ефективність ізольованого функціонування її елементів.

Не всі складні системи є відкритими. Відкриті можуть мати такі особливості, наприклад як *адитивність* – протилежність синергізму. Кожна змінна розглядається незалежно від інших і відхилення характеристики системи є сумою відхилень окремих елементів.

Для складних систем є характерними обмеження на реалізацію свого призначення. Тоді проблема досягнення бажаного стану, найкращого розв'язку перетворюється до проблеми знаходження прийняттого стану. Ці обмеження поділяються на *зовнішні та внутрішні*.

Внутрішні:

- *Сприйняття* потреб, цілей та засобів досягнення людиною.
- *Унікальні проблеми* у яких потреби слабко структуровані і не існує відомого впорядкованого набору процедур, щоб їх задовольнити.
- *Конфлікт*. Усвідомлені потреби (вимоги) можуть бути протилежними для осіб, що розв'язують проблему. Компроміс часто не забезпечує початкове призначення системи.
- *Інерція*. Важливі рішення приписуються неконтрольованим силам, а не окремим особам.

Зовнішні:

- *Динаміка*, яка призводить до невизначеності зовнішнього середовища та необхідності прогнозування його поведінки.
- *Турбулентність*, яка може виникнути при динаміці складних відношень між елементами і знизити їх адаптивність.
- *Запізнення*, які виникають при оцінці відповідності системи її призначенню та реагуванні системи на дію.
- *Технічні фінансові обмеження та обмеження людських ресурсів*, які визначаються сучасними чи наявними можливостями технічних засобів, фінансових та людських ресурсів.

## **5. Класифікація систем за способом керування**

Цілеспрямоване втручання в перебіг процесів називають *керуванням*.

Керування забезпечує стійкість системи у її взаємодії з зовнішнім середовищем та взаємодії елементів.

Для систем у яких є зовнішнє керування, процеси керування реалізуються зовні системою керування. Спосіб *регулювання* полягає в оцінюванні існуючого стану, порівнянні з бажаним і виробленні додаткового керування, яке повертає систему до бажаного стану.

*Параметрична адаптація* полягає у підлаштуванні параметрів системи з метою досягнення бажаного стану системою.

Якщо при адаптації параметрів системи бажаний стан не досягається, то необхідно здійснювати процедури *структурної адаптації*. Системи з *самоорганізацією* здатні змінювати свою структуру та оточуюче середовище.

## **6. Моделювання систем**

Моделювання є найбільш ефективним способом дослідження складних систем різного призначення, – технічних, економічних, екологічних, соціальних, інформаційних – як на етапі їх проектування, так і в процесі експлуатації. Можливості моделювання систем далеко не вичерпані, тому постійно з'являються найновіші методи та технології моделювання.

Моделювання як спосіб пізнання використовувалось людиною з давніх часів. Але з появою комп'ютера моделювання систем збагатилось появою принципово нових методів моделювання таких, як імітаційне моделювання, еволюційне моделювання, методи групового урахування аргументів. Моделі і методи моделювання використовуються при створенні систем автоматизованого проектування, систем прийняття рішень, систем автоматизованого керування, систем штучного інтелекту. Потрібність у розв'язанні задач моделювання систем виникає не тільки у науковця, але й у проектувальника, виробника, ділової людини під час повсякденної праці.

Термін "моделювання" спочатку був введений для дослідження проблем, які не вдавалося відразу вирішити теоретичним або експериментальним методом:

"**Моделювання**" - дослідження фізичних процесів на моделях. У найпростішому випадку модель відтворює досліджуване явище (оригінал) із збереженням його фізичної природи і геометричної подоби, а відрізняється від оригіналу лише тим (розмірами, швидкістю течії досліджуваних явищ і іноді матеріалом), що призводить до зміни ... параметрів".

Для реалізації ідеї моделювання розвивалася "теорія подібності, що вивчає умови подібності фізичних явищ ... спирається на вчення про розмірності фізичних величин". При цьому вводили ряд видів подібності: *геометричне* (подоба геометричних фігур), *механічне* (характеризує однотипні механічні системи або явища, такі як потоки рідини чи газу, пружні системи і т.п.), *теплове* (для теплових процесів при однаковості температурних полів і теплових потоків), *матричне* (подоба матриць при завданні їх матрицями лінійного перетворення). У подальшому були введені терміни *фізичного* (узагальнюючого механічне, теплове і т.п. види подібності) і його різновидів - *кінематичного* і *динамічного*; *хімічного*, *фізико-хімічного* та *математичного* подоби.

Основою теорії подібності є встановлення подібності критеріїв різних фізичних явищ і вивчення за допомогою цих критеріїв властивостей самих явищ. Подібності в подібні моменти часу в подібних точках простору значень змінних величин, параметрів (які при деякому принципову подібність встановлюються для різних видів подібності з урахуванням їх специфіки), що характеризують стан однієї системи, пропорційні відповідним величинам (параметрами) іншої системи. Коефіцієнт пропорційності для кожної з величин називається коефіцієнтом подібності.

Принципи теорії подібності корисно використовувати в якості основи теорії моделювання і в даний час. При цьому способи встановлення подібності параметрів досліджуваних явищ і процесів при використанні різних методів моделювання різні.

Наприклад, при застосуванні теоретико-множинних уявлень вводяться поняття ізоморфізму і гомоморфізму, при використанні логіко-лінгвістичних уявлень - подібність предикатів і т.п.

З урахуванням сказаного корисно розглянути розвиток визначень моделі і моделювання.

Найбільш лаконічне визначення дає С. Лем:

"Моделювання - це наслідування Природі, що враховує мало хто її властивості".

При цьому пояснює: "Чому тільки деякі? Через нашого невміння? Ні. Насамперед тому, що ми повинні захиститися від надлишку інформації", додаючи, що можлива і недоступність інформації, і пояснюючи на прикладах, що "практика моделювання передбачає врахування деяких змінних і відмова від інших "з урахуванням призначення моделі.

Більш строго *моделювання* можна визначити як заміщення одного об'єкта (оригіналу) іншим (моделлю), фіксацію і вивчення властивостей моделі. Заміщення виробляється з метою спрощення, здешевлення, прискорення вивчення властивостей оригіналу. При цьому заміщення правомірно, якщо цікавлять дослідника характеристики оригіналу і моделі визначаються однотипними підмножинами параметрів  $s\theta$ , що мають певні властивості, кількісною мірою яких служить безліч характеристик  $u\theta$ , і пов'язані певними залежностями з цими параметрами.

Термін "модель" використовується в різних сенсах: екземпляр, варіант якогось виробу; макет, що повторює якісь особливості певного об'єкта; наочні (зменшені, збільшені або в натуральну величину) копії різних об'єктів - конструкцій машин, будівель, споруд, кристалів, атомів і молекул і т.п. ; моделі одягу, фотомоделі (дівчата і юнаки), тобто те, що служить зразком для художнього відтворення, прикладом для наслідування чи порівняння і т.д.

У довіднику але кібернетиці модель визначається як "один з найважливіших інструментів наукового пізнання, умовний образ об'єкта дослідження (або управління)", і пояснюється, що "модель конструюється суб'єктом дослідження ("спостерігачем" по Ешбі) так, щоб відобразити характеристики об'єкта (властивості, взаємозв'язку, структурні та функціональні параметри тощо), істотні для мети дослідження. Тому питання про якість такого відображення - адекватність моделі об'єкту - правомірно вирішувати лише відносно певної мети". При цьому підкреслюється, що найбільш суворе і загальне визначення моделі має спиратися на поняття *гомоморфізму* і *ізоморфізму*. Стосовно до системним дослідженням Ф. І. Перегудов і Ф. П. Тарасенко стисло визначили модель як форму існування знань, а моделювання - як "невід'ємний етап всякої цілеспрямованої діяльності".

Пізніше Ф. П. Тарасенко розвиває тезу про те, що "модель - невід'ємна частина будь-якої діяльності", і, досліджуючи феномен моделювання, визначає поняття моделі спочатку через опис *сенсу побудови та застосування моделей*.

"Модель є певне (системне) відображення деякого явища (об'єкта, події, процесу) у формі, яка сприймається суб'єктом і придатною для використання міститься в ній інформації в процесі активної взаємодії суб'єкта з системою, що містить дане явище".

Потім - представляє модель як "спрощене цільове відображення оригіналу", як "матеріальний носій інформації"; досліджує роль моделювання в діяльності людини, в процесі якого необхідно дати опис усіх суттєвих відносин між компонентами моделювання - моделлю, модельованою сутністю (абстрактної або реальної), моделюючим суб'єктом, інфраструктурою моделювання, і пропонує ще одне визначення моделі (вербальну модель):

"Модель є відображення оригіналу: цільове (тобто призначаються для забезпечення досягнення суб'єктом певної мети): абстрактне (уявне) або реальне (дійсне); спрощене (огрублене, приблизне); що має як істинне, так і помилковий зміст; значуще лише в контексті культури суб'єкта (інгерентно культурі); має певну ступінь адекватності (потенціал успішності досягнення мети при використанні даної моделі)".

У такій інтерпретації модель є "носієм інформації про оригінал", елементом процесу моделювання, в якому окрім самої моделі (носія інформації) істотними частинами є: оригінал (моделюване явище, джерело інформації), суб'єкт, якому була потрібна інформація про оригінал для досягнення своєї мети, і інфраструктура, що забезпечує моделювання.

Ю. А. Шрейдер, розглядаючи моделювання як виявлення взаємин між *дослідником, моделлю і оригіналом*, пропонує як засоби відображення цих взаємин *мову*, заснований який дозволяє досліджувати гносеологічні аспекти ставлення "модель - об'єкт", семантику і сенс інформації про об'єкт, що міститься в моделі, *цільові і ціннісні* категорії процесу моделювання.

## **7. Моделювання як спосіб наукового пізнання**

*Моделювання* є одним із способів пізнання. Моделювання слугує для розв'язування тих завдань, які не можуть бути розв'язані безпосередньо на об'єкті, наприклад коли він не існує. *Метод моделювання* полягає в заміні деякого об'єкта іншим об'єктом, який володіє подібними властивостями, але дослідження якого економічно вигідніше. Тобто методи моделювання є одним із способів опосередкованого пізнання. Моделювання це завжди є співставлення відомого з невідомим по *аналогії*.

*Аналогія* це твердження про схожість в різних об'єктах. Ґрунтуючись на аналогії в дослідженнях висуваються *гіпотези-передбачення*, які перевіряються шляхом експерименту.

*Модель* є провідною ланкою між дослідником та об'єктом, виконує функції заміника об'єкта та дозволяє отримати нові знання про цей об'єкт.

При моделюванні можливі різні рівні аналогій. Найвищий рівень аналогії - коли модель тотожна самому об'єкту. Однак в цьому випадку втрачається зміст моделювання. З іншого боку надмірне спрощення моделі призводить до невідповідності із досліджуваним

об'єктом.

Основними функціями моделей систем є *пізнавальні* та *прагматичні*.

Вони можуть використовуватися як засоби:

- осмислення дійсності;
- формального опису причинно-наслідкових зв'язків та структури системи;
- навчання, імітації та прогнозування поведінки системи;
- імітаційного експерименту;
- використання в задачах управління та оптимізації.

Системний аналіз використовує апарат моделювання для розв'язування задач дослідження об'єкта, проектування нової системи та організації управління. При цьому властивості системи переважно відображаються комплексом моделей.

Інший системний аспект моделювання полягає в тому, що діяльність дослідника є цілеспрямованою на досягнення певної мети, бажаного стану, який розглядається як деяка модель. Процес формування плану чи алгоритму діяльності базується на моделюванні з метою прогнозування наслідків діяльності. В цьому сенсі *моделювання виступає як обов'язкова дія в цілеспрямованій діяльності*.

Модель також виступає як *цільове відображення* властивостей об'єкта, тобто відображаються ті властивості, які відповідають основній цілі.

*Прагматичний аспект* моделювання полягає в тому, що його результатом є не тільки відображення властивостей, але і формування вимог до того що потрібно досягнути, тобто до бажаного стану системи. Наприклад моделі можуть використовуватися як засіб знаходження оптимальних рішень, оптимального управління, оптимальної організації, тощо.

Основними властивостями моделі є її *скінченність* (повнота), *складність* (спрощеність) та *точність* (наближеність) по відношенню до реальної системи.

У моделі відображається *скінчена* кількість відношень елементів системи. Хоча об'єкти моделювання можуть бути також скінченими. Наприклад, коли будується модель якоїсь моделі (на основі комп'ютерної моделі будується її відображення в аналітичному виразі).

*Спрощеність* моделі обґрунтовується необхідністю оперування нею, наприклад, із застосуванням обчислювальної техніки, ресурси якої є обмеженими. Принцип леза Оккама гласить, що *з двох адекватних моделей ближчою до дійсності природи явища є та, що простіша. Простота – це печать істини* (древні схоласти).

Оцінка *складності* моделі досліджується при визначенні структури моделі (*структурної ідентифікації*). Кількісні оцінки складності можуть бути отримані тільки для фіксованого класу моделей. Наприклад, вони можуть визначатися кількістю елементів, згідно алгоритмічної чи обчислювальної концепції. Тобто згідно концепцій визначення складності систем.

*Наближеність* (*точність*) моделей має більш кількісне вираження ніж *скінченність* та *складність*. Для перевірки наближеності достатньо порівняти властивості отримані згідно моделі із властивостями оригіналу.

## 8. Поняття адекватності моделі

*Адекватність* є основною характеристикою побудованої моделі. Модель адекватна об'єкту якщо результати моделювання слугують для прогнозування поведінки реального об'єкта.

Поняття *адекватності* слугує для оцінки рівня виконання вимог *повноти та точності*, необхідного для досягнення мети моделювання. *Ступінь адекватності моделі* перевіряється експериментальним шляхом на основі введення міри адекватності.

В цілому існує розумний компроміс між складністю моделі та адекватністю відображення нею властивостей об'єкта. Як правило при цьому модель описує деякі сторони функціонування та деякі необхідні для відображення властивості системи.

Процес моделювання пов'язаний із виконанням певних етапів дослідником результатом кожного з яких є певні системи знань або їх знакове (формальне)

відображення.

На першому етапі отримується відображення об'єкта у свідомості дослідника у вигляді системи знань. Це відображення є *гомоморфним*. *Гомоморфне* відображення означає, що кожному елементу та зв'язку об'єкта, що моделюється, відповідає один елемент та зв'язок системи знань про об'єкт у свідомості дослідника, а протилежне відображення не існує.

На другому етапі отримується система уявлень про модель об'єкта, яка також є гомоморфним відображенням системи знань про об'єкт.

На третьому етапі система уявлень про модель об'єкта *ізоморфно* відображається у модель об'єкта чи явища, що моделюється. *Ізоморфізм* вказаного відображення полягає у тому, що кожному елементу та зв'язку системи уявлень про модель об'єкта відповідає один і тільки один елемент моделі об'єкта і існує протилежне відображення.

В цілому між системою (об'єктом, що моделюється) і її моделлю існує гомоморфне відображення, що підтверджує множинність моделей будь-якої системи, а процес моделювання є ітераційним.

## 9. Класифікація моделей

Основними класифікаційними ознаками моделей є:

- акценти дослідження системи;
- властивості областей зміни параметрів та змінних;
- спосіб опису невизначеності;
- урахування інерційності;
- спосіб задання відношень між параметрами та змінними;
- призначення
- форма представлення властивостей системи.

Якщо акценти при дослідженні системи зміщуються в напрямку пізнання внутрішньої побудови системи, то розглядають *моделі структури*. У випадку, коли найважливішим є встановлення властивостей системи які проявляються при взаємодії її із зовнішнім середовищем, то розглядають моделі *чорної скриньки* (“вхід-вихід”).

Моделі “вхід-вихід” відображають основні властивості системи, ізолюваність і зв'язок із зовнішнім середовищем, а також неможливість повної ідентифікації всіх властивостей.

Модель структури відображає сукупність елементів і зв'язків між ними як відносно незмінну.

Залежно від властивості областей зміни параметрів та змінних моделі поділяють на *неперервні* (аналогові), *дискретні* та *дискретно-неперервні*.

У *неперервних* моделях елементи моделі є неперервними. У *дискретних* – параметри та змінні приймають значення з дискретних множин.

Залежно від опису невизначеності моделі поділяють на: *детерміновані*, *стохастичні*, *теоретико-множинні*.

*Детерміновані моделі* – не містять невизначеності і є певним ідеалом. Навіть у випадку відсутності стохастичних чи непередбачених процесів у кожній моделі існує певна міра невизначеності, пов'язана із такими її властивостями як скінченність та наближеність.

У *стохастичних* моделях змінні та параметри представляються випадковими величинами. Характеристиками цих випадкових величин є закони розподілу чи їх параметри, або статистичні оцінки цих законів і параметрів.

*Теоретико-множинні* моделі містять параметри та змінні, представлені у вигляді множин гарантованих чи допустимих значень, або у вигляді нечітких множин із відомими функціями належності. Одним із підкласів таких моделей є інтервальні моделі які описують властивості системи інтервалами можливих значень, або функціональними коридорами.

Залежно від ступеня урахування фактору часу моделі поділяються на статичні (без інерційні) та динамічні.



У статичних моделях припускається відсутність перехідного процесу. Тобто, що система миттєво реагує на будь-яке збурення. Статичні моделі описуються алгебраїчними рівняннями. Статичні моделі можуть також відображати динаміку, але в фіксований момент часу. Послідовність статичних моделей може повністю описати зміну станів системи у часі. У цьому випадку використовують рекурентні співвідношення у вигляді різницевих рівнянь.

Динамічні моделі враховують фактор інерції системи при поведінці системи. Такі моделі описуються інтегро-диференціальними рівняннями із змінною часу.

За способом задання відношень між параметрами та змінними моделі поділяються на лінійні та нелінійні. Лінійні моделі як правило описують прості системи, що не володіють властивістю синергізму, або за значного спрощення при відображенні властивостей системи.

За призначенням моделі поділяють на *дескриптивні* та *нормативні*. Дескриптивні – це описові моделі. Нормативні моделі – включають критерії оцінки якості функціонування системи. Такими моделями є оптимізаційні моделі. Нормативні моделі описують норми функціонування системи і обов'язково включають дескриптивні моделі.

В залежності від форми представлення властивостей системи моделлю виділяють: *мисленні та реальні моделі*.

Мисленні моделі відображаються аналоговими, макетування, знаковими

В аналогових моделях властивості системи представляються іншою властивістю аналогічної за поведінкою моделі.

Макетування, це відображення властивостей системи за допомогою макету – спрощеного образу системи.

Знакове моделювання – це процес створення логічного об'єкту в заміні реального за допомогою певної системи знаків або символів. Знакові моделі є *формальними*. Тобто усі властивості системи описуються строго формальною мовою, що дозволяє уникнути подвійного трактування опису.

Серед знакових виділяється *математичне моделювання*, яке є процесом встановлення відповідності між реальною системою і математичним об'єктом.

Математичні моделі поділяються на аналітичні та імітаційні.

Аналітичне математичне моделювання передбачає запис процесів функціонування системи у вигляді співвідношень інтегро-диференціальних та алгебраїчних виразів.

Імітаційне моделювання – реалізація моделі або сукупності моделей системи за допомогою алгоритму, який відтворює процес функціонування системи в часі, тобто її динаміку.

Реальне моделювання – дослідження характеристик системи на реальній системі, або на її подібній частині. З реальним моделюванням пов'язані процеси експериментального дослідження системи, натурний та науковий експерименти, комплексні випробування.

## 10. Короткий запис моделі

Короткий запис моделі системи дозволяє у певній мірі проілюструвати розглянуті вище класифікаційні ознаки на формальному рівні.

Цей запис моделі системи має такий вигляд:  $E: \langle X, Y, B, A, T, W, F \rangle$

X – множина “входів” системи. Y – множина “виходів” системи.

B – множина постійних параметрів системи. A – множина змінних параметрів системи.

T – множина параметрів процесів в системі.

W – оператор динаміки, який дозволяє відобразити множини X, T, B у множину A  $W(X, T, B) \square A$

F – оператор системи, який дозволяє множини X, T, B, A відобразити у виходи, описує основні функції системи, мету і призначення

$F(X, T, B, A) \square Y$ .

Якщо в моделі системи відсутні параметри процесу, тоді F відображає

$F(X, V) \square Y$ .

Моделі із таким оператором є статичними.

Якщо присутні параметри процесів, то  $F$  відображає модель динамічної системи.

Залежно від запису моделі системи і властивостей її множин, розрізняють різні методи моделювання.

Якщо всі множини в даній моделі є неперервними, то отримуватимемо неперервні моделі.

За умов дискретності множин  $X$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $A$  модель системи буде дискретною, хоча найчастіше дискретним моделям властивий дискретний спосіб задання множини параметрів процесів в системі.

Якщо оператор  $F$  лінійний, тобто відношення між множинами є лінійними, то модель системи буде лінійною, в іншому випадку - нелінійною. Залежно від лінійності відношень між окремими множинами у моделях розрізняють лінійні чи нелінійні моделі за входами (відношення між входами та виходами), лінійні чи нелінійні за параметрами (відношення між параметрами та виходами).

Якщо хоча б одна із множин  $X$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $A$  в складі моделі формується за умов невизначеності, то модель є стохастичною чи інтервальною.

## 11. Складна система. Різноманіття живих систем

**Складна система** — система, поняття, що широко використовується в сучасній науковій літературі і вказує на специфічні особливості об'єктів дослідження практично в усіх розділах природничих та гуманітарних наук. Саме ця всеохопність терміну пояснює відсутність єдиного загально визначення складної системи. Серед численних ознак складної системи основними є дві - відкритість системи і здатність до самоорганізації. При аналізі складних систем розрізняють структурну, функціональну та динамічну складності. По відношенню до задач обчислювальної математики важливе значення має введене А.М.Колмогоровим поняття алгоритмічної складності. Зараз в світі англійською мовою видається 12 наукових журналів, в назві (а отже, і в тематиці) яких вживано термін "Complexity" (Складність).

В програмній інженерії складною системою вважають систему з багатьма рівнями абстрації.

Як правило, в складних системах вдається виділити певні складові елементи (підсистеми). Особливості взаємодії між підсистемами та специфіка реакції системи на зовнішні впливи виключають можливість описати поведінку складної системи лише на основі знань про властивості формуючих її підсистем. Визначальні результати в теорії складних систем, формулюванню критеріїв простоти та складності належать академіку НАН України О.М. Шарковському. Результати досліджень різного типу складних систем виявили методичну неспроможність редукціонізму, як методу пізнання природи та суспільства. Результати дослідження складних систем стимулюють широке використання принципів холізму, які базуються на класичному висловлюванні Аристотеля, що ціле завжди більше суми його частин.

Для систематичного дослідження в теорії складних систем в 1984 році в США було створено спеціальний дослідницький центр - Інститут Санта-Фе. В дослідженнях з теорії складних систем характерні ключові слова: нестійкість, нерівноважність, незворотність, хаос, самоорганізація.

До категорії складних систем, перш за все, слід віднести живі організми. Як результат еволюції всі живі організми проявляють три надзвичайно важливі властивості: адаптацію до навколишнього середовища, величезну різноманітність, надзвичайну складність внутрішньої структури. При цьому складність розуміється не в сенсі наявності великої кількості складових елементів (підсистем), а саме в складності механізмів взаємодії між ним та навколишнім світом. Розвиток теорії складних систем дозволив сформулювати тезу: хвороба - це втрата складності живою системою. Основні поняття теорії складних систем формувалися при вивченні властивостей нелінійних динамічних систем.

Приклади таких досліджень та їх узагальнення приведені в монографії.

Кількість складових елементів, які можна виділити в системі, не є визначальною для того, щоб віднести її до категорії складних систем. Як приклад системи лише з двома елементами вкажемо на фізичний маятник з двох компонентів.

Визначити, що таке «складна система» на «поведінковому рівні», представляється реалістичнішим. Б. С. Флейшман запропонував **п'ять принципів ускладнення поведінки систем**.

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.

**Жива система** — відкрита система, здатна зменшити свою внутрішню ентропію (збільшити свою внутрішню негентропію) за рахунок живлення високоорганізованими речовинами або вільною енергією з довкілля і звільнення від них, перероблених в менш організовану форму.

Біологічна (жива) система - це структурне і функціональне об'єднання різних елементів. До біологічних систем належать клітина (вам відомо, що клітина може існувати самостійно як одноклітинний організм), організм, **екосистема**. Будь-яка жива система є відкритою, оскільки потребує надходження енергії з навколишнього середовища й виділення продуктів обміну. Для живих систем характерна саморегуляція, тобто

підтримання сталого хімічного складу, структури, властивостей. Усі живі системи здатні до самовідтворення.

Організм людини є однією з найскладніших **біологічних систем**, яка має різні рівні структурної і функціональної організації: клітинний, тканинний, органний, системний, організмовий.

Тіло людини складається з безлічі клітин різної форми: кулястої, дископодібної, призматичної, кубічної, зірчастої та веретеноподібної. Клітини значно варіюють за розмірами: від 5-7 до 40 мкм, а довжина відростків нервових клітин може сягати до одного метра.

Живі системи є досить різноманітними. Але всі вони мають спільні властивості. До таких властивостей належать єдність хімічного складу, наявність обміну речовин і енергії, здатність до саморегуляції, самовідтворення, росту й розвитку, мінливість.

**1. Єдність хімічного складу.** До складу живих організмів входять ті ж хімічні елементи, що і в об'єкти неживої природи. Однак співвідношення різних елементів у живій і неживому неоднаково. Елементарний склад неживої природи поряд з киснем представлений в основному кремнієм, залізом, залізом, залізом, алюмінієм і т.д. У живих організмах 98% хімічного складу припадає на чотири елементи - вуглець, кисень, азот і водень.

**2. Обмін речовин.** Всі живі організми здатні до обміну речовин з навколишнім середовищем, поглинаючи з неї елементи, необхідні для живлення, і виділяючи продукти життєдіяльності. При небіологічних круговороті речовин вони просто переносяться з одного місця на інше або змінюється їх агрегатний стан, тоді як у живих організмів обмін має якісно інший рівень, включаючи процеси синтезу і розпаду. Шляхом ряду складних хімічних перетворень речовини, поглинені з навколишнього середовища, трансформуються в речовини живого організму, з яких будується їх тіло. Такі процеси називаються асиміляцією, або пластичним обміном. Процеси, зворотні асиміляції, в результаті яких складні органічні сполуки розпадаються на прості, отримали назву дисиміляції. При такому розпаді речовин втрачається їх схожість з речовинами організму і виділяється енергія, необхідна для реакцій біосинтезу, внаслідок чого дисиміляцію називають ще енергетичним обміном. Обмін речовин забезпечує сталість хімічного складу і будови всіх частин організму і як наслідок - сталість їх функціонування в безупинно мінливих умовах навколишнього середовища.

**3. Самовідтворення (репродукція).** Самовідтворення, репродукція, або розмноження, - це властивість організмів відтворювати собі подібних; цей процес здійснюється практично на всіх рівнях організації живої матерії. Завдяки репродукції не тільки цілі організми, а й клітини, органи клітин (мітохондрії, пластиди та ін) після поділу подібні зі своїми попередниками. З однієї молекули ДНК - дезоксирибонуклеїнової кислоти - при її подвоєнні утворюються дві дочірні молекули, що повністю повторюють вихідну. В основі самовідтворення лежать реакції матричного синтезу, тобто утворення структур на основі інформації, закладеної в послідовності нуклеотидів ДНК.

**4. Спадковість** полягає у здатності організмів передавати свої ознаки, властивості і особливості розвитку з покоління в покоління. Спадковість обумовлена стабільністю, заснованою на постійності будови молекул ДНК.

**5. Мінливість** - властивість, як би протилежне спадковості, але разом з тим тісно пов'язане з нею, так як при цьому змінюються спадкові задатки - гени, що визначають розвиток тих або інших ознак. Іншими словами, мінливість - це здатність організмів набувати нових ознак і властивостей, в основі якої лежать зміни біологічних матриць. Мінливість створює різноманітний матеріал для природного відбору, тобто відбору найбільш пристосованих особин до конкретних умов існування в природі, що, у свою чергу, призводить до появи нових форм життя, нових видів організмів.

**6. Ріст і розвиток.** Під розвитком розуміють необоротне спрямоване закономірне зміна складу або структури об'єктів живої та неживої природи. Розвиток живої форми існування матерії представлено індивідуальним розвитком, або онтогенезом, і історичним

розвитком, або філогенезом. У процесі розвитку виникає специфічна структурна організація індивіда, а збільшення його біомаси обумовлено репродукцією макромолекул, елементарних структур клітин і самих клітин. Філогенез, чи еволюція, - це необоротна і спрямоване розвиток живої природи, що супроводжується утворенням нових видів і прогресивним (або регресивним) ускладненням (або спрощенням) життя. Результатом еволюції є все різноманіття живих організмів на землі.

## **12. Роль живої речовини в утворенні середовища існування**

Біосфера - це, з одного боку, сукупність живих організмів, що населяють планету, з іншого - сфера активної взаємодії атмосфери, гідросфери і літосфери. Із сучасних позицій біосферу можна розглядати як велетенський "суперорганізм", цілісну систему з ефективними механізмами саморегуляції, за допомогою яких її основні параметри підтримуються у відносно постійному стані. Активному обміну речовини й енергії у біосфері сприяють такі передумови: у ній у значній кількості є вода; на неї падає могутній потік сонячної енергії; у біосфері проходять поверхні розділення між речовинами у трьох фазах - твердій, рідкій, газоподібній.

Вирішальне значення має жива речовина. В.І. Вернадський підкреслював, що "жива речовина розсіяна у міриадах особин, що безперервно вмирають і народжуються". Але, незважаючи на величезну різницю форм і розмірів живих істот, всім їм притаманна одна й та сама властивість, яка проявляється у біосфері як фізико-хімічна єдність. Отже, найпершою і найважливішою властивістю живої речовини є її фізико-хімічна єдність, що набула статусу закону. Цю властивість В.І. Вернадський пояснював єдністю виникнення і подальшого розвитку життя, тобто на планеті виявляється фізико-хімічна "спорідненість" усіх різноманітних живих організмів.

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

Внаслідок наявності у будь-якій популяції більш чи менш стійких до фізико-хімічного впливу видів швидкість відбору за витривалістю популяції до шкідливого агента прямо пропорційна швидкості розмноження організмів та чергування поколінь. Тому, наприклад, тривале вживання пестицидів екологічно неприпустиме, оскільки шкідники, які розмножуються значно швидше, також швидше пристосовуються і виживають, а обсяги хімічних забруднень доводиться дедалі збільшувати.

Розвиваючи ідеї про роль живої речовини у формуванні біосфери, В.І. Вернадський, окрім фізико-хімічної єдності, виділив ще декілька властивостей живої речовини як унікального явища планети. Однією з них, наприклад, є наявність у хімічних зв'язках живої речовини величезної кількості вільної енергії, "Вільною енергією" вчений називав сонячну енергію, яку жива речовина накопичує і трансформує.

Ще одна дуже важлива властивість: жива речовина біосфери відрізняється набагато більшою швидкістю перебігу хімічних реакцій, ніж це відбувається у інших речовинах планети, завдяки участі ферментів. До того ж, хімічні реакції в живих організмах протікають досить упорядковано.

Властивістю живої речовини В.І. Вернадський вважав також можливість довільного руху, за допомогою чого жива речовина здатна заповнити собою увесь можливий простір навколо. Головним шляхом такого заповнення є "розтікання живого під тиском життя". В.І. Вернадський навіть виділив дві форми розтікання: пасивне - коли

організми просто ростуть і розмножуються; активне - направлене переміщення тварин, рослин, мікроорганізмів і людини.

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

В.І. Вернадський сформулював закон константності кількості живої речовини: кількість живої речовини біосфери у межах певного геологічного періоду є константою. Цей закон був доповнений правилом константності числа видів у ході еволюції біосфери: число видів, які народжуються, у середньому дорівнює числу видів, які вимирають, і загальна видова різноманітність у біосфері є константою. Усі перераховані властивості живої речовини (величезна вільна енергія, значна швидкість протікання хімічних реакцій, можливість довільного руху, прагнення заповнити собою увесь навколишній простір, різноманітність та ін.) є специфічними; вони переконливо свідчать, що у біосфері немає іншої речовини, більш потужної і активної, ніж жива речовина.

Створюючи своє фундаментальне вчення про біосферу, В.І. Вернадський підкреслював не лише специфічні властивості живої речовини, а й висловлював ідею про те, що саме живій речовині належить провідна роль у формуванні всього навколишнього середовища. Цю роль підтверджують глобальні (біосферні) функції живої речовини як засобу організації біосфери. Ідея В.І. Вернадського щодо глобальних функцій живої речовини була розвинута його послідовниками. У зв'язку з цим перелік основних функцій, визначених В.І. Вернадським, значно розширився, але ще й досі залишається не повним та потребує доповнення (табл. 6.1). Отже, основні глобальні функції живої речовини біосфери такі.

Таблиця 6.1.

Основні глобальні функції живої речовини біосфери

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

Енергетична (біохімічна) функція полягає у поглинанні (скріпленні) і запасанні сонячної енергії в органічній речовині у процесі фотосинтезу, а хімічної енергії - шляхом розкладу речовин, насичених енергією, а також у передачі цієї енергії харчовими ланцюгами. Завдяки енергетичній функції живої речовини здійснюється зв'язок біосферно-планетарних явищ з космічним випромінюванням, найперше, із сонячною радіацією. В основі цієї функції лежить фотосинтетична діяльність зелених рослин, в результаті якої сонячна енергія акумулюється та перерозподіляється між окремими компонентами біосфери. Ця функція пов'язана із живленням, диханням, розмноженням та іншими процесами життєдіяльності організмів. За рахунок накопиченої сонячної енергії відбуваються всі життєві явища на Землі. За підрахунками, рослини щорічно накопичують 1842 о 101Б кДж енергії.

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

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

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

Ця функція живої речовини вважається значною мірою інтегральною, оскільки є результатом сумісної дії інших функцій і має різні масштаби прояву. Результатом середовищетвірної функції є і вся біосфера, і ґрунт як одне із середовищ існування, і більш локальні структури. Функція забезпечення стабільності екологічних умов на Землі інтегрує всі інші (енергетичну, концентраційну і деструктивну).

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

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

Деструктивна функція - руйнування організмами і продуктами їх життєдіяльності як залишків органічної речовини, так і неорганічних сполук, тобто здебільшого йдеться

про розклад організмів після смерті. Найсуттєвішу роль у цьому процесі виконують редуценти (деструктори) - сапротрофні гриби і бактерії. У результаті відбувається розкладання і мінералізація мертвої органіки та перетворення її на косну речовину, а також руйнування гірських порід і залучення утворених мінералів у біотичний кругообіг.

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

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

Транспортна функція - перенесення речовини та енергії у результаті активної форми руху організмів. Може здійснюватися на величезні відстані. З транспортною функцією значною мірою пов'язана концентраційна роль угруповань організмів, наприклад, у місцях їхнього скупчення (пташині базари або інші колоніальні поселення).

Дехто серед глобальних функцій живої речовини виділяє ще й розсіювальну функцію, яка прямо протилежна концентраційній і проявляється через трофічну і транспортну діяльність організмів. Йдеться про розсіювання різних речовин у навколишньому середовищі.

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

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

### **13. 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.

#### **14. 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 *продуцентів, 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 (хлорофілоносні) 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 ціанобактерій 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 продукованих 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 (труп, 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 розкладання 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 розкладання може тривати десятки років. Інтенсивність мінералізації багато в чому залежить від температури, вологості та інших чинників.

## 15. 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.

Будьяка 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 — підсистема 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 надорганізмного 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 (виживання) 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 морфологічний 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, водносолевий 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 можливості проживання в інших організмах, — віруси. Надзвичайна простота їх будови — вторинне явище, яке виникло на базі освоєння особиною 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.

## **16. Екологія угруповань (синекологія) та екосистемологія**

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, мутуалістичних або протокоопераційних співіснувань в системах типу «хижак — жертва», «паразит — господар», «продуцент — консумент» тощо (Голубець, 2000).

Окремими розділами синекології доцільно вважати фітоценологію, гідробіоценологію, паразитоценологію тощо.

**Екосистемологія** (від *екосистема* і...логія) — наука про генезис, закономірності формування, структурно-функціональні особливості, поширення, еволюцію, антропогенну динаміку, способи використання та охорону екосистем. Об'єктом дослідж. є екосистема. Специфіч. предметом — вивчення таких її властивостей, як формування простор. і функціон. структур, взаємозв'язки між авто-, гетеротроф. та абіотич. блоками, біотич. кругообіг, енергетика, самоорганізація й саморегуляція, продуктивність, стабільність розвитку, стійкість до несприятливих природ. і антропоген. чинників, способи керування екол. процесами. Є четвертим (поряд з аутоекологією, демекологією та *синекологією*) фундам. розділом екології.

**Об'єкт екосистемології.** На відміну від інших розділів екології об'єктом екосистемології є екосистеми усіх розмірів і ступенів складності - від консортивної до біосферної, тобто живі системи, в котрих сукупність живих істот й абіотичне середовище їх існування творять функціональну єдність. Живий блок екосистеми без свого середовища не може існувати. Лише завдяки цій єдності в екосистемі відбуваються ті біотичні процеси, котрих не може реалізувати жодна із систем організмового і популяційного рівнів організації, передовсім біотичний кругообіг, енергетичний обмін, накопичення вільної енергії, саморегуляція і самозбереження.

**Предметом екосистемології є вивчення:**

– морфологічної структури екосистем, тобто вертикальної (ярусність,

синузальність, шаруватість) і горизонтальної (мозаїчність, парцелярність) будови біогеоценотичної товщі (рослинного вкриття, ґрунту чи води, насичених тваринними, мікробними і грибовими організмами);

- взаємозв'язків між структурними компонентами (блоками, підсистемами) екосистем (залежно від потреб - морфологічними, трофічними та іншими);
- функціональних показників екосистеми та її окремих структурних блоків (енергетичних, водотрансформаційних, організаційних, біогеохімічних, середовищевірних, біопродукційних, захисних, оздоровчих, естетичних та інших), швидкості екологічних процесів, їх спрямованості, тривалості й господарської ефективності;
- особливостей і механізмів самоорганізації, саморегуляції і самозбереження екосистем, їх внутрішнього речовинно-енергетичного та інформаційного обміну, показників неентропійності, стійкості щодо зовнішніх природних та антропогенних чинників, стабільності існування в часі та просторі;
- міжекосистемний взаємозв'язків і міжекосистемного речовинно-енергетичного та інформаційного обміну як основи стійкості й стабільності мегаекосистем і біосфери;
- можливостей і розмірів використання природних ресурсів екосистем для народногосподарських потреб без зменшення або руйнування їх екологічного потенціалу та з цілеспрямованою орієнтацією на реалізацію ідей сталого розвитку;
- масштабів і наслідків антропогенних змін у структурно-функціональній організації екосистем, способів ренатуралізації трансформованих і деастрованих екосистем з метою оптимізації біогеоценотичного покриву;
- структурно-функціональних особливостей та ефективних способів створення штучних (аграрних, лісових, водних, урбаністичних та інших) екосистем й ефективного підтримання їх функцій;
- теоретичне обґрунтування структури, програми, методів і параметрів екологічного моніторингу в екосистемах різних ступенів організації;
- генезису та історії розвитку екосистем;
- моделювання та прогнозування екологічних процесів.

Залежно від наукових і прикладних потреб, обсяг цих питань можна значно розширити, звзунити чи деталізувати.

## **17. Регуляція біосистем**

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.

## 18. 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» уведено 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 ХІХ 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).

### 19. 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:

- промислове виробництво;
- невиробнича містоутворювальна діяльність;
- інтенсифікація сільського господарства;
- міжфункціональна взаємодія (інтеграція різних видів діяльності);
- вплив світового господарства, розвиток міжнародної торгівлі;
- 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).

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 неминує 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 сьогоденних 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:

- *природне середовище*, здатне до умовно нескінченного самопідтримання;
- *квазіприродне*, яке самодеградує без підтримки людини;
- *артеприродне*, де велика кількість елементів створена людиною і не трапляється у природі.
- *матеріальне соціальне середовище*, яке формується згаданими вище складовими, створює конкретний інформаційний клімат (природа батьківщини, її культурні ландшафти, пам'ятки культури тощо);
- *соціальнодуховне середовище*.

Б.С. Преображенський, Г.Л. Райх (1987), створюючи територіально-антропо-екологічну 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 антропоєкологічних 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.

## 20. 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 місцеположення важливу роль відіграє *едафічний (ґрунтовий)* фактор (едафотоп).

Міські ґрунти представлені двома основними групами: природні та штучні (насіпні); виходячи з аналізу ґрунтів різного рівня змінюваності, їх розділяють на:

- лісові природні;
- паркові природні;
- природно-штучні сквери і бульвари, внутріквартальні посадки;
- 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 часом 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 м<sup>3</sup>. 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 різномірною підстилковою

поверхнею, представленою штучними спорудами, площами та вулицями, а також зеленими насадженнями та водними просторами. Розміщення 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 «Автонавантажувач», 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.

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.

## 21. Класифікація окультуреності біогеоценозів. Характеристика, приклади

Біогеоценотичний покрив антропогенізованих територій характеризується різним рівнем окультуреності (гемеробії). Його можна поділити на шість класів гемеробії: I — агемеробний, II — олігогемеробний, III — мезогемеробний, IV — еугемеробний, V — полігемеробний, VI — метагемеробний. 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 (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 — 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 ланцюгів живлення та розкладу, підвищення продуктивності рослинних угруповань.

*Мезогемеробні* (середньоокультурені) біогеоценози — екосистеми з інтенсивним веденням господарства (лісопарки, парки, луки із регулярним сінокосінням 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 олігогемеробній 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.

*Еугемеробні* біогеоценози — 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 перебувають латеральні речовинноенергетичні потоки, а існування гетеротрофних блоків (травоїдні, хижаки, паразити) повністю залежить від господарської діяльності людини

(внесення пестицидів, хімічних добрив, забруднення повітря автотранспортом, механічне знищення особин).

*Полігемеробні* біогеоценози посідають особливе місце в антропогенізованому біогеоценотичному покриві. Це рослинні угруповання девастрованих 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 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, замощені, забудовані території) екосистема — 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 еоклінам еколого-фауністичних зон (Клауснітцер, 1990; Кучерявий, 1991).

## **22. Кругообіг речовин і енергії в природі з позицій системного аналізу**

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

Як уже було зазначено вище, маса живої речовини називається біомасою. Вона виражається в одиницях маси сухої або сирої речовини відносно до одиниць площі або об'єму будь-якого місця мешкання організмів. Загальна маса живої речовини біосфери у сухому вигляді становить приблизно  $4 \cdot 10^{18}$  г, що у мільярд разів менше маси Землі, яка дорівнює  $5,98 \cdot 10^{27}$  г. Сумарна кількість біомаси, що утворилася протягом конкретного періоду, характеризує біопродуктивність. Встановлено, що найбільшу продуктивність мають заплавні згущення живої речовини: при площі менше, ніж 1 %, вони виробляють близько 10 % живої речовини суші, Фотосинтезуючі живі організми становлять 99 % усієї маси живої речовини. Маса живої речовини океану становить менше, ніж 0,2 %, від біомаси суші. Але продуктивність океану, тобто виробництво біомаси у одиницю часу і на одиницю площі, приблизно дорівнює продуктивності біомаси рослин.

Жива речовина, на відміну від косної, має таку властивість: усі хімічні реакції в ній відбуваються упорядковано та у менш жорстких умовах, ніж при виробництві речовин суто хімічними методами. Так, жири та вуглеводи окислюються в організмі при температурі близько 37 °С, а поза ним - у 400-500 °С. У промислових умовах для

отримання аміаку з молекул азоту та водню необхідна температура 500 °С та високий тиск, а у тілі мікроорганізмів ця реакція відбувається за звичайних температур і атмосферного тиску. Безперервно розмножуючись, живі організми утворюють потік поколінь: на зміну загиблим з'являються нові істоти. Тим самим сучасна жива речовина за походженням пов'язана з живою речовиною минулих геологічних епох; їй притаманна велика хімічна різноманітність.

### ***Великий і малий кругообіги речовин та енергії***

Кругообіг речовин виявляється у багаторазовій участі речовин у процесах, які відбуваються в атмосфері, гідросфері, літосфері і в тому числі у тих їх шарах, що входять до складу біосфери. Розрізняють два основних кругообіги речовин: великий (геологічний) та малий (біологічний, або біотичний), які охоплюють усю планету.

Геологічний (великий) кругообіг - це обмін речовинами між сушею та Світовим океаном. Насамперед відбувається глобальна циркуляція води, тобто спочатку випадання атмосферних опадів, потім - поверхневий та підземний стік, інфільтрація, випаровування і врешті-решт - конденсація; потім знову випадають опади. На кругообіг води витрачається майже третина усієї сонячної енергії, що надходить до Землі. Разом з водою рухаються величезні маси розчинених у ній хімічних речовин, які в океані осідаються на дно у вигляді делювіальних відкладів або осаду. Вода - основний елемент, необхідний для життя. Кількісно це найбільш поширена неорганічна складова живої матерії. Наприклад, у людини вода займає 70 % маси тіла, у грибів - 80 %, у деяких видів медуз - 98 %. Гідросфера охоплює близько 75 % поверхні земної кулі (363 млн км<sup>2</sup>). Припускають, що сумарне випаровування врівноважується випаданням опадів. З океану випаровується більше води, ніж потрапляє у нього з опадами; на суші навпаки, менше. Так звані зайві опади суші потрапляють у льодовики, поповнюють ґрунтові води і врешті-решт опиняються в озерах і річках, повертаючись поступово зі стоком в океан. Отже, кругообіг води між океаном і сушею є обов'язковою умовою обміну речовин між органічної та неорганічною природою.

Таким чином, особливу увагу слід приділити двом головним аспектам кругообігу води. По-перше, море втрачає через випаровування більше води, ніж отримує з опадами; на суші ситуація протилежна. Тобто значна частина опадів, яка підтримує екосистеми суші, складається з води, що випаровується з моря. По-друге, різниця між кількістю опадів за рік та річним стоком становить 0,8 геограма (1011 т); це і є величина річного надходження води у підґрунтові водоносні горизонти. У наш час в результаті діяльності людини стік збільшується, тому поповнення дуже важливого фонду ґрунтових вод скорочується.

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

Великий кругообіг речовин не є замкнутим: певна кількість речовин вилучається з кругообігу і зберігається в осадових породах у вигляді вапняків, торфу, нафти та інших порід і мінералів. Цим забезпечується поступальний розвиток земної кори і біосфери. Згідно з концепцією великого кругообігу речовин та енергії в біосфері, вивержені глибинні породи мантіїного походження (наприклад, базальти) тектонічними процесами виводяться з надр Землі у біосферу. Під впливом сонячної енергії і живої речовини вони вивітрюються, переносяться, знов відкладаються, перетворюючись при цьому на різноманітні осадові породи. В осадових породах концентрується і запасується сонячна енергія (наприклад, з вивержених мінералів утворюються глини, а вулканічні гази переходять у вугілля, нафту).

Далі за рахунок тектонічних рухів осадові породи потрапляють у зони високих тисків і температур Землі, де з них вивільняється сонячна енергія, відбуваються процеси метаморфозу й переплавлення, що призводить до утворення гранітних порід.

Кристалізовані вивержені породи знову за рахунок висхідних тектонічних рухів

потрапляють у біосферу. Таким чином цикл завершується, але вже на новому рівні, адже з вихідних базальтів утворилися вивержені породи гранітного складу. Отже, великий кругообіг речовин та енергії в біосфері можна також визначити як еволюцію земної кори від океанічного типу (базальтової) до материкового типу (гранітної).

Для біосфери в цілому, як і для земної кори, характерні ритмічність і циклічність розвитку, що виявляється в усьому: у процесах магматизму, осадоутворення, змінах клімату та ін. Найбільш ритмічний, поступальний розвиток властивий живим організмам. Встановлені ритми й цикли різної тривалості: від 11-річного, зумовленого сонячною активністю, до мегациклу у 180-240 млн років, що збігається з Галактичним роком, тобто часом оберту Землі разом із Сонячною системою навколо центра Галактики. При цьому має місце не просто повторення процесів, а їх поступальний розвиток.

Малим, або біологічним, кругообігом речовин називають обмін хімічними елементами між живими організмами та неживими (косними) компонентами біосфери - атмосферою, гідросферою і літосферою. Іншими словами, це два боки єдиного процесу - утворення живої речовини та її розклад. Цей кругообіг характеризується тим, що спочатку жива речовина заряджається енергією, а потім у процесі розкладу органічних решток енергія повертається у навколишнє середовище. Біологічний кругообіг - це циркуляція речовин між ґрунтами, рослинами, тваринами та мікроорганізмами (рис. 4.2). Ця циркуляція відбувається у такій послідовності: спочатку мінеральні речовини та енергія поглинаються з навколишнього середовища і включаються до складу рослинних організмів, потім від рослин через трофічні ланцюги вони переходять в організми тварин та інших консументів і далі через ланку редуцентів повертаються назад у ґрунт чи атмосферу.

Біологічний кругообіг речовин та енергії характерний для екосистем будь-якого рівня організації - від окремого комплексу живих організмів до біосфери в цілому. Організми залучають атоми біогенних речовин з косної частини біосфери і включають їх до свого організму, де поглинені речовини вступають у різноманітні біохімічні реакції, а потім виділяються у зовнішнє середовище у вигляді продуктів життєдіяльності або мертвих тіл. Організоване таким чином життя на Землі існує вже мільярди років.

Геологічний і біологічний кругообіги тісно взаємопов'язані, взаємодіють між собою, іноді зливаючись воедино. Але все ж таки структурно і функціонально вони істотно відрізняються. Біологічному кругообігу притаманні такі характерні особливості порівняно з геологічним:

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

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



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

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

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

По-перше, йдеться про досить сильне штучне прискорення процесів вивітрювання осадових і гранітних порід, пов'язане з видобуванням і переробкою корисних копалин, спалюванням вугілля, нафти, торфу, природного газу. У результаті в атмосфері збільшується вміст вуглекислого газу, оксидів сірки. Внаслідок випадання кислотних дощів зменшується рН ґрунту, що призводить до переходу багатьох елементів у розчинений стан. Деякі з них у великих концентраціях токсичні та небезпечні для всього живого (наприклад, важкі метали - мідь, цинк, свинець).

Це призводить до уповільнення процесів обертання речовин у біологічному циклі, оскільки гинуть носії живої речовини. Та чим більше елементів переходить у розчин, тим більше їх вимивається у Світовий океан, який активно збагачується біогенними елементами. Внаслідок цього частішають спалахи "цвітіння" океану мікроскопічними водоростями, які нерідко пригнічують розвиток консументів, котрі їх споживають (порівняно з минулими століттями частота спалахів "цвітіння" у Світовому океані зростає в 50-130 разів). Усе це прискорює процеси вилучення з біосфери доступних біогенних речовин та їх "консервації" у донних відкладах.

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

Для того, щоб біосфера могла існувати а процеси, які в ній відбуваються, не припинялися, мають постійно функціонувати кругообіги біологічно важливих, тобто біогенних, речовин. Біогенними називають елементи, які обов'язково входять до складу

живих організмів: С, Н, О, N, P, S, К, Са, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Мо, Cl, Br, I; найголовнішими з них є перші шість - вуглець, водень, кисень, азот, фосфор та сірка. Безперервний кругообіг біогенів є основною умовою існування життя і всієї біосфери. Кругообіг міогенів - це взаємний обмін хімічними елементами компонентів екосистеми, що складають завдяки цьому структурне ціле. Головна причина виникнення кругообігів полягає у постійній невідповідності між потребами організмів і наявністю доступних поживних речовин, що зумовлює необхідність повторного використання біогенів за типом кругообігу (циклу). Щорічно такі цикли спричиняють рух приблизно 480 млрд т різних речовин.

### **23. Причини порушення кругообігу речовин**

Головними причинами порушення кругообігу речовин у біосфері є:

*По-перше*, це досить сильне штучне прискорення процесів вивітрювання осадових і гранітних порід, пов'язане з видобуванням і переробкою корисних копалин, спалюванням вугілля, нафти, торфу, природного газу. В результаті в атмосфері збільшується вміст вуглекислого газу, оксидів сірки, через кислотні дощі зменшується рН ґрунту, що призводить до переходу багатьох елементів у розчинений стан. Деякі з них у великих концентраціях токсичні й небезпечні для живого (наприклад, важкі метали - мідь, цинк, свинець). Процеси кругообігу речовин у біологічному циклі вповільнюються - адже гинуть носії живої речовини. Та чим більше елементів переходить у розчин, тим більше їх вививається у Світовий океан.

Прискорені темпи загибелі біоти, вповільнені темпи повторного використання доступних мінеральних речовин, зростання швидкості їх вимивання спричиняють перебагачення Світового океану біогенними елементами. Внаслідок цього частішають спалахи "цвітіння" океану мікроскопічними водоростями, які нерідко бувають токсичними й пригнічують розвиток консументів, котрі їх споживають. Так, порівняно з минулими століттями частота спалахів "цвітіння" в Світовому океані зросла в 50-130 разів! Усе це прискорює процеси вилучення з біосфери доступних біогенних речовин і їх консервації в донних відкладеннях.

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

Люди й далі продовжують діяти в тому самому напрямі, не усвідомлюючи очевидного факту, що Земля, на якій вони розвинулись до сучасного рівня, - це маленька планета з обмеженими ресурсами й дуже вразливим режимом і вимагає до себе тим обережнішого й дбайливішого ставлення, чим ширшими стають можливості людей порушувати цей режим.

Сьогодні можна констатувати, що біосфера різко змінюється під впливом технологічної діяльності людини, дедалі більше замінюється техносферою, в якій дехто з учених іще недавно схильний був убачати початок формування ноосфери, передбаченої В. І. Вернадським. Проте сьогодні стало ясно, що наступ техносфери супроводжується такими змінами природного середовища, які вже почали загрожувати самому існуванню людини на Землі. Відбувається прискорене руйнування основних, життєво важливих комірок біосфери, яке прогресує й уже здатне призвести до її повної деградації і загибелі, що автоматично означає загибель людства, оскільки люди не можуть існувати в іншому середовищі, ніжте, в якому вони з'явилися та існували. Отже, дедалі активніше рухаючи вперед "технічний прогрес", людство лише погіршує загальну ситуацію в біосфері і своє

власне становище.

На думку деяких учених, серед причин цієї глобальної екологічної кризи, що насувається, головними є дві: надмірне зростання чисельності населення Землі і надмірне використання людиною основних природних ресурсів.

Ситуація ще більш ускладнюється тим, що до появи на Землі людини всі процеси в біосфері базувались на використанні відновлювальних ресурсів.

Сьогодні людство 90 % енергії для своїх потреб добуває з невідновлювальних джерел (нафта, вугілля, газ тощо). Використання ресурсів цього типу спричиняє такі порушення в біосфері, з якими вона неспроможна боротися. Зруйновані людиною біоти самі стають джерелом забруднення навколишнього середовища.

Господарська діяльність людини зумовила пошкодження і вичерпання природних ресурсів, що призводить до реформації сформованих протягом багатьох мільйонів років природного кругообігу та енергетичних потоків на планеті. Внаслідок чого почалося прогресуюче руйнування біосфери Землі, що може набути характеру незворотних процесів і навколишнє середовище може стати непридатним для існування людини.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Вказати за якими ознаками класифікують системи.
2. На які системи поділяють за принципом функціонування?
3. Охарактеризувати поняття складності та масштабності систем.
4. Визначити властивості складних систем.
5. Дати визначення терміну «моделювання систем».
6. Для чого слугує поняття адекватності систем?
7. Вказати основні класифікаційні ознаки моделей.
8. Для чого застосовують коротезний засіб моделі?
9. Дати визначення поняттям: «складна система», «жива система».
10. Описати роль живої речовини в утворенні середовища існування.
11. Вказати основні глобальні функції живої речовини біосфери.
12. Яка роль продуцентів, консументів та редуцентів в природі?
13. Дати визначення поняттям: «екосистема», «біогеоценоз».
14. Дати визначення поняттю «популяція».
15. Що є предметом вивчення синекології?
16. Дати визначення поняттю «урбанізація».
17. Охарактеризувати кругообіг речовин і енергії в природі з позицій системного аналізу.
18. Вказати причини порушення кругообігу речовин в природі.

### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 7: АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ В СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

### План

1. Аналітичний підхід до дослідження складних систем.
2. Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування.
3. Системні особливості моделей інформаційних систем.

### 1. Аналітичний підхід до дослідження складних систем

Протиріччя між необмеженістю бажання людини пізнати світ та обмеженістю існуючих можливостей це зробити, між безмежністю природи та скінченністю ресурсів людства привели до того, що у процесі пізнання ці протиріччя розв'язуються поетапно за допомогою аналітичного та синтетичного мислення.

Суть аналізу полягає в поділі цілого на компоненти, представленні складного у вигляді сукупності простіших компонент.

Але, щоб пізнати ціле, складне, необхідний обернений процес — **синтез**.

При **аналітичному підході** до дослідження систем телеологічний (цільовий) аспект її функціонування практично не розглядається. Модель системи будується на ґрунті вивчення окремих підсистем та елементів з наступним формулюванням локальних цілей, які відображають окремі сторони процесу моделювання. Далі, використовуючи отриману інформацію, створюються окремі компоненти моделі, об'єднання яких утворює модель системи. Такий підхід виправданий у тих випадках, коли компоненти системи відносно незалежні і, як наслідок, різні сторони функціонування системи можуть бути досліджені також відносно незалежно.

Використовуючи аналітичний підхід, дослідник вивчає систему «зсередини», маючи обмежений горизонт, тобто в стані досягнути лише одну або в кращому разі декілька компонент системи зі зв'язками між ними. Очевидно, що при цьому губиться уявлення про мету функціонування системи як єдиного цілого, і дослідник головним чином вивчає властивості компонент, тобто не в стані досягнути емерджентні властивості системи.

Аналітичний підхід в явній формі був виділений та сформульований у XVII-му ст. раціоналістами, одним з найвідоміших з них був Р. Декарт. Успіх та значення аналітичного підходу полягає не лише в тому, що складне поділяється на все менш складні частини, а в тому, що з'єднавши ці частини відповідним чином, знову утворюється єдине ціле. Цей момент агрегування складових в ціле і є остаточним етапом аналізу, тому що лише після цього ми можемо пояснити ціле через його частини у вигляді структури цілого.

Однак цілісність системи має величезне значення, що особливо підкреслювалося Р. Акофом. Цілісність при аналізі порушується, при розчленуванні системи втрачаються не лише суттєві властивості системи («розібраний автомобіль не поїде»), але й зникають і суттєві властивості частин системи («відділене кермо автомобіля не кермує, відділене око не бачить»). Тому за Акофом результатом аналізу є лише відкриття структури, знання того, як система працює, а не розуміння того, чому і навіщо вона це робить.

«Синтетичне мислення вимагає пояснення поведінки системи. Воно суттєвим чином відрізняється від аналізу. На першому кроці аналізу річ, що підлягає поясненню, розділяється на частини; в синтетичному мисленні вона повинна розглядатися як частина великого цілого. На другому кроці аналізу пояснюються складові частини; в синтетичному мисленні пояснюється ціле, до складу якого входить річ. На останньому кроці аналізу знання про частини агрегується в знання про ціле; в синтетичному мисленні розуміння цілого, що має у своєму складі річ, дезінтегрується для пояснення частин. Це досягається розкриттям їх ролей та функцій у цілому. Синтетичне мислення відкриває не структуру, а функцію; воно відкриває, чому система працює так, а не те, як вона це робить».

Аналітичний метод дозволяє досягнути найвищих результатів за умови, що ціле вдається розділити на незалежні одна від одної частини, оскільки в цьому випадку їх

окремий розгляд дозволяє скласти правильне уявлення про вкладення їх в загальний ефект.

Однак випадки, коли система є сумою складових, зустрічаються надзвичайно рідко. Зазвичай вклад частини в загальносистемний ефект залежить і від вкладів інших складових. Внаслідок цього автономно частина може функціонувати якнайкраще, але загалом ефект функціонування буде далеко не найвищим.

При аналізі «неадитивних» систем основне значення має дослідження не окремих складових, а їх взаємодії, що є значно складнішим завданням. Ідеалом, остаточною метою аналітичного методу є встановлення причинно-наслідкових зв'язків між явищами. Дещо вважається пізнаним і повністю зрозумілим лише в тому випадку, коли відома його причина (сукупність умов, необхідних та достатніх для реалізації наслідку). Однак така ситуація в багатьох випадках є недосяжною, і навіть в тих випадках, коли є причинно-наслідковий опис, все інше повинно бути виключеним. Для причинно-наслідкового описання не існує поняття оточуючого середовища, оскільки для наслідку нічого, окрім причини, не потрібно (приклад — закон всесвітнього тяжіння, справедливий тоді, коли відсутні всі сили, окрім сили тяжіння).

У випадку складних систем виключення на перший погляд «непотрібних» чи «нецікавих» взаємодій може суттєво порушити адекватність моделі і є в багатьох випадках принципово неможливим. Для описання таких ситуацій використовується дві можливості: або відобразити «безпричинну» компоненту через «об'єктивну випадковість» чи «суб'єктивну невизначеність» (чи їх комбінацію), або виходити з того, що відношення «причина-наслідок» є не єдино можливим способом для описання взаємодії. В останньому випадку застосовується модель «продуцент — продукт», яка виходить з того, що для здійснення продукту продуцент є необхідною, але не достатньою умовою (для дуба жолудь є продуцентом, оскільки окрім нього для виростання дуба потрібні й інші умови). У відношенні «продуцент- продукт» для отримання продукту необхідні й інші умови окрім продуцента, які й утворюють оточуюче середовище. Причинно-наслідковий зв'язок у цьому випадку є граничним ідеальним випадком зв'язку «продуцент- продукт», до якого можна наблизитися, але досягнути якого не завжди можливо.

Отже, не лише аналітичний метод неможливий без синтезу (агрегування частин в структуру), але й синтетичний метод неможливий без аналізу (необхідна дезагрегація цілого для пояснення функцій частин). Аналіз і синтез доповнюють, але не замінюють один одного. Системне мислення суміщає обидва ці методи на основі розгляду призначення складної системи.

## 2. Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування

При застосуванні як аналітичного, так і синтетичного підходів виникають обов'язкові кроки, в яких необхідно розкласти ціле на складові (здійснити декомпозицію), або об'єднати складові в ціле (здійснити агрегування).

Основною операцією аналізу є **декомпозиція** — поділ цілого на частини. Задача розпадається на підзадачі, система — на підсистеми, мета — на підцілі. При необхідності цей процес повторюється, що приводить до побудови ієрархічних деревовидних структур — дерев декомпозиції. Зазвичай об'єкт аналізу є складним, слабо структурованим, погано визначеним, а тому операцію декомпозиції здійснює експерт, і результати, отримані різними експертами, будуть різними.

Якість дерев декомпозиції залежатиме як від кваліфікації експертів, так і від застосованої методики декомпозиції. Зазвичай, операція декомпозиції реалізується експертом відносно просто, і основні труднощі виникають при доведенні ненадлишковості та повноти отриманого набору компонентів. Обґрунтуванням власне такого, а не іншого розбиття є модель системи. Отже, операція декомпозиції є не чим іншим, як співставленням об'єкта аналізу з деякою моделлю, виділення того, що відповідає елементам моделі, тобто питання повноти декомпозиції є питанням

завершеності моделі. Однак і сама модель-основа може відображати реальний об'єкт з різним ступенем деталізації (наприклад, «цикл життя» проекту інформаційної системи в залежності від використовуваних стандартів та корпоративних особливостей може включати різну кількість етапів чи стадій).

Основою для декомпозиції може служити лише конкретна, змістовна модель системи, що розглядається.

Вибір формальної моделі лише підказує, орієнтує, якого типу повинна бути модель-основа, тобто формальну модель необхідно наповнити змістом, щоб реалізувати декомпозицію. Повнота декомпозиції забезпечується повнотою моделі-основи, тобто, насамперед, слід забезпечити повноту формальної моделі.

Отже, одним із завдань системного аналізу є накопичення наборів повних формальних моделей (у штучному інтелекті ці моделі називають фреймами). Повнота формальної моделі є необхідною, але не достатньою умовою для повноти декомпозиції. Врешті-решт, все залежить від повноти змістовної моделі, що будується «за зразком» формальної моделі, але не тотожна їй. Фрейм лише концентрує увагу експерта до необхідності розгляду, що ж в даній конкретній системі відповідає кожному з елементів фрейму, а експерт має вирішити, що включити до складу змістовної моделі. Цей момент є надзвичайно відповідальним, оскільки те, що не потрапить в модель-основу, не з'явиться в подальшому аналізі.

Фреймова модель входів організаційної системи рекомендує визначити конкретно, що розуміється під «суттєвим середовищем».

Щоб зберегти повноту та можливість розширення змістовної моделі (формальна модель входів у наведеному прикладі повна!) рекомендується здійснити логічне замикання переліку її елементів компонентою «все інше» («мовчазна» компонента, що нагадуватиме експерту про можливість неврахування деяких важливих складових моделі).

Отже, в результаті декомпозиції виникає певна деревовидна структура, що повинна забезпечувати виконання двох суперечливих вимог кількісного характеру організаційної системи: повноти та простоти.

**Принцип простоти** вимагає зменшення розмірів дерева. Оскільки розміри дерева «в ширину» визначаються числом елементів моделі-основи, то для декомпозиції слід обирати якомога компактніші моделі-основи. З іншого боку, згідно до принципу повноти, слід обирати якомога детальніші, більш розвинуті моделі. Компроміс в цьому випадку досягається за допомогою принципу суттєвості: в модель-основу повинні включатися лише компоненти суттєві з точки зору мети аналізу (релевантні). Оскільки це поняття неформальне, то слід передбачити можливість внесення поправок та доповнень з боку експерта у модель-основу. Однією з таких можливостей є доповнення переліку елементів моделі-основи елементом «все інше, що залишилося», іншою — розбиття окремих елементів моделі-основи на складові та внесення їх до числа елементів моделі-основи.

Щодо розмірів дерева «в глибину», то бажано, щоб кількість рівнів була невеликою (принцип простоти), але згідно до **принципу повноти** повинна існувати можливість продовжувати декомпозицію до прийняття рішення про її припинення для кожної окремої гілки. Рішення про припинення приймається в тому випадку, коли декомпозиція привела до результату (підфункції, критерію, підзадачі, підцілі), які є зрозумілими, можуть бути реалізованими, забезпеченими, виконаними — до отримання елемента згідно обраного критерію декомпозиції. Неелементарний фрагмент підлягає декомпозиції за іншою моделлю-основою, що ще не використовувалася. Звичайно, в цьому випадку якість аналізу залежатиме також від порядку використання моделей-основ.

Якщо переглянуті всі фрейми (формальні моделі) і не досягнута елементарність, то слід розглянути можливість введення нових елементів в модель-основу шляхом розщеплення наявних складових моделі-основи або виділення з «всього іншого» нової суттєвої складової моделі-основи.

У випадку, коли експерт визнає, що його компетентності недостатньо для подальшого аналізу отриманого фрагменту і необхідно залучити експерта іншого фаху,

така ситуація розв'язується шляхом залучення додаткових експертів. Випадок, коли декомпозиція закінчується елементарними фрагментами на всіх гілках дерева (навіть із залучення різних експертів та джерел), є найпростішим. В будь-якому випадку існує небезпека неповного аналізу, а тому експерти повинні виявляти не лише переваги, а й обов'язково недоліки проекту. Неможливість доведення декомпозиції до елементарного фрагмента є позитивним результатом — хоча при цьому складність не спрощується, але сфера її дії конкретизується і локалізується справжня причина цієї складності (знання про те, що власне ми не знаємо, є не менш важливим, ніж саме позитивне знання).

Отже, аналіз, як спосіб подолання складності, дозволяє повністю звести складне до простого лише у випадку складності через непоінформованість (шляхом залучення додаткових експертів); у випадку складності, що виникає через нерозуміння, аналіз не дозволяє звести складне до простого, але локалізує її. В дійсності новим знанням є не лише виявлення та конкретизація того, що ми не знаємо, але й відповідним чином опрацьовані фрагменти старих знань, які набувають нової якості.

**Агрегування** — це операція об'єднання декількох, елементів в єдине ціле, протилежна до декомпозиції. Об'єднані елементи, що взаємодіють між собою, набувають не лише зовнішньої, але й внутрішньої цілісності, єдності. Зовнішня цілісність відображається моделлю «чорної скрині», а внутрішня

— пов'язана зі структурою системи, і виявляється в тому, що властивості системи є більшими, ніж сума властивостей об'єднаних елементів. Отже, при об'єднанні елементів виникає дещо якісно нове, чого не могло бути без цього об'єднання.

### **3. Системні особливості моделей інформаційних систем**

В основі моделювання знаходяться інформаційні процеси: створення моделі ґрунтується на інформації про реальний об'єкт, що моделюється; в процесі моделювання отримується нова інформація про систему; суттєве місце займає опрацювання та інтерпретація отриманої інформації; в процесі реалізації експериментів на моделі вводиться керуюча інформація.

Характерною особливістю моделей інформаційних систем є експериментування на моделі з метою підтвердження висунутих гіпотез або обґрунтування необхідних дій у різних ситуаціях (тобто в більшості випадків моделі, що використовуються, є моделями імітаційного типу). В цьому випадку під експериментом розуміють деяку процедуру організації та спостереження певних явищ, що здійснюються в умовах близьких до реальних, або їх імітують. У той же час для створення моделі необхідна деяка первісна інформація, яку можна отримати також шляхом експерименту.

Розрізняють **пасивний експеримент**, якщо дослідник спостерігає реальний процес (основний метод отримання первинної інформації для побудови моделі інформаційної системи), та **активний**, якщо дослідник цілеспрямовано планує та проводить експеримент (основний метод отримання нової інформації шляхом експериментування на моделі для інформаційних систем). Основним недоліком пасивного експерименту є те, що таким чином моделюється минуле, а також неможливість або недоцільність виявлення критичних ситуацій. Інформаційні системи як об'єкт моделювання все більш ускладнюються, і, відповідно, моделі отримують нові якості — так, якщо модель призначена для керування, то вона сама входить до складу системи, що моделюється, і може розглядатися в якості складної системи. Крім того, така модель може складатися з комплексу підмоделей, що описують різні частини інформаційної системи, або ж розглядають її на різних стратах.

Для моделей інформаційних систем характерні наступні особливості:

1. **Двоїстість мети.** З одного боку це мета функціонування власне системи, що моделюється, яка в багатьох випадках описується в вигляді множини критеріїв, що відображають різні її аспекти. З іншого боку, це мета створення моделі (одноразове використання, періодичне використання, використання в контурі управління), що має безпосередній вплив на критерії оцінки адекватності моделі, точності та достовірності модельних результатів.

2. **Складність моделі**, яку дуже приблизно можна оцінити на основі загального числа елементів певних типів та взаємозв'язків між ними. Крім того, різноманітність елементів та зв'язків між ними для забезпечення виконання одного з головних кібернетичних принципів — принципу необхідної різноманітності — приводить до побудови моделі у вигляді ієрархічної структури.
3. **Невизначеність інформаційної системи** виявляється і в моделі. Оскільки в багатьох випадках ця невизначеність не має характеру стохастичності, необхідно вводити в такі моделі підсистеми експертного типу, елементи штучного інтелекту та передбачати можливість маніпулювання з нечіткими множинами. Так, для прогнозування курсу валют з успіхом використовуються моделі перцептронного типу.

Особливістю моделей, які працюють в контурі управління, є **адаптованість**, тобто здатність цілеспрямовано функціонувати в умовах нестаціонарного середовища, що досягається реалізацією вищенаведеного системного принципу адаптації.

**Характерною особливістю** правильно побудованої моделі є те, що вона відбиває лише ті аспекти реальної системи, які цікавлять дослідника, тобто є в певному сенсі мінімальною.

**Основною проблемою моделювання** є досягнення оптимального компромісу між адекватністю моделі та її простотою.

Зі зростанням складності моделі зростає ступінь відповідності її до системи, що моделюється, однак разом з цим час отримання результатів та можливості її практичної реалізації зменшуються. Зі спрощенням моделі покращуються її характеристики в часі, однак при цьому можуть бути загублені суттєві аспекти функціонування реальної системи, і модель стане непридатною до використання внаслідок втрати адекватності. Визначення компромісу суттєвим чином залежить від досвіду та знань особи, що приймає рішення. Як стверджують результати досліджень (правило «80 на 20»), в правильно сконструйованій моделі 20% змінних на 80% визначають функціонування моделі, а 80% змінних — на 20%. Виходячи з викладеного можна стверджувати, що хоча й існують загальні закономірності побудови моделей інформаційних систем, процес їх побудови не може бути строго формалізованим і значною мірою є мистецтвом.

Метод моделювання широко використовується й на різних етапах проектування та створення інформаційних систем.

На етапі розробки технічного завдання на створення інформаційної системи моделі в основному мають описовий характер та переслідують за мету найбільш повно в компактній формі надати інформацію, необхідну розробнику.

На етапах технічного та робочого проектів моделі окремих складових підсистем деталізуються і моделювання служить для розв'язування конкретних задач проектування, тобто вибору оптимального розв'язку з множини припустимих. В основному на цих етапах моделі використовуються для синтезу.

Моделювання на етапах впровадження та супроводу системи використовується для імітації можливих ситуацій з метою прийняття обґрунтованих оперативних та перспективних керуючих рішень. Окрім того імітація також широко використовується для навчання та тренування користувачів інформаційної системи.

У процесі еволюції об'єкта керування розвиваються й вдосконалюються інформаційні системи та моделі, що входять до їх складу, і значення моделей в прогнозуванні розвитку реальної системи надзвичайно велике, так як це по суті одна з небагатьох можливостей знайти відповіді на питання про стратегію подальшого ефективного розвитку систем.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Охарактеризувати аналітичний підхід до дослідження складних систем.
2. Визначити поняття «повнота моделі»
3. Дати визначення поняттям: «декомпозиція», «агрегування».



4. Вказати системні особливості моделей інформаційних систем.
5. Дати визначення поняттю «складність моделі».

## ТЕМА 8: ЕКСПЕРТНІ МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### План

1. Загальна характеристика експертних методів у системному аналізі.
2. Збір інформації. Підготовка проекту рішень.
3. Основні стадії експертного аналізу. Підбір експертів.
4. Метод «мозкового штурму».
5. Метод дерева цілей.
6. Метод Делфі.

### 1. Загальна характеристика експертних методів у системному аналізі

При дослідженні складних систем виникають проблеми, що виходять за рамки формальних методів системного аналізу. У такому випадку звертаються до експертів, тобто до осіб, чий досвід, судження та інтуїція можуть зменшити складність проблеми.

**Методи експертних оцінок** - це методи організації роботи з фахівцями-експертами і обробки думок експертів, виражених в кількісній і/або якісній формі з метою підготовки інформації для ухвалення рішень. Для проведення роботи за методом експертних оцінок створюють робочу групу, яка і організовує за дорученням ОПР діяльність експертів, об'єднаних (формально або по суті) в експертну комісію (ЕК).

Основна ідея експертних методів полягає у використанні інтелекту людей, їх здібності знаходити рішення слабо формалізованих задач. Однак особливості інтелектуальної діяльності полягають у тому, що вона у багатьох випадках залежить від зовнішніх та внутрішніх умов та від так званих „факторів впливу”. Тому у методиках по організації експертних оцінок спеціальну увагу приділяють створенню сприятливих умов та нейтралізації факторів, що впливають на роботу експертів.

Методи експертних оцінок використовуються у тих випадках, коли системні аналітики не лише не можуть відразу описати проблему за допомогою кількісних аналітичних залежностей, але й не бачать, котрі з методів формалізації складних систем могли б допомогти одержати модель для ухвалення вибору.

**Експертні оцінки** – це певна „*суспільна точка зору*”, що залежить від рівня науково-технічних знань суспільства щодо предмета дослідження та може змінюватися під час функціонування системи та уявлень про неї.

Експертне опитування у більшості випадків не є одноразовою процедурою, воно повинне бути вбудованим у складну систему регулярної роботи з експертами. Експертні методи розв'язання складних проблем призначені для отримання інформації про поведінку складної системи, зменшення впливу суб'єктивних факторів, стимулювання мислення спеціалістів–експертів шляхом створення інтелектуальної інформаційної системи, усунення завади в обміні інформацією між фахівцями та форм тиску, підвищення достовірності прогнозів шляхом спеціальних процедур кількісного та якісного опрацювання висновків експертів.

Для успіху системного дослідження соціально-економічних систем застосовують **різноманітні методи**: метод сканування, метод мозкового штурму, дельфійський метод, метод аналізу ситуацій, сценарний та комбінаторно-морфологічний аналіз тощо.

Отже, **експертні оцінки** — це певна «суспільна точка зору», що залежить від рівня науково-технічних знань суспільства щодо предмета дослідження і може змінюватися під час розвитку системи і наших уявлень про неї. **Експертне опитування** — це не одноразова процедура. Такий спосіб одержання інформації про складну проблему, що характеризується великим ступенем невизначеності, повинен бути певного типу «механізмом», вбудованим у складній системі, тобто необхідно створити регулярну систему роботи з експертами.

### 2. Збір інформації. Підготовка проекту рішень

Що повинна представити експертна комісія в результаті своєї роботи - інформацію для ухвалення рішення ОПР (особа, яка приймає рішення) або проект самого рішення? Від

відповіді на це методологічне питання залежить організація роботи комісії.

**Мета - збір інформації для ОПР.** Тоді робоча група повинна зібрати якомога більше інформації, що відноситься до справи, аргументів "за" і "проти" певних варіантів рішень. Корисний метод 36 поступового збільшення числа експертів: спочатку перший експерт приводить свої міркування з даного питання; складений ним матеріал передається другому експертові, який додає свої аргументи; накопичений матеріал поступає до наступного, третього експерта. Процедура закінчується, коли вичерпується потік нових міркувань.

Відзначимо, що експерти в даному методі тільки поставляють інформацію, аргументи "за" і "проти", але не виробляють узгодженого проекту рішення. Немає ніякої необхідності прагнути до того, щоб експертні думки були узгоджені між собою. Більше того, найбільшу користь приносять експерти з мисленням, що відхиляється від масового, оскільки саме від них слід чекати найбільш оригінальних аргументів. Мета - підготовка проекту рішення для ОПР. Математичні методи в експертних оцінках застосовують звичайно саме для вирішення завдань підготовки проекту рішення. При цьому часто некритично приймають догми узгодженості й одновимірності. Ці догми "кочують" з однієї публікації в іншу, тому доцільно їх обговорити.

**Догма узгодженості.** Вважається, що рішення може бути ухвалене лише на основі узгоджених думок експертів. Тому виключають з експертної групи тих, чия думка відрізняється від думки більшості. При цьому виключаються як некваліфіковані особи, які потрапили до складу експертної комісії через непорозуміння або з міркувань, що не мають відношення до їх професійного рівня, так і найбільш оригінальні мислителі, які глибше проникли в проблему, чим більшість.

Слід було б з'ясувати їх аргументи, надати їм можливість для обґрунтування їх точок зору. Замість цього їх думкою нехтують. Буває і так, що експерти діляться на дві або більше групи, що мають єдині точки зору.

Так, при оцінці результатів науково-дослідних робіт (НДР) можуть скластися дві групи: "теоретиків", що явно віддають перевагу НДР, в яких отримані теоретичні результати, і "практиків", що вибирають ті НДР, які дозволяють отримувати безпосередні прикладні результати. Іноді заявляють, що коли виявлені дві або більше групи експертів (замість однієї узгодженої в думках) опит не досяг мети. Це не так! Мета досягнута - встановлено, що єдиної думки немає. І ОПР має це враховувати. Прагнення забезпечити узгодженість думок експертів будь-якою ціною може приводити до свідомого одностороннього підбору експертів, ігнорування всіх точок зору, окрім однієї робочої групи, що найбільш подобається ОПР.

**Думки дисидентів.** З метою штучно добитися узгодженості прагнуть зменшити вплив думок експертів-дисидентів. Жорсткий спосіб боротьби з дисидентами полягає в їх виключенні зі складу експертної комісії. Вибраковування експертів, як і выбраковування результатів спостережень, що різко виділяються, приводить до процедур, які мають погані або невідомі статистичні властивості. М'який спосіб боротьби з дисидентами полягає в застосуванні стійких статистичних процедур. Простий приклад: якщо відповідь експерта - дійсне число, то думка дисидента, що різко виділяється, сильно впливає на середнє арифметичне відповідей експертів і не впливає на їх медіану. Тому розумно як узгоджену думку розглядати медіану. Проте при цьому ігноруються (не досягають ОПР) аргументи дисидентів. У будь-якому з двох способів боротьби з дисидентами ОПР позбавляється інформації, що йде від дисидентів, а тому може ухвалити необґрунтоване рішення, яке приведе до негативних наслідків. З іншого боку, представлення ОПР всього набору думок знімає частину відповідальності і праці з підготовки остаточного рішення з комісії експертів і робочої групи з проведення експертного аналізу і перекладає її на плечі ОПР.

### **3. Основні стадії експертного аналізу. Підбір експертів**

Як показує досвід проведення експертних досліджень, доцільно виділяти наступні стадії експертного аналізу:

- формулювання ОПР мети експертного аналізу;

- підбір ОПР основного складу робочої групи (звичайно - керівника і секретаря);
- розробка робочою групою і затвердження у ОПР технічного завдання на проведення експертного аналізу;
- розробка робочою групою докладного сценарію проведення збору і аналізу експертних думок (оцінок), включаючи як конкретний вид експертної інформації (слова, умовні градації, числа, ранжування, розбиття або інші види об'єктів нечислової природи), так і конкретні методи аналізу цієї інформації (обчислення медіани Кемені, статистичний аналіз люсіанів та інші методи статистики об'єктів нечислової природи і інших розділів прикладної статистики);
- підбір експертів відповідно до їх компетентності;
- формування експертної комісії (доцільне укладення договорів з експертами про умови їх роботи і її оплати, затвердження ОПР складу експертної комісії);
- проведення збору експертної інформації;
- аналіз експертної інформації;
- при застосуванні процедури з декількох турів - повторення двох попередніх етапів;
- інтерпретація отриманих результатів і підготовка висновку для ОПР;
- офіційне закінчення діяльності робочої групи (зокрема підготовка і затвердження наукового і фінансового звітів про проведення експертного дослідження, оплата праці експертів і співробітників робочої групи).

**Підбір експертів.** Проблема підбору експертів є однієї з найбільш складних. Очевидно, експертами необхідно обирати тих людей, чії думки найбільш допоможуть ухваленню адекватного рішення. Але як виділити, знайти, підібрати таких людей? 40 Треба прямо сказати, що немає методів підбору експертів, що напевно забезпечують успіх експертизи.

Часто пропонують використовувати методи взаємооцінки і самооцінки компетентності експертів. З одного боку, хто краще може знати можливості експерта, ніж він сам? З іншого боку, при самооцінці компетентності швидше оцінюється ступінь самовпевненості експерта, ніж його реальна компетентність. Тим більше, що само поняття "компетентність" строго не визначене. Можна його уточнювати, виділяючи складові, але при цьому ускладнюється попередня частина діяльності експертної комісії. При використанні методу взаємооцінки, крім можливості прояву особових і групових симпатій і антипатій, відіграє роль непоінформованість експертів про можливості один одного. У сучасних умовах достатньо хороше знайомство з роботами і можливостями один одного може бути тільки у фахівців, які багато років працюють разом. Проте залучення таких пар фахівців не дуже доцільне, оскільки вони схожі один на одного.

Використання формальних показників (посада, науковий ступінь і вчене звання, стаж, число публікацій...), очевидно, може мати допоміжний характер. Успішність участі в попередніх експертизах - хороший критерій для діяльності дегустатора, лікаря, судді в спортивних змаганнях, тобто таких експертів, які беруть участь в довгих серіях однотипних експертиз. Проте, на жаль, найцікавішими й важливішими є унікальні експертизи великих проектів, що не мають аналогів.

У випадку, якщо процедура експертного аналізу припускає спільну роботу експертів, велике значення мають їх особисті якості. Один "балакун" може паралізувати діяльність всієї комісії. У подібних випадках важливе дотримання регламенту роботи, розробленого робочою групою.

Є корисний метод "сніжної грудки", при якій від кожного фахівця, що залучається як експерт, отримують декілька прізвищ тих, хто може бути експертом з даної тематики. Очевидно, деякі з цих прізвищ зустрічалися раніше в діяльності РГ, а деякі - нові. Процес розширення списку зупиняється, коли нові прізвища перестають зустрічатися. У результаті виходить достатньо обширний список 41 можливих експертів. Ясно, що коли на першому етапі всі експерти були з одного "клану", то і метод "сніжної грудки" дасть, скоріш за все, осіб з цього "клану", а думки і аргументи інших "кланів" будуть упущені.

Слід підкреслити, що підбір експертів кінець кінцем - функція робочої групи, і ніякі методики підбору не знімають з неї відповідальності. Іншими словами, саме на робочій групі лежить відповідальність за компетентність експертів, за їх принципову здатність вирішити поставлене завдання. Важливою є вимога до ОПР про затвердження списку експертів. Існує ряд нормативних документів, що регулюють діяльність експертних комісій в тих або інших областях. Прикладом є Закон Російської Федерації "Про екологічну експертизу" від 23 листопада 1995 р., в якому регламентується процедура експертизи "наміченої господарської або іншої діяльності" з метою виявлення можливої шкоди, яку вона може нанести природному середовищу.

#### 4. Метод «мозкового штурму»

З початку 50-х рр. XX ст. дуже інтенсивно почав використовуватися метод **мозкового штурму** (мозкової атаки). Методи цього типу відомі також під назвами "конференція ідей" і "колективна генерація ідей". Суть вказаних методів зводиться до того, що експертам надається повна свобода мислення і висловлювання нових ідей. Для цього розглядаються всі продуктивні ідеї, не допускається критика і не припиняється обговорення жодної ідеї. З цією метою створюється атмосфера, котра сприяє генерації нетривіальних ідей і звільняє експертів від стереотипного мислення

#### 5. Метод дерева цілей

У процесі розв'язання складних проблем застосовуються відповідні методи, тобто систематичні процедури або техніки генерації описань компонентів системи.

Для виявлення і структуризації важких для розуміння та дослідження проблем, котрі характеризуються великою кількістю і складним характером взаємозв'язків, доцільно застосовувати метод "дерева цілей" або "дерева рішень".

Цей метод орієнтований на отримання повної та відносно стійкої структури цілей, проблем, функцій, напрямків, тобто такої структури, яка мало змінюватиметься протягом певного терміну. Цілі (рішення) мають ієрархічний характер, при цьому цілі (рішення) вищого рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі (рішення) найближчого нижнього рівня. З переміщенням на нижчі рівні ієрархії цілі (рішення) конкретизуються. У процесі побудови та використання "дерева цілей" або "дерева рішень" необхідно прагнути їх чітко і конкретно формулювати, забезпечити можливість кількісного чи порядкового оцінювання ступеня їхньої реалізації. Якщо цей процес зобразити графічно, то отримаємо, наприклад, наступне "дерево цілей" (Рис. 8.1).

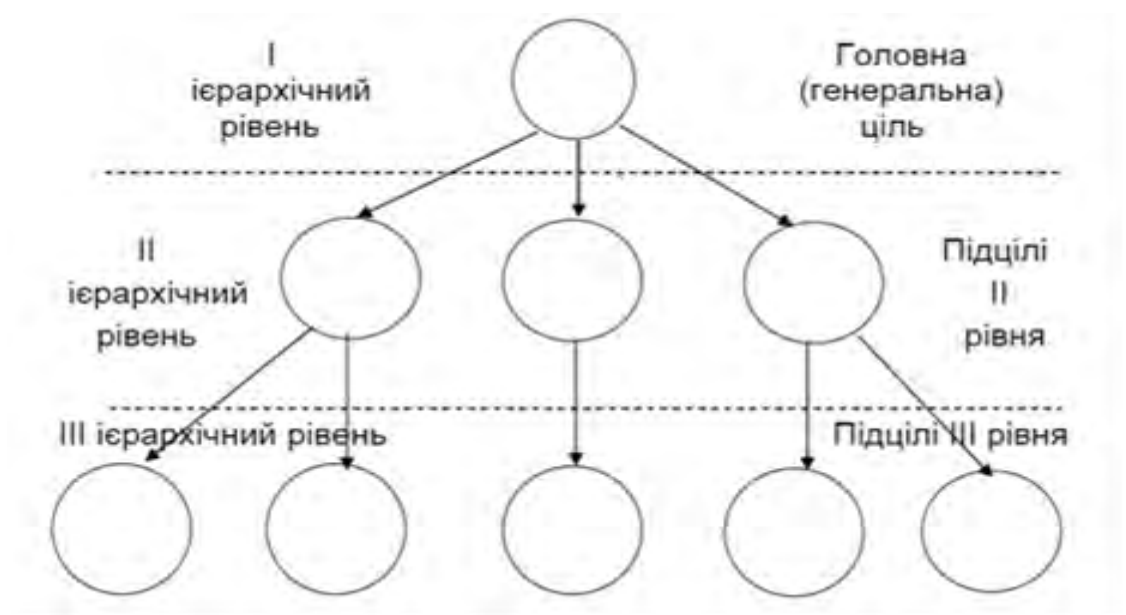


Рис. 8.1. Графік «Дерева цілей»

Головним результатом застосування цього методу є те, що він дає можливість

поділу головного (генерального) завдання (цілі) на сукупність простіших завдань, для розв'язання яких існують певні методи та прийоми. Послідовний поділ мети дослідження на підпроблеми є важливим етапом системного аналізу. Такий поділ необхідно продовжувати доти, поки не отримуються прості, досить очевидні завдання, котрі можна реалізувати відомими способами і методами.

Метод побудови "дерева цілей" - це ефективний і дуже поширений спосіб вирішення слабо структурованих проблем і завдань у галузі економіки, державного управління, менеджменту, при дослідженні й удосконаленні організаційних структур, проведенні наукових досліджень тощо.

Особливий клас методів системного аналізу становлять **експертні оцінки** котрі пов'язані з безпосереднім опитуванням експертів. Можливість їх застосування, обґрунтування їхньої об'єктивності базується на тому, що значення досліджуваної характеристики знаходиться всередині діапазону оцінок, отриманих від групи експертів, і що узагальнена колективна думка є достовірною.

## **6. Метод дельфі**

Метод Дельфі, чи «дельфійського оракула», спочатку був запропонований О. Хелмером і його колегами як ітеративна процедура при проведенні мозкової атаки, що сприяла б зниженню впливу психологічних факторів при повторенні засідань і підвищенню об'єктивності результатів. Однак майже одночасно Дельфі-процедури стали методом підвищення об'єктивності експертних опитувань з використанням кількісних оцінок при оцінці дерева цілей і при розробці сценаріїв.

Метод Дельфі був розроблений для розв'язання складних стратегічних проблем з метою отримання інформації про майбутнє, гранично зменшити вплив суб'єктивного фактора, стимулювати способи мислення спеціалістів шляхом створення інформаційної системи з оберненими зв'язками, усунути завади в обміні інформацією між фахівцями, тиск авторитету та інші форми тиску, забезпечити підвищення достовірності прогнозів шляхом спеціальних процедур кількісного оцінювання думок експертів та їх опрацювання.

У складніших варіантах методу Дельфі розробляється програма послідовних індивідуальних опитувань за допомогою анкет-запитальників, що виключають контакти між експертами, але передбачають ознайомлення їх з думками один одного між турами. Запитальники від туру до туру можуть уточнюватися. Для зниження впливу таких факторів, як пристосування до думки більшості, іноді потрібно, щоб експерти обґрунтовували свою точку зору, але це не завжди приводить до бажаного результату, і в деяких випадках навпаки, може підсилити ефект пристосування. У найрозвинутіших варіантах методу експертам присвоюють вагові коефіцієнти значимості їхніх тверджень, що обчислюються на основі попередніх опитувань, уточнюються від туру до туру і враховуються при одержанні узагальнених результатів оцінок.

На відміну від методу сценаріїв метод Дельфі передбачає попереднє ознайомлення фахівців з ситуацією за допомогою певної моделі, математично строгої або ж неформальної. Фахівцям пропонується оцінити структуру моделі загалом та дати пропозиції щодо невиключених зв'язків. При цьому використовується анкетний метод з уніфікованими формами запитань, відповідей та оцінок.

Анонімність та можливість поповнити інформацію про предмет експертизи створюють умови, що забезпечують найпродуктивнішу працю експертної комісії. Крім того наявність зворотнього зв'язку, що реалізується в декілька турів, дозволяє експертам корегувати свої висловлювання з врахуванням проміжних усереднених оцінок та пояснень експертів, які висловили полярні точки зору.

В розповсюдженому варіанті методу Дельфі під час першого туру для експертів формулюється мета експертизи та перелік запитань у вигляді анкети, можливо з поясненням. Для складних систем пояснення може бути представлено у вигляді концептуальної моделі системи та характеру можливих відповідей. Оформлені результати-відповіді експертів на анкети — опрацьовуються аналітичною групою.

Аналітична група визначає граничні точки зору — найвищі та найнижчі оцінки для кожної альтернативи, середнє значення, верхній та нижній кuartили. Віддаль між кuartилями характеризує узгодженість точок зору експертів (аналог середньоквадратичного відхилення).

На другому турі експерти отримують наступну інформацію: усереднені оцінки альтернатив та обґрунтування (анонімні) граничних оцінок альтернатив, — та корегують у відповідності до неї попередні оцінки. Скорегована інформація опрацьовується аналітичною групою. Третій та четвертий тур за змістом не відрізняються від другого, при переході від туру до туру покращується узгодженість оцінок. Однак в деяких випадках думки експертів мають тенденцію до поляризації Користь методу Дельфі в цьому випадку полягає у виявленні поляризованих точок зору у різних груп експертів.

Кількість турів визначається ступенем узгодженості між експертами та наявністю або відсутністю поляризації. Як показує досвід, зміна оцінок експертів наближає їх до дійсних значень, особливо якщо експерти відзначаються високим рівнем компетентності. Крім того, існує цілий ряд модифікацій методу Дельфі, які додатково дозволяють уточнювати результати експертних оцінок шляхом визначення відносного рівня компетентності експертів та розрахунку результатів експертиз лише для експертів з відносно високим рівнем компетентності; зменшити тиск на експертів за рахунок повідомлення експертам значень кuartилів або децилів розподілу без значення медіани; послідовно розширювати коло експертів (переваги — відсутність тиску усередненої думки комісії, отримання більшої кількості інформації за рахунок аргументації оцінок експертами, недолік — чутливість до порядку підключення експертів).

Отже, основними особливостями методу Дельфі як достатньо надійного інструменту отримання експертної інформації є: анонімність висловлювань; обґрунтування думок експертів з граничними оцінками; наявність оберненого зв'язку, що реалізується за допомогою багатокрокового опитування.

Однак ці особливості виключають появу нових підходів до розв'язання проблеми, які можуть виникнути в ході дискусії — альтернативні оцінки проблеми формулюються анонімно, хоча, з іншого боку, це виключає можливість тиску. Існує ймовірність того, що достатньо суттєва інформація, якою може володіти учасник експертної групи, може бути невикористаною внаслідок обмеженості запитань анкети. Тому формування анкет повинно бути надзвичайно професійним та оперативним, щоб відреагувати на нову інформацію, отриману після чергового туру.

Для того, щоб запобігти появі «штучного консенсусу», коли в принципі є дві або більше достатньо різних точок зору на проблему, які в остаточному результаті зникають внаслідок багатьох турів, використовуються також модифікації методу Дельфі, які поляризують точки зору за певних умов, замість того, щоб прагнути зведення їх до одного спільного варіанту- консенсусу.

Перспективною є ідея розвитку методів експертних оцінок, запропонована у свій час В. М. Глушковим, яка полягає в тому, щоб сполучити цілеспрямоване багатоступінчасте опитування з «розгорненням» проблеми в часі, що стає цілком реалізованим в умовах алгоритмізації такої (досить складної) процедури і використання комп'ютерної техніки.

Для підвищення результативності опитувань і активізації експертів іноді сполучають метод Дельфі з елементами ділової гри: експерту пропонується проводити самооцінку, ставлячи себе на місце конструктора, 107 якому реально доручено виконувати проект, чи на місце працівника апарату керування, керівника відповідного рівня системи організаційного керування і т. д.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Охарактеризувати експресні методи у системному аналізі.
2. Дати визначення поняттю «експресні оцінки».
3. Вказати основні стадії експресного аналізу.

4. Описати метод «мозкового штурму».
5. Визначити завдання методу дерева цілей.
6. Вказати основні особливості методу Делфі.



## ТЕМА 9: СОЦІАЛЬНИЙ СВІТ У ДИСКУРСІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### План

1. Соціальний організм як феномен соціальної взаємодії
2. Соціальний організм у структурно-функціональному вимірі.
3. Соціальний гомеостаз у призмі системного підходу.
4. Соціальний організм у контексті розвитку планетарної спільноти.
5. Адаптаційні можливості соціальної системи у вимірі системного аналізу.
6. Глобалізм і антиглобалізм у аспекті системного аналізу.

### 1. Соціальний організм як феномен соціальної взаємодії

Соціальна інформація є, перш за все, смислова інформація, тобто така інформація, яка переробляється людською свідомістю і реалізується в діяльності людей. Вона зумовлюється потребами та інтересами людей, різноманітних соціальних груп, що знаходяться в постійному спілкуванні між собою у процесі матеріального і духовного виробництва та організації всього суспільного життя. Соціальна інформація специфічна не тільки з точки зору своєї природи, але і всього циркулювання у суспільстві.

При цьому взаємодіє нескінченна кількість інформаційних потоків, що рухаються по різноманітним каналам: це і «пам'ять» минулого, що живе у сучасному; і загальнопланетарні форми спілкування (міжнародні, міждержавні); внутрішньодержавні форми спілкування (між соціальними групами, між народом і державними органами, між різними партіями, що здійснюються у формі обміну суспільною думкою, з одного боку, та офіційних державних рішень – з іншого, а також у формі виховання, навчання, спілкування у процесі трудової діяльності тощо. Таким чином, соціальна інформація рухається немов би у двох площинах: горизонтальній і вертикальній.

Отже, під соціальною інформацією розуміється та інформація, яка циркулює у суспільстві як сукупність знань, аргументів, повідомлень, ідей про оточуючий світ, перш за все, про суспільство, слугує цілям управління суспільними процесами. Інформація не повинна залежати від того, кому вона повинна слугувати. Там, де є інформація, діє і управління, а там, де здійснюється управління, безпосередньо присутня і інформація. Висхідний пункт будь-якого управлінського процесу (головними серед яких є вироблення і прийняття управлінського рішення, а також його виконання) – отримання і обробка інформації

**Соціальний організм** – це вища потенція категорії взаємодії, що мислиться в загальній формі, ця категорія веде до поняття другої природи або загальної організації, по відношенню до якої всі одиничні утворення є акциденціями або випадковостями.

Категорія «соціальна взаємодія» виражає характер і зміст відносин між людьми (соціальними групами) як постійними носіями якісно різних видів соціальної діяльності, що відрізняються один від одного своїми соціальними позиціями (статусами) і соціальними ролями (функціями). Тому незалежно від того, в якій сфері життєдіяльності суспільства (економічній, політичній, духовній, організаційно-управлінській тощо) відбувається взаємодія, вона завжди за своїм характером є соціальною, оскільки відбиває зв'язки між індивідами і групами людей, тобто ті зв'язки, що опосередковуються цілями, яких кожна із сторін взаємодії прагне досягти.

*Одним із засновників теорії соціальної взаємодії вважають американського соціолога Дж. Хоманса, який суть механізму соціальної взаємодії бачить у прагненні людей до одержання винагорода, вигоди і взаємного обміну ними. Найважливіші принципи концепції соціального обміну (соціальної взаємодії) Дж. Хоманса такі:*

- що більше винагороджується певний тип соціальної взаємодії, то частіше він буде повторюватися;
- якщо винагорода за певні типи соціальної взаємодії залежить від якихось умов, то індивід (чи спільнота) прагне відтворити ці умови,
- якщо винагорода є великою, то людина (спільнота) готова витратити більше зусиль заради її отримання;

- коли потреби людини є близькими до насичення, то вона меншою мірою здатна до взаємодії заради їхнього задоволення.

Теорія соціального обміну Дж. Хоманса як свідчить аналіз, започаткувала розвиток безлічі моделей соціальної взаємодії, які американський соціолог Н. Смелзер систематизував у такий спосіб:

- теорія соціального обміну Дж. Хоманса, основна ідея якої полягає в тому, що люди взаємодіють один з одним на основі свого досвіду, зважуючи можливі винагороди і витрати;
- теорія символічного інтеракціонізму Дж. Міда і Г. Блумера, основна ідея якої полягає в уявленні про те, що поведінка людей стосовно одне одного і предметів навколишнього світу визначається тими значеннями, які вони їм надають;
- теорія управління враженнями Е. Гоффмана, центральна ідея якої полягає в розумінні соціальних ситуацій, схожих на драматичні спектаклі, в яких люди-актори своїми взаємодіями прагнуть створювати і підтримувати сприятливі враження;
- психоаналітична теорія З. Фрейда, основна ідея якої полягає в тому, що міжособистісна взаємодія перебуває під глибоким впливом понять, засвоєних у ранньому дитинстві, і конфліктів, пережитих у цей період<sup>251</sup>.

Соціальна взаємодія може бути безпосередньою і опосередкованою соціальною дією. Наприклад, акт купівлі будь-якої речі – це безпосередня взаємодія покупця з продавцем, де соціальний характер дії є очевидним. Однак опосередкована соціальна взаємодія не є настільки очевидною, оскільки інша сторона взаємодії в цьому разі є зазвичай невидимою. Більше того, діючий соціальний суб'єкт може навіть заперечувати її наявність. Але це є акт опосередкованої соціальної взаємодії.

У зв'язку з цим соціальну поведінку будь-якого індивіда можна визначити як серію взаємопов'язаних соціальних актів, або як систему взаємозумовлених соціальних дій. Наприклад, поведінка споживача, в основі якої лежить усвідомлення власних потреб та інтересів, включає вибір товару, процес торгу, використання купленого товару і багаторазове повторення цього циклу стосовно інших товарів в інший час, а крім того, ще й визначення місця дії, тобто ринку товарів і послуг. Отже, ринок – це простір соціальної взаємодії продавця і покупця, яка передбачає їхні дії та впливи стосовно одне одного.

Слід особливо підкреслити, що соціальні дії людини завжди є осмисленими. Окремі соціальні дії можуть тривати досить короткий час, наприклад, прасування сорочки, похід до магазину тощо. Але коли такі дії з'єднуються в певний ланцюжок і щоденно повторюються, то це вже діяльність, завдяки якій і розвивається людське суспільство. Дія, таким чином, є одиницею діяльності, а окремий рух – елементом дії. Рухи притаманні як тваринам, так і людям, а дії та діяльність – тільки людям. Забити цвях – це дія, вона розпадається на дрібніші рухи. Рухам не притаманні мета і потреби, а діям притаманні. Отже, дія – це процес взаємодії з будь-яким предметом, завдяки якому досягається попередньо визначена мета.

У структурі соціальної дії можна визначити такі складові: прийняття рішення, реалізація, контроль і корекція. При цьому в процесі прийняття рішення відбувається пов'язування образу ситуації, образу дій, інтегральної та диференціальної програм. Що стосується реалізації та контролю, то вони здійснюються циклічно. На основі прагматичних засад людські дії можна поділити на такі види: керівні, виконавські, утилітарно-адаптивні, перцептивні, мнемонічні, розумові та комунікативні. При здійсненні кожної з цих дій відбувається використання людиною як засвоєних, так і індивідуально напрацьованих засобів і знаряддя<sup>252</sup>.

Таким чином, **соціальна поведінка** – це сукупність або система рухів, актів і дій людини, які можуть спостерігати інші люди, у присутності яких вони здійснювалися. Діяльність (на відміну від поведінки) може бути внутрішньою (наприклад, розумова діяльність) і зовнішньою, а поведінка – тільки зовнішньою. Отже, поведінка – це зовнішня форма людської діяльності, один з її аспектів. Поведінка – це діяльність, яку можна

безпосередньо спостерігати, в той час як сама діяльність є свідомою «довільною поведінкою» людини.

Основними елементами соціальної поведінки, як свідчить аналіз, є: потреби, інтереси, мотиви і очікування (або експектації). Порівнюючи діяльність і поведінку, не важко помітити між ними певну різницю. Діяльність містить у собі свідомі цілі та сплановані дії заради якоїсь винагороди (наприклад, заробітку, гонорару, підвищення на посаді тощо), яка виконує функцію зовнішнього стимулу. А поведінка, у свою чергу, не містить у собі мети як головного, вирішального елементу, найчастіше вона має певні напрями та очікування, потреби і мотиви. Останні, на відміну від стимулів, є не зовнішніми, а внутрішніми спонуками.

Отже, на основі соціальної взаємодії формуються функціональні системи, в яких протікає життя планетарної спільноти. Вони представляють собою не просту сукупність, тобто конгломерат соціальних систем, а сімейство соціальних форм, що має чітку внутрішню структуру, що побудована, на нашу думку, за галографічним принципом. Дана структура подана у дослідженні В. Беха «Генезис соціального організму країни». Далі розглянемо її, оскільки вона важлива для розуміння сталого розвитку планетарного соціального світу.

## 2. Соціальний організм у структурно-функціональному вимірі

Завдяки структурно-функціональному аналізу можна побудувати образ родового соціального організму. У запропонованій моделі в органічну єдність зведені функціональні органи, які виникли і діють як в структурі людини, так і в структурі соціума. Крім того показано, що на етапі функціонування соціальне тіло досягає ефекту, утворюючи нові функціональні органи з уже наявних функціональних органів. Дослідити їх належить в ході досягнення явищ онтогенезу і філогенезу сімейства соціальних організмів.

Таблиця 9.1.

Рівні соціального організму

Рівні соціального організму	Підрівні соціального організму	Морфологічний компонент
ПРЕОРГАНІЗ- МЕНІЙ	Атомарний (потенційний)	Особистість
	Молекулярний	Родина, Пара закоханих, Хижак – жертва
ОРГАНІЗМЕНІЙ	Тканинний (інституціональний)	Кровна спорідненість, шлюб, Форми розмноження та успадкування (кланування) Мораль, право, влада, релігія, Власність, Форми організації соціального життя (уклад життя)
	Клітинний (найпростіші соціальні мікроорганізми)	Підприємства, Організації, Установи
	Видовий	Економічний Антропологічний Політичний Ідеологічний
	Родовий	Країна

НАДОРГАНІЗ- МЕНІЙ	Популяційний (територіальний)	Регіональний (місто) Релігійний (Іслам, християнство, католицизм та ін.) Етнічний (Орда, масонство) Національний (Земляцтво) Континентальний (Загальноєвропейський Дім, Євразійський простір, Балто- чорноморська зона) Міжконтинентальний
	Системний (планетарний)	Ноосферний
	Надсистемний (космічний)	Всесвітній

Отже, на підставі викладеного вище можна зробити висновок про те, що ми маємо справу з системною групою організаційних форм. Отже, за рахунок модифікації умов саморозгортання розуму в природному процесі його формоутворення відбулося подібнення загальнолюдської філи розуму на безліч форм, розкиданих за різними організаційними рівнями. Таким шляхом виникло сімейство соціальних організмів.

### 3. Соціальний гомеостаз у призмі системного підходу

Проблема гомеостазу є надзвичайно актуальною проблемою, так як від вирішення авторегуляції суспільної системи залежить її гнучкість і адаптація до зовнішнього середовища.

*Гомеостаз – гомеостазис (від грец. – *homoios* – подібний і *stasis* – стан) – рухлива рівновага стану будь-якої системи, яка зберігається шляхом її протидії зовнішнім і внутрішнім факторам, що порушують цю рівновагу.*

*Ідея гомеостазу вперше була сформульована французьким вченим К. Бернаром (1878).* В 1929 р. американський біолог У. Кеннон запропонував термін «гомеостаз» у зв'язку із своєю концепцією «мудрості тіла», у якій описав цілий ряд гомеостатичних процесів. Отже, поняття гомеостазу виникло спочатку у фізіології з метою пояснити сталість внутрішнього середовища і стійкість його основних фізіологічних функцій, що досягається завдяки механізму саморегуляції. У 1948 р. У. Р. Ешбі (Великобританія) застосував уявлення про гомеостаз для обґрунтування моделювання широкого кола проблем (біологічних, технічних, соціальних) із зворотнім зв'язком.

Гомеостаз (від грец. – подібний, однаковий) – властивість організму підтримувати свої параметри і фізіологічні особливості в певному діапазоні, заснована на стійкості внутрішнього середовища організму по відношенню до впливів зовнішнього середовища.

Гомеостатичність складних систем досягається через посередництво цілого комплексу механізмів, в ході еволюції розвитку різних типів систем їх стійкість зростає, виробляються більш складні і багаторівневі комплекси зворотних зв'язків. В терміні «гомеостаз» відображається діалектика змінності і стійкості, властива як природним, так і штучним системам. Гомеостаз – здатність системи зберігати рівновагу завдяки саморегульованому пристосуванню до оточуючого середовища.

Розрізняють дві форми розвитку:

- **Еволюційну**, пов'язану з поступовими кількісними та якісними змінами (зміна свідомості поєднується зі змінами матерії).
- **Револьюційну**, що характеризується стрибкоподібним неусвідомленим переходом від одного стану матерії до іншого та стрибкоподібною зміною свідомості без відповідної зміни балансу. Якщо прогресивний розвиток – це перехід від нижчого до вищого, від досконалого до більш досконалого, то регресивний розвиток – це деградація, зниження рівня знань і відносин, перехід до форм і

структур, що віджили своє.

Принцип гомеостазу перейшов з фізіології в етнопсихологію, набувши більш загального значення принципу системного підходу й саморегуляції на основі зворотного зв'язку. Що їх ріднить, так це твердження, що кожна система прагне до збереження стабільності. Загалом, у соціальних системах ця властивість гомеостатичності проявляється як опір змінам. Сумна статистика менеджменту свідчить, що більше 70% необхідних перетворень у компаніях терплять крах саме через найсильніший опір персоналу.

У такому ж сенсі використовується поняття гомеостазу й в етнопсихології, в контексті якої організм прагне до збереження своєї стабільності. Очевидно, що як організм, так і система може існувати тільки у випадку обміну з навколишнім середовищем, що виступає регулятором поведінки системи. Гомеостаз являє собою рухливий рівноважний стан етнічної спільності, що зберігає шляхом її протидії, порушуючи рівновагу зовнішнім і внутрішнім факторам.

Проблема гомеостазу вирішувалася багатьма авторами, які намагалися через призму принципів самоорганізації і саморегуляції соціальної системи розкрити управління як нелінійну систему, що складається з підсистем різних ієрархічних рівнів. Істотний внесок у розуміння самоорганізації системи на основі гомеостазу був зроблений представниками синергетики і соціосинергетики, а саме: Н. Вінером, У. Ешбі, А. Фрідменом, Е. Хаббалом. Висновки з цих теорій були продовжені І. Пригожиним, І. Стінгерс, Г. Хакеном, С. Курдюмовим, розвинуті О. Аверіною, Л. Бевзенко, В. Бехом, В. Васильковою, В. Воронковою, О. Гаєвською, І. Добронравовою, О. Донченко, Н. Крохмаль, Г. Нестеренко, І. Предборською та іншими. Ми можемо вважати компанії нелінійними системами тому, що відгук системи зовсім не пропорційний силі керуючого впливу. Адже досить часто відбувається так, що, чим сильніший керуючий вплив, тим слабкіше реагує система, зберігаючи свій стан стабільності.

***Гомеостаз – це явище підтримки програми функціонування системи у деяких рамках, що дозволяють їй прямувати до цілі.*** Згідно Н. Вінера, будь-яка система телеологічна, так як має мету існування (апология Аристотеля). При цьому від цілі-еталону-ідеалу (реального чи уявлюваного) система отримує коригуючі сигнали, які дозволяють їй не збитися з курсу. Це коригування здійснюється за рахунок негативних зворотних зв'язків (доля сигналу з виходу системи подається на вхід із зворотним знаком), що подавляє будь-яке відхилення у програмі поведінки, яка виникла під дією зовнішніх факторів середовища. Саме таким чином ведуть себе всі живі системи більшу частину часу. У просторі станів системи аттрактор є деякою більшістю, співрозмірною меншою, чим самий простір, до якого з часом тяжіють ближні стани. Сфера притягання аттрактора називається його «басейном». Підкреслимо, що аттрактори існують тільки у відкритих дисипативних системах і розсіюють енергію, речовину, інформацію, описують фінальну поведінку системи, яка набагато є простішою у перехідному періоді. Адаптація виступає як авторегуляторний, філо- і онтогенетично зумовлений процес досягнення і підтримки стійкого розвитку функціонального стану організму.

Непередбачуваність поведінки соціальних систем – одна з найбільших складних і гострих проблем для управління. Однак, правильне визначення самої системи й факторів впливу на неї навколишнього середовища, може усунути неоднозначність і нез'ясованість соціальних змін, що обумовлені, як мінімум, неоднозначною природою людини, що виникає як відповідь на зміни середовища проживання. Адаптація, тобто пристосування організму до плинних умов, є реалізація процесів саморегуляції, починаючи з обміну речовин.

Вивчення закономірностей авторегуляції відкрило важливу роль зворотних зв'язків; було встановлено, що у системі «організм і середовище його існування» з'являються позитивні і негативні зворотні зв'язки. Умовою виникнення позитивного зворотного зв'язку являється дефіцит споживчих чи надлишок не утилізованих організмом будь-яких компонентів у самому організмі чи зовнішньому середовищі.

Позитивний зворотний зв'язок являється фактором, що активізує регуляторні

процеси, що ісприяють ліквідації дефіциту чи надлишку і відновленню стабільних співвідношень організму і середовища, тобто відновлення гомеостазу. Позитивний зворотний зв'язок обмежує межу недостатньо необхідних для організму факторів чи надлишок непотребних.

Умовою формування негативного зворотного зв'язку являється не тільки досягнення, але й перевершення рівня гомеостазу, тобто надлишок необхідних організму факторів. У відповідь інтенсивність активуючих регуляторних процесів знижується, напрямок їх змінюється на протилежну, інактивізуючу, що приводить до відновлення гомеостазу. Негативний зворотний зв'язок обмежує межі надлишку факторів, необхідних для організму. Отже, позитивний зворотний зв'язок є стимулюючою силою, що впливає на розвиток соціального організму і направлена на його самозбереження. Ці закономірності авторегуляції проявляються на інших рівнях гомеостазу.

Соціальний гомеостаз, що відображає стабільність взаємовідносин суб'єктів, також являються наслідком авторегуляції. Дефіцит професій, знань, умінь, навичок у спільноті, проявляється як позитивний зворотний зв'язок, що стимулює розвиток, сприяє удосконаленню соціуму. Надлишкове виробництво професіоналів, не витребуваних суспільством, припиняється згідно з законом зворотного негативного зв'язку майже до повного зникнення професій. Гомеостаз відображає стабільність взаємозв'язку, взаємовідносин, суб'єктів як особистостей між собою і суспільством в цілому.

Духовний розвиток суб'єкта і виховання особистості можливий тільки в умовах перманентного дефіциту інформації, яка формує позитивний зворотний зв'язок. Інформаційно-духовний гомеостаз, відображаючи досягнуту стабільність взаємовідносин між особистостями, суспільством і особистістю, і є платформою виникнення потреби новизни, дефіциту інформації, утворення внаслідок цього позитивних зворотних зв'язків як джерела подальшого розвитку особистості і встановлення нового рівня, нового масштабу гомеостазу на основі більш глибокого самопізнання і пізнання середовища існування людини.

Розвиток духовності і особистості, і суспільства підпорядковується філософському закону заперечення. Досягнутий рівень гомеостазу змінює, тобто заперечує минулий. Разом з тим, заперечуючи попередній рівень, останній є причиною, фундаментом наступних нових досягнень, сам стає запереченням.

Водночас гомеостаз як стан стабільних взаємовідносин організму і середовища представляє собою одну з форм виявлення закону єдності і боротьби протилежностей. Але єдність протилежностей у вигляді творчих і руйнівних процесів, наприклад анаболізму і катаболізму, їх взаємовідносини у вигляді боротьби є суть того, що можна назвати авторегуляторний і адаптаційний процес. Формування гомеостазу, вітального, соціального, інформаційно-духовного, має історичну, еволюційну, тобто філогенетичну основу, адаптації.

Крім того, умови середовища, які викликають відхилення від гомеостазу протягом індивідуального життя організму, активізують процеси його адаптації. Тому гомеостаз є наслідком філо- і онтогенетично зумовленої адаптації, яка забезпечує самозбереження і індивідуального організму, і сукупності організмів, тобто популяції.

#### **4. Соціальний організм у контексті розвитку планетарної спільноти**

Проблема гармонійного розвитку планетарної спільноти як частини біосфери в природному середовищі має давню історію, оскільки зі стародавніх часів філософи однією з головних проблем розглядали місце людини в природі. Діоген-Кінік (400 – 325 рр. До н.е.) закликав до обмеження споживання, до зближення людини з природою. В протилежній частині світу – Китаї – аналогічної думки притримувався Ван Чун (27 – 104 рр.), який відстоював постулат «Людина – частина природи».

І через півтора тисячоліття філософи продовжували полеміку. Ж. Келвін (1509 – 1564, Франція) вважав найкращими такі людські риси як помірність та бережливість, проповідував режим мирського аскетизму. Італійський філософ Т. Компанелла у відомій книзі «Місто сонця» поруч з широкою демократією вважав за необхідне жорстко

обмежувати побут, враховуючи закони природи. В протипагу цим поглядам Ф. Бекон (1561 – 1626, Англія) та Р. Декарт (1596 – 1650) і Д. Дідро (1713 – 1784, Франція), а також Б. Спіноза (1632 – 1677, Нідерланди) проголошували метою знань збільшення влади людини над природою, зміну природи по людському розумінню.

Ще до початку індустриальної доби з'явилися застереження щодо негативних наслідків антропогенного впливу на природу відносно самої людини. П. Гольбах (1723 – 1789, Франція) у книзі

«Система природи» зауважив, що людина – це частка природи, підлегла її законам. Нехтування цим призвело рід людський до того, що він став жертвою обраної системи управління.

У 1864 році в США вийшла з друку книга Г. Марша «Людина і природа, або Про вплив людини на зміни фізико-географічних умов природи», в якій зазначено, що заплановані зміни в природі, які відбуваються внаслідок людської діяльності, значно менші, ніж передбачені негативні зміни. Відомий французький природознавець Ж. Ламарк (1744 – 1829) з цього приводу ще у 1809 році висловився більш різко: «призначення людини полягає в тому, щоб знищити свій рід, попередньо зробивши земну кулю непридатною для існування».

Незважаючи на авторитет процитованих вище та інших авторів, їхня полеміка цікавила невелику групу вчених. Переважна більшість фахівців не відчувала проблеми, про що свідчить зауваження В. Вернадського, зроблене вже у ХХ ст.: «Досі історики, взагалі вчені гуманітарних наук, а відомою мірою і біологи, свідомо не рахуються з законами природи біосфери – тієї земної оболонки, де тільки і може існувати життя. Стихійно від неї людина невідділена. І ця нерозривність лише тепер починає перед нами точно вияснюватися»<sup>352</sup>.

Саме завдяки працям В. Вернадського проблема «природа– людина» отримала наукове обґрунтування – людство несе відповідальність за стан біосфери. Людський розум повинен і може врятувати цивілізацію від самознищення. Видатний вчений сподівався, що настане час, коли завдяки людському розуму біосфера переросте в ноосферу, де буде панувати гармонія між усім живим.

Відомий еколог М. Моїсеєв ще у 1984 році писав: «Генеральна мета розвитку цивілізації – це забезпечення коеволуції (сумісної еволюції) людини і біосфери».

У сфері філософії біологічних систем також накопичена певна джерельна база з даної проблеми. Тут є монографічні праці, наприклад, І. Шмальгаузена, Ю. Горського, М. Матвеева з проблем самоорганізації предбіологічних і біологічних систем, А. Мельникова з біокібернетичних систем, В. Федорова про взаємозв'язок фізіології і кібернетики, В. Єськова, В. Зілова, А. Адайкіна, І. Добриніна, Ю. Добриніна, В. Лазарева, А. Хадарцева про нові напрями у клінічній кібернетиці.

Термін «сталий розвиток» (стійкий розвиток) вперше було розглянуто в аспекті екологічних перетворень на конференції ООН у 1972 році у Стокгольмі, після чого даний термін був використаний в документах, в основу яких було покладено ідею розвитку Всесвітньої стратегії охорони природи, основоположниками якої виступили Міжнародний союз охорони природи і природних ресурсів, Всесвітній фонд дикої природи, Комітет ООН з питань навколишнього середовища<sup>360</sup>.

Проте концептуально оформлене дане поняття було лише у 1977 році У. Офулсом у роботі «Екологія і політика дефіциту», в якій він поєднує такі категорії як «екологічний розвиток» (ecodevelopment) і «сталість» (sustainable) та отримує термін «sustainable development», що в буквальному перекладі означає «непорушний», «твердий»<sup>361</sup>. За звичай термін «стійкий» використовується у двох значеннях:

- як технічний термін, який використовується при аналізі біологічних систем;
- як прагматичне твердження для нечіткої і слабо структурованої нової філософії розвитку сучасного світу.

Завдяки турботам вчених ідея гармонізації взаємовідносин між людьми і природою була позитивно сприйнята багатьма політиками і державними діячами. Офіційно вона в документах ООН отримала назву «сталого розвитку» («надійного розвитку»). Практичні

дії світова спільнота почала вживати раніше. Ось деякі головні міжнародні угоди на шляху до сталого розвитку:

- 1959 – Договір про Антарктиду;
- 1963 – Договір про заборону випробувань ядерної зброї в атмосфері, космічному просторі та під водою;
- 1971 – прогорама ЮНЕСКО «Людина і біосфера»;
- 1975 – Конвенція про запобігання забруднень моря скидами відходів та інших матеріалів;
- 1977 – Конвенція про заборону військового чи будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище;
- 1980 – Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані;
- 1986 – Протокол про скорочення викидів сірки на 30 відсотків;
- 1988 – Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар;
- 1988 – Декларація людських прав інвалідів та народів;
- 1989 – Протокол про обмеження викидів окислів азоту або їх транскордонних потоків;
- 1992 – Конвенція ООН про біологічне різноманіття;
- 1992 – Конвенція ООН про зміну клімату;
- 1992 – Декларація Ріо-92;
- 1992 – Порядок денний на XXI століття;
- 2012 – Конференція ООН зі сталого розвитку «Ріо+20»

Незважаючи на розповсюдження поняття «стійкий розвиток» в науковій літературі, офіційне визнання даний термін отримав на конференції ООН «Навколишнє середовище і розвиток», яка відбулася 1992 року в Ріо-де-Жанейро (Бразилія).

Генеральний секретар конференції М. Стронг зазначав: «Модель розвитку суспільства, яку використовували до того багаті країни, вичерпала себе. І спроба країн, що розвиваються, повторити її може призвести до краху цивілізації. Необхідна доктрина зміна курсу соціально-економічного розвитку, заміна старої, нестійкої стратегії новою, більш стійкою. Центральним питанням проблеми є: характер виробництва і споживання в промислово розвинутій частині світу, який підриває природні системи, що підтримують життя на Землі; вибухоподібний ріст населення, переважно в частині світу, що розвивається, де щоденно додається чверть мільона людей; дедалі зростаюча нерівність між багатими і бідними, яка залучає 75 відсотків людства до боротьби за виживання, і нарешті, економічна система, яка не враховує екологічних цінностей, система, яка розглядає безмежне зростання як прогрес»<sup>364</sup>.

За підсумками конференції було прийнято, як відомо, документ «Порядок дій на XXI століття» в якому Комісією ООН з розвитку «стійкий розвиток» визначається як «розвиток суспільства, котрий, забезпечуючи потреби нинішнього покоління, зберігає можливості для майбутнього покоління задовольняти життєво необхідні потреби»<sup>365</sup>. Визначена на конференції модель стійкого розвитку соціально-економічних систем базується на узгодженні економічного, і соціального розвитку з природним довкіллям.

У цілому у визначенні змісту «sustainable development» виділяють декілька підходів: в широкому розумінні – стійкий розвиток – це тривалий економічний розвиток, що ґрунтується на існуючих умовах та нормативах; у вузькому – стійкий розвиток означає створення суспільних благ як для теперішнього, так і майбутнього покоління.

Аналіз публікацій про сталий розвиток доводить, що взаємовідносини у трикутнику: «природа – людина- суспільство» мають декілька зрізів, а саме: екологічний, економічний, соціальний, політичний та інші. Систематизувавши наведені у літературі трактування «стійкого розвитку» за вітчизняною та зарубіжною науковою думкою, можна виділити декілька їх груп:

- перша група – до якої входять визначення, в яких сталий розвиток визначається як певна модель розвитку або функціонування системи;
- друга група – в якій сталий розвиток розглядається з точки зору процесу



- поліпшення, зростання, розвитку;
- третя група – представники цієї групи в стійкому розвитку вбачають баланс між основними складовими розвитку.

За матеріалами інших публікацій сталий розвиток слід вважати:

- балансом,
- процесом,
- моделлю, де узгодженні економічні та соціальні процеси, а також процеси навколишнього середовища.

Нам імпонує думка про сталий розвиток авторів О. Ватченко та В. Льченко, що подана ними у статті «Виникнення та аналіз поняття «сталий розвиток»» (2011), у якій вони зазначають, що «це керований процес збалансованого розвитку соціально-економічних і екологічних складових, спрямованих на використання та відтворення природного середовища й досягнення відповідної якості життя людини як у теперешньому, так і у майбутньому часі».

Особливо відчутними стали рішення останніх двох всесвітніх форумів, мається на увазі «Ріо-92» і «Ріо+20» щодо гармонізації взаємовідносин у трикутнику: «природа – людина – суспільство».

У центрі їх уваги є декілька гіпотез, що здатні наблизити нас, у першу чергу наше мислення, світогляд і практичні дії, до раціонального вирішення цієї проблеми. Серед них ідеї біоцентризму, антропоцентризму, людиноцентризму, екобезпечного розвитку, сталого розвитку (Ріо-92)<sup>370</sup>, а після Ріо+20 (2012) додався ще й наратив «Зелена економіка»<sup>371</sup>, що сприймається сьогодні усіма як кредо, як імператив розбудови екології планети. Нагадаємо, що термін «наратив» є засобом організації власного досвіду, життєвих епізодів, дій, вчинків<sup>372</sup>, тобто узагальнення власної практики.

Для популяції людської спільноти сучасним засобом, на який звернули увагу після 2012 року, є зелена економіка, що розглядається, як система видів економічної діяльності, що пов'язана з виробництвом, розподілом і споживанням товарів і послуг, які повинні привести до підвищення добробуту населення, не піддаючи його при цьому екологічним рискам.

Зелена економіка (англ. Green economics, Ecological economics) – напрям в економічній науці, що сформувався в останні два десятиліття, у рамках яких вважається, що економіка є залежним компонентом природного середовища, в межах якого вона існує і є її частиною. Концепція зеленої економіки включає ідеї багатьох інших напрямів в економічній науці і філософії, таких як феміністська економіка, постмодернізм, екологічна економіка, економіка довкілля, антиглобалістика, теорія міжнародних відносин та ін.

Теорія зеленої економіки базується на 3 аксіомах:

- неможливо нескінченно розширювати сферу впливу в обмеженому просторі;
- неможливо вимагати задоволення нескінченно зростаючих потреб в умовах обмеженості ресурсів;
- все на поверхні Землі є взаємозв'язаним.

Прибічники зеленої економіки критикують неокласичну школу за те, що в її рамках природні і соціальні чинники зазвичай розглядаються в якості екстерналій; у кращому вони вважаються фіксованими і не аналізуються в динаміці.

Зелені економісти вважають економічне зростання непорозумінням, оскільки він суперечить першій аксіомі. «Ростизм» (Growthism), вважають прибічники зеленої економіки, порушує діяльність екосистеми.

## **5. Адаптаційні можливості соціальної системи у вимірі системного аналізу**

Адаптація організму, як свідчить аналіз, здійснюється на основі гомеостазу. Динамічна сутність авторегуляції проявляється у ритмічному коливанні параметрів гомеостазу будь-якої різновидності. Ці коливання відображають ритм зміни напрямків процесів адаптації у залежності від формування позитивних і негативних зворотних зв'язків. Розмах відхилень параметрів гомеостазу залежить від дії факторів середовища і

від їх адаптивних властивостей організму, набутих у ході філогенезу і онтогенезу.

Адаптивні властивості забезпечуються резервом адаптації у вигляді величини пластичного, енергетичного і авторегуляторного потенціалу організму. Величина останнього забезпечується швидкістю і досконалістю авторегуляторних процесів, тобто реакцією. На фоні значного резерву адаптації коливання показників гомеостазу можуть бути практично непомітними, і навпаки, гомеостаз порушується при малих резервах адаптації.

Таким чином, гомеостаз забезпечується резервом адаптації і відображає його величину. Це дозволяє вважати, що гомеостаз представляє собою основу для адаптації організму при дії на нього факторів середовища існування.

Основою адаптивних властивостей є реактивність як здатність організму до відповідної реакції на дії, розпрямлення його факторами середовища. Внаслідок реалізації адаптивних властивостей організму розвивається його резистентність до плинних умов оточуючої дійсності за рахунок збільшення резерву адаптації.

Резерв адаптації є основою резистентності, тобто гомеостазу. Приведені висновки стосуються, перш за все, вітального рівня взаємовідносин організму і середовища. Відповідно, правомірним є поняття «вітальний резерв адаптації». Аналогічний підхід виводить на поняття «соціальний резерв адаптації», «інформаційний резерв адаптації». Соціальний резерв адаптації зумовлений числом витребуваних професій, якістю індивідуального професіоналізму суб'єктів і глибиною і масштабом їх об'єднуючої цілі, ідеї. Інформаційно-духовний резерв адаптації визначають глибина і масштаби самопізнання, пізнання законів Всесвіту, його складових, у тому числі взаємовідносин між суб'єктом і середовищем існування, а також між суб'єктами. Якісні особливості виявлення адаптації залежать і від стану резерву адаптації, і від якості, кількості діючих факторів середовища.

Фізіологічні умови реалізації адаптації представляють собою подразники, адекватні резерву адаптації, тобто як такі, що відповідають його можливостям, традиційні. Внаслідок філогенетичного розвитку адаптації, її індивідуальної надбудови в онтогенезі до більш чи менш постійно діючих факторів середовища, оптимізуються у максимальній мірі взаємовідносини організму і середовища. Ця оптимізація проявляється у вигляді достатньої, зокрема, фізіологічної адаптації.

Достатність адаптації визначається наступними ознаками: максимальна ефективність організму у досягненні кінцевого корисного адаптаційного матеріалу; відповідь повинна бути з мінімальними енергетичними витратами; по закінченні дії факторів середовища, що викликають відхилення гомеостазу, повинне бути повне, досконале відновлення взаємовідносин організму з оточуючим середовищем. Фактори вітальної складової середовища, як відповідь на реакції індивіда, які не перевищують рівень достатньої його адаптації, можуть бути названі фізіологічними умовами вітального гомеостазу.

Фактори соціальної складової середовища, що не перевершують потенціал достатньої адаптації суб'єкта, являються умовами підтримки соціальної стабільності організму, тобто гомеостазу. Фактори, що відносяться до інформаційно-духовного середовища, викликані реакцією окремої особистості, і не перевершуючою межі достатності їх адаптації, являються умовою забезпечення психостабільності, чи духовного гомеостазу.

Умови середовища у цілому чи окремі його фактори, що діють на організм, по своїй величині, масштабам, тривалості, інтенсивності, абсолютно перевищуючі можливі резерви адаптації, являються несумісними з життям, тобто екстремальними.

Екстремальні умови для соціуму виникають при розвитку конфлікту між потребою суб'єктів у забезпеченні соціального, а у висновку вітального гомеостазу і способами забезпечення цієї потреби відповідальною соціальною організацією. Надлишок не витребуваних професій, рівно як і нестача адаптаційних факторів є причиною виснаження резерву адаптації існуючих на даний момент соціальних організацій, що сприяє їх

руйнації і заміною іншими.

Резерв адаптації соціуму складають: відповідність цілі структурної організації соціуму потребам підтримки соціального гомеостазу, з одного боку, а з іншого – індивідуальний резерв адаптації суб'єкта вітальної властивості. Екстремальними умовами у сфері духовної складової є надмір чи нестача інформації. Нестача інформації по якості і кількості, що перевершує інформаційні резерви адаптації, є причиною розладнання мислення, тобто психічних розладів.

Нестача інформації, особливо у нагальні періоди онтогенетичного розвитку, викликає пониження резерву адаптації за рахунок не скритого часу філогенетично зумовленого потенціалу у сприйнятті і переробці відповідного виду сигналів. Екстремальні умови інформаційно-духовної сфери являються згубними для особистості. Діюча інформація, переважаючи резерв адаптації у вигляді відповідного осмислення, приводить до руйнації особистості, до психічного розладу.

Недостача інформації, а отже, недостача резерву адаптації у вигляді знань, умінь, навичок приводить до відсутності повного чи неповного розвитку особистості. Умови, згідно своїм якісним і кількісним показникам своєї дії, перевершують межу достатньої адаптації, але не викликають загибелі організму, особистості, соціуму, уявляються як субекстремальні. У міру збільшення субекстремальності впливів на організм, суб'єкт, особистість, значущість цих впливів кардинально змінюється від позитивної до негативної.

Подразники, які перевершують межу достатньої адаптації, по мірі зростання спочатку сприяють збільшенню резерву адаптації, а потім його зменшенню при тривалому зростанні субекстремальних умов. У першому випадку ці умови мають розвиваючий напрямок. Вони стимулюють збільшення всіх трьох різновидів резерву адаптації до потенційно можливого максимуму.

У другому випадку резерви адаптації є недостатніми, невідповідними зростаючій величині субекстремальних умов. Останні здійснюють руйнівний вплив на організм, особистість, суб'єкт, майже до згубного, тобто кількісні зміни субекстремальності переходять у якісно нові – в екстремальні. Отже, адаптація може бути достатньою або недостатньою: недостатність адаптації є абсолютною при дії на організм, суб'єкт, особистість екстремальних факторів.

При субекстремальних умовах адаптація також буде недостатньою, але відносно недостатньою. Відносно недостатня адаптація проявляється у великому чи малому вичерпанні резерву адаптації, і, перш за все, в розузгодженні, неспроможності авторегуляторних процесів, знижується, змінюється, майже до спотворення пристосовницького характеру відповіді. Діють нові, шкідливі, згубні для існування організму, суб'єкта, особистості умови. Відносна недостатність адаптації є дещо інше, як виявлення розузгодження адаптації, чи дезадаптація<sup>304</sup>.

Дізадаптація і дезадаптація являють собою різні поняття. Дезадаптація характеризується пониженням адаптивності за рахунок зменшення резерву адаптації внаслідок зменшення активності організму. Дії факторів, що сприяють збільшенню працездатності останнього, забезпечують відновлення втраченого рівня адаптації. Це відновлення отримало назву реадaptaції. Межі достатності адаптації, зумовлені її резервом, різноманітні у залежності від складності організму і властивих йому механізмів авторегуляції, що сприяють появі гомеостату.

Як відмічає В. Бех, «Механізмом підтримання динамічної сталості функціонування управлінської системи соціального організму в заданих межах формується особлива управлінська структура в органі управління, що отримала в науковій літературі назву гомеостат. Гомеостат – це базисне функціональне поняття механізму опрацювання інформації. Він реалізується на різноманітних матеріальних носіях інформації».

Наявність у соціального організму такої властивості, як саморегуляція дає можливість системі існувати завдяки змінам під дією впливів, які спостерігаються у системі, в її структурі, функціях, у відносинах підсистем, у всіх компонентах соціальної

системи. *Адаптація* – (від лат. *adaptation* – пристосування) – сукупність морфологічних, поведінкових, популяційних та інших особливостей виду, які забезпечують можливість специфічного способу життя в певних умовах; сукупність способів адаптації надає життєдіяльності організму рис доцільності. Адаптацією називається також сам процес формування пристосувань організмів до умов пристосування; виникає і розвивається під впливом основних чинників органічної еволюції – мінливості, спадковості, природного чи штучного добору; вид взаємодії особистості чи соціальної групи із соціальним середовищем, в процесі якого узгоджуються вимоги і очікування його учасників.

Найважливіший компонент адаптації – узгодження самооцінок, тяжіння і очікування суб'єкта з його можливостями і з реальністю соціального середовища. Поняття «адаптації» виникло в біології для визначення пристосування організмів до умов існування і звички до нього. Психологічна адаптація визначається активністю особи і (чи) групи і виступає як єдність акомодатії (засвоєння правил середовища, «уподібнення» до неї) і асиміляції («уподібнення» собі, модернізація середовища), звідси – адаптація і одночасно, адаптуюча активність особистості чи групи.

Зі сторони соціального середовища адаптація визначається цілями діяльності, соціальними нормами – способами їх досягнення і санкціями за відхилення від цих норм; зі сторони особистості чи групи адаптація залежить перш за все від сприйняття і оцінки цих цілей, норм і санкцій. Це визначається її самосвідомістю, що виявляється в образі «Я» особистості чи в почутті «ми» групи. Розрізняють наступні варіанти адаптаційної взаємодії, що залежить від ступеня активності і напряму діяльності особистості і групи. Підкорення середовищу, при якому власні цілі особистості чи групи і способи їх досягнення загально визнані, традиційні, повністю відповідають соціальним нормам.

## **6. Глобалізм і антиглобалізм у аспекті системного аналізу**

Ідеологічною підставою глобалізму, служить схема Валлерстайна, згідно якої світ складається з розвиненого ядра – Заходу, буферної напівпериферії західних сателітів і периферії – третього світу. Це соціальна структура майбутнього людства. При цьому по задумах Римського клубу, планується скорочення населення земної кулі із-за нестачі природних ресурсів.

За твердженням ряду вчених і публіцистів (В. Межуев, А. Клименко, Е. Сапир, А. Сентябрев та ін.) глобалізм включає транснаціоналізацію господарської діяльності, формування єдиного економічного і комунікаційного простору і посилення ролі позадержавних і наддержавних регуляторів світової економіки і міжнародних відносин.

Економісти виділяють декілька позитивних сторін глобалізму:

- стимулювання зростання виробництва внаслідок конкуренції, розширення ринку, поглиблення спеціалізації і міжнародного розподілу праці;
- підвищення продуктивності праці в результаті раціоналізації виробництва, поширення передових технологій і конкурентного тиску;
- економія ресурсів за рахунок скорочення витрат виробництва і зниження цін;
- можливість уникнення між державами великих військових конфліктів.

Інша частина світової спільноти в тому або іншому ступені випробовують на собі його негативні наслідки. Передусім це стосується потенційних протиріч, що таять в собі антагоністичний характер в соціально-економічній сфері. Можна привести, зокрема, такі дані: формування єдиного економічного і комунікаційного простору охоплює лише 20% населення земної кулі, яке споживає 86% сукупного світового продукту. Убогість і соціальна деградація породжують обурення і протест серед населення, аж до великомасштабного тероризму і виникнення озброєних конфліктів.

*Другим за значимістю протиріччям*, що породжується глобалізмом, є цивілізаційне: поширенню технологічних досягнень і людських цінностей Заходу на решту світу протистоїть Схід з його своєрідними світоглядними, філософськими, духовними і релігійними цінностями. Це протиріччя разом з несправедливим розподілом благ від глобалізму породжує небезпеку конфлікту між багатими і бідними регіонами,

передусім в створі так званої «мусульманської дуги нестабільності».

**Третє протиріччя** – наявність невирішених питань у взаємовідносинах між багатими країнами-лідерами і бідними країнами, що розвиваються. Це передусім торкається сировинних ресурсів, масової імміграції, витоку мізків і кваліфікованих кадрів.

**Четверте протиріччя** глобалізму полягає в протистоянні транснаціональних процесів абсолютному характеру державного суверенітету. Це пояснюється тим, що розвиток процесу глобалізму вимагає не лише співпраці між державами, але і певного обмеження їх суверенітету. Це протиріччя деякі фахівці (В. Міхеєв, І. Іванов) розглядають ледве чи як «основне протиріччя сучасної епохи». Звідси з'явилися концепції «обмеженого суверенітету» і «гуманітарної інтервенції». До чого це привело насправді наочно видно з факту агресії країн НАТО проти Югославії і катастрофа 400-тисячного сербського населення в Косово. До цього треба додати трагічні події кінця 2011 – 2012 рр. на Півночі Африки коли зруйнувалися держави і пролилися річки людської крові.

Вказані протиріччя глобалізму представляють серйозну загрозу стабілізації обстановки у світі. Вони, з одного боку, ведуть до загострення міждержавних відносин, а з іншої – до виникнення антиглобалізму, що проявляється в таких найбільш поширених формах як протестні виступи і тероризм.

За іронією долі громадські рухи (рух «зелених» у європейському просторі і в Україні, його ініціативи й значення; діяльність «Партії Зелених України»; діяльність «Екологічної ліги України» та її молодіжного складника; екологічна асоціація «Зелений світ», «Грінпіс – Україна» тощо) є більш активні і конструктивні, оскільки вони особливе значення надають обґрунтуванню сучасних інтерактивних моделей екологічної освіти, просвітництва і виховання особистості, визначення ролі громадянських ініціатив у впровадженні екологічної парадигми в реальну практику життєдіяльності і виховання особистості.

Альтернативою екологічній ідеології, мисленню, свідомості, культурі, і діяльності є антиглобалізм як суспільний рух кінця ХХ – початку ХХІ ст. Варто підкреслити, що антиглобалістське об'єднання за принципом протистояння спільному супротивникові досить хитке в довгостроковій перспективі. **У антиглобалізмі поки що немає двох найважливіших складових, котрі могли б зробити його самостійною світовою політичною силою – спільної ідеології і єдиного керівного органу.** Створення того й іншого, очевидно, є важливим завданням всіх антиглобалістських організацій, якщо вони мають намір серйозно протистояти неоліберальній глобалізації. «Сьогодні стало очевидним, що вже на даному етапі рух антиглобалістів активно намагаються «осідлати»: хтось з корисливих міркувань дрібного політиканського кар'єризму, хтось – задля тіснішої координації спільних дій, хтось з метою розвалу руху, що народжується, або для надання йому відверто маргінального вигляду».

Аналіз сучасного стану антиглобалістського руху дозволяє запропонувати низку моделей, сценаріїв його розвитку:

- рух антиглобалізму на основі повного розгортання наступального потенціалу стає віссю сил, що систематично протистоять ідеології і практиці глобалізації; перетворення антиглобалізму на підсистему, чинник заборони, противагу міжнародного політичного суспільства, що веде в глобальному суспільстві боротьбу за максимальну широту, демократичність і ефективність контролю над глобалізаційними процесами;
- включення антиглобалістського руху (або деяких його секторів) в інститути глобальної політичної влади і встановлення нових домінант розвитку світу.

На думку М. Шепелева, альтернативний глобалізм має потребу в політичній волі, здатній стати пружиною всесвітньої опозиції глобальному неототалітаризму, об'єднаною на основі загальної ідеологічної платформи. Успіх альтерглобалізму можливий лише за умов об'єднання громадського руху за глобальну демократію з державами, що стали жертвами неоліберальної глобалізації та позбавлені можливості в нинішніх умовах

подолати відсталість. Для цього необхідно забезпечити скоординоване проведення політики самозахисту від гегемонізму, створити умови для відкритого діалогу культур, створити інтернаціональні союзи, засновані на новому типі міжнародного співробітництва країн з різним рівнем розвитку, розвивати співробітництво держав периферії та антигегемоністських сил у постіндустріальному світі. Однак головним чинником успіху альтерглобалізму є наявність держав з великим культурним, індустріальним і силовим потенціалом, здатних взяти на себе роль лідера альтерглобалізму і сприяти своєю глобальною активністю відновленню зруйнованої рівноваги у світі.

#### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Дати визначення поняттю «соціальна інформація».
2. Вказати особливості соціального організму.
3. Кого вважають одним із засновників теорії соціальної взаємодії?
4. Визначити рівні соціального організму.
5. Охарактеризувати соціальний гомеостаз у призмі системного підходу.
6. Зробити історичний нарис соціального організму у контексті розвитку планетарної спільноти.
7. Вказати адаптаційні можливості соціальної системи у вимірі системного аналізу.
8. Дати визначення поняттям: «глобалізм», «антиглобалізм».

#### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 10: СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЯК ОБ'ЄКТ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### План

1. Еволюція ідей сталого розвитку суспільства.
2. Сутність, зміст і умови сталого розвитку суспільства.
3. Сучасні теорії, концепції та моделі сталого розвитку суспільства.

### 1. Еволюція ідей сталого розвитку суспільства

Проблема сталого розвитку – найбільш актуальна у сучасному світі, нею опікуються світові лідери, їй присвячені сотні урядових і міжурядових програм, вона багато років стоїть у порядку денному найвпливовіших міжнародних організацій.

Під кінець минулого та на початку нинішнього століття Організація Об'єднаних Націй розгорнула наполегливу діяльність з цієї проблематики. Були проведені такі важливі заходи, як всесвітні конференції, спеціальні сесії Генеральної Асамблеї ООН, зустрічі на найвищому рівні представників практично усіх країн світу. Проблема сталого розвитку перетворилася на важливу складову внутрішньої та зовнішньої політики багатьох держав на усіх континентах.

Про її не лише політичну а й наукову актуальність свідчить та увага, яка приділяється сталому розвитку у науковому середовищі. Ведуться масштабні наукові дослідження, написані та перекладені різними мовами тисячі наукових звітів, фундаментальних монографій і навчальних посібників, проблемних статей і популярних брошур. Сучасні методи обробки інформації з використанням комп'ютерної техніки і новітнього програмного забезпечення дають можливість значно розширити моніторинг природних та суспільних процесів, зробити його більш повним, оперативним, а головне – комплексним, і на цій основі моделювати сучасний і подальший розвиток біосфери, людини, людства.

Слід зазначити важливу особливість проблеми сталого розвитку. Її гострота не спадає з часом, а навпаки – зростає. І це за умов тієї великої уваги, що приділяється їй в усьому світі урядами, громадськими організаціями, вченими, пересічними людьми. Це свідчить, що заходи, які вживаються світовою спільнотою для її розв'язання, не є достатньо ефективними, а ресурси, що виділяються для цього, – недостатні. Схоже, що зусилля світової співдружності у напрямі реалізації сталого розвитку неадекватні загрозам, що продукуються подальшим поступом людської цивілізації. Потрібна зміна самої парадигми розвитку, що сформувалася вже в далекому минулому і не відповідає сучасним реаліям, до яких перш за все відноситься глибина та швидкість зміни умов життєдіяльності людини. Інноваційний світ потребує інноваційних підходів до визначення фундаментальних засад його сучасного розвитку.

Щоб зрозуміти суть проблеми, треба ретроспективно оглянути, коли і як, з яких причин вона виникла. Передвісником сучасних підходів та ідей сталого розвитку слід вважати нашого співвітчизника академіка В. Вернадського, який майже століття тому створив вчення про ноосферу, єдність людини і природи, їхній тісний взаємозв'язок і взаємний вплив. В. Вернадський з його геніальною прозорливістю значною мірою випередив свій час. Людство підійшло до розуміння його ідей значно пізніше, у другій половині ХХ ст., коли реальна дійсність, практика виробництва, розподілу і споживання виявили небезпеку і згубність подальшого слідування засадам індустріальної моделі економічного, та й не лише економічного, а усього суспільного розвитку.

Для цієї моделі було характерним насильницьке, завойовницьке ставлення до природи, ілюзія невичерпності дешевих природних ресурсів, ставка на масштабність, а не на ефективність виробництва.

Потреби людей розвивалися, зростали кількісно і якісно, споживання збільшувалося за рахунок екстенсивного розвитку, без врахування необхідності підтримки стабільного існування екосистем та обмеженості ресурсів (перш за все сировини та енергоносіїв) у глобальному масштабі.

Треба також взяти до уваги, що такий розвиток був пов'язаний з політикою індустріально-розвинених країн, які забезпечували добробут і високі життєві стандарти переважної більшості населення значною мірою за рахунок країн, що позбавлялися колоніальної залежності і лише визначали шляхи незалежного політичного та економічного розвитку. Багато з них, (особливо в Африці, і тепер, через півстоліття, як почали розвалюватися колоніальні імперії, так і не змогли побудувати самодостатню національну економіку. Розрив у рівні життя, економічного та науково-технічного розвитку між так званим «золотим мільярдом» (населення найбільш розвинених країн) та колишньою колоніальною «периферією» зростає.

Проблема також полягає у тому, що неможливо підняти рівень споживання бідних країн до рівня споживання заможних і розвинених країн, повторюючи шлях останніх, – не вистачить ресурсів Землі. Потрібні нові, нестандартні підходи на основі сучасних технологій, інформаційної революції, ключі від якої знаходяться у технологічно розвинених країнах. Чи готові вони поділитися результатами технологічних перетворень з бідними, недостатньо розвиненими країнами? Однозначної відповіді на це запитання, на жаль, немає.

Ще один негативний чинник, що вплинув на світовий розвиток у ХХІ ст., – розколотість світу на ворожі блоки: радянський і західний. Усі без винятку країни світу знаходилися у полі протистояння, силові лінії якого виходили з двох полюсів, якими були дві наймогутніші держави – США та СРСР. Блокове протистояння з його незмінними атрибутами – гонкою озброєнь, глобальним військово-політичним та ідеологічним суперництвом деформувало світовий розвиток. Надзвичайно великі кошти йшли на розробку усе нових і нових систем зброї масового знищення людей. За межі здорового глузду вийшли кількісні показники накопиченої зброї, особливо ракетно-ядерної.

Говорять, що тисячі й тисячі одиниць ядерних набоїв гарантували «рівновагу страху», тобто розуміння неможливості застосування ядерної зброї через загрозу втрати не лише надбань цивілізації, а й самого життя на землі. Але ж ядерні, хімічні, «звичайні» набої, що залишилися не використаними, створюють сьогодні не меншу загрозу усьому живому, а ресурси, необхідні для їх обслуговування та утилізації, набагато перевищують ті, що були витрачені на виготовлення зброї.

За умов екстенсивного розвитку та блокового протистояння, коли вирішувалося питання «хто – кого?», яка суспільно-політична система більш життєздатна, мало звертали уваги на те, що відбувається з довкіллям. А там накопичувалася велика кількість складних і невідкладних проблем. Особливе значення мають ті, що пов'язані з питною водою і повітрям, станом атмосфери. Але не тільки це.

Під кінець ХХ ст. людство опинилося у надзвичайно важкій ситуації: стало очевидним, що парадигма суспільного розвитку, яка була панівною протягом останніх століть, в основі якої було споживацьке, безвідповідальне ставлення до природи і ресурсів, як чогось даного назавжди і невичерпного, – ця парадигма себе вичерпала. Подальший розвиток цим шляхом без внесення радикальних змін веде у глухий кут, у безвихідь. Стало зрозумілим, що життєдіяльність людини, людства входить у протиріччя із фундаментальними засадами існування біосфери як цілості і породжує нові й нові глобальні проблеми, що ставлять під сумнів подальше існування людини, її виживання як виду.

Деякі дослідники навіть ввели тоді новий термін – «криза цивілізації» – для характеристики ситуації, що склалася. Цим поняттям вони визначали, що люди у своїй діяльності по забезпеченню усе нових і нових потреб порушують природні пропорції, вносять небезпечні, навіть незворотні зміни у природний порядок існування людської спільноти, тваринного та рослинного світу, створюючи нові глобальні загрози, а адекватні механізми для зняття цих загроз не встигають створювати. Нерозв'язання, накопичення глобальних проблем, їх переплетіння ставлять під загрозу втрати життя на Землі.

На рубежі 80 – 90-х років минулого століття блокова (двополюсна) структура міжнародних відносин була демонтована. Розпався військово-політичний союз Організації Варшавського Договору, розпався Радянський Союз. Це були основні противники



західних країн, і саме протидія військовим загрозам з їхнього боку була основною причиною існування і головним завданням Організації Північно-Атлантичного Договору – військово-політичного союзу західних країн. Здавалося, культ сили мав поступитися культурі партнерства і співпраці, що відкрило б нові можливості створення ефективних механізмів подолання глобальних проблем. Але так не сталося.

Однополюсний світ не став більш безпечним, демократичним і легітимним. Змінився формат розподілу сил у Європі і світі, дещо розширилося поле демократії, але, як і раніше, сила а не справедливість домінує у міжнародних відносинах. Більше того, відкрито порушуються норми міжнародного права, зафіксовані у Статуті Організації Об'єднаних Націй, такі як суверенність, недоторканість і територіальна цілісність держав, відмова від застосування сили і загрози силою у міжнародних відносинах.

За таких умов не може бути впевненості у тому, що не розпочнеться нова «холодна війна» з розкручуванням спіралі гонки озброєнь і повторенням на новому рівні усіх негараздів недалекого минулого. Не лише війна здійснює руйнівний вплив на стабільний і збалансований розвиток світової співдружності, країн і регіонів. Сама підготовка до війни обмежує і деформує соціально-економічний розвиток, вона є збитковою для суспільства, окремих країн і усього світу. А наживається на війні лише вузький прошарок виробників зброї.

Треба відзначити особливий вплив на формування ідей сталого розвитку такого чинника як глобалізація, яка стала одним з вирішальних факторів сучасного світового розвитку. Цим терміном позначають об'єктивний процес усе більш тісного зближення, взаємодії, взаємозалежності різних країн і народів світу, перш за все, в економічній сфері, але також у сферах інформації, культури, технологій, управління. Глобалізація пов'язана із наявністю у світовій матеріальній культурі таких нових продуктів масового вжитку, послуг, технологій, які мають глобальний попит. З другого боку, вона стала можливою за умов колосального накопичення капіталів окремими компаніями, фінансовими установами та країнами. Для них тісними стали національні кордони, вони стають головними гравцями на світовому ринку.

За своєю природою глобалізація є дійсно об'єктивним процесом, як взагалі є об'єктивними процеси розвитку продуктивних сил, технологічних перетворень, економічної та політичної інтеграції, створення «нової економіки» (інформаційної економіки, економіки знань) тощо.

Ці процеси мало «рахуються» з тим, хто і як їх розуміє, оцінює, ставиться до них. Ера глобалізації настала тому, що для великих капіталів перешкодою стали кордони між державами, їм потрібен відкритий глобальний ринок, на якому діють інші правила і закони, що нерідко суперечать національним «правилам гри». Відсидітися за національним «парканом» неможливо, як і відмінити нові правила гри на світовому ринку.

Об'єктивний характер процесів глобалізації зовсім не означає відсутність в них «людського фактору».

*По-перше*, безпрецедентне розширення ринків для окремих видів товарів та послуг означає, що значна частина людей в усьому світі споживає якісні і доступні товари і послуги і схвально сприймає такі аспекти глобалізації ринків. Йдеться про дуже широкий спектр споживання: від літаків корпорації «Боїнг», програмної продукції фірми «Майкрософт», Інтернет-технологій, послуг мобільного зв'язку – до розважальних установ, світової мережі ресторанів «МакДональдс» чи безалкогольних напоїв «Кока-Кола» та «Пепсі-Кола».

*По-друге*, глобалізація реально відкриває нові можливості для мільярдів людей в усьому світі. Зростання світової торгівлі, інтернаціоналізація і мобільність виробництва, збільшення іноземних інвестицій, поширення новітніх технологій, розвиток надшвидкого транспорту, Інтернету, засобів масової інформації – усе це сприяє економічному і людському розвитку, зближенню культур, співпраці в освіті, науці, інших сферах життєдіяльності. Світовий простір віртуально звужується, зникають проблеми щодо спілкування людей на будь-яких відстанях. В усьому цьому виявляється чимало позитивних наслідків глобалізації.

*По-третє*, глобалізація є витвором великого капіталу, логіка руху якого виходить, перш за все, з максимізації прибутку корпорацій чи окремих осіб. За умов недостатнього розвитку демократичних інститутів у більшості країн світу глобальний ринок і основні його «гравці» можуть домінувати над соціальною і навіть політичною сферами суспільного життя. Часто у владних установ бракує засобів, аби протистояти економічним гігантам глобалізованого ринку. Це веде до концентрації величезних багатств і влади у невеликих груп людей, корпорацій, держав. Більшість громадян віддаляється від демократичного використання їхніх прав, можливостей, спільних ресурсів.

Таке суспільство не може бути збалансованим, стійким, національна влада не може гарантувати широкому загалу і національному бізнесу нормальні умови сталого розвитку. Глобальний егоїзм країн-лідерів складає одну з найбільших загроз людству – такий висновок зробили автори ґрунтовної монографії, підготовленої Інститутом світової економіки та міжнародних відносин НАН України, присвяченої проблемам глобалізації і безпеки розвитку. Це поглиблює нерівність людей і країн у світі.

На жаль, економічно й технологічно розвинені країни, виходячи, начебто, з національних інтересів (а дуже часто це є інтереси провідних корпорацій), демонструють нерозуміння взаємозалежності країн у сучасному світі, коли «економічне провалля» в якійсь частині світу, злиденність в окремих регіонах можуть поставити під загрозу деградації чи навіть катастрофи усю глобалізовану економіку, особливо якщо взяти до уваги соціально- політичний аспект проблеми.

Термін «сталий розвиток» офіційно був прийнятий на Всесвітній конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку, що проходила у Ріо-де-Жанейро 1992 року. Це стало результатом багаторічної науково-аналітичної та політичної роботи зі з'ясування, узгодження, формулювання та прийняття широким загалом нових концептуальних ідей. Світове співтовариство пройшло шлях від загального критичного осмислення взаємовідносин між людьми і природою до науково обґрунтованих політичних рішень на найвищому рівні міжнародної взаємодії, що стосуються можливих спільних дій у різних секторах суспільного життя і на різних рівнях управління: від найвищих шаблів державної влади до місцевого самоврядування, партнерства між громадськими об'єднаннями, бізнесом та місцевою владою.

Звернемо увагу на те, що перші заходи, як Всесвітня Конференція ООН «Людина і навколишнє середовище» (Стокгольм, 1972 р.), були спрямовані на пошук шляхів і засобів забезпечення екологічно зорієнтованого соціально-економічного розвитку, коли зростання добробуту людей не супроводжується погіршенням довкілля та руйнуванням природних систем. Такий підхід відображало введене тоді поняття «екорозвиток».

Пізніше, створена у 1983 р. Міжнародна комісія з навколишнього середовища і розвитку, яку очолила прем'єр-міністр Норвегії Г. Х. Брутланд, переконливо довела необхідність введення як базового поняття «сталий розвиток». Таким чином, у міжнародно-правових документах почало формуватися ідеологічне підґрунтя, методологія оцінки наслідків глобалізації. Відбувається перехід від двомірної еколого-економічної системи цінностей до трьохмірної соціо-еколого-економічної. Йдеться про збалансоване співіснування суспільства, економіки і природних систем. Соціально-економічний розвиток повинен забезпечувати суспільний прогрес, не руйнуючи при цьому природне середовище.

## **2. Сутність, зміст і умови сталого розвитку суспільства**

Виходячи з матеріалів Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку (1992 р.), сталий розвиток – це такий розвиток суспільства, який задовольняє потреби сучасності, не ставлячи під загрозу здатність наступних поколінь задовольняти свої власні потреби. Словосполучення «сталий розвиток» є перекладом з англійської мови: *sustainable development* (означає дослівно «розвиток, що підтримується» (*sustain* – опора, підтримувати, витримувати).

Якщо сказати дещо спрощено, сталий розвиток суспільства можна характеризувати як такий, за якого людина не робить значної шкоди природним системам, і вони встигають себе відновити. Тобто – це розвиток, який можна розглядати не лише як підтримуваний, а й як такий, що підтримує. Через зазначені вище негативні аспекти людської життєдіяльності природа суттєво потерпає, стає залежною від діяльності людини і вже не може обійтися без її підтримки. Тобто сьогодні не лише людина залежить від природи, а й природа залежить від людини. Цей природоохоронний аспект сталого розвитку є надзвичайно важливим, першорядним, але, як вже наголошувалося, не єдиним.

Сучасне розуміння концепції сталого розвитку бере до уваги не лише економічний чи еколого-економічний, а й суспільний (соціальний) вимір з його політологічними, ідеологічними, моральними, культурологічними складовими. Вже зрозуміло, що доля цивілізації залежить не лише від ставлення людини до природи, хоча, повторимо, воно є надзвичайно важливим. Не менш важливим є спадкоємність поколінь у розумінні життєвих потреб, як матеріальних, так і духовних, у збереженні загальнолюдських, цивілізаційних цінностей, традицій гуманізму. Відповідно, сталий розвиток має забезпечити не лише біологічне виживання людини (людства), а й накопичення, збереження й передачу потенціалу духовного, особистісного розвитку людини суспільної (соціальної).

Такий підхід є, на наш погляд, дуже важливим, ще недостатньо з'ясованим і прийнятим чималим колом дослідників. Часто їхня увага концентрується на окремих аспектах еколого-економічного та соціально-економічного розвитку. Звідси велике розмаїття трактовки поняття сталого розвитку та тих визначень, що вживаються для його характеристики – врівноважений, збалансований, гармонічний, амортизований, контрольований, невичерпний, екологічно збалансований і тому подібне. Всього – більше 60 визначень, сформульованих лише російською мовою. Треба погодитися, що кожне з цих визначень є мотивованим, а їх вживання – обґрунтованим. Але не можна не бачити й того, що будь-яке з них відображає лише частку реальності – надзвичайно складного комплексу проблем із забезпечення у масштабах планети ефективного функціонування біосферно-антропогенної цілісності.

Ця цілісність належить до класу відкритих стаціонарних систем, отже для розв'язання зазначеного комплексу проблем людству належить засвоїти системне мислення, в основі якого – розуміння єдиних закономірностей розвитку систем, з яких побудований навколишній світ.

Є ще два міркування на користь поняття сталого розвитку. Перше полягає у тому, що певна його абстрактність, вербальна незавершеність (недоговореність до кінця) дає можливість охопити цим поняттям вже відомі і ті, що з'ясуються пізніше, аспекти планетарного розвитку. Кожне з наведених вище часткових визначень спрямоване на конкретний предмет і відповідній інструментарій розв'язання проблем як би ззовні: контроль, виміри, нагляд, матеріально-енергетичні баланси тощо. Загальне поняття «сталий розвиток», крім того, концентрує увагу на внутрішніх, особистісних, моральних засадах, відповідальності кожної людини і усієї людської спільноти перед нащадками.

Друге міркування пов'язане з тим, що поняття сталого розвитку розглядає як предмет дослідження не лише окремі об'єкти, явища, їхній зв'язок тощо, а сам процес змін – «розвиток». Це надзвичайно актуально, оскільки, як вже зазначалося, сучасний світовий розвиток стає все більш стрімким, всеохоплюючим і непередбачуваним. Можливості природи не безмежні, антропогенний тиск на неї досяг межі здатності природи до самовідновлення. Усе менше часу залишається для прийняття стратегічних рішень щодо шляхів подальшого розвитку – як зберегти біосферу, біологічну та особистісну природу людини.

За яких умов може бути реалізований сталий розвиток? Відповідь на це питання допоможе зрозуміти, чому так повільно розгортається робота, спрямована на вирішення однієї з найгостріших і складних проблем, з якими зіткнулося людство на рубежі століть. Сталий розвиток є об'єктивною потребою людської цивілізації, оскільки він є, повторимо,

альтернативою її попередньому розвитку, що поставив людину і суспільство перед проблемою виживання, самозбереження.

Об'єктивність сталого розвитку пов'язана з об'єктивним, закономірним характером процесів, що протікають у природі і суспільстві. Природний баланс, природні цикли, природні явища, стабільність функціонування екосистем, обмеженість ресурсів Землі, безмежність Всесвіту і його вплив на земні процеси (у природі, житті людини, суспільства) – усе це речі об'єктивні, які визначають життя людини як біологічного виду і життя людини у суспільстві. Сталий розвиток дає відповідь на об'єктивну потребу привести життя людини та розвиток суспільства у відповідність до природних процесів, аби зберегти глобальний баланс і відвернути катастрофу.

Чи існують для цього відповідні умови? Яку роль при цьому має відіграти суб'єктивний чинник?

Людина є частиною природи і живе під її безпосереднім впливом. Життєдіяльність людини обмежена стабільністю десятків параметрів, які можуть коливатися лише незначною мірою (температура, хімічний склад, радіоактивне випромінювання тощо). Беззастережний свідомий вплив людини на природу (суб'єктивний чинник) може привести до фатального розбалансування природного середовища, і людський організм не встигне пристосуватися до нових мов. Отже, розвиток природи і суспільний розвиток тісно пов'язані. Перехід до сталого розвитку потребує надзвичайних зусиль людства у тому, щоб змінюючи особистісний (людський) чинник загальнопланетарного розвитку, підпорядкувати (підлаштувати) діяльність людей об'єктивним, фундаментальним законам стабільного функціонування екосистем і, таким чином, зберегти умови фізичного існування людини.

Для реалізації сталого розвитку із усього переплетіння об'єктивних і суб'єктивних чинників треба виділити пріоритети, сформулювати стратегію, визначити завдання, знайти методи і засоби їхнього вирішення. Потрібно враховувати надзвичайну складність проблем, які потребують вирішення. ***Йдеться про управління станом стабільної триєдиної системної цілісності «людина – природа – суспільство».*** А це визначається, у свою чергу, рівнем підтримки стабільності кожного з зазначених компонентів: організму людини (кілька мільярдів людей), біосфери (безліч одних лише видів живих організмів), суспільства, перш за все економіки (мільйони економічних суб'єктів). Причому, уся ця система знаходиться у стані постійної динаміки.

Таке масштабне завдання не може бути вирішене зусиллями лише урядів чи спеціалізованих організацій. Потрібна причетність влади і громадянського суспільства, усіх без винятку країн і різних прошарків населення, практично усіх людей, оскільки сталий розвиток має охопити усі рівні управління і життя людей – від глобального, міжнародного до місцевого і особистого життя кожної людини.

Головними передумовами реалізації сталого розвитку можна визначити такі:

- розуміння людьми фундаментальних основ стійкого розвитку відкритих стаціонарних систем;
- з'ясування глибинної суті формування систем у єдності їх матеріальних, інформаційних та синергетичних засад;
- визначення напрямів зміни сутності людини як особистості у сукупності трьох основних її виявів: як людини біологічної, людини соціальної, людини працюючої (трудової); перетворення людини з об'єкту у суб'єкт глобального розвитку;
- створення міжнародної нормативно-правової бази сталого розвитку;
- формування на основі вищезазначеного глобальних, національних регіональних, місцевих стратегій сталого розвитку за умов економічного зростання та забезпечення основних потреб людей;
- суттєве зменшення енергоємності економіки;
- віднайдення ресурсів для необхідних економічних, екологічних, соціальних, політичних та інших трансформацій, особливо для країн, що розвиваються;
- створення та удосконалення міжнародних та національних систем моніторингу

щодо ефективності реалізованих заходів та корегування програм розвитку;

- розгортання масової соціальної мобілізації на користь реалізації програм сталого розвитку;
- забезпечення скоординованого у масштабах усього світу наукового опрацювання проблем та супроводу практичних дій щодо реалізації концепції сталого розвитку, зворотного зв'язку між теоретичним узагальненням і практичною діяльністю зі сталого розвитку.

Варто зупинитися детальніше на деяких із зазначених тез, тоді як інші будуть розглянуті у наступних розділах навчального посібника.

Стійкий розвиток суспільства, як вже зазначалося, можливий лише за умов підтримки стабільного, стійкого розвитку екосистем, збалансованого з розвитком людини і суспільства. Екосистема функціонує за тими ж законами, що і будь-яка відкрита стаціонарна система. Слово «система» (у перекладі з грецької – *systema*) – ціле, те, що складається зі складових частин. Це сукупність елементів, що знаходяться у відносинах та зв'язках один з одним і утворюють певну цілісність, єдність.

Для системи як певним чином впорядкованої матеріально- інформаційної сукупності притаманні саморозвиток і саморегуляція. Вона існує і управляється як відносно стійка єдність за рахунок взаємодії, розподілу й перерозподілу наявних, тих, що надходять ззовні та продукуються самою цією сукупністю речовин, енергії, інформації, і забезпечує перевагу внутрішніх зв'язків (у тому числі, переміщення речовини, енергії та передачу інформації) над зовнішніми.

Поняття «система» нерозривно пов'язане з поняттям «розвиток», коли говорять про розвиток, мають на увазі розвиток системи. Для системи як цілісності притаманні такі якості, які відсутні у підсистем і блоків, з яких вона складається. Оцю наявність у системи якісно нового по відношенню до складових частин називають емерджентність.

Система характеризується її станом, який визначається сукупністю значень характерних для даної системи величин, які називають параметрами стану. Наприклад, стан живого організму характеризується, передусім, параметрами обмінних процесів, завдяки яким організм здійснює обмін речовиною, енергією та інформацією із зовнішнім середовищем. У свою чергу обмінні процеси пов'язані з внутрішніми параметрами самого організму – температурою, кров'яним тиском, швидкістю процесів тощо.

Стан екосистеми характеризується її структурою, кількісним складом кожної екологічної ніші, трофічними зв'язками (що регулюють обмін речовин, харчування, живлення), енергобалансом і т. п.

Розвиток системи безпосередньо пов'язаний з її зміною. Через зміну системи змінюється її стан (змінюються параметри системи, що визначають її стан). Але не всякі зміни ведуть до розвитку системи, а лише ті, що мають необоротний, спрямований і закономірний характер, і лише тоді, коли вони наявні усі водночас. Та навіть наявність зазначених якостей не завжди є достатньою, щоб якийсь процес кваліфікувати як розвиток. Певною мірою це залежить ще й від суб'єктивного сприйняття цього процесу.

Розвиток не завжди може мати позитивний, прогресивний характер, він може бути і зі знаком «мінус», іти регресивним шляхом, тобто вести до краху системи. Але навіть за таких умов деструктивний процес не має ознак хаотичності. Упорядкованість розглядається як риса, притаманна будь-якому розвитку.

Разом з тим, розвиток не виключає і певної долі випадковості та невизначеності, бо зміни, на яких заснований розвиток, мають інноваційний, початковий, первісний характер. Вони відбуваються у середовищі, що змінюється, стан якого невідомий зарання, і він залежить від взаємодії значної кількості факторів, включно і випадкових.

### **3. Сучасні теорії, концепції та моделі сталого розвитку суспільства**

В епоху індустріального розвитку та прискореного формування світового ринку економічна могутність країн світу визначалася розвитком військово-промислового комплексу, виробництвом сталі та видобутком енергоносіїв. «Демографічний вибух» та

зростаючі потреби світового ринку у продовольчій продукції спричинили розширення площ оброблюваних земель. Економічне зростання відбувалось визначальною мірою за рахунок природно-ресурсного фактора. Ще у першій половині XIX ст. Д. Мілль звернув увагу на суперечності між економічним зростанням та обмеженістю ресурсів і висунув ідею підтримки у майбутньому «стаціонарного стану» економіки.

Епоха нафти, природного газу та електроенергії спричинила мілітаризацію світової економіки та галузеву диверсифікацію. Ці процеси відбувались як під впливом природно-ресурсних, так і науково-технічних факторів. Розвиток галузей промисловості, заснованих на використанні органічного синтезу, зменшує відносні потреби у використанні первинних ресурсів, проте, збільшує негативний екологічний вплив на довкілля через його хімічне забруднення. Розвиток радіо- і електротехніки, електроніки, виробництво нових конструкційних матеріалів збільшують попит на кольорові метали.

У міжнародному територіальному поділі праці одні країни (економічно розвинуті) спеціалізуються на виробництві готової продукції, а інші (країни, що розвиваються) – на видобутку і постачанні сировини та продовольчої продукції. Зростає економічна і соціальна нерівність кран світу, виснажуються природні ресурси і загострюються екологічні проблеми у найбільш розвинених країнах. Протягом другої половини XX ст. світова економіка зростала в середньому на 2,3% в рік, а розрив між багатими і бідними країнами зріс у 10 разів. На початку XXI ст. 1,2 млрд. жителів планети проживають за умов крайньої бідності, 2,5 млрд. чол. – у неналежних санітарно-гігієнічних умовах.

Основними цілями економічного розвитку є кількісне зростання населення і багатства, поява якісно нових капітальних благ і цінностей, явищ і процесів, глибока модернізація та перебудова усієї економічної і соціальної систем. Поряд із зростанням виробництва і доходів економічний розвиток передбачає докорінні зміни у соціальній та інституціональній сферах: зростання соціальної активності громадян та залучення їх до вирішення соціально- економічних проблем на локальному (місцевому) рівні, перерозподіл функцій управління між державою, місцевим самоврядуванням та громадянами тощо.

У класичному розумінні під економічним розвитком і розуміють перехід від одного стану економіки до іншого, коли у новому періоді не лише збільшується виробництво тих самих товарів і послуг, що вже вироблялися раніше, а має місце і виробництво нових товарів та послуг з використанням нових технологій порівняно з минулим періодом. При цьому створюються імпульси і підтримуються сталі річні темпи приросту валового національного продукту.

Економічне зростання як органічна складова економічного розвитку – це збільшення обсягів реального ВВП країни в одному періоді порівняно з іншим. Воно є свідченням зростаючих можливостей країни у реалізації своїх виробничих потенцій.

Щоб економічний розвиток мав сталу тенденцію і визначені перспективи, він повинен бути збалансованим, врівноваженим у системі «економіка – природа – соціум» та самопідтримуваним. Збалансованість і рівновага повинні підтримуватись постійними змінами, які породжуються самою економікою.

За сучасних умов економічний розвиток набув глобального характеру, виходячи за межі окремих країн і регіонів, що потребує внесення коректив у функціонування світової соціально-економічної системи.

Глобальна економічна рівновага, суть якої сформулював член Римського клубу Е. Пестель, означає такий стан, за якого чисельність населення та обсяг капіталу залишаються незмінними, а між чинниками, що впливають на їх збільшення або зменшення, підтримується стійкий баланс. **Для досягнення глобальної рівноваги необхідно, щоб:**

- обсяг капіталу і чисельність населення залишались постійними, темпи народжуваності і смертності та попит на капітальні вкладення (інвестиції) і амортизація були однакові;
- початкові значення народжуваності, смертності, інвестицій та амортизації – мінімальні;

- рівні, на яких стабілізується капітал і чисельність населення, та співвідношення між ними встановлювались відповідно до суспільних потреб.

Сформульовані Е. Пестелем передумови глобальної рівноваги стосуються національного господарства, в якому держава відповідними економічними та іншими засобами впливає на динаміку і структуру економічного розвитку. У цьому контексті значення національних стратегій сталого розвитку важко і переоцінити. Взаємодія національних господарських комплексів, з одного боку, та імпульси світового ринку – з іншого, є запорукою формування глобальної економічної рівноваги та біосферосумісності.

Показниками, які характеризують сталість розвитку і біосферосумісність, можуть бути:

- частка ресурсомістких і екологічно безпечних галузей у структурі промисловості;
- частка наукомісткої та екологічно сертифікованої продукції у загальному обсязі виробництва;
- інноваційна активність;
- ступінь рециркуляції і замкнутості виробничих процесів;
- надходження платежів за природокористування та їх структура: за використання природних ресурсів (рента) та за забруднення компонентів природного середовища (збитки);
- розвиток соціальної інфраструктури;
- рівень добробуту населення;
- довголіття тощо.

Таким чином, світова практика доводить, що запорукою сталості, збалансованості, біосферосумісності є саме економічний розвиток і зростання, які забезпечують прогрес та добробут суспільства на якісно новій ресурсній і технологічній базі та ефективному управлінні.

Економічний і соціальний розвиток доіндустріальних та індустріального суспільств відбувався виключно за рахунок природно-ресурсного фактору. Зростаючий дисбаланс у суспільно-природній взаємодії зумовив радикальну зміну поглядів на проблеми співвідношення економічного зростання і розвитку та раціонального природокористування, охорони, збереження і відтворення навколишнього середовища.

Сучасні процеси економічного розвитку і економічна рівновага дедалі більшою мірою детермінуються природно-ресурсними і екологічними обмеженнями.

Підкреслюючи роль еколого-економічного фактора, А. Пігу виділив такі економічні функції навколишнього природного середовища:

- суспільне споживання;
- розміщення відходів;
- територіальна база для господарської діяльності економічних суб'єктів;
- запас сировини.

Кожна з цих функцій, враховуючи обмеженість (вичерпність, граничність) факторів виробництва, зменшує потенціал економічного зростання внаслідок кількісного і якісного виснаження.

Нівелювати цей вид обмежень економічного розвитку імовірно шляхом впровадження ресурсозберігаючих технологій і безвідходного виробництва, заміни натуральної природної сировини штучною, виробництва екологічно чистої продукції, розвитку природоохоронної інфраструктури і підвищення ефективності її функціонування.

Поряд з класичними факторами економічного зростання, якими є праця, земля та капітал, сучасні теорії економічного розвитку виділяють нові (нетрадиційні), а саме:

- внутрішні і зовнішні заощадження;
- інвестиції;
- науково-технічні досягнення;

– сукупний попит тощо.

Уміле комбінування даних факторів і приведення їх у дію є важливою функцією управління, серцевиною активної, зваженої, обґрунтованої економічної політики. Її ефективність залежить від комплексу Інституціональних та ментальних чинників.

Провідна роль у забезпеченні сталого розвитку належить таким факторам економічного зростання як інвестиції, кількість і якість праці, новітні технології.

Прагнути до стимулювання процесу залучення іноземних інвестицій в економіку України, не дбаючи про підвищення інвестиційної привабливості як окремих галузей, так і території в цілому, означає справжню утопію. Крім того, у світовій практиці визначаються пріоритети інвестування, здатні забезпечувати синергійний ефект. Вітчизняні ж владні інституції та підприємницькі кола розраховують перекласти на плечі іноземних інвесторів занедбані добувні і базові галузі промисловості (вугільну, металургійну, паливно-енергетичну) та низькопродуктивний, екстенсивного типу агропромисловий комплекс.

Нестабільне законодавство, високий ступінь ризиків, у тому числі екологічних, відсутність гарантій для іноземних інвесторів, низький рівень відповідальності вітчизняних контрагентів створюють серйозні перешкоди на шляху іноземного інвестування.

Більш обнадійливі перспективи має активізація такого фактора економічного зростання як кількість і якість праці. Високий освітньо-кваліфікаційний рівень працездатного населення України у поєднанні з традиціями працелюбності, творчими здібностями нашого народу та значним кількісним резервом безробітних (4,6%), складають так званий людський капітал, який є могутнім фактором розвитку. Як свідчать дослідження, людські ресурси забезпечують 70-80% добробуту суспільства. Найбільш розвинуті країни світу в результаті розвитку ефективної системи освіти отримують до 40% ВВП. Кожна гривня, спрямована на розвиток освіти, забезпечує 3-5 гривень прибутку. Таким чином, людський капітал суспільства є реальним фактором економічного і соціоекологічного розвитку, з одного боку, та найпривабливішою сферою для інвестування, з другого.

Новітні технології як фактор розвитку тісно пов'язані з якістю людського капіталу є, по суті, його продуктами. Розробка і впровадження інновацій забезпечують оновлення і модернізацію виробництва, збільшують частку високотехнологічної продукції, підвищують конкурентоспроможність вітчизняного виробництва, і диверсифікують експорт, сприяють розширенню існуючих таї завоюванню нових ринків.

Проте, маючи визнаний пріоритет у багатьох напрямках науки і техніки, розвинуту наукову базу і авторитетні наукові школи та кадри, Україна за роки трансформування економіки практично не приділяла уваги активізації цього фактора розвитку. Мізерне фінансування академічної і вузівської науки, руйнація науково-виробничих колективів, зв'язків науки і виробництва позбавляють нашу країну перспектив рівноправного співіснування у світовому господарському просторі.

Саме мобілізація таких факторів як висококваліфіковані трудові ресурси і новітні технології могла б стати стрижнем моделі зростання національної економіки за рахунок внутрішніх факторів. Реалізація такої моделі можлива за умови цілеспрямованої, активної і послідовної внутрішньої економічної політики, дієвих, ефективних управлінських важелів і механізмів ендogenous економічного зростання.

Головним недоліком сучасної трансформаційної моделі в Україні є орієнтація на більш повне залучення у господарське використання природно-ресурсного потенціалу України та її регіонів, особливо мінеральних ресурсів. Така стратегія ендogenous розвитку суперечить суті сталого розвитку, який передбачає зниження ресурсомісткості виробництва, впровадження ринково орієнтованих методів управління природокористуванням, здатних перетворити охорону навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів та екологічну безпеку країни у невід'ємну складову соціально-економічних перетворень.

За оцінками МВФ, у розвинутих країнах споживання природних ресурсів на одиницю готової продукції щорічно скорочується на 1,25%. У США за період 1970 – 2000



рр. споживання паливно- енергетичних ресурсів зросло майже на 28%, проте, енергоємність ВВП зменшилась в 1,7 рази.

У нашій країні практично усі розроблювані стратегії і програми розвитку – від загальнонаціональних до регіональних і місцевих – базуються на якомога повнішому використанні природно-ресурсних факторів без адекватного вимогам сталого розвитку трансформування системи виробничих відносин.

Екологічні регулятори економічної поведінки суб'єктів господарської діяльності мають бути органічно вмонтованими у виробничі відносини через систему платежів, зборів, податків, компенсаційних виплат, штрафів тощо. У зв'язку з цим важливого наукового і прикладного значення набуває узгодження економічної і екологічної рівноваги та розробка механізмів їхнього регулювання на різних ієрархічних рівнях.

Охарактеризовані нетрадиційні фактори економічної рівноваги і розвитку – інноваційно-технологічний та еколого-економічний – мають спільну рису – високу інтелектомісткість. Активізація цих факторів, заснованих на знаннях, здатна забезпечити стан довгострокової рівноваги, прогресу та економічної і екологічної безпеки. Отже, беручи до уваги такі загальносвітові тенденції і явища як техноглобалізм, еколого-інноваційний та ноосферний розвиток, актуальною є розробка теоретичних засад нової моделі економічного розвитку України. **Концепція такої нової моделі розвитку ґрунтується на трьох основних принципах:**

- еколого-інноваційний імператив реформування економіки, що означає безумовну пріоритетність відтворення життєвого середовища, продовольчої і ресурсної бази та другорядність товарного насичення ринку;
- інноваційно-випереджувальне спрямування науково-промислової революції в країні;
- масштабна «інтелектуалізація» професійно-кадрового потенціалу України в еколого-реакраційному та інноваційно-випереджувальному напрямках .

Виходячи з того, що поряд з сучасною ціною та якісно-продуктовою конкуренцією зростає значення таких показників конкурентоспроможності як екологічна та технічна безпека товарів, стратегічним завданням України є розробка, промислова апробація та освоєння перспективних «ніш» на світовому ринку наукомістких природоохоронних технологій і послуг.

Отже, модернізація та оновлення факторів економічного зростання відповідно до нової моделі розвитку здатні наблизити нашу країну до переходу на засади сталості і збалансованості.

Теорії сталого розвитку і стратегії їх реалізації характеризуються надзвичайною багатоманітністю. Не відрізняючись принципово у визначенні суті сталого розвитку як спільного, якісно нового вектора еволюції людської цивілізації, ці теорії пропонують різні стратегії переходу на його засади.

У найбільш узагальненому вигляді відомі теорії сталого розвитку можна умовно згрупувати за критерієм стратегії досягнення мети. Зауважимо, що така класифікація – відносна. По-різному трактуючи перспективи та шляхи розвитку системи «суспільство – природа», відомі теорії мають багато точок дотику і передбачають спільну мету – досягнення гармонії та злагоди у суспільно-природній взаємодії.

Природничі теорії сталого розвитку визрівали впродовж усього ХХ ст. Ідеї гармонізації взаємин між суспільством і середовищем на екологічних засадах були висловлені у концепції ноосфери академіка В. Вернадського. Всесвітньо відомий вчений зв'язував виникнення ноосфери з появою Homo sapiens. Пізніше атрибутом ноосфери В. Вернадський вважав «високий рівень розвитку науково-технічної думки, який дозволяв розумно регламентувати відносини суспільства і біосфери»<sup>418</sup>. І хоча дана концепція не містить у прямій формі згадки про включення інтересів майбутніх поколінь у процес прийняття сучасних рішень, турбота про збереження природного середовища для щасливого життя наступних поколінь мала місце у його творах.

Вчення про біогеохімічні цикли стало теоретичним підґрунтям концепції ресурсно-екологічних циклів, яка має велике наукове і прикладне значення. На думку В.

Вернадського, однією з основних властивостей природних ресурсів є те, що чим більше оборотів здійснить одиниця маси кожного з них, втілюючись у кожному новому циклі в більш досконалі субстанції, тим більшу користь, більшу масу споживчої вартості даватиме людству ця ресурсна одиниця.

Дана наукова теорія співзвучна багатьом технократичним концепціям, в яких обґрунтовується доцільність зниження ресурсомісткості виробництва шляхом впровадження безвідходних технологій. Кульмінацією концепції ноосфери В. Вернадського, яка має особливе значення у методології сталого розвитку, є вимога до людини та суспільства адаптуватись до об'єктивних законів біосфери, що зумовлюють взаємодію суспільства і біосфери з метою підтримки її екологічної рівноваги. Перехід від ресурсної до біосферної концепції розвитку складає суть сталого, самовідтворювального, підтримуваного розвитку, здатного забезпечити коеволюцію суспільства і природи.

Головною загрозою екологічної катастрофи є порушення замкнутості глобальних біохімічних кругообігів, спричинене високим рівнем використання ресурсів біосфери. Оскільки вплив на динаміку біосфери переважно антропогенний, то первинним у забезпеченні сталого розвитку є пошук нової соціально-економічної стратегії розвитку. Така стратегія свого часу дістала назву «нульового росту».

Відомо, що рекомендації першого засідання Римського клубу зводились, переважно, до обґрунтування необхідності призупинити технічний прогрес, ріст виробництва матеріальних благ і чисельності народонаселення. Такі пропозиції виявились деструктивними і утопічними. Адже лише на основі справжнього технічного прогресу людство в змозі вирішити багато соціально- економічних проблем, сповільнити темпи руйнування екосистем.

Альтернативним і конструктивним шляхом досягнення збалансованої взаємодії суспільства і природи є розробка моделей, стабільності екологічної ситуації. Проте механізми, які забезпечують стабільність екосистем, до кінця ще не з'ясовані ні в соціальній, ні у господарській практиці, ні в наукових розробках.

В основі нової стратегії розвитку провідне місце мають займати:

- забезпечення технологічного перевороту шляхом заміни застарілої техніки і збільшення частки високотехнологічної, наукомісткої і екофільної продукції;
- соціальна переорієнтація економіки, зростання галузей соціального комплексу у структурі суспільного відтворення;
- розширення експортного потенціалу і підвищення конкурентоспроможності продукції.

Зважаючи на те, що абсолютно чистого в екологічному відношенні виробництва практично немає, ступінь його чистоти неухильно підвищується. Попередження забруднень середовища можна розглядати як процес постійного удосконалення господарської діяльності, наближення її до ідеалу – замкнутого виробництва, подібно до замкнутих циклів у біотичних системах. Саме це і є точкою дотику, передумовою синтезу природничих і технократичних теорій сталого розвитку.

### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Охарактеризувати еволюцію ідей сталого розвитку суспільства.
2. Дати визначення поняттю «сталий розвиток».
3. Вказати сутність, зміст і умови сталого розвитку суспільства.
4. Визначити сучасні теорії, концепції та моделі сталого розвитку суспільства.

### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.

3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 11: ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

### План

1. Характеристики угруповань. Екологічний баланс.
2. Роль кліматопу у функціонуванні біосфери та екосистем. Загальні особливості кліматопу.
3. Сонячна радіація. Газовий склад атмосфери та роль її складових у біосфері. Вологість атмосфери. Рух атмосфери. Атмосф
4. Функціональна роль гідросфери.
5. Роль фітоценозу у біосфері та екосистемах. Роль фітоценозу у наземних екосистемах. Роль фітоценозу у водних екосистемах.
6. Роль мікробіоценозу у біосфері та екосистемах. Роль бактерій у наземних екосистемах. Роль бактерій у водних екосистемах.
7. Функціональна роль зооценозу у біосфері та екосистемах. Продукційна роль тварин.
8. Ланцюги живлення та трофічні рівні в різних типах екосистем з позицій системного аналізу.
9. Лісові та трав'янисті типи екосистем. Аналіз різних типів лісів, лучних і болотистих фітоценозів з використанням системного підходу.
10. Основні екологічні проблеми сучасного землеробства та шляхи їх вирішення з позицій системного аналізу.
11. Головні заходи убезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми (загальна оптимізація довкілля в індустріальних регіонах) з позицій системного аналізу.

### 1. Характеристики угруповань. Екологічний баланс

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 популяції 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.

**Угрупування** — 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.

Угрупування 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 — дискретність 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-консортиів.

**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.

**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.

## **2. Роль кліматопу у функціонуванні біосфери та екосистем. 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 надорганізменну 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 організменної 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 аерокліматопои, гідрокліматопои та термокліматопои.

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.

### **3. Сонячна радіація. Газовий склад атмосфери та роль її складових у біосфері. Вологість атмосфери. Рух атмосфери**

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  $1 \text{ см}^2$  за хвилину. Безпосередньо від Сонця на Землю надходить  $358 \text{ кал/см}^2$ .

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 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  $600\text{—}700 \text{ нм}$ , які поглинаються хлорофілом. Удвічі менша ефективність спостерігається при опроміненні рослин синьо-фіолетовими променями ( $400\text{—}500 \text{ нм}$ ). Але вони відіграють важливу роль у затримці під час переходу до цвітіння, сприяють синтезу білків, визначають хімічний склад рослин. Найкоротші ультрафіолетові промені ( $300\text{—}400 \text{ нм}$ ), які досягають рослин, запобігають надмірному витягуванню рослин, але за межами  $300 \text{ нм}$  смертельні для всього живого. Інфрачервоні промені ( $750\text{—}1000 \text{ нм}$ ) поглинаються пігментами рослин, але мають досить незначний вплив для фізіологічних процесів у рослин. Інфрачервоні промені довжиною хвилі понад  $1000 \text{ нм}$  в основному поглинаються водою тканин листя. Вони впливають на

швидкість фізіологічних процесів із різною корисною дією: позитивною — до  $+20^{\circ}\text{C}$ , 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

**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 спостерігається 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  $\text{CO}_2$  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.

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  $+30^{\circ}\text{C}$ . Стійкості рослин у цих випадках може допомогти вологість ґрунту, 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.

**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, острівні 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) знижує 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.

Атмосферні опади. Атмосферні опади утворюються з водяної пари над певними територіями та за рахунок надходження вологи з інших територій. Оскільки горизонтальний рух повітря значно перевищує 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.

#### **4. 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, слабка 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 км<sup>3</sup>, із них у Світовому океані — 1370 млн км<sup>3</sup> (тобто 93,84 %). Вільної гравітаційної води у земній корі до глибини у 5 км — 60 млн км<sup>3</sup>, усіх озер — 0,75 млн км<sup>3</sup>, льодовиків і вічних снігів — 29, ґрунтової та підґрунтової вологи — 0,065, вологи в атмосфері — 0,014 млн км<sup>3</sup>, у річках — 1,2—2,0 тис км<sup>3</sup>.

**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. км<sup>3</sup> води. Більша її частина (411,6 тис. км<sup>3</sup>) 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. км<sup>3</sup>.

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).

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 моллюсків, 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** 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 біопродуційний 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 угрупованнями — **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, напівводні 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 напівводних 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 напівводних 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 напівводні форми, які мають на тілі газові пухирі — пневматофори, що дозволяє їм рухатись активно або пасивно (за допомогою вітру) по поверхні води (фізаліси, деякі червононогі 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).

## **5. Роль фітоценозу у біосфері та екосистемах. Роль фітоценозу у наземних екосистемах. Роль фітоценозу у водних 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.

**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. 11.1).

Таблиця 11.1

Фітомаса суходолу та її річна продукція (Рябчиков, 1972)

Групи типів рослинності	Річна продукція фітомаси		Жива фітомаса		Відношення 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 (степи, 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 еко системах) та оптимізації.

**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. 11.2): водорості розмножуються

щоденно. Якщо загальна біомаса фітопланктону у Світовому океані складає лише 1,5 млрд т, то його продукція сягає 550 млрд т.

Таблиця 11.2.

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 біомаса 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 біомасою планк тону (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 %.

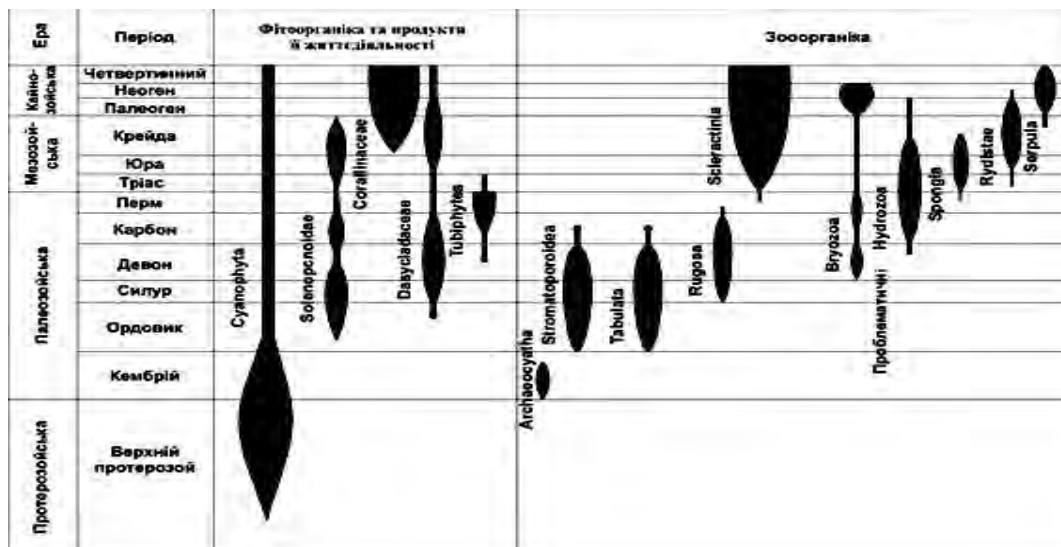
Найбільшим багатством і різноманіттям відзначається продуктивність фітопланктону в умовах **материкових мілин або в шельфових областях** океану з глибинами до 200 м. Вода тут добре перемішується, містить значну кількість поживних речовин і найбільше пронизується сонячним світлом. Бурі та червоні водорості 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 навколводних наземних екосистемах. 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 протерозойі 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 крейдяного 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 лімноподібного 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. Роль мікробоценозу у біосфері та екосистемах. Роль бактерій у наземних екосистемах. Роль бактерій у водних екосистемах

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 редуційному чи



мінералізаційному процесі. До складу мікробоценозу включають віруси, бактерії, актиноміцети, гриби, водорості та найпростіших тварин.

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 непостійності 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 домінуючих груп мікроорганізмів. На

таксономічну структуру мікробоценозу 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 **емікобактерії** (Гантимурова, 1974; Клевенська, 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 грамполозитивних 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 (колонієтворних 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 *Dematiium*, 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, сіроземах 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 неспоросні бактерії родів *Pseudomonas*, *Bacterium* і *Mycobacterium* теж трапляються у великих кількостях.

**Мікроміцети** (мікроскопічні гриби) **зменшують чисельність південних ґрунтах, збільшуючи своє таксономічне різноманіття**. У південних ґрунтах зменшується вміст мукових 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 мікробіоценозу 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 мікробіоценозу 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 мікробіоценозу.

**Функціональна структура мікробіоценозу.** Під функціональною структурою мікробіоценозу 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: окиснений та аноксигенний. **Окиснений 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 карбоксидобактерії**. 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*, *Polyngium*, *Mixococcus*), вібріони (*Celvibrio*, *Cellfalcicula*), гриби (*Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* тощо), а також шапінкові гриби та актиноміцети (*Actinomyces cellulosa*, *A. violachus*, *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** — неспорують бактерії, гриби *Penicilium*, *Aspergillus* і багато актиноміцетів.

**Окиснення мінеральних сполук. Нітрифікація.** Амоній, який утворюється при розкладанні органічних нітрогенвмісних 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  $N_2$ .

**Десульфюфікація** 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  $1/3$  — кореннями рослин.

**Продукційна роль.** Мікроорганізми мають велике значення у продукційному процесі. Серед них відзначають більшість гетеротрофів, певну кількість літотрофів і незначну — автотрофів. 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, актиноміцетів — 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.

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 мікробіоценозів 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 мікробіоценозів морів і океанів достатньо багаті. Мікроорганізми названих екосистем характеризуються значною 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, десульфофікації 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 гідроєкосистеми. 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 донних відкладень, створенні біологічного контролю над розвитком біокомпонентів екосистеми, збалансовують, урівнюють можливості для існування всіх організмів у довкіллі.

## **7. Функціональна роль зооценозу у біосфері та екосистемах**

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 міжекосистемний 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 7 разів* — 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** —

73·10<sup>15</sup> 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/км<sup>2</sup>. Середні величини характерні для тайгових і болотяних екосистем — 100—134 т/км<sup>2</sup>, дуже низькі — у піщаних пустелях, озерах і річках — 0,13—0,53 т/км<sup>2</sup>. У решті екосистем — 4—40 т/км<sup>2</sup>. Біомаса тварин в океанічних екосистемах у середньому складає 9,75 т/км<sup>2</sup>. Чиста вторинна продукція за співвідношенням в основному відповідає біомасі: її межі становлять 0,03—25,1 т/км<sup>2</sup>. Виняток — озера та річки, у яких питома продукція (коефіцієнт «продукція/біомаса») найбільша — 4,72, чиста продукція — до 2,5 т/км<sup>2</sup>. Питома продукція також значна у земель, які обробляються, — 1,06. У решті 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 11.3

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 <sup>2</sup>	середня чиста про-дукція, т/км <sup>2</sup>	продукція / біомаса	біомаса, млрд т	чиста про-дукція, млрд т	продукція / біомаса
Дошові 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	6,1	6,5	1,07	0,10	0,11	1,06

землі						
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 середовищевітвірних 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, вигоптування 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 °С і на 0,5—2 °С) 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 (дошові 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

**Зміна хімічних властивостей ґрунтів і продуктивність.** Ріюча 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 порях 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 опад 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 опад 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 ріюча 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 відтворення 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 колібрі (*Trochilidae*), нектаринці (*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. Орнітофільні рослини не мають запаху.

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 трубочкоподібну 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, пилюкою, бруньками та дрібними комахами. Язик його являє собою своєрідний пензлик для збирання пилюки, а видовжене у вигляді хоботка рило виконує роль трубки для втягування нектару. Мешканець Бірми, Індокитаю та Великих Зондських островів — крилан карликовий із групи довгоязикових криланів (*Pteroidae* — Криланові) та представники довгоязикових кажаноподібних Центральної та Південної Америки — листоноси землерийкоподібний та довгоязиковий і довгоязик безхвостий (родина *Phyllostomatidae* — американські листоноси) мають відповідну будову ротового апарату для збирання пилюки та нектару. Хоча звірки знищують певну кількість нектару та пилюки, але одночасно

**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 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, воронові, горобці, тетеруки та багато інших.

Результати цієї дії тварин досить значні. Так, у соснові насадження Савальського лісництва Воронезької 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 пологу лісу до інших, більш відкритих місць сприяє розвитку нових лісових утворень. Так, у аренному бору в Присамар'ї (Дніпропетровська область) на ділянках від 400 до 1000 м<sup>2</sup> сойки за сезон висаджують 110—230 дубків, із яких згодом утворюються острівні судіброви. Горіхівка таким чином розповсюджує плоди кедра сибірського.

У розселенні насіння багатьох трав'янистих рослин беруть участь мурашки. **Мірмекоохорія** — одна з форм синзоохорії. У так званих мірмекоохорних 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 середовищетвірної активності тварин сприяє процесу природного лісовідновлення. Існування лісових екосистем залежить від певного темпу відновлення едифікаторів. 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 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 порийів 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 порийів із непорушеним ґрунтом у заплавах дібрових і штучних лісових насаджень на плакорі показало, що риюча функція тварин (у середньому роль порийів різних хребетних — нориць, кротів, сліпаків) — ефективний екологічний чинник у лісовідновленні.

## **8. Ланцюги живлення та трофічні рівні в різних типах екосистем з позицій системного аналізу**

**Харчовий, або трофічний ланцюг** — набір взаємовідношень між різними групами організмів, які визначають послідовність перетворення біомаси й енергії в екосистемі.

Наприклад, енергія сонця служить джерелом енергії для рослин, що служать їжею рослиноїдним, які, у свою чергу, служать їжею для хижаків.

**Структура.** Харчовий ланцюжок є зв'язною лінійною структурою з ланок, кожна з яких пов'язана з сусідніми ланками відносинами «їжа — споживач». Як ланки ланцюга виступають групи організмів, наприклад, конкретні **біологічні види**. Зв'язок між двома ланками встановлюється, якщо одна група організмів виступає в ролі їжі для іншої групи. Перша ланка ланцюга не має попередника, тобто організми з цієї групи як їжа не використовують інші організми, будучи **продуцентами**. Найчастіше на цьому місці знаходяться **фотосинтетичні і сапротрофні бактерії, рослини, водорості і гриби**. Організми останньої ланки в ланцюзі не виступають в ролі їжі для інших організмів.

Кожен організм володіє деяким запасом енергії, тобто можна говорити про те, що у кожної ланки ланцюга є своя **потенційна енергія**. В процесі живлення потенційна енергія їжі переходить до її споживача. При перенесенні потенційної енергії від ланки до ланки до 80-90% втрачається у вигляді теплоти. Цей факт обмежує довжину харчового ланцюжка, який в природі зазвичай не перевищує 4-5 ланок. Чим довше цей ланцюг, тим менше продукція її останньої ланки по відношенню до продукції початкової.

**Харчова/трофічна мережа.** Зазвичай для кожної ланки ланцюжка можна вказати не одне, а декілька інших ланок, пов'язаних з нею відношенням «їжа — споживач». Так, траву їсть не тільки худоба, але й інші тварини, а худоба є їжею не тільки для людини. Встановлення таких зв'язків перетворює харчовий ланцюжок на складнішу структуру — *харчову або трофічну мережу*.

В деяких найпростіших випадках в трофічній мережі можна згрупувати окремі ланки по рівнях таким чином, що ланки одного рівня виступають для наступного рівня тільки як їжа. Таке угруповання називається **трофічними рівнями**. В даному випадку можна визначити кількість біомаси на кожному рівні, складаючи так звану **екологічну піраміду**. Приклад: рослини — попелиці — дрібні комахоїдні птахи — хижі птахи.

Типи харчових ланцюгів. Існує 3 основних типи трофічних ланцюгів — *пасовищні, детритні і «паразитарні»*.

У пасовищному трофічному ланцюжку (ланцюжку виїдання) основу складають **автотрофічні організми**, потім йдуть споживачі їх **мікроорганізми і рослиноїдні тварини** (наприклад, **зоопланктон**, що харчується **фітопланктоном**), потім хижаки (**консументи**) 1-го порядку (наприклад, **риби**, споживачі зоопланктон), хижаки 2-го порядку (наприклад, хижі риби, такі як **щука**, що харчується іншими рибами). Особливо довгі харчові ланцюжки в океані, де багато видів (наприклад, **тунці**) займають місце консументів 4-го порядку.

У детритних трофічних ланцюгах (ланцюги розкладання), найпоширеніших в лісах, велика частина продукції рослин не споживається безпосередньо рослиноїдними тваринами, а відмирає, піддаючись потім розкладанню **сапротрофними організмами і мінералізації**. Таким чином, детритні трофічні ланцюжки починаються від детриту, йдуть до мікроорганізмів, які їм харчуються, а потім до **детритофагів** і до їх споживачів — хижаків. У водних екосистемах (особливо в **евтрофних** водоймищах і на великих глибинах океану) значна частина продукції рослин і тварин також поступає в детритні харчові ланцюги.

**Трофічна структура екосистеми** — організація екосистеми, заснована на харчових взаємовідносинах популяцій.

Коли мають на увазі трофічну роль, яку відіграє біота в екосистемі, то в ній виділяють автотрофів-продуцентів (фотосинтетики і хемосинтетики), гетеротрофів-макроконсументів (головним чином тварини) і мікроконсументів або редуцентів (переважно бактерії, актиноміцети, гриби). Консументи, що безпосередньо харчуються продуцентами або продуктами їх розпаду, утворюють другий трофічний рівень екосистеми. Третій трофічний рівень виникає, коли в екосистемі присутні популяції тварин, які живуть за рахунок другого трофічного рівня, і т. д. Організми другого, третього і наступних трофічних рівнів відповідно називаються консументами першого, другого і наступних порядків.



Шлях, яким органічна речовина продуцентів переміщається з одного трофічного рівня на інший, називається харчовим ланцюгом. Сукупність харчових ланцюгів в екосистемі утворює її харчову (трофічну) мережу.

У харчовій мережі розрізняють ланцюги виїданням і розкладання. Перші складаються на основі голозойного харчування, коли тварини використовують в їжу або живі організми — пасовищні ланцюги, або продукти їх руйнування — детрит — детритні ланцюги. Ланцюги розкладання утворюються в результаті життєдіяльності бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, що мінералізують органічні речовини. Своєрідні ланцюги харчування виникають на основі осмотичного харчування розчиненими органічними речовинами, властивого багатьом безхребетним і хребетним тваринам до риб включно, гетеротрофам, а також ряду фототрофів з більшим чи меншим ступенем гетеротрофності.

Співвідношення потужності різних ланцюгів живлення в екосистемі добре відображає особливості її структурно-функціонального вигляду. У трофічній мережі співтовариств, наприклад оліготрофних водойм, переважають пасовищні ланцюги: мікроорганізмів мало і ланцюги розкладання виражені слабо. З підвищенням трофності вод все більше абсолютне і відносне значення набувають ланцюги детритні і редуцентні (розкладання). Останні стають майже єдиними в біоценозах, що існують в умовах різкого дефіциту кисню і великої кількості мертвої органічної речовини.

З переходом від одного трофічного рівня до наступного чисельність і загальна біомаса особин нерідко знижуються, адже на кожному щаблі трансформації органічної речовини відбувається її втрата. В результаті утворюються так звані піраміди чисел і піраміди біомас, що характеризують ступінь зменшення кількості організмів з переходом від одного трофічного рівня до іншого. Через те, що дрібні організми при даній біомасі зазвичай створюють більше органічної речовини, ніж спільно з ними існуючі великі, то не завжди піраміда біомас закономірно звужується до вершини. Наприклад, при відносно низькій біомасі водорості можуть утворювати таку кількість органічної речовини, за рахунок якої може існувати популяція тварин з більшою сумарною біомасою. Подібні порушення виключаються, якщо порівняння вести за енергетичним принципом. Енергія, трансформована на першому енергетичному рівні, завжди буде більшою, ніж на другому; ще меншою вона виявиться на третьому і наступних рівнях.

Характеристикою трофічної структури екосистеми може бути співвідношення в ній кількості організмів різних трофічних рівнів, співвідношення форм з різними типами харчування, число трофічних зв'язків і т. д. Харчова структура найбільш проста, коли всі особини даного трофічного рівня належать до одного і того ж харчового угруповання або ж організми інших трофічних угруповань відіграють у ньому дуже маленьку роль. Найбільш складна трофічна структура екосистем, в яких форми з різними типами харчування численні і представлені подібною кількістю особин.

Кількісну оцінку складності трофічної структури екосистем можна дати в одиницях інформації, зокрема стосовно до різноманітності ланцюгів і типів харчування.

У першому випадку трофічна структура буде тим складніша (різноманітніша), чим більше в екосистемі трофічних рівнів і чим подібніша кількість організмів, що належать до кожного з них.

У другому випадку різноманітність екосистеми виявиться прямою функцією числа способів харчування і ступеня рівнопредставленості організмів з різними типами харчування.

На ряді прикладів встановлено, що чим вища біомаса екосистеми (тобто чим більше їжі в біотопі), тим одноманітніша її харчова структура. З просуванням в тропіки зменшується кількість їжі, біомаса екосистем падає і одночасно підвищується трофічна різноманітність. Перш за все екосистемам високих широт притаманна не така розгалужена харчова мережа, як в тропічній зоні, причому окремі харчові ланцюги вкрай

нерівнопотужні. Крім цього харчові ланцюги в тропіках зазвичай значно довші, нерідко утворені чотирма-п'ятьма ланками, в той час як для високих широт характерніше 3-4-членні ланцюги. Нарешті, способи харчування тварин в тропіках більш різноманітні, ніж у високих широтах. Помітно спрощується трофічна структура водних екосистем з підвищенням кормності водойм. Подібна картина простежується і в разі різкого збідніння фауни, що викликається крайніми умовами існування. Наприклад, в пересолених водоймах, де в масових кількостях мешкають тільки джгутикові *Dunaliella salina* і їх споживач рачок *Artemia salina*, інформація трофічної структури наближається до 0.

Чим збалансованіші екосистеми, тим складніша їхня трофічна структура.

## **9. Лісові та трав'янисті типи екосистем. Аналіз різних типів лісів, лучних і болотистих фітоценозів з використанням системного підходу**

**Лісові екосистеми.** 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 км<sup>2</sup> (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, протидіє 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 крони 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 ґрунтотвірних 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.

**Трав'яні типи екосистем. 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 продохів 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 витоптування, 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 режиму. 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:

- високотравна (*Andropogon gerardii*, *A. scoparius*, *Stipa spartea*, *Sporobolus heterolepis*, *Panicum virgatum*, *Agropyron smithii*, видів родів *Anemone*, *Aster*, *Ranunculus*, *Lomatium*, *Solidago*, *Vernonia*);
- змішана з високими та низькими злаками;
- 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. 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-триярусна. 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.

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, 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 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 ( $pH = 6,8—7,3$ ). Енергетична ємність типових чорноземів становить  $3,3—3,7 \times 10^{12}$  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 нижчий 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, ґрунотвірне, біотичне значення, необхідна їх охорона.

**Лучні екосистеми.** Луки — угруповання багаторічних мезофітних трав (як правило, злаків), що розвиваються протягом усього вегетаційного періоду. Основними ознаками луків уважають 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 росту 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 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 малорічники. 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 засолені. 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, Флюорів 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 трофічністю 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 наносу мулу, що може мати як негативне, так і позитивне

значення. У таких умовах найкраще почувуються 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).

## **10. Основні екологічні проблеми сучасного землеробства та шляхи їх вирішення з позицій системного аналізу**

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 розкривної та пустої породи, зосереджених навколо шахт, кар'єрів, а також шлаків, золівідвалів 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 («переполівання») 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 філософ 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 *deflare* — 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 черв'яків 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).



## 11. Головні заходи забезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми (загальна оптимізація довкілля в індустріальних регіонах) з позицій системного аналізу

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).

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 будьякі дії на навколишнє середовище не порушують її нормального функціонування»*. Як впливає 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.

*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.

*«Біологізація» виробництва:* підключення біологічних процесів до існуючого виробництва (за типом природного кругообігу речовин).

*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.

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 паро- та 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 технологічних 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 паро- 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.

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.

Зміст механічних і механохімічних методів полягає в тому, що із стічних вод відділяються механічні домішки. Багато 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.

**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 рекультивацию* (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), *інженернозахисну* (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 мікроценозу. 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-пилопіщаним; в) вітро-пило-димовим; г) вітро-водо-піщаним; д) водним; е) 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:

- *спеціальні*, де зовсім виключається господарська діяльність, спрямована на одержання продукції (лісопарки, парки, сади та сквери, заповідники, заказники тощо);
- *продукційні*, де фітомеліоративні функції виконуються без шкоди для головного продукційного використання (ліси, агроценози, помологоценози, вітаценози, стрипоценози, пратоценози тощо);
- *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 урбоecosystemі (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 Плюмбу/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.

#### **Питання для самоперевірки студентів**

1. Дати визначення поняттю «склад угруповання (таксономічна структура)».
2. Охарактеризувати роль кліматопу у функціонуванні біосфери та екосистем.
3. Розкрити поняття «сонячна радіація».
4. Визначити газовий склад атмосфери.
5. Вказати функціональну роль гідросфери.
6. Описати роль фітоценозу у біосфері та екосистемах.
7. Охарактеризувати функціональну роль зооценозу у біосфері та екосистемах
8. Визначити ланцюги живлення та трофічні рівні в різних типах екосистем з позицій системного аналізу.
9. Дати стислу характеристику лсовим та трав'янистим типам екосистем.
10. Проаналізувати основні екологічні проблеми сучасного землеробства та шляхи їх вирішення з позицій системного аналізу
11. Запропонувати головні заходи убезпечення та знешкодження техногенного впливу на екосистеми.

#### **Рекомендовані джерела інформації**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальноїтеорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теоріяметодолія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.

## ТЕМА 12: СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЛОКАЛЬНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### План

1. Поняття популяції. Популяція як елемент екосистеми.
2. Популяційний ареал.
  - a. Кількість особин.
  - b. Щільність популяції.
  - c. Вікова структура.
  - d. Статева структура.
  - e. Просторова структура.
  - f. Віталітетна структура.
  - g. Етологічна структура.
3. Динаміка чисельності популяцій.
  - a. Зростання чисельності популяції.
  - b. Вживання популяції.
  - c. Швидкість відновлення популяції.
  - d. Обмежувальні чинники зростання популяції.
  - e. Причини вимирання популяцій.
4. Уявлення про стратегію популяцій.
  - a. Життєздатність популяцій.
  - b. Керування популяціями.
  - c. Охорона популяцій.
  - d. Експлуатація промислових популяцій.
5. Моніторинг популяцій.
6. Організм і середовище. Адаптації організмів.
7. Закономірності впливу екологічних чинників.
8. Екологічна ніша.
  - a. Історичний розвиток поняття «еконіша».
  - b. Розмірність ніш і оцінка їх перекриття.
  - c. Спеціалізація ніш.
  - d. Структуризація еконіш.
  - e. Динаміка екологічних ніш.
9. Загальні принципи адаптації на рівні організму.
  - a. Типи пристосування.
  - b. Правило оптимуму.
  - c. Комплексний вплив чинників.
  - d. Лімітуючі фактори.
  - e. Правило мінімуму.
10. Правило двох рівнів адаптації.
11. Принципи екологічної класифікації організмів.
12. Активна життєдіяльність і спокій.
13. Найважливіші абіотичні фактори та адаптації організмів до них.
  - a. Температура.
  - b. Сонячна радіація.
  - c. Водне середовище.
  - d. Наземно-повітряне середовище.
  - e. Грунт і рельєф.
14. Виникнення та розвиток уявлень про консорцію.
15. Індивідуальна консорція.

## 1. Поняття популяції. Популяція як елемент екосистеми

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 малоймовірно).

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, предмет 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 напрями слабо стикаються 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 збагачуватися 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 мікроеволюційні 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 ( $\text{дж}/\text{м}^2$ ,  $\text{кал}/\text{дм}^3$ ,  $\text{г}/\text{м}^2$ ,  $\text{кг}/\text{дм}^3$ ). Швидкість утворення органічної речовини (первинна продукція) визначають в одиницях енергії або маси за певний проміжок часу ( $\text{дж}$ ,  $\text{ккал}/\text{м}^2/\text{доба}$ ,  $\text{кг}/\text{га}/\text{рік}$ ). 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.

## 2. Популяційний ареал

*Кількість особин. Щільність популяції. Вікова структура. Статева структура. Просторова структура. Віталітетна структура. Етологічна структура.*

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 норичі (*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 виноградного 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 ( $S_{\min}$ ):

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

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.

### **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.

### **Щільність популяції**

Щільність популяції — не менш важлива, ніж кількість особин, характеристика популяції. Виражають її кількістю особин на одиницю площі (м<sup>2</sup>, га, км<sup>2</sup>) або об'єму (дм<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>). 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.

### **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 припліди, 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 economus*), що дає за рік три припліди, 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 молодою, зрілою і старою. У молодій нормальній популяції переважають молоді (прегенеративні) особини, у зрілій — генеративні, а у старій — постгенеративні.

Із наведеного вище випливає, що віковий склад будьякої 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.

### **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 вторинне 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.

### **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  $\delta^2$ ). Якщо це співвідношення близьке до одиниці — розміщення особин випадкове; якщо менше — рівномірне; якщо більше — групове, плямисте (рис. 4.1).

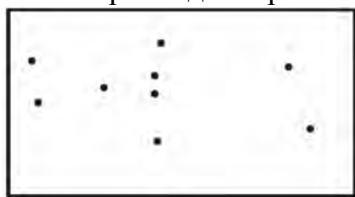
**Випадковий розподіл** особин простежується в однорідному середовищі, коли організми не сконцентровані в групи. Такий тип розміщення особин є тоді, коли на особини популяції діють численні, але слабкі абіотичні та біотичні фактори. Будь-яке місце у просторі може бути зайняте особиною.

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

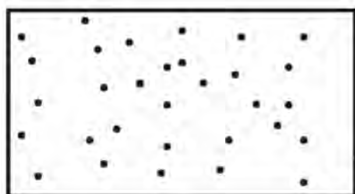
**Плямистий (груповий, агрегований) розподіл** найчастіше трапляється в природі (зграї птахів, рої бджіл, стада копитних). За такого розміщення особин простежується **ефект групи**, сутність якого полягає в тому, що на рівні групи зростає ймовірність виживання особин у мінливих умовах середовища.

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.



*a*



*b*



*в*

Рис. .1. Розміщення особин у просторі: *a* — випадкове, *б* — рівномірне, *в* — групове

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

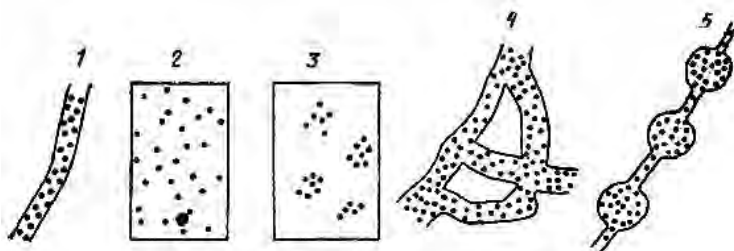


Рис. .2. Схема стрічкового (1), дифузного (2), острівного (3), сітчастого (4) та вервечного (5) розподілу особин (або малих скупчень особин) у природних популяціях (колонії птахів, гризунів); стійкі багаторічні групи (у багатьох приматів).

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 «метопуляція» 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, пилом, вегетативними зачатками, заплідненою самкою або статевозрілим самцем). З'ясовано, що види, які формуються із метопуляцій, менш уразливі до дії негативних абіотичних і біотичних, а також антропогенних чинників.

Дослідження метопуляційної організації видів — новий напрямок екології взагалі та популяційної зокрема. Його інтенсивно розробляє Ілка Ганський (Ілка Hansky) — відомий фінський еколог. Доцільно звернути увагу на те, що метопуляція відрізняється 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 метопуляції відносять також потенційно можливі для заселення особинами місця, а також ті, які особини вже залишили.

### ***Віталітетна структура***

Вивченням цього типу структури популяції в Україні інтенсивно займаються Ю.А. Злобін та Г. Г. Жилияєв. Ними встановлено, що в кожній віковій групі популяції можна виділити особини, які відрізняються 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.

### ***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 відрізняються 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).

### **3. Динаміка чисельності популяцій**

*Зростання чисельності популяції. Вживання популяції. Швидкість відновлення популяції. Обмежувальні чинники зростання популяції. Причини вимирання популяції.*

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  $\Delta Nn$  (кількість особин за проміжок часу  $\Delta t$ ). Ще розрізняють **питому народжуваність**  $b$  як співвідношення  $(\Delta Nn/N \cdot \Delta t) \times 100$ , 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 сталие 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  $\Delta Nm/N \Delta t$ , де  $\Delta Nm$  — кількість відмерлих особин за певний проміжок часу.

Різниця між питомою народжуваністю та питомою смертністю означає виживання ( $r$ ), яке виражають формулою:  $r = b - d$ .

### ***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  $\Delta N$  — 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).

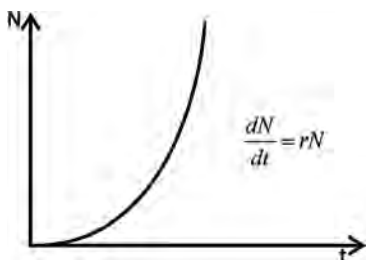


Рис. .. Експоненційне зростання

Величину  $r$  називають іноді мальтузіанським параметром. Англійський священник 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 місцеперебування 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 екологом Р. Перлем, який припустив, що вона носить загальний характер.

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

### **Виживання популяції**

Виживання популяції характеризує її біологічну сутність і визначає особливість 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 .1.

Виживання гіпотетичної популяції за Я. П. Дідухом (1998)

Вік особин, років	Кількість на момент обліку, особин	Питома 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 дрозофілі. 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).

### ***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.

### ***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 інтервалом 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.

### ***Причини вимирання популяцій***

Локальне вимирання особин на території, 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 км<sup>2</sup> 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 серединою 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 моллюсків, 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 нерациональна. 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 моллюсків Французької Полінезії внаслідок інтродукції туди хижого моллюска *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. Уявлення про стратегію популяцій.**

*Життєздатність популяцій. Керування популяціями. Охорона популяцій. Експлуатація промислових 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 витратити 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 Lстратегів, друга — до формування r-стратегів, третя — до формування Kстратегів*.

Найповніше уявлення щодо типів стратегій міститься у численних працях Дж. Грайма (1979), який також запропонував концепцію трьох типів стратегій і назвав їх так: *конкурентний (Kтип), стрестолерантний (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 неперушених 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 *RR*-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 *KSR*, *KR*, *SR*, *KS*.

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 ознаки 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.

### ***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, статевої, етологічної структури 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.

### ***Керування популяціями***

Рациональна експлуатація біотичних ресурсів, припинення 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 промислу. 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.

### ***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 вмирає. 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 егерів, їх фахова підготовка, забезпечення транспортом, сучасною технікою, законодавчими актами тощо.

### ***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.

## 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 тих 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 молодняка, 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), кількість параметрів, за якими треба стежити, буде змінюватися. Проте без такого моніторингу ефект від керування популяціями буде мінімальним.

## **6. Організм і середовище. Адаптації організмів**

*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.

Окрім властивості або елементи середовища, що впливають на організми, звуться *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 спільно. 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:

- регулярно-періодичними (такими, що змінюють силу впливу у певні періоди доби, або відповідно до сезону року, ритму припливів і відпливів в океані тощо);
- нерегулярними, без чіткої періодичності (наприклад, зміни погодних умов у різні роки, явища катастрофічного характеру — бурі, зливи, обвали);
- 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.

### **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:

- біохімічні (виявляються у внутрішньоклітинних процесах, наприклад таких, як зміна активності ферментів або кількості їх ізоферментних форм);
- фізіологічні (наприклад, посилення потовиділення особиною при підвищенні температури);
- морфо-анатомічні (зміни будови та форми тіла, пов'язані зі способом життя);
- поведінкові (пошук тваринами сприятливих жител, створення нір, гнізд, розпізнавання партнерів для розмноження);
- 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).

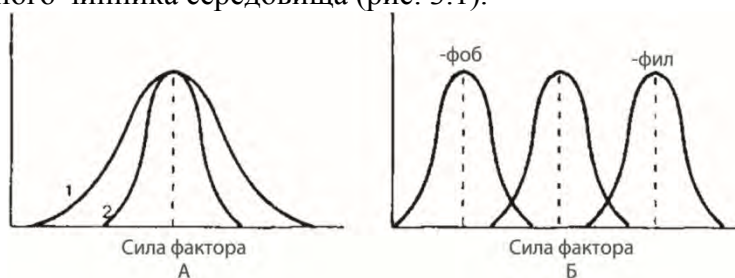


Рис. .1. Варіації відношення організму до змін сили екологічного фактора (Шилов, 1985): А — еврибіонтні (1) та стенобіонтні (2) до даного фактора форми; Б — форми, що відрізняються положенням оптимуму.

## 7. 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, стеногалінні 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.**

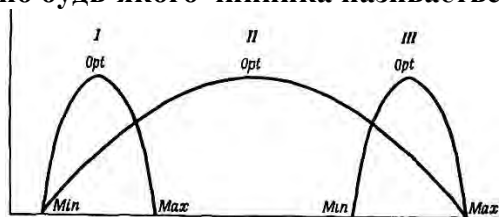


Рис. 2. Порівняння відносних меж толерантності стенотермних (I і III) та евритермних (II) організмів (Одум, 1975): за віссю абсцис — значення екологічного фактора, за віссю ординат — життєвість організмів ператури — це добре відомий процес теплового гартування організму, або температурна аклімація. Механізм 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**.

**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  $+40...+45$  °С у холоднокровних 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.

**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  $-7$  °С, для дорослих форм  $-22$  °С, а для яєць  $-27$  °С. Мороз в  $-10$  °С знищує гусінь, але безпечний для імаго та яєць цього шкідника. Таким чином, **екологічна валентність виду завжди ширша за екологічну валентність кожної окремої особини.**

**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.**

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 підтвержене і зоологічними дослідженнями.

**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).

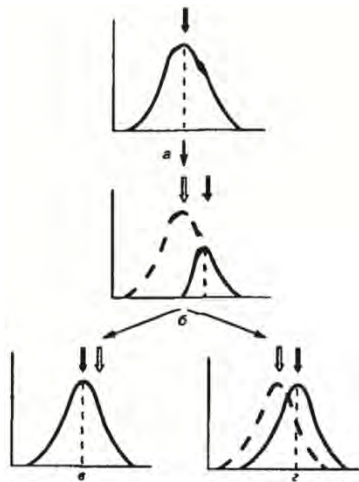


Рис. .. Варіювання адаптивної ознаки за зміни величини діючого фактора (Шилов, 1985): *a* — середнє значення ознаки відповідає діючому фактору; *b*— зміна сили фактора призводить до загибелі особин, властивості яких не відповідають новим умовам; *в* — при відновленні норми умов повертається попередній (адаптивний) характер мінливості; *г* — 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.

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.

## 8. Екологічна ніша

*Історичний розвиток поняття «еконіша». Розмірність ніш і оцінка їх перекриття. Спеціалізація ніш. Структуризація еконіш. Динаміка екологічних ніш.*

### **Історичний розвиток поняття «еконіша»**

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 співіснують не можуть.**

Підтвердженням цьому можуть бути дослідження Т. Шенера ящірок роду *Anolis*, що жили на одному із маленьких (8 км<sup>2</sup>) 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 характеристику. Така «сума» розглядалася як екологічний «гіперпростір» усередині біоценозу з певною кількістю осей, із яких для аналізу можна обрати окремі з них (рис. 3.4).

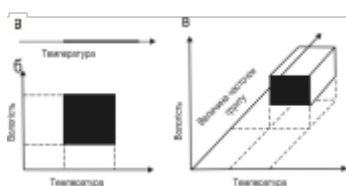


Рис. .. Модель екологічної ніші (Begon, Mortimer, 1989): а — одновимірний ніша (визначається температурою); б — двовимірний ніша (визначається температурою та

вологістю);  $v$  — тривимірний ніша (визначається температурою, вологістю та величиною часточок ґрунту)

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 існування 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.

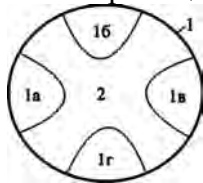


Рис. .5. Співвідношення між фундаментальною та реалізованою еконішами на прикладі сосни (*Pinus sylvestris*): 1 — фундаментальна еконіша сосни; 2 — еконіша листяних лісів; реалізована еконіша сосни: 1а — піщані відклади, 1б — крейдянні відклади, 1в — кам'янисті відклади, 1г — оліготрофні болота

Така оцінка структурування еконіш в екосистемах вивела цю проблему на ширший загал екологів, 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. Уїткер (1980) сформулював закон максимуму щільності пакування екологічних ніш видів у біоценозі.

### **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







### ***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 квітнуть 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 підрості 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. Порізно 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, жолуди 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 джгутікові, 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.

### ***Структуризація еконіш***

Ідея Р. Макартура 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.

## **9. Загальні принципи адаптації на рівні організму.**

*Типи пристосування. Правило оптимуму. Комплексний вплив чинників. Лімітуючі фактори. Правило мінімуму.*

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 однобічно: 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.

### ***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 процеси (енерговитрати на базальний метаболізм). Характерним прикладом може служити термонейтральна 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 *-фїл* (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.

#### **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 місцеперебування) 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 дослідах із жуками *Blastophagus piniperda* у фотоградієнтній камері виявилось, що реакція на світло залежить від температури: за +25 °С жуки проявляють позитивний фототропізм, при відхиленнях до +20 і +30 °С — 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 охолодженню 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:

$$S = (1 - 0,00t) (1 + 0,272v),$$

де  $S$  — суворість погоди (балів),  $t$  — температура повітря (°С),  $v$  — 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 км<sup>2</sup>. 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/см<sup>3</sup>.

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—30°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 рихлого багатосніжжя» і закріплення ряду специфічних адаптацій (морфологічних, фізіологічних і поведінкових) у представників цієї фауни.

### *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 XIX 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, принципових 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 принципових 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 зволожують 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.

## 10. 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 самостійність (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.

## 11. 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, суніці, 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.

## 12. 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».

Остаточо це питання було розв'язане лише у першій третині XX століття. Досліди Р. Рама, П. Беккереля та інших учених показали можливість **повної зворотної зупинки життя**. У сухому стані, коли у клітинах залишалось 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 ( $-218,4$  °C), рідкому водні ( $-259,4$  °C), рідкому гелії ( $-269,0$  °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. Прейером 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 °С.

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 витратити енергію.

Форми спокою у стані зниженої життєдіяльності поділяють на **гіпобіоз** і **криптобіоз**, 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), **аноксидіоз** (за анаеробних умов), **гіперосмобіоз** (за високого вмісту солей у воді).

Глибина та тривалість пригнічення метаболізму при гіпобіозі залежать від тривалості та інтенсивності дії відповідного 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.

### **13. Найважливіші абіотичні фактори та адаптації організмів до них**

*Температура, сонячна радіація; водне середовище; наземно-повітряне середовище; ґрунт і рельєф.*

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.

### **Температура, сонячна радіація**

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:

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

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 родини нототенієвих, які живуть за температури тіла —1,86 °С, 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  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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  $-47$  і навіть  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 прогриваються, 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  $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Деякі бактерії, що окислюють сульфур (наприклад, *Sulfolobus acidocaldarius*), розмножуються при  $+85\dots+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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 прогривається, звалища тощо. Найпростіші — амеби та інфузорії, одноклітинні водорості можуть розмножуватися за температури близько  $+54\dots+56\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Критичні температури тіла деяких тварин, наприклад пустельних ящірок, можуть досягати  $+48\dots+49\text{ }^{\circ}\text{C}$ , але для більшості видів температури тіла, що перевищують  $+43\dots+44\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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  $+40\dots+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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, колібри, 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 **приспособлені 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 °С, тобто у тропічному поясі океану. Голотурія *Elpidia glacialis* мешкає при температурі води 0...+1 °С 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 холодого 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 черевоногих (літторини, *Littorina littorea*) і двостулкових (мідій, *Mytilus edulis*) моллюсків, які трапляються на узбережжі Баренцового моря, інтенсивність обміну речовин майже не залежить від температури в тих межах, з якими моллюски стикаються щодня під час припливів і відпливів. У весняно-літній період цей діапазон сягає понад 20 °C (від +6 до +30 °C). У холодній воді їх метаболізм такий же інтенсивний, як і в теплом 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 °C. Під час польоту температура їх грудного відділу підтримується на рівні +40...+41 °C. Інші комахи можуть літати у холодному повітрі, заздалегідь розігриваючи свої літальні м'язи для злету (сарана, джмелі, оси, бджоли, великі нічні совки). Джмелі збирають нектар навіть при +5 °C, маючи температуру тіла +36...+38 °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 підвищувати температуру на 5—6 °C у діапазоні зовнішніх температур +25...+33 °C. У прохолоднішому повітрі змія стає млявою та неактивною.



Рис. .8. Випаровувальна терморегуляція у тварин (Чернова, Білова, 2004): 1 — випаровування зі слизових оболонок (ящірка), 2 — натирання слиною (антилоповий ховрах), 3 — випаровування за рахунок частого дихання (собака)

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  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 холоднокровних 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 тону терморегуляції. При подальшому зниженні температури середовища тепловий ефект тону 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 відчувають 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. .9. Вуха африканського довговухого тушканчика як орган терморегуляції (Соколов и др., 1977)

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 кровонесних 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 «черепашу». Особини, що опинилися на периферії, через деякий час пробиваються всередину, і «черепаша» поволі кружляє та переміщується. Усередині такого скупчення температура підтримується близько +37 °С навіть у найлютіші морози. Мешканці пустель — верблюди — у спеку також збиваються разом, притискаючись один до одного боками, але цим досягається протилежний ефект — запобігання сильному

нагріванню усєї поверхні тіла сонячними променями. Температура у центрі скупчення тварин дорівнює температурі їх тіла (+39 °С), тоді як шкіра на спині та боках крайніх тварин нагрівається до +70 °С.

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, пойкилотермні 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 пойкилотермію 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 1.

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

Види	Маса тіла, г	Мс/Ма
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 °С), 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.

### **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 радіації 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 тіньюлюбиві (**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 молосків 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, відчувають 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, котятчі, 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 слабке світло. Це значною мірою визначається наявністю на великих глибинах організмів, що світяться. Деякі з них здатні створювати освітлення порядку  $10^{-2}$  мкВт/см<sup>2</sup>, 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 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.

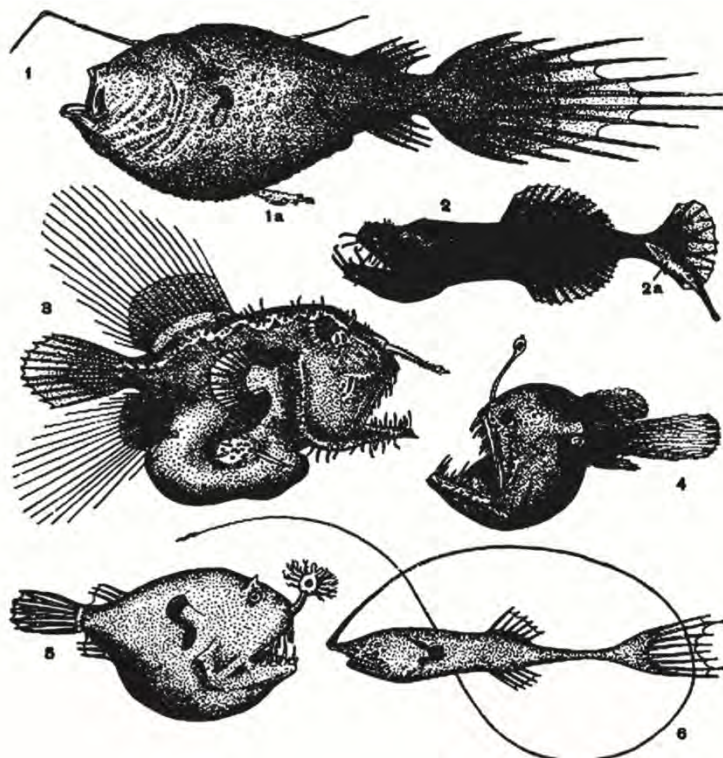


Рис. 10. Глибоководні вудильники (Нікольський, 1974): 1 — самка церації (*Ceratias holboelli*) із прикріпленим самцем (1a); 2 — неоцерація (*Neoceratias spinifer*) із прикріпленим самцем (2a); 3 — каулофрина (*Caylophrine jordani*); 4 — меланоцет (*Melanocetus aragon*); 5 — борофрина (*Borophrine aragon*); 6 — гігантактис (*Gigantactis macronema*)

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. Є 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 поїкілотермних 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 куницевої 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 дослідах 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. Наприкінці 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 2 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 2 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, досліди 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 (цирканими) 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 відкладають 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 досліди 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; тіреотропний гормон, який контролює діяльність щитоподібної залози; адренкортикотропний гормон (АКТГ), що активує продукцію гормонів кори надниркових залоз; пролактин, що бере участь у прямих



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 линяння, 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.

### ***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, називаються **ультраабісальною**. Частина берега, що заливається водою під час припливів, зветься **літораллю**. Вища за рівень припливів частина берега, що зволюється

бризками, отримала назву **супраліторалі** (рис. 3.11).

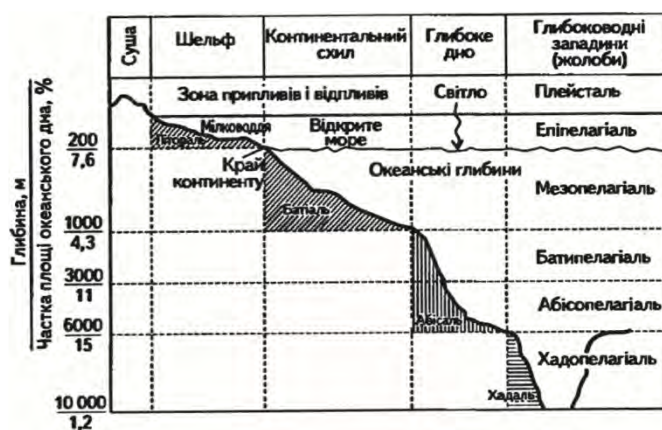


Рис. .11. Схема розподілу океанського простору з різними екологічними факторами (Білявський та ін., 2004)

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  $1 \text{ г/см}^3$  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 ультраабісалі. Навіть прісноводні мешканці (інфузорії-туфельки, сувійки, жуки-плавунці тощо) витримують у досліді тиск до  $6 \cdot 10^7 \text{ Па}$  (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  $4\text{—}5 \cdot 10^7 \text{ Па}$  (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, сплюсненості, подовження, розвитку численних виростів або щетинок, що збільшують тертя об воду; 2) зменшення щільності за рахунок редукації 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 фітопланктоном. Серед водних мешканців багато видів, здатних переносити істотні коливання вмісту кисню у воді, аж до майже повної його відсутності (**евріоксифанти** — «окси» — кисень, «біонт» — мешканець). До них відносяться, наприклад, прісноводні олігохети *Tubifex tubifex*, червононогі молюски *Viviparus viviparus*. Серед риб дуже слабке насичення води киснем можуть витримувати сазан, лин, карасі. Разом із цим ряд видів — **стеноексифанти** — можуть існувати лише за достатньо високого насичення води киснем (райдужна форель, кумжа, голянь, війковий черв *Planaria alpina*, личинки одноденок, веснянок тощо). Багато видів здатні за нестачі кисню впадати в неактивний стан — **аноксифіоз** — 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, сплюснень, 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 легневих 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 **гомейосмотичних** 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 покриття гомойосмотичних організмів (ссавців, риб, вищих ракоподібних, водних комах).

За дефіциту води в тілі внаслідок зростання солоності багато пойкилосмотичних 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 пережити несприятливі умови внаслідок змінної солоності води. Істинно евригалінних 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 гарячих 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 стенотермія. 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 риби *Anableps tetrophthalmus*, одного із тропічних видів морських собачок *Dialommus fuscus* (рис. 3.12).

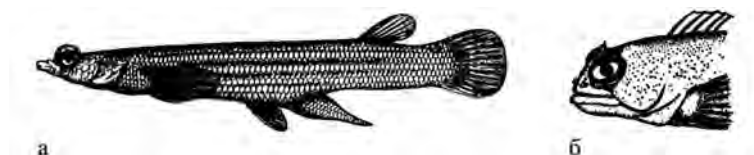


Рис. .12. Риби, очі яких пристосовані бачити як у воді, так і в повітрі (Нікольський, 1974): а— чотириока риба *Anableps tetrophthalmus*; б — чотириока риба морська собачка *Dialommus fuscus*

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.

12

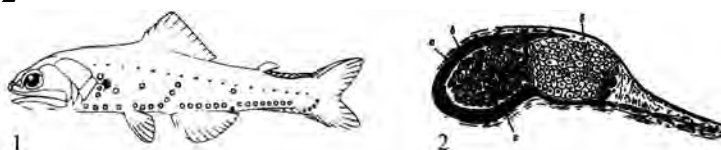


Рис. .1. Органи світіння водних тварин (Нікольський, 1974): 1 — розподіл органів світіння на тілі глибоководної риби *Lampanyctes*;

2 — світний орган глибоководної риби *Argyropelecus affinis*: а — пігмент, б — рефлектор, в — світне тіло, г — лінза

Біоломінесценція 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 біоломінесценція 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.

### ***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 — твердий 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 «літуні» і серед ссавців і рептилій). Літають наземні тварини в основному за допомогою мускульних зусиль, але деякі можуть і планувати 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.

### **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, дрови, 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 м<sup>2</sup> 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 черв'яків, молюсків та інших безхребетних. Крім того, 1 см<sup>2</sup> 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:

- верхній, перегнійно-аккумулятивний горизонт **A**, у якому накопичується й перетворюється органічна речовина і з якого промивними водами частина сполук виноситься донизу;
- ілювіальний горизонт **B**, де осідають і перетворюються вимиті речовини;
- 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<sub>0</sub>**) — шару пухкого скупчення рослинних залишків, темнозабарвленого гумусового шару (**A<sub>1</sub>**), в якому частки органічного походження перемішані з мінеральними, і підзолистого шару (**A<sub>2</sub>**), 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 углуб 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 міководойм. 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 10—15. Особливо дрібні представники джгутикових (нерідко 2—5 мкм). ґрунтові інфузорії також мають карликові розміри і до того ж можуть сильно міняти форму тіла.

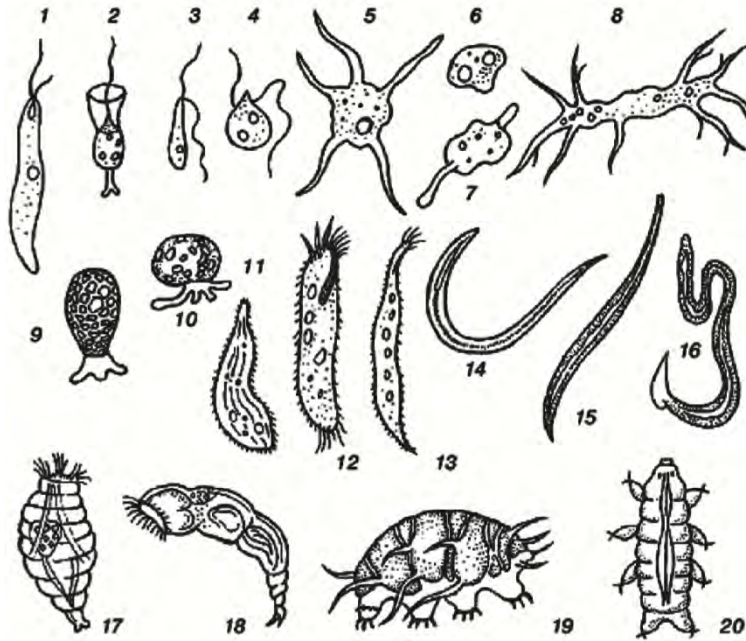


Рис. .1. Мікрофауна ґрунту (Чернова, Білова, 2004): 1—4 — джгутикові, 5—8 — голі амеби, 9—10 — черепашкові амеби, 11—13 — інфузорії, 14—16 — круглі черви, 17—18 — коловертки, 19—20 — тихоходи

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 паром ґрунтового 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.

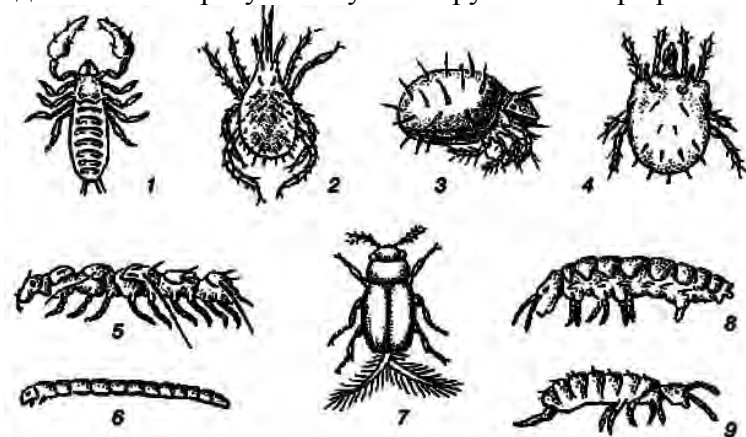


Рис. .15. Мезофауна ґрунту (Чернова, Білова, 2001): 1 — псевдоскорпіон, 2 — гамазовий кліщ, 3—4 — панцирні кліщі, 5 — багатоніжка, 6 — личинка комара-хірономіди, 7 — жук із родини Ptiliidae, 8—9 — колемболи

Разом 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 механічний 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).

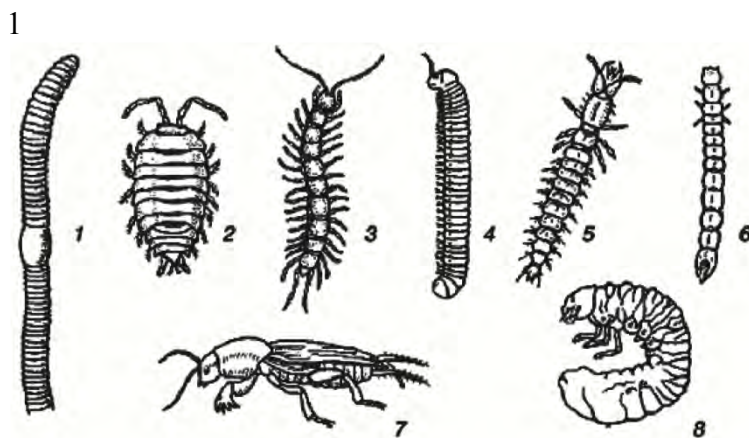


Рис. 3.16. Макрофауна ґрунту (Чернова, Білова, 2001): 1 — дощовий черв, 2 — мокриця, 3 — губонога багатоніжка, 4 — двопарнонога багатоніжка, 5 — личинка туруна, 6 — личинка жука-ковалика, 7 — вовчок, 8 — личинка пластинчатовусого жука

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 переслідуванням 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 допомогою 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.

#### **14. Виникнення та розвиток уявлень про консорцію**

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.

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, переносниками пилку, насіння тощо. На відміну від В. М. Беклемішева, він вважав, що як едифікатор 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**.

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.

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;
- **екскреціетрофи**, 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:

- **індивідуальна консорція**, за В. М. Беклемішевим (1951), — конкретна одиниця

біоценозу, що являє собою сукупність організмів, пов'язаних з одним індивідуумом будь-якого виду детермінанта;

- **популяційна консорція**, за Є. М. Лавренком (1959), — сукупність організмів, пов'язаних із певною популяцією вищої рослини;
- **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. Чернобай 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, Чернобай, 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. Чернобая. 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*).



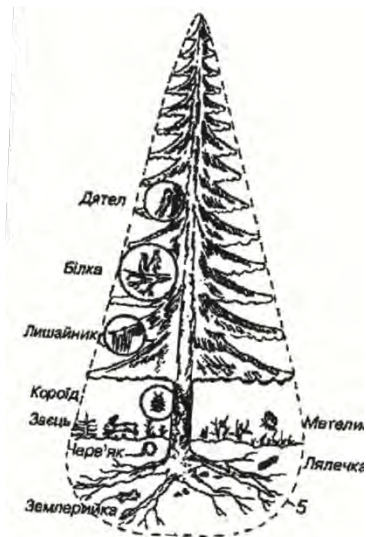


Рис. 5.. Зміст і будова консорції, яка включає ядро консорції, всіх облигатних консортів і середовище їх співіснування (Голубець, 2000)

Дніпропетровська екологічна школа отримала свій розвиток завдяки роботам О. Л. Бельгарда, М. П. Акімова, А. П. Травлєєва, 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 едіфікаторами 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.

Деяко 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.

### 15. Індивідуальна консорція.

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 функціональні 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, потрете, — з екосистемним рівнем (мікроугруповання на чолі з центральним організмом разом із неорганічними та органічними речовинами середовища утворюють елементарну екосистему).

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 взаємоприспособуванням виду детермінанта та його консортів. В результаті взаємних пристосувань досягнуто стохастично (імовірно) 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 показали 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).

#### **Питання для самоперевірки студентів:**

1. Дати визначення поняттю «популяція».
2. Розкрити поняття: «популяційний ареал».
3. Навести коротку характеристику структур популяцій (вікова структура, статеві структура, просторова структура, віталітетна структура, етологічна структура).
4. Охарактеризувати динаміку чисельності популяцій.
5. Вказати способи керування популяціями.
6. Описати основні охоронні заходи популяцій.
7. Розкрити питання «моніторинг популяцій».
8. Вказати закономірності впливу екологічних чинників.
9. Охарактеризувати поняття «екологічна ніша».
10. Визначити загальні принципи адаптації на рівні організму та типи пристосування.
11. Проаналізувати дію правил оптимуму та мінімуму.
12. Вказати принципи екологічної класифікації організмів.
13. Охарактеризувати найважливіші абіотичні фактори та адаптації організмів до них (температура, сонячна радіація, водне середовище, наземно-повітряне середовище, ґрунт і рельєф).
14. Проаналізувати виникнення та розвиток уявлень про консорцію.
15. Охарактеризувати індивідуальну консорцію, як елементарну екологічну систему та загальнобіологічне явище.

#### **Рекомендовані джерела інформації:**

1. Білявський Г.О. Основи екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський. – К. :Либідь, 2006. – 408 с.
2. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем / І.М. Дудник. – К. :Кодор, 2009. – 205 с.
3. Лесечко М.Д. Основи системного підходу: теорія методологія, практика: навч. посібник / М.Д. Лесечко. – Львів: ЛРУДУ, 2002. – 288 с.