

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

**Л.І. Соломенко,
В.М. Боголюбов,
А.М. Волох**

ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Підручник

Третє видання, виправлене і доповнене

Херсон
ОЛДІ-ПЛЮС
2020

УДК 504:168.522(0.75.8)

С 49

Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету біоресурсів
і природокористування України
(протокол № 3 від 25.10.2017 р.)

Рецензенти:

Лисенко В.І. – професор, доктор біол. наук, проректор з науково-навчальної роботи Таврійського державного агротехнологічного університету, м. Мелітополь;

Мальований М.С. – професор, доктор техн. наук, завідувач кафедри екології і збалансованого природокористування Національного технічного університету «Львівська політехніка», м. Львів;

Стародубцев В.М. – професор, доктор біол. наук, професор кафедри загальної екології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Соломенко Л.І.

С 49 Загальна екологія : підручник / Л.І. Соломенко, В.М. Боголюбов, А.М. Волох ; вид. третє випр. і доп. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 346 с.

ISBN 978-966-289-218-5

У підручнику розглянуто найважливіші теоретичні питання і розділи з навчальної дисципліни «Загальна екологія»: аутоекологія, демекологія, синекологія, основи біосферології та елементи еволюційного вчення і прикладної екології. Вміщено практичні заняття та короткий термінологічний словник, які сприятимуть глибокому осмисленню теоретичного матеріалу, виробленню навичок його практичного застосування.

Буде корисним для студентів, що навчаються за екологічними, біологічними, технічними і лісотехнічними спеціальностями, а також для аспірантів, викладачів і всіх, небайдужих до актуальних питань екології і збереження довкілля.

УДК 504:168.522(0.75.8)

ISBN 978-966-289-218-5

© Соломенко Л.І., Боголюбов В.М., Волох А.М., 2020

© ОЛДІ+, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
РОЗДІЛ I. ЕКОЛОГІЯ ЯК НАУКА	9
§1. Сучасна екологія: предмет, методи і структура	9
1.1. Етапи розвитку екології	11
1.2. Визначення, предмет і завдання екології	19
1.3. Структура сучасної екології	23
1.4. Методологічна основа екології	29
§2. Поняття про закони та принципи екології	35
§3. Біоекологічний підхід до рівнів організації живої матерії	38
Самостійні завдання до розділу I	43
РОЗДІЛ II. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АУТЕКОЛОГІЇ	45
§4. Поняття про середовище існування	45
4.1. Наземно-повітряне середовище	46
4.2. Водне середовище	51
4.3. Ґрунт як середовище існування	55
4.4. Організм як середовище життя	63
§5. Екологічні фактори середовища	65
5.1. Класифікація екологічних факторів	66
5.2. Принцип лімітуючих факторів	71
5.3. Біотичні фактори	86
5.4. Антропогенні фактори	105
Самостійні завдання до розділу II	106
РОЗДІЛ III. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЕМЕКОЛОГІЇ	110
§6. Поняття про популяцію	110
§7. Основні показники популяції	113
7.1. Динамічні показники популяції	114

7.2. Статичні показники популяції	119
7.3. Методи визначення чисельності популяції	128
§8. Динаміка чисельності популяції	130
8.1. Типи динамічних змін чисельності популяцій	132
§9. Екологічна ніша	133
Самостійні завдання до розділу III	137
РОЗДІЛ IV. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИНЕКОЛОГІЇ	140
§10. Структура та властивості біоценозів	140
10.1. Видова структура	142
10.2. Трофічна структура	144
10.3. Просторова структура	149
10.4. Умови утворення біоценозу	150
§11. Вчення про екосистеми	153
11.1. Співвідношення понять „біогеоценоз” та „екосистема”	153
11.2. Складові компоненти екосистеми	157
11.3. Біологічний кругообіг в екосистемі	158
§12. Біопродукційний процес в екосистемі	162
12.1. Трансформація енергії в екосистемі.	162
Екологічні піраміди	162
12.2. Міграція ксенобіотиків у трофічних ланцюгах	169
12.3. Оцінка ефективності біосистеми	171
12.4. Принцип лімітування біопродукції	174
12.5. Генетичні фактори продуктивності	177
§13. Стійкість екосистем	180
13.1. Динаміка екосистем	180
13.2. Загальні принципи стійкості екосистем	182
Самостійні завдання до розділу IV	187
РОЗДІЛ V. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОСФЕРОЛОГІЇ	192
§14. Становлення біосфери та її характеристика	192
14.1. Еволюція біосфери	193

14.2. Жива речовина	204
14.3. Біогеохімічні кругообіги речовини в біосфері	208
14.4. Антропогенний вплив на біосферу	211
§15. Загальна характеристика основних природних екосистем	217
15.1. Характеристика природних екосистем суходолу	220
15.2. Загальна характеристика водних екосистем	247
15.3. Біологічні ресурси планети, шляхи їх збереження	252
§16. Екологічна діагностика стану довкілля	260
16.1. Основи екологічних досліджень	260
16.2. Можливості біоіндикації на різних рівнях організації живих організмів	268
Самостійні завдання до розділу V	275
ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ	278
ТЕМА 1. Екологія як наука. Предмет, об'єкт та основні завдання її вивчення	278
ТЕМА 2. Типи середовищ. Екологічні фактори середовища	280
ТЕМА 3. Ознайомлення з фітонцидними рослинами і виявлення можливості використання їх в інтер'єрі приміщення	283
ТЕМА 4. Вивчення і оцінка основних показників популяції	287
ТЕМА 5. Порівняльний аналіз флори в біоценозах	289
ТЕМА 6. Розв'язування екологічних задач	291
ТЕМА 7. Розрахунок коефіцієнта екологічно-відповідних умов проживання людини	296
ТЕМА 8. Оцінка рівня забруднення автотранспортом атмосферного повітря чадним газом (CO) розрахунковим методом	303
СЛОВНИК ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕРМІНІВ	311
ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	321

ДОДАТКОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ	324
Додаток А. Основні закони аутоекології	324
Додаток Б Основні закони синекології	326
Додаток В. Основні закони екології великих систем	329
Додаток Д. Червона книга України	333
Додаток Е. Зелена книга України	336
Додаток Ж. Екологічні нормативи та стандарти якості навколишнього середовища	339
Додаток З. Адреси сайтів в INTERNET за екологічною тематикою	345

ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна „Загальна екологія” забезпечує формування базових екологічних знань, основ екологічного мислення професійного фахівця, здатного не тільки грамотно, науково-обґрунтовано користуватися, але й захищати природу, здійснювати вагомий внесок у формування масової екологічної свідомості населення, набувати необхідних умінь для прийняття правильних відповідних рішень, тощо.

Даний підручник методологічно відрізняється від вже існуючих [1, 5, 7, 8]. При цьому, представлений матеріал інформаційно відповідає головним складовим загальної екології як теоретичної екології, де кожен наступний розділ в ієрархічному порядку представляє певний рівень біотичної системи, яку вивчає дисципліна „Загальна екологія”. Послідовне застосування методології системного підходу дозволяє отримати цілісне уявлення про екологічні процеси, зрозуміти логіку розвитку як окремих біосистем, так і екосистеми в цілому, зрозуміти загальні закономірності речовинно-енергетичних та інформаційних процесів, які забезпечують гомеостаз екосистем та біосфери в цілому.

Підручник розрахований на студентів класичних, технічних, аграрних та інших ВНЗ III і IV рівнів акредитації природничих спеціальностей, де читаються дисципліни „Загальна екологія” або „Екологія”. Методично це відображається в розподілі авторами інформаційного матеріалу як основного, так і під рубриками „Додаткова інформація”, „Зверніть увагу” та „Цікаво”. Автори в посиланнях наводять більш розширену інформацію про видатних вчених-екологів, чиї праці стали вагомим внеском у розвиток екології як науки.

В кінці кожного розділу студентам пропонуються для самоконтролю знань самостійні завдання, питання та тестові

завдання. Пропонуються також практичні завдання до кожного розділу, які можуть бути використані під час практичних занять, а також термінологічний словник і додаткова інформація у вигляді додатків, що сприятимуть глибшому осмисленню теоретичного матеріалу, виробленню навичок його практичного застосування.

Підготовка авторами матеріалу підручника була розподілена таким чином: **Соломенко Людмила Іванівна**, доцент, кандидат біологічних наук – Розд. I (§1, п. 1.1, 1.3; §2; §3), Розд. II, Розд. III (§6; §7; §8), Розд. IV, Розд. V (§14, п. 14.2; §15; §16, п. 16.2), „Практичні завдання” та „Самостійні завдання”; **Боголюбов Володимир Миколайович**, професор, доктор педагогічних наук, завідувач кафедри загальної екології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів та природокористування України – „Передмова”; Розд. I (§1, п. 1.2, 1.4), Розд. II (§5, п. 5.4), Розд. IV (§11, п. 11.2; §12, п. 12.1), Розд. V (§14; §16); **Волох Анатолій Михайлович**, професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища Таврійського державного агротехнологічного університету – Розд. I (§1, п. 1.1), Розд. II (§4, п. 4.3, §5, п. 5.3), Розд. V (§14, п. 14.3 §15, п. 15.1).

Автори висловлюють подяку науковим рецензентам підручника – директору Мелітопольського інституту екології і соціальних технологій університету „Україна”, професору, доктору біологічних наук **Лисенку Валерію Івановичу**; завідувачу кафедри екології і збалансованого природокористування Національного технічного університету „Львівська політехніка”, професору, доктору технічних наук **Мальованому Мирославу Степановичу** та професору кафедри загальної екології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування України, професору, доктору біологічних наук **Стародубцеву Володимирі Михайловичу** за цінні поради та зауваження, що були висловлені у процесі роботи над підручником.

РОЗДІЛ I

ЕКОЛОГІЯ ЯК НАУКА

§1. СУЧАСНА ЕКОЛОГІЯ: ПРЕДМЕТ, МЕТОДИ І СТРУКТУРА

Термін „екологія” (від грецького *oikos* – дім, помешкання і *logos* – слово, закон) ввів у науковий вжиток німецький зоолог і натураліст Ернст Геккель (E. Haeckel, 1834–1919)¹ в праці „Загальна морфологія організмів”. Так він у 1866 році назвав „науку, яка вивчає відносини між живим організмом та тим природним середовищем, де він перебуває”. Отже, у широкому розумінні, екологія це наука, яка цікавиться організацією природи та її механізмів, а також взаємодією її складових. Геккель розглядав екологію як „знання суми відносин організмів з оточуючим світом, з органічними і неорганічними умовами існування”.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Для порівняння, термін „економіка” (має той же корінь *oikos*, і *nomos* – порядок, закон) означає систему господарювання (в домі, де мешкає людина), а термін „екологія” – наука про дім. Тобто, за визначенням, економіка мала б бути складовою екології, а не навпаки. Сучасний стан речей свідчить про те, що людина настільки розширила сферу свого впливу, що захопила практично все природне середовище.

¹ Молодий професор Ієнського університету Ернст Геккель у 1860 р. познайомився з «Походженням видів» Ч. Дарвіна і ця книга відразу захопила його. Вже через шість років він видає найважливішу працю свого життя «Загальна морфологія організмів. Загальні основи науки про органічні форми» (Haeckel E. Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der Organischen Formen-Wissenschaften, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformierte Descendenz-Theorie. Berlin, 1866. – Bd. I «Allgemeine Anatomie der Organismen». – 574 S.; Bd. II «Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen». – 462 S. Саме в цій праці Е. Геккель запровадив у вжиток термін «екологія», який не відразу ввійшов до наукового лексикону.

Слід відразу вказати на необхідність відрізнити екологію, як науку від „екологізму”² – поняття, що узагальнює цілу низку видів діяльності і навіть філософських концепцій, які можна розглядати як більш чи менш віддалені „плоди справжньої” екології. На жаль, останнім часом термін „екологія” часто поєднується з терміном „довкілля”, що істотно його звужує і збіднює, а також спричиняє небажану плутанину й непорозуміння.

Термін „навколишнє середовище” або „довкілля” (англ. – „environment”) використовується екологами вже більше 50 років для позначення всієї сукупності живих і неживих компонентів, які визначають умови життя всіх рослинних і тваринних організмів. Це напрям дуже влучно пояснюється англійськими вченими: „Екологія вивчає організми та середовище їхнього існування, тому дуже важливо зрозуміти зв’язок між ними”³.

Термін „довкілля” став поєднуватися з багатьма дисциплінами, наприклад, з медициною, соціологією, географією і навіть політикою. Слід також розрізнити довкілля, у його найширшому значенні, як середовище мешкання всіх рослин і тварин, і людське довкілля, що об’єднує абіотичні й біотичні фактори, які спричиняють певний вплив на Людину.

Екологія є одночасно новою точкою зору і синтезуючою наукою⁴. З цього подвійного твердження випливає, що вона, з одного боку, є „новим поглядом” на природу, який повинен пронизувати все навчання та виховання дітей і молоді на всіх існуючих рівнях і, з другого боку, вона перетворюється на продуктивну міждисциплінарну науку.

² **Екологізація** – процес неухильного і послідовного впровадження систем технологічних, управлінських та інших рішень, що дають змогу підвищувати ефективність використання природних ресурсів з одночасним збереженням або поліпшенням природного середовища на всіх рівнях. Екологізація науки, культури, всіх видів людської діяльності – найважливіша вимога сучасності, один з головних чинників гармонійного розвитку людства.

³ Бигон М., Харпер Дж., Таусенд К. Екологія: особи, популяції і сообщества: В 2 т. – М.: Мир, 1989. – Т. 1. – 667 с.

⁴ В побуті, як правило, термін «екологія» пов’язують переважно з проблемами забруднень довкілля, що, безумовно, не відповідає змісту сучасної екології.

1.1. Етапи розвитку екології

Бурхливий розвиток екології останніми десятиліттями сприяв надзвичайно глибокому оновленню цієї дуже давньої царини знань.

Перший етап (стародавній, підготовчий) – до 1866 року. Не буде перебільшенням стверджувати, що екологія як галузь знань „існувала завжди”. Первісна людина померла б від голоду без необхідних знань про особливості поведінки дичини, якби не мала отриманого від предків і набутого самостійно досвіду „взаємовідносин з довкіллям”. У наукових працях учених усіх давніх цивілізацій зустрічається чимало цікавих даних про вплив на рослини і тварин кліматичних змін, про особливості відомих їм живих організмів, ознаки пристосування до умов середовища проживання тощо. Екологія має довгу передісторію. Г.В. Нікольський⁵ (1956), проаналізувавши індійську поему „Рамаяна” і епос „Макабхарата” (VI – II вв. до н.е.), відмітив, що у них наведені свідчення про спосіб життя ~50 тварин. Є цікаві дані про їх місцез перебування, харчування, розмноження, добову активність, поведінку у зв’язку впливом природних чинників – випадіння дощів, пересихання водойм, зміною рослинності.

Одним із перших дослідників стану навколишнього середовища давньогрецький вчений Аристотель⁶ (384–332 р. до н.е.) у рукопису „Історія тварин” класифікував останніх за способами існування (водні, сухопутні, а серед перших – цілковито водні та ті, що мешкають та харчуються у воді, але дихають повітрям і народжують малюків на суходолі, окремо – представники річок, озер і боліт) та за типом руху (плавання, хода, політ, повзання),

⁵ Нікольський Г.В. Сведения по экологии животных в индийском эпосе «Махабхарата» и «Рамаяна» // Вопр. истории естествознания и техники. – 1956. – Вып. 2. – С. 146-154.

⁶ Аристотель – давньогрецький вчений-енциклопедист, філософ і логік, засновник класичної (формальної) логіки. Він був одним із найвизначніших енциклопедистів, відомих людству. Заклав основи біології, фізики, етики, логіки, психології, соціології.

Генеральна конференція ЮНЕСКО проголосила 2016 рік ювілейним роком Аристотеля.

а також за місцеперебуванням). Вважається, що його учень Теофраст (371 – 287 р. до н.е.) у своєму трактаті „Дослідження про рослини” обґрунтував методологічні вимоги до вивчення будови і різних процесів життєдіяльності організмів, є основоположником застосування методів аналізу в екологічних дослідженнях.

Епоха Відродження сприяла подальшому розвитку наук про природу. Роджер Бекон (1214–1294) з’ясував, що живі та неживі тіла побудовані з одних і тих самих матеріальних частинок, а живі істоти залежні від навколишнього середовища. Відомий енциклопедист середньовіччя Альберт Великий⁷ (1206–1280) висунув ідеї про зміни рослин під впливом факторів середовища і розкрив питання переходу рослин з дикого стану у культурний.

На початку XVII ст. Антон Ван Левенгук (1632–1723) винайшов мікроскоп, що дало змогу вивчити будову не лише бактерій і клітин крові, але й харчові ланцюги та регулювання чисельності популяцій. Ці дослідження у подальшому розвинулися у найважливіші розділи сучасної екології. Праця Жорж-Луї Бюффона (1707-1788) „Природнича історія” підводить до думки про єдність рослинного і тваринного світів та їхній взаємозв’язок із середовищем існування. Цьому вченому також належить ідея щодо історичної мінливості рослин і тварин та впливу людської діяльності на причини змін клімату.

Видатний шведський природознавець Карл Лінней (1707–1778) у своїх працях („Система природи”, „Філософія ботаніки”) показав вплив природних умов на різноманітність живих організмів, запропонував систематику рослин та заклав основи систематичного підходу в екологічних дослідженнях. У своїй книзі „Філософія зоології” французький природознавець Жан-Батист Ламарк (1744-1829) виклав результати дослідження впливу умов

⁷ (лат. **Святий Альберт Великий**. *Albertus Magnus*, бл. 1193 – 15 листопада 1280) – німецький католицький теолог, філософ і природознавець, чернець-домініканець, автор філософських творів («Про причини та про виникнення загального») і природничо-наукових трактатів про мінерали, рослини, тварин.

середовища на пристосованість тваринних організмів, що дало змогу пояснити вплив середовища на живі організми.

Початковий період становлення екології умовно закінчився у 1866 році, пропонуючи „свою екологію”, Е. Геккель мав на увазі не лише поглиблення таких досліджень, а й перехід до пошуків і формулювання основних законів взаємодії живого з довкіллям, а відтак, – до використання їх на практиці.

На **другому етапі** (до 30-х років ХХ ст., ауतेкологічний) вчені переважно спиралась на визначні праці Ч. Дарвіна, О. Гумбольдта⁸, Е. Геккеля та інших видатних дослідників і зосереджували свою увагу на дослідженні впливу фізичних (температура, світло тощо) і хімічних (склад води та ін.) факторів на життєдіяльність окремої особини чи цілого виду.

Екологія довго розвивалася як частина біології – загального уявлення про світ живого. Не виокремлюючись істотно з неї, за сотню років вона тричі змінила свою *парадигму* (вихідний принцип, основу міркувань і досліджень). Тимчасово екологія зужується до *ауतेкології* (екології особини), що тоді було певною перевагою, а не вадою.

Російський зоолог Карл Рульє⁹ створив концепцію екології тварин і таким чином дав поштовх розвитку екологічного напрямку у всій біологічній науці. Своїми працями вчений пока-

⁸ Гумбольдт Олександр Фрідріх Вільгельм фон (*Humboldt A.*, 1769-1859) славетний німецький натураліст, фітогеограф, один з найвидатніших за всю історію учений-мандрівник. У багатотомному виданні «Космос» О. Гумбольдт звернув увагу на те, що рослини трапляються у складі певних угруповань, а за схожих екологічних умов, виникають і схожі фітоценози. Він також відкрив взаємозв'язок між широтою і висотою над рівнем моря, показавши, що під'їом в гори в тропіках аналогічно мандрівці на північ (або на південь) від екватору. Одним з перших дійшов висновку про необхідність синтезу наук при дослідженні природного комплексу, що включає живі й абіотичні елементи, пропагував ідею цілісного вивчення природи, сформував поняття про «фізіологічні типи» рослин.

⁹ Рульє Карл (Шарль) Францевич (1814-1858) – професор Московського університету, автор знаменитої праці «Життя тварин по відношенню до зовнішніх умов». Поряд з А. Гумбольдом К. Ф. Рульє є одним із перших фундаторів системного дослідження природи, носіями та полум'яними пропагандистами ідей цілісного світосприймання. Рульє-теоретик не залишив узагальнюючої праці з повним викладенням своїх поглядів, які багато в чому передбачили основні положення екології, що виникла через десятиліття. Вихідним теоретичним положенням, що мало визначальне значення для розвитку екологічних ідей Рульє, був принцип тісного взаємозв'язку організму з навколишнім середовищем і їх безперервного розвитку.

зав можливість практичного використання екологічних знань, зокрема у сільському господарстві.

Вчені цього періоду використали всю могутність наукового методу досліджень, додавши до загального ознайомлення і спостережень обмірковані наперед порівняно точні *досліди з вартими довіри результатами* (наприклад, про вплив мінеральних добрив на розвиток рослин і кінцевий урожай). Ці праці послужили поштовхом до синтезу даних геології, геоботаніки, гідрології, ґрунтознавства, кліматології багатьма наступними вченими.

Упродовж XIX та початку XX століття розвиток спеціальних аналітичних наук сприяв накопиченню фактичних даних, без яких було б неможливим формування екології як сучасної синтетичної науки. Було встановлено, що живі організми своїм існуванням та розвитком найтіснішим чином залежні від природного середовища. Аутоекологія тварин та рослин в першій половині XX століття стала повноправною науковою дисципліною.

Екологи тих часів були малопомітними представниками „чистої науки”. Громадськість мало цікавилася їхніми спостереженнями, дослідями і науковими працями. Вперше на екологів звернули увагу у зв'язку з їх спробами „зберегти природу”, створити захищені зони і національні парки для порятунку рослин і тварин, яким загрожувало зникнення. Завдяки підтримці журналістів і частини політиків їм таки дещо вдалося, адже з'явилися не лише перші заповідники, але й закони і правила щодо рибальства і полювання.

Третій етап (1930–1970 рр.) – син екологічний, був порівняно нетривалим і стосувався дослідження великих груп організмів (популяцій та їх об'єднань) під кутом аналізу взаємодії окремих особин і популяцій різних видів істот. Прикладом є проблема взаємовпливу хижаків та їхньої здобичі, видів – продуцентів (зелених суходольних рослин, водоростей тощо) і видів – споживачів (комах, тварин, риб тощо). Лідером серед усіх царин екології стала *популяційна екологія* або *демекологія*.

Великою заслугою цього етапу розвитку екології є залучення такого могутнього інструменту, як вища математика¹⁰ (насамперед диференціальних рівнянь). Вперше екологи дістали змогу теоретично моделювати розвиток подій у живому довкіллі, робити передбачення (на жаль, надто спрощені й не досить точні). У науковому пізнанні укорінюється *системний підхід* до дослідження різних об'єктів. Принципи системності простежуються у працях Карла Людвіга фон Берталанфі (загальна теорія систем), Клода Бернара (вчення про гомеостаз). Саме в цей період вводяться у вжиток поняття „екосистема”, „біогеоценоз”, формулюються основні екологічні закони.

До найвизначніших екологів цього періоду належать такі зарубіжні вчені, як Г. Бердон-Сандерсон, Ч. Елтон (Англія); С. Форбс, В. Шелфорд (США); вітчизняні Д. Кашкаров, А. Парамонов, С. Северцев, В. Сукачов та ін.

В 1942 р. у США молодий гідробіолог Роберт Ліндемман видав книгу „Трофіко-динамічний напрямок у екологічних дослідженнях”.

Незважаючи на військовий час, вона була перевидана в 1943 р. в СРСР. Її суть полягає в тому, що біотичне співтовариство – це єдине ціле з неорганічним субстратом, у якому від одного трофічного рівня до наступного передається 10-20 % енергії.

Попри всі досягнення, екологічні дослідження цього етапу ще не виходять за межі біоекологічних, оскільки проблем самої людини і взаємозв'язків її з природою вони майже не торкалися.

Четвертий етап (1970 р. – дотепер, сучасний) розпочався, коли домінуючим стало уявлення (сучасна парадигма) про „пов'язаність усього з усім”. Було, хоч і з запізненням, усвідомлено необхідність одночасного і якнайточнішого врахування як взаємодії між собою та з речовинним довкіллям усіх видів і варі-

¹⁰ **Вольгерра Віто** (*Volterra Vito*) (1860-1940) – італійський математик, автор загальноновідомої класичної математичної моделі конкуренції та хижацтва («*Математична теорія боротьби за існування*», 1926). Він був наймолодшим сенатором Італійського королівства, борцем з фашизмом та єдиним із сенаторів, хто голосував проти передачі всієї повноти влади Муссоліні.

антів живого довкілля, так і змін природного середовища внаслідок розвитку сфер Землі і впливу на нього людської діяльності.

Необхідність такого розширення сфери екологічних досліджень розуміли й раніше окремі видатні вчені, які задовго до початку четвертого етапу вели дослідження на „синекологічному” рівні.

Серед таких геніїв – наш земляк, нащадок запорізьких козаків Володимир Іванович Вернадський (1863–1945)¹¹, який був першим керівником і співзасновником Академії наук України, а також засновником кількох сучасних наук (геохімії, біогеохімії, радіогеології та ін.). Великий внесок у природознавчі дослідження зробили його сучасники фітоекологи Г. Висоцький (1838–1940) та П. Погребняк (1900–1976).

Відкриття В.І. Вернадського посідають особливе місце в історії екології. Він довів наявність широкомасштабного впливу живих організмів на абіотичне середовище. У той період, коли наукова громадськість вже була підготовлена до цілісного бачення природи, він своєчасно запропонував вчення про біосферу як про одну з оболонок Землі, що визначається присутністю живої речовини. В. І. Вернадський вперше ввів у методологію вивчення біосфери кількісний підхід, що дозволило об’єктивно оцінити масштаби біогеохімічного кругообігу речовин.

Не можна не згадати й англійця А. Тенслі¹², який у 1935 р. запропонував у вжиток поняття „екосистема”, узагальнивши

¹¹ **Вернадський Володимир Іванович** (28.02.1863-06.01.1945) – в відомий геохімік, фундатор вчення про біосферу та ноосферу. Народився 28 лютого 1863 року в сім’ї професора економіки й історії Київського і Московського університетів. З травня 1918 року працював у Києві над створенням Всеукраїнської Академії наук та в галузі освіти. 27 жовтня 1918 року на першому засіданні Української Академії наук обраний її президентом. В 1926 р. в монографії *«Біосфера»* викладено вчення про біосферу, встановлено функції живої речовини, її геохімічну роль та значення у формуванні сучасного вигляду нашої планети. Серед його основних наукових робіт: *«Жива речовина»* (1920), *«Нариси біохімії»* (1924); *«Історія природної води»* (1933-1936) та інші.

¹² **Тенслі Артур Джордж** (*Tansley Arthur G.*, 1871-1955) англійський ботанік, на противагу концепції надорганізму Клементса запропонував концепцію екосистеми. В журналі *«Ecology»* в 1935 р. була опублікована його стаття *«Використання і зловживання концепціями і термінами науки про рослинність»*. Ця праця увійшла в історію екології: в ній вперше було запропоновано та визначено поняття «екосистема». У 1913 р. він був визнаним лідером англійських екологів і фітоценологів, якого згодом обрали першим президентом Екологічного товариства Великобританії.

розпочаті ще до нього поглиблені дослідження характеристик екосистем (ланцюгів живлення і пірамід мас та енергій, ролі продуцентів, консументів і редуцентів тощо).

Розвиток екосистемного аналізу привів до появи вчення про біосферу. Сам термін „біосфера” запропонував австрійський геолог, професор геології Віденського університету **Зюсс Едвард**¹³. Зюсс писав: „...як на Сонці виділяють концентричні оболонки, так, напевно, і на Землі можна відрізнити оболонки, з яких кожна знаходиться у численних зв'язках з іншими... (біосфера) простягається тепер як над сухою, так і над вологою поверхнею”.

Синекологія – вчення про взаємодію популяцій між собою і найближчим довкіллям – швидко поступилася першістю *глобальній екології*, об'єктом вивчення якої є вся біосфера (точніше – система, що складається з живих істот, включаючи все людство, і навколишнього середовища). Водночас виникли і почали стрімко розвиватися десятки (!) галузей, розділів, підрозділів сучасної екології. Не лише становлення а й поділ та найменування цих вузких чи вузьких напрямків екології тривають безперервно. Одні фахівці стверджують, що їх налічується близько 50, інші обґрунтовано доводять, що набагато більше. Проте для нас важливішою є та обставина, що серія грандіозних техногенних екологічних катастроф післявоєнного періоду підготувала ґрунт для належного сприйняття монографій американського вченого Юджина Одума¹⁴ у 70–90 роках ХХ ст. (найвідоміша – двотомна „Екологія”) і перетворення екології на важливу

¹³ **Зюсс Едвард** (*Suess E.*, 1831-1914) запропонував поняття «біосфера» у своїй праці «Виникнення Альп» (1875).

¹⁴ **Одум Юджин** (*Odum Eugene P.*, 1913-1991). Всесвітньо відомий американський еколог, належить до династії знаменитих екологів, автор низки найпопулярніших у світі підручників з екології. Прізвище Одум добре відомо і в США, і в усьому світі. Наукову діяльність Ю. Одум розпочав як орнітолог, хоча вже одна з перших його публікацій стосувалася теоретичних конструкцій і називалась «*Концепція біому стосовно до розподілу північноамериканських птахів*» (1945). Ще в 1954 р. він опублікував підручник «*Основи екології*». У 1998 р. побачила світ остання монографія Ю. Одума «*Екологія. Міст між наукою і суспільством*», у якій він стає дла «інвайроменталістів»: «...екологія – інтегруюча наука, що має величезний потенціал для створення мосту між наукою і суспільством, що й підкреслював новий підзаголовок».

для практики науку й гасло, заклик до подолання значної частини загроз існуванню людства.

Середина та друга половина ХХ століття ознаменувалися проведенням широкого фронту екологічних досліджень, в яких помітне місце займають і екологи України. Перший науковий центр екологічних досліджень в Україні був створений у 1930 році при Інституті зоології і ботаніки Харківського державного університету. Це був лише сектор екології, який очолив В.В. Сташинський (1930–1940). Він раніше всіх підійшов до ідеї біогеоценозу, його праця „До розуміння біоценозу” створена у 1933 році є класичною в галузі вивчення зв'язків між організмами в ценотичних системах. Ще за 10 років до В.М. Сукачова¹⁵ (1880–1967) вчений підійшов до ідеї біогеоценозу як функціональної єдності біоценозу та абіотичних факторів.

Світове визнання отримали дослідження таких українських вчених, як Підоплічко І.Г., Погребняк П.С., Стопка С.М., Гринь Ф.А., Воробйов Д.В. Досліджував штучні ліси України Бельгардт О.Л. (1971); вчення про лісові підстилки та їх екологічну значущість створив Травлеєв А.П. (1980-1985).

Академік М.Г. Холодний (1882-1953) зробив значний внесок у розробку методик дослідження мікробного населення ґрунтів та водоймищ, у розвиток екологічного напрямку в мікробіології.

У сучасний період в Україні широке визнання отримали праці з проблем загальної екології та захисту біосфери академіків Шеляг- Сосонка Ю.Р. (1999), Голубця М.А. (2003). Академік К.М. Ситник увів у науковий обіг поняття „інвайронменталізм” і започаткував новий напрям вивчення навколишнього середовища – інвайронментологію. Завдяки турботам К.М. Ситника

¹⁵ Сукачов Володимир Миколайович (1880-1967) російський біогеоценолог, розробив вчення про рослинні угруповання – фітоценози. Фундатор вчення про біогеоценози (1940). Наукова діяльність В.М. Сукачова, який тривалий час був лідером російських геоботаніків і екологів, розпочалася наприкінці 19 ст. Головна його заслуга полягає у створенні біогеоценології – системної науки про структуру і динаміку біогеоценозів. Слід відзначити, що наукова школа Сукачова виявилась досить консервативною і не змогла розвинути це вчення, наповнивши його енергетичним змістом, як це було зроблено в екології.

було створено два біосферних заповідники. Всій науковій і природоохоронній громадськості відомі його монографії, підручники та довідник з екології, охорони довкілля, біосферології та ноосферології. Протягом багатьох років академік очолював Національний комітет України з програми ЮНЕСКО „Людина і біосфера”. Чимало зусиль учений доклав до створення Червоної книги України як редактор її першого видання (1980), а також публікацій наукової спадщини академіка В. І. Вернадського – творця вчення про біосферу.

У головних наукових центрах України в Києві, Львові, Дніпропетровську ведуться активні розробки складних екологічних проблем, відкрито Інститут екології Карпат. Радіоекологи України (академіки Гродзинський Д.М., Гудков І.М., Прістер Б.С., професор Кутлахмедов Ю.О. та ін.) зробили вагомий внесок у розробку методів оцінки рівня радіоактивного забруднення великих територій та зниження екологічних збитків від наслідків аварії на ЧАЕС. Професор В.С. Крисаченко зробив вагомий внесок у дослідження системи „людина-природне середовище” з точки зору філософських проблем. Є.М. Кондратюк у 1970-1980 рр. розробив методи рекультивації териконів Донбасу.

1.2. Визначення, предмет і завдання екології

Хоча термін екологія введений тільки в 1866 році, історія становлення екології як науки налічує кілька тисяч років. Ще на піраміді Хеопса було знайдено надпис „Люди загинуть від невміння користуватись силами природи і від незнання істинного світу”. Вже в ті далекі часи людина замислювалась над явищами природи і розуміла, що вона є лише маленькою її частинкою.

З часів Е. Геккеля поняття „екологія” постійно змінювалося (табл. 1), його значення то розширювалося, то звужувалося. До середини ХХ ст. екологія здобула статус науки про організацію

Визначення екології як науки

Автори	Роки	Версія визначення
Ернст Геккель	1869	Під екологією ми розуміємо суму знань, що відноситься до економіки природи: вивчення всієї сукупності взаємовідносин живого з навколишнім середовищем, як органічним, так і неорганічним...
Чарльз Елтон	1927	Екологія є дослідженням тварин і рослин у зв'язку з їхнім способом і середовищем проживання (замість слів “тварини і рослини” краще вживати слово “організми”, тому що зараз виділяються й інші категорії організмів – гриби, бактерії – які не належать до рослинного або тваринного світів).
Юджин Одум	1975	Екологія – це біологія навколишнього середовища
	1980	Екологія – міждисциплінарна галузь знань про устрій і функціонування багаторівневих систем у природі і суспільстві в їх взаємозв'язку.
	1986	Сьогодні екологія сформувалась у принципово нову інтегральну дисципліну, яка зв'яже фізичні та біологічні явища і створює міст між природничими і суспільними науками.
В.Д. Федоров	1980	Екологія вивчає сукупність живих організмів, які взаємодіють один з одним і утворюють з навколишнім середовищем певну єдність (систему), в межах якої здійснюються процеси трансформації енергії і речовини.
Едвін Кребс	1985	Екологія – це наукове дослідження взаємодій, що визначають поширення і кількість організмів.
М.Ф. Реймерс	1992	Сучасна екологія – новий розділ знання, наука про виживання в навколишньому середовищі, фундаментальна основа для природоохоронного знання...

Автори	Роки	Версія визначення
М.М. Моїсєєв	1995	Перед людством на весь зріст піднімається проблема виживання – центральна проблема сучасної науки. Дисципліна, яка вивчає її, носить назву екологія.
В.С. Крисаченко	1998	Найкраще екологію визначити як науку про взаємини біосистем з природним довкіллям, котре визначає просторові та часові параметри їх існування та розвитку, наскільки ефективно та повно будуть реалізовані всі соціальні функції екології: гносеологічна, освітня, інформативна, світоглядна, естетична, етична...

і функціонування надорганізмених біологічних систем усіх рівнів. Проте в останні десятиріччя, коли під впливом агресивно-технократичної природопідкорювальної діяльності людини почала активно розвиватися глобальна екологічна криза й існування цивілізації опинилося під загрозою, екологія значно розширила коло своїх наукових і практичних завдань.

В англомовних країнах термін „екологія” має обмежене значення. Під цим терміном розуміють таку галузь знань як загальна екологія, а наука, що вивчає діяльність людини в галузі охорони довкілля називається „*environmental science*” або *енвайронментологія* (від *енвайронмент* – довкілля). Це зумовлює деякі розбіжності як при тлумаченні термінів різними вченими, так і при перекладі англомовних текстів.

Екологія перетворилася на комплексну фундаментальну і прикладну науку, головним завданням якої стало збереження життя і цивілізації на планеті, а в центрі уваги залишаються живі організми і, зокрема, людина.

На початку XXI ст. поняття „екологія” досягло найвищого політичного рівня і екологічний імператив (сукупність обмежень) став набувати визначального значення при формуванні шляхів розвитку матеріального виробництва та духовної культури.

У науковій і навчальній літературі останнього десятиліття можна знайти не один десяток понять екології, що визначають її як науку і як навчальну дисципліну, але далеко не всі вони об'єктивно відображають її сучасну сутність і значення.

Сучасне визначення екології як науки про взаємовідносини живих організмів між собою та навколишнім середовищем у різних вчених дещо відрізняється, проте висновок їх зводиться до того, що екологія перетворилась на комплекс фундаментальних і прикладних дисциплін.

Екологія як наука розглядає об'єкти довкілля, як системні ланки, члени яких знаходяться в тісному взаємозв'язку і взаємозалежності. З цього випливає необхідність обліку безлічі факторів при аналізі тих чи інших екологічних явищ і тим більше при плануванні будь-яких втручань в екосистеми.

Отже, **екологія** – це наука про середовище нашого існування, його живі і неживі компоненти, взаємозв'язки, взаємодію між цими компонентами, а також про особливості взаємозв'язків і узгодження Стратегії природи та Стратегії людини, що має базуватися на ідеї самообмеження Людини і розумної коеволюції Техносфери та Біосфери.

Такий підхід, у свою чергу, неможливий без комплексного підходу до вивчення, оцінки і вирішення різних екологічних завдань.

До **головних завдань** сучасної екології відносять :

- вивчення загального стану сучасної біосфери (біологічних систем усіх рівнів), умов і чинників його формування, причин і обсягів змін під впливом різних природних і антропогенних чинників;
- прогнозування динаміки стану екосистем і біосфери в цілому в часі й просторі;
- розроблення, з урахуванням екологічних законів, шляхів гармонізації взаємовідносин людського суспільства і природи;
- збереження здатності біосфери до саморегуляції і самовідновлення;

– дослідження живої компоненти біосфери, її реакції на різні впливи, а також пізнання всіх процесів функціонування життя.

На сьогоднішній день не можна предметом вивчення екології називати тільки живі організми, адже вивченням живих організмів займається біологія. *Предметом досліджень екології є взаємозв'язки живих організмів, їхніх груп різних рангів, живих і неживих компонентів середовища.*

Об'єктом досліджень екології є детальне вивчення за допомогою кількісних методів структури та функціонування природних, природно-антропогенних та антропогенних екосистем на різних рівнях організації живої речовини з метою розробки теоретичних основ їх охорони.

1.3. Структура сучасної екології

Проблема відвернення глобальної екологічної кризи поставила питання об'єднання всіх наукових знань і галузей практичної діяльності на єдиній науковій основі. В результаті екологія, за словами М.Ф. Реймерса, перетворилась на комплексну міждисциплінарну науку, структура якої включає близько 90 напрямів і піднапрямів, які сформувалися впродовж останніх десятиліть в усіх галузях людської діяльності, де йдуть процеси екологізації. Ці напрями умовно можна об'єднати в чотири блоки – біоекологію, геоекологію, техноекологію та соціоекологію.

Структура сучасної екології свідчить про її тісний взаємозв'язок з іншими науковими дисциплінами (рис. 1).

Серед підрозділів сучасної екології відокремлюють загальну екологію, що об'єднує різні екологічні знання на єдиному науковому фундаменті. Головними складовими загальної екології вважають теоретичну екологію, яка встановлює загальні закони функціонування екосистем, а також експериментальну

та математичну екологію, включаючи моделювання екологічних процесів, обробку інформації та її кількісний аналіз.

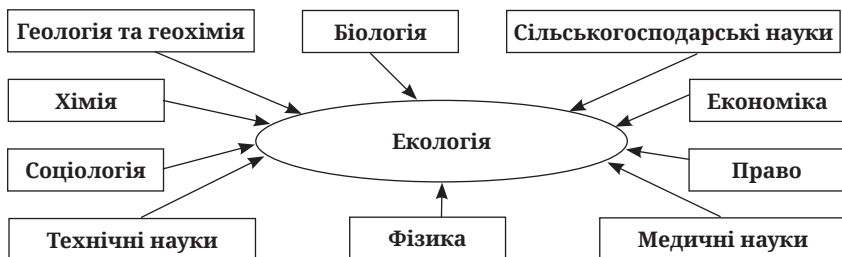


Рис. 1. Місце екології в структурі сучасних наук
(Білявський, 2004)

Як уже згадувалось, за рівнем біотичних систем загальну екологію поділяють на:

- *аутекологію* або екологію особин (факторіальну екологію), яка вивчає взаємозв'язки представників виду з компонентами середовища: межі стійкості виду до дії різних екологічних факторів, досліджує вплив середовища на морфологію, фізіологію і поведінку організмів, розкриває загальні закономірності дії екологічних факторів довкілля на живі організми;

- *демекологію* або *популяційну екологію*, яка вивчає структуру популяцій, описує коливання їх чисельності і виявляє причини цих явищ.

- *синекологію* або екологію спільнот, яка вивчає стосунки між особинами, що належать до різних видів даного угруповання організмів, а також між ними і навколишнім середовищем. Вивчає, головним чином, умови формування угруповань та особливості їх функціонування, формування та функціонування екологічних систем, особливості кругообігу речовини та енергії в їх межах, встановлює основні закони цих явищ;

– *біосферологію (вчення про біосферу)*, вчення про глобальну екосистему Землі, область системної взаємодії живої та неживої природи, яка вивчає особливості функціонування біосфери в цілому, виявлення механізмів гомеостазу цієї глобальної системи, тощо.

Важливо зазначити, що кожен із прикладних екологічних напрямів має свою специфіку, своє коло екологічних питань, свої методи й масштаби досліджень. Але завдання в усіх одне: визначити характер і обсяги забруднень довкілля, пов'язаних з діяльністю людини, ступінь їх небезпечності і можливості нейтралізації, шляхи екологізації виробництва, економії та відтворення природних ресурсів. Таким чином, різнопланові екологічні дослідження мають завершуватися узагальненням усієї екологічної інформації, що необхідна для:

- розробки і реалізації планів та програм охорони довкілля на локальному, регіональному і глобальному рівнях;
- створення наукових засад економіки природокористування;
- формування регіональної і національної екологічної політики;
- укладання міжнародних програм, угод та договорів у сфері природокористування;
- визначення тактики і стратегії екологобезпечного розвитку людства, збереження біосфери та життя на Землі.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Біоекологія займається формуванням уявлень про екологію як економіку природи на основі вивчення потоків речовини, енергії та інформації в життєдіяльності організмів, їх груп та біологічних систем. Вона є праматір'ю і головною складовою сучасної екології. До складу біоекології входять – екологія

природних біологічних систем на різних рівнях організації їх розвитку, екологія таксономічних груп (екологія рослин, екологія тварин, екологія людини тощо); еволюційна екологія, палеоекологія, експериментальна екологія, біоіндикація та ін.

Біоіндикація – нова екологічна галузь, яка здійснює оцінку стану природного середовища та його природних компонентів за реакціями живих організмів, тобто вивчає вплив наслідків впливу різного походження на фізіологічні та біохімічні процеси, морфологічні зміни чутливих організмів, на динаміку популяцій тощо.

Екологія людини – розділ сучасної екології, що вивчає взаємодією людини як з природним, так із штучним навколишнім середовищем. Тобто, екологія людини це – екологія біологічного виду *Homo Sapiens*.

Соціальна екологія – вивчає роль людини в довіллі не як біологічного виду, а як соціальної істоти, а також шляхи оптимізації взаємовідносин людського суспільства з природою. Тісно пов'язана з етнографією і соціологією. Основними завданнями соціальної екології є: формування екологічної свідомості і екологічної культури; вивчення взаємовідносин суспільства і природи; розробка принципів і критеріїв екологічного менеджменту; формування основ локальної, регіональної та глобальної екологічної політики.

Урбоекологія (екологія міських систем) – розділ сучасної екології, що досліджує процеси урбанізованих селітебних і промислових територій, які формують екологічні умови та особливості функціонування екосистем під впливом житлових масивів, енергетики, транспорту, будівництва, різних галузей промисловості. Це найбільш техногенно навантажені території.

Прикладна екологія – великий комплекс розділів з різних сфер людської діяльності, які формують екологічні критерії економіки, аналізують антропогенний вплив на довілля, оцінюють якість природного середовища, обґрунтовують нормативи безпечного використання природних ресурсів тощо.

Техноекологія – найбільший за обсягом блок прикладних екологічних напрямів, пов'язаних з такими об'єктами

людської діяльності, як енергетика, промисловість, транспорт, військова справа, сільське господарство, космос. До головних завдань Техноекології відносять:

- вивчення джерел, обсягів, механізмів і наслідків впливів на довкілля та здоров'я людини різних галузей і об'єктів діяльності, особливостей використання ними природних ресурсів;
- розробки регламентацій природокористування, організаційних і технічних засобів охорони природи
- проблеми утилізації відходів та відтворення зруйнованих екосистем;
- питання екологізації всіх сфер виробничої діяльності.

За останнє десятиліття в техноекологічних розділах відокремилися галузеві підрозділи, кожен з яких має свої методи екологічних досліджень і контролю, свою специфіку впливу на довкілля, утилізації відходів та свої методи й шляхи екологізації:

- військова діяльність - екологічні проблеми механізованих військ; екологічні проблеми військово-промислового комплексу; екологія і аерокосмічна техніка; екологія і військово-морський флот; екологічні наслідки військових дій та навчань; екологічна освіта військових кадрів; екологічна безпека військової радіотехніки; військова техніка і стан довкілля та ін.;
- енергетика - екологічні проблеми теплоенергетики, гідроенергетики і ядерної енергетики; екологічні проблеми альтернативної енергетики (вітрової, сонячної, біоенергетики, геотермальної та ін.);
- промисловість - близько 20 галузевих підрозділів (екологічні проблеми металургійної, нафтопереробної, хімічної, машинобудівної, будівельної, цементної, м'ясо-молочної, цукрової, фармацевтичної, деревообробної та ін.);
- транспорт - екологічні проблеми повітряного, наземного автомобільного, водного, залізничного, трубопровідного, підземного транспорту;
- агропромисловий комплекс - екологічні проблеми електрифікації і механізації сільського господарства; екологічні проблеми землеробства; екотоксикологія агросфери;

агроекологічний контроль: моніторинг, аудит, експертиза; агроекологічний менеджмент та ін.;

– космічна діяльність – екологія ближнього і дальнього космосу, екологічні проблеми космічних апаратів.

Агроекологія є одним з розділів прикладної екології. Це комплексна наукова дисципліна, об'єктом вивчення якої є агросфера планети, а предметом – взаємозв'язки людини з довкіллям у процесі сільськогосподарського виробництва і вплив сільського господарства на природні комплекси. Головна мета агроекології – ефективна екологізація всіх галузей сільського господарства для забезпечення виробництва якісної екологічно чистої продукції в достатній кількості при збереженні і відтворенні природно-ресурсної бази аграрного сектора. Агроекологія вивчає особливості екологічних процесів у агросфері і є ідеологічною основою екологічно збалансованого функціонування, біосфери.

Геоекологія вивчає специфіку взаємовідносин організмів і середовища їх існування в різних географічних зонах, на суші і в океані, в тундрі, тайзі і тропіках, у горах і пустелях тощо; дає екологічну характеристику різних географічних регіонів, областей, районів, ландшафтів; розглядає екологічні наслідки ендо- і екзогенних геологічних процесів, видобутку корисних копалин; займається екологічним картографуванням.

Екологія природних сфер досліджує екологічні процеси, що відбуваються на територіях, де вплив людини ще не відіграє вирішальної ролі у функціонуванні екосистем (заповідні території, позашельфові зони океанів і морів, пустелі, великі лісові масиви, гори, де антропогенні забруднення мінімальні або в межах допустимих для функціонування біоти норм).

Окрім згаданих вище напрямів останнім часом активно розвиваються такі напрями, як екологічна техніка, екологічна метрологія, стандартизація і сертифікація, економіка природокористування, екологічна політика, екологічна освіта. Почали та продовжують розвиватися такі найновітніші напрями екології як екологія культури, внутрішньодержавна і міжнародна екополітика тощо.

Після Всесвітньої конференції ООН на вищому рівні з навколишнього середовища в Ріо-де-Жанейро (1992 р.) першочерговим на порядку денному постало питання переходу людства на шлях „сталого розвитку” в розумінні „sustainable development”. При цьому, вираз „сталий розвиток” означає такий розвиток суспільства, що задовольняє потреби сучасності, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби.

Таким чином, в останні десятиріччя сформувалась нова міждисциплінарна наукова дисципліна, яка спрямована на вивчення взаємовідносин людини і природи з метою збереження навколишнього природного середовища та поліпшення якості життя нинішнього та майбутніх поколінь людей.

На завершення огляду уявлень про сучасну екологію необхідно зазначити, що нині ще не можна говорити про цю науку як про повністю консолідовану наукову систему. Формування фундаментальних основ її тільки починається, існує низка надзвичайно складних проблем, розв’язання яких вимагає глибоких професійних знань, універсальної підготовки фахівців, їх взаєморозуміння і координації.

1.4. Методологічна основа екології

Методологічною засадою сучасної екології є системний підхід як особливий напрям досліджень, орієнтований на вивчення специфічних характеристик складних об’єктів з різноманітним зв’язків між їхніми елементами.

Поняття про систему є категорією філософською. Сучасна філософія вкладає у це поняття дуже широкий зміст. З точки зору філософії *система* (від грецького *systema* – складене з частин, поєднання) – *множина елементів, які знаходяться у відношеннях і зв’язках між собою, завдяки чому утворюється певна цілісність, єдність*. Термін „система” використовується людством з

давніх часів і охоплює значний перелік об'єктів різного походження: сонячна система, система числення, виробнича система, екологічна система тощо.

Уявлення про систему ґрунтується на трьох положеннях:

– система утворюється сукупністю (множиною) елементів, що мають зв'язки між собою;

– ця сукупність утворює єдине ціле, тобто видалення одного з елементів сукупності порушить властивість цілісності;

– утворене сукупністю елементів єдине ціле має певну мету або призначення, властиве для всієї сукупності елементів, а не для якоїсь комбінації з них.

Будь-яка система функціонує у середовищі, що її оточує. В реальній дійсності немає абсолютно ізольованих або відокремлених систем. Середовище завжди впливає на внутрішній стан системи. Цей вплив відбувається за допомогою деяких факторів.

Вплив факторів зовнішнього середовища на систему характеризують *вхідними* (екзогенними) величинами, а елементи системи, на які відбувається вплив, називають входами системи. У свою чергу система не може бути нейтральною до зовнішнього середовища. Її вплив на зовнішнє середовище характеризується значенням вихідних (ендогенних) величин.

Усі існуючі системи підпорядковуються певним загальним принципам, до яких відносяться:

1. *Принцип цілісності* полягає у тому, що не можна звести властивості системи до суми властивостей її складових елементів, а з властивостей останніх не випливають властивості системи. Властивості і відношення кожного елемента системи залежать від його місця і функцій в системі.

2. *Принцип структурності* означає, що будь-яку систему можна охарактеризувати на основі існуючих зв'язків і відношень між її елементами, тобто на основі її структури. Поведінка системи обумовлюється поведінкою її окремих елементів і властивостями її структури.

3. *Принцип взаємозалежності* системи і середовища полягає у тому, що система формує і проявляє свої властивості в процесі її взаємодії із середовищем, в якому функціонує дана система і у взаємовідносинах з котрим система відображає свою цілісність.

4. *Принцип ієрархічності* полягає у тому, що будь-яка система може бути елементом системи більш високого порядку, у той час як її елементи можуть бути системами більш низького порядку.

5. *Принцип множинності* опису системи означає, що через принципову складність кожної системи її адекватне пізнання вимагає побудови значної кількості різних моделей, кожна з яких описує чи відображає лише певний аспект системи.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Системний підхід – спосіб теоретичного і практичного дослідження, при якому кожний об'єкт розглядається як система. Він являє собою сукупність методологічних принципів і положень, які дають можливість розглядати систему як єдине ціле з узгодженням функціонування всіх її елементів. На основі системного підходу передбачається вивчення кожного елемента системи у його зв'язку і взаємодії з іншими елементами, що дає можливість спостерігати зміни в системі внаслідок змін окремих її ланок. Тобто при системному підході дослідник може вивчати у структурі системи не окремі її елементи, що утворюють цілісність цієї системи, а взаємовідносини і зв'язки різних елементів системи в цілому. Системний підхід є конкретизацією вимоги діалектики про розгляд кожного предмета у його взаємовідносинах і взаємозв'язках з іншими предметами і тому його можна розглядати як певний етап у розвитку методів пізнання. Найбільш широке застосування системний підхід знаходить при дослідженні складних об'єктів, які постійно розвиваються – багаторівневих, ієрархічних систем, що здатні до самоорганізації.

Великим і складним системам притаманні властивості цілісності та емерджентності.

Цілісність системи означає, що всі її частини сприяють досягненню спільної мети і формуванню найкращих результатів відповідно до певного критерію (сукупності критеріїв) ефективності. Отже, система повинна розглядатись тільки як щось єдине ціле.

Емерджентність (від англійського emergence – поява нового) полягає в тому, що великі і складні системи мають властивості, не притаманні ні одному з елементів, що формують цю систему. З розвитком великої і складної системи взаємозв'язок елементів підсилюється, і на певному етапі емерджентність досягає такого рівня, при якому цілісні характеристики системи можна спостерігати за властивостями окремих елементів.

Системний аналіз – це сукупність методів і засобів, що використовуються при дослідженні складних і надскладних об'єктів (ними можуть бути соціальні, економічні і екологічні системи). Застосовують системний аналіз головним чином для дослідження штучних (тобто створених за участю людини) систем (наприклад, агроєкосистеми), причому в таких системах важлива роль належить діяльності людини. Теоретичну і методологічну основу системного аналізу утворюють системний підхід і *загальна теорія систем*¹⁶. Тому системний аналіз слід розглядати як реалізацію системного підходу у дослідженнях різноманітних наукових проблем.

Слід зазначити, що єдине однозначне визначення системного аналізу поки що відсутнє. Згідно з принципами системного аналізу досліджуваний об'єкт повинен розглядатись як дещо ціле, як система у взаємодії всіх її компонентів. Відповідальним етапом системного аналізу є побудова узагальненої моделі, яка відображає взаємозв'язки реальної ситуації, що виникли у об'єкті, що підлягає дослідженню.

¹⁶ *Загальна теорія систем (ЗТС)* – це логіко-методологічна концепція дослідження об'єктів, що є системами. Згідно з діалектичним методом, ЗТС дозволяє робити узагальнення і прогнози, давати пояснення, формулювати нові питання, виправляти помилки, з'ясувати зв'язки між науковими теоріями і принципами, а також здійснювати інтеграцію набутих знань (Гнатів, 2017).

Термін „системний аналіз” іноді застосовують як синонім системного підходу. Але робити це неправомірно. Поняття системного аналізу значно ширше поняття системного підходу, тому що системний підхід виступає як засіб системного аналізу. Завжди слід пам'ятати, що будь-яке системне уявлення про досліджуваний об'єкт завжди є відносним: зміна мети і способу дослідження можуть зумовити й інший поділ цього об'єкта на конкретні одиниці аналізу, що будуть виступати як структурні елементи системи.

Одним з перших, ще в середині 19 століття, ідеї системного підходу в екології сформулював Юстус Лібіх¹⁷. Він, зокрема, підкреслював, що між всіма явищами в мінеральному, рослинному і тваринному царствах існує закономірний зв'язок, завдяки чому жодне явище не існує само по собі окремо, а завжди з одним або декількома іншими явищами. Ю. Лібіх стверджував, що всі явища зв'язані одне з одним без початку і кінця, а послідовна зміна одних явищ іншими подібні руху хвиль. „Ми розглядаємо природу як одне ціле, де всі явища зв'язані, як вузли у сітці. Досліджувати явища – це означає знаходити ті нитки, за допомогою яких даний вузол у сітці зв'язаний з двома або трьома іншими” (Федоров¹⁸, 1980).

Системний підхід до вивчення екосистеми полягає, по-перше, у визначенні її складових частин і взаємодіючих з нею об'єктів довкілля. По-друге, у визначенні структури екосистеми, тобто сукупності внутрішніх зв'язків і відносин, а також зв'язків між екосистемою і зовнішнім середовищем. По-третє, необхідно знайти

¹⁷ Лібіх Юстус Йоганн фон (*Liebig Justus*, 1803-1873) – видатний німецький агрохімік, який започаткував основи агрохімії і теорії мінерального живлення рослин (метод водних культур). Одержав блискучу освіту в Бонському і Ерлангенському університетах, а також під керівництвом Ж.Л. Гей-Люссака в Сорбоні. З 1824 р. (у віці 21 рік) почав викладати в Гісенському, а потім і в Мюнхенському університетах. У 1825 р. у Гісені він організував одну з кращих у Європі аналітичну лабораторію, з 1830 р. він іноземний член-кореспондент Петербурзької Академії наук. Коло наукових інтересів Ю. Лібіха надзвичайно широке, проте головним чином – це органічна хімія. Він став одним з основоположників агрохімії і саме через неї впритул підійшов до екології. В 1840 р. сформулював закон мінімуму, який також називають законом Лібіха.

¹⁸ Федоров В.Д., Гільманов Т.Г.. Екологія. – М.: Изд. МГУ, 1980. – 464 с.

закон функціонування екосистеми, який визначає характер змін її компонентів і зв'язків між ними під дією зовнішніх об'єктів.

Для вирішення цих трьох задач у сучасній екології використовують три основних групи методів:

- ✓ польові спостереження;
- ✓ польові і лабораторні експериментальні дослідження;
- ✓ моделювання (реальне і математичне)..

Як правило, в екології найбільш ефективним є комплексне використання натурних спостережень, вимірювань і досліджень, експериментальних лабораторних і польових досліджень, екологічного картування і математичного моделювання. У сучасних екологічних дослідженнях широко використовують методи інших наук – хімії, фізики, геології, біології, математики. До таких методів належать:

- методи реєстрації та оцінки якості довкілля, насамперед різні типи екологічного моніторингу, зокрема геоекологічний, біомоніторинг і біоіндикація, дистанційний аерокосмічний моніторинг;

- методи кількісного обліку організмів і методи оцінки біомаси та продуктивності рослин і тварин;

- вивчення особливостей впливу різних екологічних чинників на життєдіяльність організмів (як складні й тривалі спостереження в природі, так і, частіше, експерименти в лабораторних умовах – токсикологічні, біохімічні, біофізичні, фізіологічні та ін.);

- методи вивчення взаємозв'язків між організмами в багатовидових угрупованнях;

- методи математичного моделювання екологічних явищ і процесів, а також імітаційне моделювання екосистем; моделювання від локальних до регіональних і глобальних екологічних процесів і ситуацій;

- створення геоінформаційних систем і технологій для розв'язання екологічних питань різних масштабів і в різних сферах діяльності;

- комплексний еколого-економічний аналіз стану різних об'єктів, територій, галузей виробництва;
- технологічні методи екологізації різних виробництв з метою зменшення їх негативного впливу на довкілля;
- медико-екологічні методи вивчення впливу різних чинників на здоров'я людей;
- методи екологічного контролю стану довкілля.

§2. ПОНЯТТЯ ПРО ЗАКОНИ ТА ПРИНЦИПИ ЕКОЛОГІЇ

Головні положення природничих наук (математики, фізики, хімії тощо) не можна порушити чи відмінити, тому вони називаються законами.

Закон – це внутрішній та необхідний, всебічний та історичний зв'язок предметів і явищ об'єктивної дійсності: міцне, стійке, що повторюється, не так часто змінюється, ідентичне в явищі. Закони мислення відображають закони матеріального буття. Пізнати закон – це означає розкрити той чи інший бік сутності предмета або явища, що досліджуються.

Основні риси закону такі:

- Об'єктивність – відношення проявляються незалежно від волі та свідомості людей.
- Необхідність – наявність причинно-наслідкових зв'язків; причина та наслідок часто міняються місцями.
- Обов'язковість проявлення – якщо зберігаються необхідні для закону умови, тобто закони історичні: зникають умови – зникає закон.
- Автономність – відносна незалежність законів один від одного; жоден закон не відмінює інший.

Закони природи – це загальні реальні пропозиції, в яких виражені встановлені постійності відношень або зв'язки між фактами.

Гіпотеза – це пропозиція, зроблена за браком знань законів природи з метою дедукції її наслідків, що відповідають реальним фактам, здатним служити їй доказом.

Закони екології також належать до природничих, які не можна змінити чи відмінити. Сучасному фахівцю, в якій би галузі він не працював, потрібно знати закони, правила і принципи екології, основні з яких наведені нижче.

Закони екології не можна звести до кількох. Внаслідок дуже великої складності об'єктів вивчення екології і ще вищої – взаємозв'язків між ними, а також перебування екології у стані швидкої розбудови, законів, принципів та правил у ній дуже багато.

За підрахунками деяких фахівців їх налічується близько 100¹⁹ і їх можна поділити на 5 груп: структурні – 16, функціональні – 38, еволюційні – 16, міжсистемні – 13. Деяко окремо існують 2 інтегральних закони і 14 емпіричних наслідків (правил). Ми розглянемо ті закони, які або мають найбільшу сферу дії, або стосуються найважливіших процесів взаємодії та змін малих та великих екосистем (додатки А, Б, В).

Гранично скорочений та надмірно спрощений варіант формулювання екологічних законів у вигляді аксіом належить американцю Б. Коммонеру²⁰ (1971 р.):

1. Все пов'язане з усім.
2. Все мусить кудись зникати.
3. Природа „знає” краще.
4. Ніщо не минає даремно (за все треба платити).

Перша аксіома („все пов'язано з усім”) підтверджує всезагальність зв'язків об'єктів і явищ у природі та в людському суспільстві. Дуже важливі наслідки цих взаємозв'язків:

¹⁹ Реймерс Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1994. – 366 с. **Микола Федорович Реймерс** (1931–1993) – радянський зоолог, еколог, один з головних учасників становлення заповідної справи в СРСР. Доктор біологічних наук, професор.

²⁰ **Баррі Коммонер** (*Commoner Barry*, 1917-2012) – американський біолог і еколог. В кінці 50-х років активно бореться проти ядерних випробувань, написав декілька книжок про їх загрозу для екосистем Землі. Б. Коммонер завершив свою наукову діяльність на посаді керівника Центру біології та природних систем (*Center for the Biology of Natural Systems*)

– дія закону великих чисел (сукупна дія великої кількості випадкових чинників призводить, за деяких загальних умов, до результату, майже незалежного від випадку, тобто такого, що має системний характер);

– дія принципу Ле-Шательє (при зовнішньому впливі, який виводить систему з рівноваги, ця рівновага зміщується в напрямку, за якого ефект зовнішнього впливу зменшується; у біологічних системах цей принцип реалізується у вигляді здатності екосистем до авторегуляції);

– розвиток ланцюгових реакцій у разі виникнення окремих локальних змін у системі; ці реакції йдуть у бік нейтралізації збурення, що виникло або формування нових взаємозв'язків;

– будь-які зміни в системі „природа” прямо чи опосередковано впливають на людину (від індивіда до суспільства).

Друга аксіома („все повинно кудись діватися”) свідчить про закони збереження речовини в природі. На відміну від людської діяльності, в природі не буває сміття. Діяльність же людини породила накопичення в природі дедалі більшої кількості чужорідних синтетичних сполук (ксенобіотиків). Ці сполуки досить стійкі, часто є сильними токсикантами і накопичуються у величезних обсягах, що становить дедалі більшу загрозу для людства.

Третя аксіома („ніщо не дається задарма”, або ж – „за будь-які втручання і збитки природі треба платити”, або ж – „природа за все віддячить”) вказує на те, яку ціну сплачує людство за науково-технічний прогрес. В економіці природи, як і в економіці людини, не існує безкоштовних ресурсів. Все, що було взято людиною у природи, мусить бути їй повернуто, компенсовано. Невиконання цього закону неминуче призводить до екологічної кризи.

Четверта аксіома („природа знає краще”) свідчить про незрівнянні переваги природних конструкцій над людськими.

§3. БІОЕКОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РІВНІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ МАТЕРІЇ

Жива природа надзвичайно складна й різноманітна. Вона являє собою сукупність живих систем різного ступеня складності й організації – таксонів. Системою називається ціле, що складається із взаємозв'язаних частин. Властивості системи не зводяться до суми властивостей її складових. Наприклад, деякі важливі особливості популяції (системи взаємопов'язаних особин) не існують на рівні окремих організмів. Певні властивості системи й частини можуть бути навіть протилежними. Так, популяція, що складається зі смертних особин, є потенційно безсмертною. Двосторонні взаємодії між вищими й нижчими ланками є типовою рисою біологічних систем.

Єдність кожного з рівнів живої природи забезпечується біологічним розпізнаванням. Наприклад, перетворення й передача спадкової інформації, завдяки чому живий організм породжує собі подібний, визначається розпізнаванням між білками-ферментами та нуклеїновими кислотами. Існує імунологічне розпізнавання клітинами „свого” або „чужого”. При цьому „своє” зберігається, а „чуже” знищується. За допомогою спеціальних сполук (феромонів), які часто діють на великих відстанях, організми впізнають один одного.

Рівні організації живої матерії – це відносно гомогенні (одноманітні) біологічні системи, для яких характерний певний тип взаємодії елементів, – просторовий та часовий мірила процесів.

Біологічний підхід до рівнів організації живої матерії виокремлює шість головних рівнів організації:

– *молекулярно-генетичний* – редуплікація генів, формування ідентичних молекул на основі матеріалів, що забезпечують спадковість і мінливість;

– *клітинний* – основа будови і розвитку всіх живих організмів, нижній рівень здатності до метаболізму, авторегуляції та

розвитку; у більш дрібних одиницях матерії ці властивості не проявляються;

- *організмений* – цілісність функцій, ріст, онтогенетичний розвиток;

- *популяційно-видовий* – еволюція, тривале існування, таксономічні характеристики;

- *біоценотичний* – трофічні, хімічні, енергетичні зв'язки, кругообіг хімічних елементів, перетворення енергії;

- *біосферний* – форма життя, яка поза біосферою не існує.

З ускладненням організації живої матерії нижчий рівень входить до складу наступного вищого рівня, а останній – до складу ще більш високого і т. д. Таким чином здійснюється принцип ієрархії (ступінчастого підпорядкування), властивого для складних систем. Рівень організації є одним із фундаментальних у вивченні біологічних об'єктів, які існують завдяки зв'язкам, що поєднують їхні елементи в єдине ціле. Ідея рівнів організації живого дає можливість пояснити цілісність і якісну своєрідність біологічних систем.

Молекулярний рівень складає предмет молекулярної біології, яка вивчає будову білків, нуклеїнових кислот, жирів та інших речовин та їхню роль у життєдіяльності клітини. На цьому рівні відбувається кодування й передача спадкової інформації, обмін речовин та енергії (ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота, РНК – рибонуклеїнова кислота, АТФ – аденозінтрифосфат). На рівні субклітинних, або надмолекулярних, структур вивчають будову та функції органел (хромосом, мітохондрій, рибосом тощо), а також інших частин клітини (наприклад, включень).

Особливий рівень організації живої матерії – *клітинний*. *Клітина* – структурна, функціональна одиниця організму та одиниця розвитку всього живого. У найпростіших вона, морфологічно та фізіологічно цілісний організм, поєднує два рівні організації: *клітинний* та *організмений*.

Біологія клітини (*цитологія*) – один з основних розділів сучасної біології, включає проблеми морфологічної організації клітини, спеціалізації клітин у ході розвитку, функцій клітинної мембрани, механізмів і регуляції ділення клітин.

На органно-тканинному рівні основні проблеми полягають у вивченні особливостей будови й функцій окремих органів та тканин, які входять до складу органів. Органи – це взаємодіюча сукупність тканин, що мають певну форму, розміри, місцезнаходження і виконують одну або кілька функцій.

Організм – дискретна, цілісна, диференційована система органів, діяльність яких регулюється нервовою, гуморальною та імунною системами. *Організмений рівень* об'єднує живі організми – від одноклітинних до найорганізованих істот. Системи цього рівня виконують велику кількість функцій, але найважливішою з них є розмноження через відтворення собі подібних, продовження існування виду, насичення простору живою субстанцією.

В екологічних дослідженнях вивчення живої матерії починається на організменному рівні, коли вивчають особину- організм як єдине ціле, елементарну одиницю життя, оскільки поза особинами в природі життя не існує. При цьому вивчають характерні риси будови організму, фізіологічні процеси та нейрогуморальну регуляцію їх, механізми забезпечення гомеостазу та адаптації.

Вид – реально існуюча таксономічна одиниця (може включати одну чи кілька популяцій), що характеризується репродуктивною ізоляцією та інформативними зв'язками. *Популяція* – одиниця еволюції. *Популяційний рівень* об'єднує популяції живих істот, тобто сукупність особин одного виду в межах певного ареалу, де вони вільно розмножуються і можуть, практично, необмежено довго існувати. Цей рівень організації охоплює популяції всіх видів живих істот і його найголовнішою функцією є формування в певних екологічних умовах такого угруповання, яке за структурою і життєвими особливостями найбільше відповідає середовищу його існування.

На *популяційно-видовому* рівні вивчаються фактори, що впливають на чисельність популяцій, проблеми збереження зникаючих видів, динаміка генетичного складу популяцій, дія факторів мікроеволюції тощо. Для господарської діяльності людини важливі такі проблеми популяційної біології, як контроль чисельності видів, що завдають шкоди господарству, підтримання оптимальної чисельності популяцій, які використовуються в народному господарстві й оберігаються.

Біоценоз – це сукупність організмів різних рівнів організації у взаємозв'язку з умовами довкілля. При наявності величезної різноманітності видів, що забезпечують кругообіг речовин, це саморегульована й самовідтворювана система. *Біоценозний рівень* організації об'єднує екосистеми всіх ступенів складності, незалежно від їх просторових і часових параметрів чи місця знаходження. Основною ознакою систем цього рівня є те, що, на відміну від двох попередніх, вони є функціональною єдністю живих і неживих компонентів, яка охоплена безперервним обміном речовиною, енергією та інформацією.

Біосферний рівень організації – система вищого порядку, що забезпечує взаємодію всіх біоценозів та процеси, що відбуваються в атмосфері, гідросфері та на материках, і пов'язаний з ними кругообіг речовин у природі, що включає акумуляцію органічних сполук у процесі фотосинтезу та мінералізацію завдяки діяльності редуцентів. Рухає кругообіг енергія Сонця. Це головний процес на Землі, що забезпечує існування життя на планеті. На біосферному вирішуються глобальні проблеми, наприклад, визначення інтенсивності утворення вільного кисню рослинним покривом Землі або зміни концентрації CO₂ в атмосфері, пов'язаної з діяльністю людини.

Поділ живої матерії й проблем біології за рівнями організації хоч і відображає об'єктивну реальність, в той же час є умовним, бо майже всі конкретні завдання біології торкаються одночасно кількох рівнів, або і всіх разом. Наприклад, проблеми еволюції

або онтогенезу не можна розглядати тільки на рівні організму, тобто без молекулярного, субклітинного, клітинного, органно-тканинного, а також популяційно-видового та біоценотичного рівнів, проблема регуляції чисельності спирається на молекулярний рівень, але стосується також всіх вищих, включаючи аспекти біосферного рівня (наприклад, забруднення середовища).

Кожен з цих рівнів має свої особливості, але всі вони тісно пов'язані між собою, взаємно впливають один на одного, створюючи єдине ціле – живу речовину. На всіх структурних рівнях організації матерії реалізована лише дуже незначна частка можливих комбінацій молекул. Це означає, що кожен біологічний вид, кожна жива істота є унікальними, оскільки вони мають набір властивостей, за допомогою яких ефективно адаптуються до навколишнього середовища та його змін.

САМОСТІЙНІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ I

Питання для роздумів, самоперевірки, повторення

1. Дайте визначення терміну „екологія”, які суттєві ознаки цього поняття виділяють різні автори?
2. Назвіть і охарактеризуйте основні етапи розвитку екології.
3. Які особливості становлення екології як науки до ХХ ст.?
4. Покажіть динаміку розвитку екології в ХХ столітті та охарактеризуйте структуру екології за М. Ф. Реймерсом.
5. Порівняйте визначення екології як науки на різних етапах її розвитку.
6. В чому полягають предмет вивчення і завдання сучасної екології?
7. Що є об'єктом вивчення екології?
8. Охарактеризуйте методи сучасної екології.
9. Для чого необхідно знати основні екологічні закони?
10. З'ясуйте зміст і суть основних законів аутоекології, синекології та екології великих систем.
11. Наведіть структуру сучасної науки про довкілля.
12. Покажіть взаємозв'язок між екологією і охороною довкілля.

Тестові завдання: вказати одну правильну відповідь

Питання 1. Екологія – це наука, яка вивчає...
а. <i>Стан природних ресурсів</i>
б. <i>Будова організмів і їх функцій в екосистемі</i>
в. <i>Взаємовідношення організмів з середовищем та між собою</i>
г. <i>Втрата екологічної рівноваги і розробка методів по її відновленню</i>

Питання 2. Яким вченим і коли було запропоновано термін „екологія”?

а. Ю. Одум (1975)

б. Е. Геккель (1866)

в. А. Тенслі (1935)

г. В. Вернадський (1945)

Питання 3. Які рівні організації живої матерії є об'єктами екологічних досліджень?

а. Організменний, популяційно-видовий, біоценозний, біосферний

б. Молекулярний, тканинний, органний, біосферний

в. Клітинний, тканинний, органний, популяційно-видовий, біоценозний, біосферний

г. Молекулярний, клітинний, тканинний і органний

Питання 4. Які розділи загальної екології вивчають вплив середовища на морфологію, фізіологію та поведінку організмів?

а. Синекологія

б. Ауतेкологія

в. Демекологія

г. Глобальна екологія

Питання 5. Які розділи загальної екології вивчають структуру, функціонування, саморегуляцію та саморозвиток біосфери?

а. Синекологія

б. Ауतेкологія

в. Демекологія

г. Глобальна екологія

Питання 6. Які розділи загальної екології вивчають взаємозв'язки між популяціями даного угруповання та з оточуючим середовищем?

а. Синекологія

б. Ауतेкологія

в. Демекологія

г. Глобальна екологія

РОЗДІЛ II

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АУТЕКОЛОГІЇ

§4. ПОНЯТТЯ ПРО СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ

При аналізі умов, в яких проходить реальна життєдіяльність рослин і тварин та існує людина, широко застосовуються поняття середовища, навколишнього середовища, природного середовища і т.п. Середовище – це найбільш загальне поняття, цим терміном позначається усе, що оточує даний об'єкт.

Під середовищем (життя) живих організмів мається на увазі вся сукупність конкретних живих та неживих компонентів, які необхідні для нормальної життєдіяльності окремо взятої особини, популяції чи виду. Іншими словами, термін „середовище життя” означає все оточення, в якому відбувається діяльність людини та розвиток живої та неживої матерії.

Вислів „навколишнє середовище” має той же зміст, але він менш вдалий, оскільки саме слово „середовище” вже має на увазі оточення об'єкту.

Слід відрізнити середовище життя рослин та тварин від середовища життя людини. Середовище життя людини включає в себе всі території та акваторії, що є місцем її перебування і виробничої діяльності. По суті, до середовища життя людини входять всі компоненти біосфери, вся сукупність створених нею технологічних об'єктів, а також всі соціальні феномени людського суспільства.

У зв'язку з цим загальне середовище життя слід розділяти на:

- природне,
- соціальне.

Природне середовище включає в себе об'єктивно існуюче природне середовище будь-якого живого організму, включаючи людину.

Соціальне середовище – це сукупність оточуючих людину суспільних, матеріальних та духовних умов її існування та діяльності.

Це середовище, по суті, включає в себе всю суспільно- економічну систему, в межах якої знаходиться людина.

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

Отже, живі організми нашої планети населяють чотири основні середовища існування: *наземно-повітряне, водне, ґрунтове, тіло іншого організму.*

4.1. Наземно-повітряне середовище

Повітряне середовище є однією з найбільш важливих складових частин біосфери – „живої” оболонки Землі. Існування флори і фауни, а також всього живого на Землі, в тому числі і людини, неможливо без повітря. Хоча загальна потужність повітряної оболонки, яку називають атмосферою, досягає половини радіусу Землі, за космічними масштабами вона виглядає тонкою плівкою. Загальна вага атмосфери (близько $5,15 \times 10^{15}$ т) є надзвичайно мала – всього 1/1000000 ваги Землі, але захисні функції атмосфери переоцінити важко. Земне життя вразливе для космічних променів та потребує постійного і надійного захисту. Характеризуючи атмосферу, виділяють два основних аспекти:

- захисні функції атмосфери;
- повітря як середовище існування живих істот.

Повітряна оболонка Землі, як і будь-який зовнішній шар, здійснює *захисні функції*. Хоча за нашими міркуваннями атмос-

фера ніяк не вкладається в поняття засобу захисту, саме атмосфера – безвідмовна перешкода для згубного впливу космосу. Атмосфера надійно захищає планету від космічного та ультрафіолетового випромінювання, визначає загальний тепловий режим поверхні Землі, впливає на кліматичні умови, а через них – на режими річок, ґрунтово-рослинний шар та процеси рельєфоутворення. Пробити атмосферу можуть лише великі метеорити з початковою вагою в сотні тонн – явище, як відомо, надзвичайне. Метеорити меншої ваги – явище не рідкісне, проте вони повністю згорають в атмосфері.

Від Сонця на Землю потрапляє енергія, а значить і сама можливість життя. Атмосфера „відміряє” життєву дозу сонячної енергії. Якщо б не було атмосфери, вдень Сонце розігрівало б земну поверхню до плюс 100°C, а вночі космос охолоджував би її до мінус 100°C. Такий перепад добових температур набагато перевищує адаптаційні можливості більшості, якщо не всіх, форм земного життя.

На зовнішню поверхню атмосфери щосекунди потрапляє потужний потік сонячних та інших космічних випромінювань широкого діапазону хвиль та енергій:

- γ – випромінювання;
- жорсткі рентгенівські промені;
- ультрафіолетові промені;
- видиме світло;
- інфрачервоне випромінювання, тощо.

Якщо б всі вони досягли земної поверхні, то миттєво вбивча їх енергія все живе перетворила б на попіл. Цього не трапляється, і на Землі існує життя завдяки атмосфері, яка при цьому є:

- важливим джерелом кисню;
- розподільником тепла на планеті;
- передавачем звукових хвиль;
- захисником від космічних променів та ультрафіолетового опромінення;

- захисником від метеоритів, які, окислюючись, згорають у атмосфері.

Атмосфера складається із *тропосфери* (шар, що прилягає до земної поверхні) та *стратосфери*, яка знаходиться вище. Потужність тропосфери на полюсах – 7-8 км, у помірних широтах – 10-12 км, на екваторі – 16-18 км. У тропосфері знаходиться 80 % атмосферної вологи і 2 шари – приземний (до 3-х км) та вільна атмосфера. Циркуляція повітряних мас в тропосфері визначає погоду – при підйомі угору на 180 м температура скорочується на 1°C, а тиск – на 1 мм через кожні 100 м. При всьому різноманітті фізичних та хімічних процесів, що протікають у атмосфері, приземний її шар залишається практично постійним за своїм складом. Дослідження показали, що до висоти 20 км тенденцій до зміни хімічного складу атмосфери не спостерігається, що зумовлено, очевидно, інтенсивним її перемішуванням конвективними потоками. Але на висоті понад 20 км кількість кисню скорочується на 2 %, а азоту збільшується на 3 %. Утворення та виділення CO та CO₂ дуже пов'язано з діяльністю рослин, тварин та людини.

Для нормальної життєдіяльності людини та всього живого на Землі необхідно не тільки присутність повітря, але і його певний склад. Від складу повітря залежить стан організму, його здоров'я. Чисте і сухе повітря являє собою суміш газів: основні з них – азот (78,08 %), кисень (20,95 %), аргон (0,93 %) та оксид Карбону (IV) (0,03 %). Решта газів представлена незначними частками. У повітрі завжди присутня водяна пара, частка якої може досягати 4 %, а деколи – лише 0,01 % загального об'єму. Крім того, у ньому трапляються фізичні домішки природного і антропогенного походження: пилок і спори рослин, пил, сажа тощо. Порушення нормального хімічного складу повітряного середовища може надавати негативного впливу не тільки на здоров'я людини або тварин та рівень їх захворюваності, але і на їх розвиток, і як наслідок, призвести до генетичних змін у живих організмах.

Азот складає основну частину повітря земної атмосфери. Він також входить до складу рослинних та тваринних білків, однак більша частина організмів не може його використовувати. Він має бути спочатку зв'язаний специфічними організмами (азотобактер, папороть азолла) або складними хімічними процесами. У біосфері в результаті біологічної фіксації за рік утворюється понад 92 млн. т. зв'язаного нітрогену, а втрати внаслідок денітрифікації складають 83 млн. т. Таким чином виникає його приріст на рівні 9 млн. т/рік. Ця кількість утримується в ґрунтах, океані та в прісних водоймах. Кількість азоту у повітрі змінюється, але причини цього не зовсім зрозумілі. Кисень раніше не входив до земної атмосфери, а є наслідком роботи хлорофільних організмів. Під впливом ультрафіолетової радіації частина його трансформувалася в озон – O_3 . Вважається, що існує на Землі біля 2 млрд. років, але лише 20 млн. років його кількість становить біля 20 %. Головні запаси кисню зосереджені в карбонатах, органічних речовинах та оксидах Феруму. Оксид Карбону існує давно і спочатку його поява була пов'язана з вулканічною діяльністю. Збільшення CO_2 сприяло скороченню концентрації O_2 – найбільші значення це мало в кінці пермі та в тріасі, а максимум – у карбоні. Тривалий час між киснем та оксидом Карбону існувала рівновага, яка суттєво була порушена в ХХ ст. – загалом кількість вуглекислого газу зросла на 10,7 %, але найбільше (на 5 %) – з 1958 по 1980 рр. Лікарі вважають, що нешкідливою для людського життя є концентрація CO_2 в 1 %, – зараз у промислових центрах вона сягає 0,034-0,036 %.

У стратосфері, яка охоплює шар товщиною 12-50 км кількість вологи – мізерна, а температура повітря коливається у межах +10-40°C. У товщі повітря до висоти 70 км вона постійна і становить +50°C; ще вище знаходиться мезосфера, в якій температура скорочується з висотою і лише вище 80-85 км лежить термосфера, де температурний градієнт знову стає позитивним. За межами стратосфери перебуває іоносфера, яка складається з суміші гелію, водню та інших легких газів з надвисокою температурою.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Повітря як *середовище існування* малоприсадибне для існування в ньому живих організмів, насамперед через свої фізичні властивості. Тільки незначна кількість живих організмів пристосувалась до існування в специфічних умовах повітряного середовища. Переважна більшість організмів використовує повітряне середовище для пересування, а птахи та деякі комахи пристосувались до пересування в повітрі найдосконаліше.

Разом з тим повітряне середовище є необхідною складовою навколишнього середовища. Порівняно невеликі зміни складу атмосферного повітря призвели б до непоправних змін у природі. Наприклад, зменшення вмісту кисню на 5–7 % спричинило б вимирання багатьох видів живих організмів, а збільшення на таку ж саму величину – до страшних лісових пожеж, які не могли б загасити навіть безперервні дощі.

Кількість кисню і азоту в повітрі практично незмінна, тому що азот майже не вступає у сполуки з іншими речовинами, а кисень, який хоч і дуже активний і витрачається на дихання, окислення і горіння, весь час поповнюється рослинами.

До висоти приблизно 100 км процентний склад цих газів залишається практично незмінним, що зумовлено постійним перемішуванням повітря.

В атмосфері міститься майже 0,03 % вуглекислого газу, який зазвичай концентрується поблизу земної поверхні і розміщується нерівномірно: в містах, промислових центрах і в районах вулканічної активності його кількість зростає.

Атмосферні гази діють на живі організми неоднаково. Наприклад, у глинистих ущільнених ґрунтах нестача кисню веде до руйнування фізіологічного процесу і, навіть, до морфогенезу. Брак азоту у повітрі може призвести до зниження продуктивності бульбашкових бактерій, для яких він є продуктом споживання. Однак кисень та азот не відіграють такої ролі як оксид Карбону. Навіть незначні коливання його вмісту є дуже важливими для фотосинтезу. Деяке збалансування оксиду Карбону в повітрі зумовлює підвищення

ефективності фотосинтезу, але вже при його вмісті понад 26,5 % асиміляційний процес послаблюється або ж зовсім припиняється. До речі, під час інтенсивної вегетації (червень, липень) вміст вуглекислого газу в повітрі лісу менший, ніж восени. Вночі його кількість є більша, ніж у сонячний день. Повітряне середовище створює сприятливі умови для розвитку ґрунту, який визначає можливість відносно замкнутого кругообігу речовин в екосистемах навіть малого масштабу. Вміст водяної пари залежить від температури повітря: чим вища температура, тим більше пари містить повітря. Завдяки наявності в повітрі пароподібної води є можливими такі атмосферні явища, як веселка, рефракція сонячних променів і т.п. У перезволоженому повітрі „народжуються” кислі дощі.

Пил в атмосферу поступає під час вулканічних вивержень, піщаних і пилових бур, при неповному згоранні палива на ТЕЦ і т.д.

Густина атмосфери змінюється з висотою: біля поверхні Землі вона найвища, з підняттям вверх зменшується. Так, на висоті 5,5 км густина атмосфери в два рази, а на висоті 11 км – в чотири рази менша, ніж в приземному шарі.

4.2. Водне середовище

Води в природі є величезна кількість. Сукупність всієї води називають *водним середовищем* або гідросферою. Отже, гідросфера це водна оболонка Землі, яка є сукупністю океанів, морів, континентальних вод та льодових шарів.

Водне середовище однофазне – в ньому різко переважає рідка фаза. Одночасно природна вода, яка утворює гідросферу, являє собою складну полідисперсну систему, що складається з водних розчинів і зависі частинок неорганічних і органічних речовин, а також із живих органічних тіл, котрі втримуються в системі за рахунок різних співвідношень маси, постійного перемішування

і переміщення водних мас або активної протидії силі тяжіння з боку живих організмів.

До поняття гідросфери включають і дно водоймища (тверда фаза), і приводний шар повітря (газоподібна фаза). Велике значення мають площини контактів цих фаз: дно-вода, вода-повітря. Це складні біогоризонти, насичені живими організмами. Відомо, що основну масу гідросфери Землі утворюють води Світового океану (95,5 % за об'ємом), які містять величезну кількість органічної речовини, в тому числі незначну частку живих організмів – не більше 3 млрд. т., або 0,15 %.

Вода, в якій розпочалося життя на Землі визначається її *фізичними властивостями*, зокрема, прозорістю, щільністю, теплопровідністю і теплоємністю, а також текучістю. Остання зумовлює циркуляцію в озерах і ставках.

Головним джерелом тепла, яке надходить у водні шари, є сонячна енергія. Сонячне проміння, проникаючи крізь водну поверхню, поглинається і розсіюється водою, розчиненими в ній речовинами і зваженими частинками. Поширення радіації у воді підпорядковується загальному закону послаблення радіації.

Сонячне тепло завдяки малій теплопровідності води майже не передається на глибину. Переміщення теплих мас з поверхні на глибину відбувається за рахунок вертикального переміщення (вітрового, конвективного, турбулентного у прісних порівняно мілководних водоймищах), а також за рахунок глибинних течій у морських водах. Прогрівання шарів води, як у внутрішніх водоймах, так і в морях має сезонний характер.

ЦІКАВО

До прісних вод належать стоячі та проточні води. Рух води приводить до вирівнювання температури у всій її товщі, а також до збагачення киснем. Текучі води в процесі адаптації формували тіло риб, яке, наприклад, у форелі, в попереч-

ному розрізі є округле, тоді як у риб стоячих вод (ставків, озер) воно плоске (короп, карась, окунь). Своєрідним для тварин швидко текучих вод є екологічне пристосування – *реотропізм*: тварини приймають певне положення відносно течії і намагаються подолати її.

У воді в розчиненому стані присутні гази і мінеральні солі. Велике екологічне значення має кількість розчиненого у воді кисню. У солоній воді розчинність кисню на 20 % нижча, ніж у прісній. Перенасиченість киснем можна спостерігати у водах озер і ставків, багатих на рослинність, що містить хлорофіл.

Залежно від кількісного вмісту і розподілу у воді стоячих водойм кисню, а також характеру і чисельності у них організмів, що населяють їх, водойми поділяють на три групи:

– *оліготрофні* (небагаті на корм) – глибоководні озера з низькою температурою в нижніх шарах водяної товщі, багаті на кисень. У цій воді добре розвиваються лососеві, форель (озера – Пісочне на Поліссі, Синевир у Карпатах). Тут повільніше розкладаються органічні відмерлі рештки і вода в них блакитна і прозора;

– *еутрофні* (багаті на корм) – не глибокі. Придонні води мають більшу температуру, ніж оліготрофні. Тут добре розвиваються різноманітні організми, а також добре перебігають процеси їх відмирання і розпаду. Вода в таких водоймах зелена. Риби тут задовольняються невеликою кількістю кисню;

– *дистрофні* (бідні на корм). В їхніх водах нагромадилась велика кількість гумінових кислот, що робить їх кислими і коричнюватими (Янівське озеро біля Львова).

У прісній і, особливо, морській воді, порівняно з повітрям, значно більша кількість вуглекислого газу. Наприклад, у морській воді його міститься від 40-50 см³/л (у вільній або зв'язаній формі), що в 150 разів перевищує його концентрацію в атмосферному повітрі). Вуглекислий газ відіграє значну роль у забезпеченні про-

цесу фотосинтезу водяних зелених рослин, а також формуванні вапняних утворень (раковин, панцирів) безхребетних.

У природних водах концентрація солей різна. Наприклад, у прісних водах вища карбонатність (близько 80 %), у морських більше хлоридів (у Чорному морі їх 80,7 %), а в Аральському і Каспійському морях, крім хлоридів (близько 60 %), присутні сульфати (30 %). Важливою складовою прісних вод є сполуки кальцію, які часто відіграють роль обмежуючого фактора. Розрізняють води „м'які” (кальцію 9 мг/л) і „тверді” (понад 25 мг/л).

Отже, вода здійснює не тільки безпосередній вплив на фізіологію організмів, а й змінює інші екологічні фактори такі, як температура, аерація ґрунту, засвоєння рослинами елементів живлення тощо. Крім того, вода є середовищем життя значної кількості організмів, серед яких виділяють:

а) *планктон* – це нездатні до протидії течіям дрібні рослини (фітопланктон) та тварини (зоопланктон), якими вони розносяться на значні відстані. Їхня адаптація пов'язана із забезпеченням плавучості: збільшення питомої поверхні тіла, зниження його щільності (полегшення скелетних елементів, накопичення жиру, наявність газових вакуоль) та ін.

б) *нектон* – більшість риб, головоногих моллюсків, китоподібні, які здатні до активного пересування у товщі води незалежно від напрямків течій. Вони мають обтічну форму тіла та добре розвинені органи руху;

в) *бентос* – донні організми (форамініфери, поліпи, круглі та багатощетинкові черви, двостулкові моллюски, деякі ракоподібні, голкошкірі, придонні риби, деякі водорості, бактерії тощо). Вони здатні прикріплюватися до дна, заглиблюватись у його товщу або пересування по ньому.

г) *перифітон* – мешканці різних утворень у товщі води (днища кораблів, гідротехнічні споруди, каміння тощо). До них належать бактерії, найпростіші, гриби, водорості, губки, черви, ракоподібні, двостулкові моллюски тощо, які мають різноманітні засоби

прикріплення до субстрату. Ці істоти поширюються на певних фазах життєвого циклу (у вигляді спор, личинок);

д) *нейстон* – сукупність організмів (водорості та дрібні безхребетні), що живуть біля поверхневої плівки води, на межі водного та повітряного середовищ. Великий вклад у розвиток учення про нейстон вніс український вчений акад. Ю.П. Зайцев²¹.

Водне середовище існування за своїми умовами значно відрізняється від наземно-повітряного. Вода має високу густину, менший вміст кисню, значні перепади тиску. Крім того, різні типи водойм відрізняються за концентрацією солей, швидкістю течій, промерзанням тощо. Тому мешканці водойм – *гідробіонти* мають адаптації як до існування у водному середовищі взагалі, так і до певного типу водойм чи зони Світового океану.

Важливими фізичними властивостями води є її висока щільність, яка послаблює земне тяжіння, що дає змогу гідробіонтам мікроскопічних розмірів перебувати у зваженому стані. Більші за розміром гідробіонти для полегшення плавання знижують свою щільність, включаючи до складу тіла велику кількість води (медузи), жирових крапель (діатомові водорості), повітря (ламінарії і моллюск наутілу), а також утворюючи різні відростки.

Водне середовище сформувало планктонні організми з характерною формою тіла, що дає можливість їм легко утримуватись „на плаву” або „ширяти” у водному просторі (медузи, лангусти, моллюски). Цьому також сприяє розмір організмів: невеликі тіла зоопланктону мають теж здатність „ширяння” у водній товщі.

4.3. Грунт як середовище існування

Ґрунти відносяться до літосфери, яка є частиною біосфери, що займає верхні шари земної кори (від 2 до 8 кілометрів) з живими організмами і біогенними осадовими породами. Ґрунтовий шар

²¹ Зайцев Ю.П. *Морская нейстонология*. – Киев: «Наукова думка», 1970. – 264 с.

Землі складає педосферу (грец. *pedis* – нога) і займає проміжне положення між приземною частиною атмосфери (аеробіосферою), фітобіосферою та літобіосферою. Педосфера відіграє роль глобального фіксатора та акумулятора сонячної енергії, яка в процесі фотосинтезу накопичується продуцентами. *Грунтом* вважається узагальнене найменування будь-якої гірської породи (осадової, магматичної, метаморфічної), яка залягає переважно в межах зони вивітрювання земної кори. Його розглядають з інженерно-геологічної (будівельної) точки зору при загальному підході до особливостей земної поверхні (твердий, пухкий, мерзлий і т. п.), або при різних формах ведення сільського господарства (відкритий, закритий) і власне ґрунтів.

Формування ґрунту. Розвиток ґрунту відбувається в результаті взаємодії фізичних, хімічних і біологічних процесів. Серед перших можна назвати нагрівання й охолодження, відтавання й замерзання, діяльність льодовиків, морських хвиль, річкових потоків і вітру. Не менш важливі й хімічні реакції, що сприяють виникненню ґрунтів. Особливо це реакція гідролізу, що приводить до розкладання мінералів і утворенню гідроокисів. Окисні процеси на зовнішній стороні гірських порід сприяють їхньому швидкому руйнуванню, а у вапняних подах велике значення має їхнє розчинення водою й перенесення нею на більші відстані. Вплив лишайників і мохів, що перехоплюють органічні залишки навіть на вертикальних поверхнях, виділення ними слабких кислот викликає ґрунтоутворювальні дії.

Незабаром укорінені тут вищі рослини своїми коріннями розколюють навіть вулканічні та осадові породи.

Відома катастрофа на о-ві Кракатау в 1883 р. (Індонезія) після його вулканічного вибуху знищила не лише ґрунт, а і всіх наземних мешканців, однак через 50 років природні комплекси повністю відновилися без участі людини. На островах Азовського моря, що утворюються внаслідок морської абразії, ґрунт з'являється вже через 2-3 роки, чому сприяє осідання його часток з

морської води, забрудненої органічними речовинами. Із твердих гірських порід, звичайно, цей ресурс виникає набагато пізніше, але на думку класиків ґрунтознавства, залежно від мінералу, шар ґрунту в 1 см утворюється за 100-1000 років.

Властивості ґрунтів. Основними властивостями ґрунтів є створення умов життя для рослин. З розвитком цивілізації ґрунти стали важливими земельними ресурсами, що забезпечують найбільш дешевими продуктами харчування людей. Вони відіграють активну роль в очищенні природних і стічних вод, які крізь них фільтруються. Ґрунтово-рослинний покрив є регулятором водного балансу суші, оскільки він поглинає, утримує й перерозподіляє велику кількість атмосферної вологи. Це універсальний біологічний фільтр і нейтралізатор багатьох видів антропогенних забруднень. Але головною властивістю ґрунту є його родючість, яка залежить від механічного складу, структури та біологічних компонентів, а також наявності в ньому води й повітря.

За структурою материнської породи, виділяють: грубозернисті піски – від 0,2 до 2,0 мм; дрібнозернисті – від 0,2 мм до 20 мм; суглинки – від 2 до 20 мм; мінеральні колоїди (глина) – менше 2 мм; компоненти крупніше 2 мм являють собою гравій.

Родючість ґрунту й швидкість його дозрівання зростає у місцях гніздових колоній водоплавних птахів, скупчень копитних, а також періодичної діяльності вулканів і морських припливів. Родючість ґрунту та його стійкість проти ерозії у значній мірі залежать від структури. „Гарним” вважається ґрунт із губчатою або грудкуватою консистенцією з безліччю пор – він еластичний, пружний і має достатню проникність для води й повітря.

Вивчити структуру можна при розгляді ґрунтового профілю (рис. 2), що відтворює особливості взаємодії клімату, рослинності, ґрунтових організмів і впливу антропогенної діяльності на материнську гірську породу протягом тисячоліть.

Дуже важливими є опади, які важливим джерелом для фотосинтезу рослин і підтримки життя всіх організмів (бактерії,

гриби, водорості, земляні черви, рослини). Саме опади у поєднанні з рельєфом місцевості визначають швидкість і масштаби нормальної або прискореної ерозії. При цьому відбувається часткова компенсація за рахунок повернення в ґрунтову масу свіжих матеріалів, утворених під час руйнації гірських порід

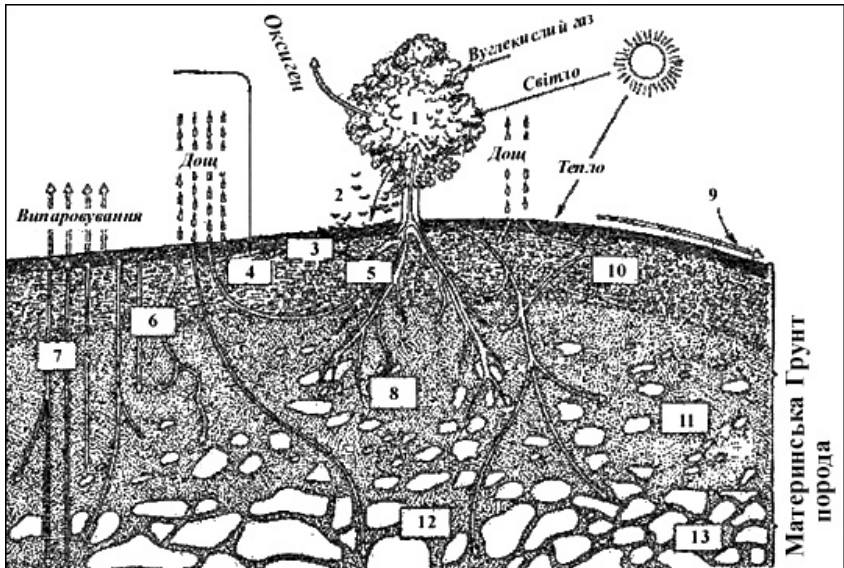


Рис. 2. Розвиток ґрунту під впливом різних чинників (Оуэн, 1977):

1 – синтез органічної речовини; 2 – повернення органіки і мінеральних речовин у ґрунт; 3 – мікроорганізми; 4 – фіксація азоту; 5 – розклад опаду; 6 – капілярний рух; 7 – рух водяної пари; 8 – зруйнована материнська порода; 9 – поверхневий стік і типова ерозія; 10, 11 – уламки материнської породи; 12 – просочування води і вимивання солей; 13 – вивітрена материнська порода

У поверхневих шарах ґрунту, куди надходить найсвіжіша відмерла органічна речовина, знаходиться велика кількість організмів-руйнівників – бактерій, грибів, черв'яків, найдрібніших

членистоногих і ін. Їх активність забезпечує розвиток верхніх шарів ґрунту, тоді як фізичне і хімічне руйнування материнської породи забезпечує утворення нижніх шарів ґрунту.

В будові ґрунту, як правило, виділяють три шари, які називаються *горизонтами*: А, В та С. В свою чергу горизонт А також ще поділяють на три шари (табл. 2).

Таблиця 2

Характерні риси ґрунтових горизонтів

A ₀	– Головним чином відмерла органічна підстилка. В цьому горизонті проживає більшість ґрунтових організмів
A ₁	– Гумусний шар, який утворився частково розкладеними органічними рештками та мінеральними компонентами ґрунту
A ₂	– Горизонт, в якому відбувається посилене вимивання мінеральних іонів ґрунту. Саме тут зосереджена коренева система рослинних організмів, тому що розчинні мінеральні речовини та їх іони більш доступні для рослин
В	– Горизонт, в якому міститься незначна кількість органічної речовини і за хімічним складом подібний до материнської породи. Саме тут відбувається накопичення іонів, які вимиваються з верхнього горизонту А ₂
С	– Тут знаходиться, головним чином, слабо вивітрений матеріал, який за своїм складом дуже близький до материнської породи

За хімічним складом ґрунт суттєво відрізняється від своєї материнської породи. Він складається з мінеральних, органічних і органо- мінеральних речовин. Головною особливістю хімічного складу ґрунту є присутність у ньому специфічної групи органічних речовин – гумусових. Визначальним для генезису ґрунтів і їх родючості є ґрунтовий розчин, який бере участь у процесах перетворення (руйнування і синтез) мінеральних і органічних речовин, переміщення вертикальними профілями різноманітних продуктів ґрунтоутворення, а головне – у живленні рослин.

Тому дуже важливо знати його склад та властивості (реакцію, буферність, осмотичний тиск) і динаміку.

Ґрунтові порожнини заповнені водою або повітрям. Завдяки наявності вологи умови існування дрібних організмів у ґрунті наближаються до подібних у водоймах. Вологість ґрунту завжди вища, ніж повітря, і тому різноманітні організми можуть легше переживати там посушливий період. Ґрунт характеризується порівняно невеликими добовими й річними коливаннями температури. Це дає можливість наземним організмам мігрувати в товщу ґрунту й там переживати в активному чи неактивному стані період низьких або підвищених температур. У ґрунті є значні запаси органічних речовин, що створює кормову базу для різноманітних організмів.

Для ґрунтового населення характерні такі найпростіші: кореніжки, серед яких найбільш поширені окремі види амеб; джукотиконосці; інфузорії.

Окрім найпростіших у ґрунті мешкає значна кількість більших за розмірами безхребетних тварин: черв'яки, енхитриди, рачки, комахи, павуки, кліщі, нематоди та ін. Усі ці організми беруть участь у виникненні та розвитку в ґрунті численних процесів, з яких найважливішими є процеси перетворення нітроген- та карбоновмісних речовин та сполук (процеси мінералізації). Все це населення ґрунту – едафобіус (грец. *edaphos* – ґрунт і *bios* – життя) живе в умовах цього середовища, взаємодіючи між собою, утворюючи своєрідний комплекс, який визначає родючість ґрунту та умови для життя в ґрунті.

Як пристосування до життя в ґрунті у представників едафобіуса в процесі еволюції виникли певні властивості. Наприклад, у тварин – валькувата форма тіла, дрібні розміри, дихання шкірою, редукція очей, безбарвність покривів, сапрофагія (властивість харчуватися відмерлими залишками інших організмів). Поряд з анаеробами широко представлені анаероби (здатні існувати без наявності кисню). Види, які живуть у ґрунтовому середовищі,

називають *педобіонтами* (грец. *Pedis* – нога і *biontos* – життєздатний) або *едафобіонтами* (грец. *edaphos* – ґрунт і *biontos* – життєздатний).

Внаслідок чисельних фундаментальних досліджень було встановлено, що мікроорганізми поширені на поверхні всієї земної кулі. Разом з тим було звернено увагу на інший факт: перебіг та активність ґрунтових мікробіологічних процесів в окремих географічних районах бувають різними. У південних районах ґрунтові процеси розвиваються більш активно, ніж у північних.

Чисельність ґрунтової мікрофлори дуже змінюється не тільки протягом року, а й у невеликих проміжках часу, що є наслідком динаміки температури, вологості, стану рослинного покриву та ін. Окультурення ґрунтів призводить до збільшення ґрунтового мікронаселення. Коливання чисельності деяких груп мікроорганізмів більше виражено в південних ґрунтах, де влітку відзначається дефіцит води. Навесні майже в усіх ґрунтах спостерігається активізація ґрунтових мікробіологічних процесів.

Співвідношення окремих груп мікроорганізмів у різних типах ґрунтів також не однакове. Ґрунти північної зони значно бідніші на спороутворюючі бактерії та актиноміцети, ніж південні, а відносне число грибів у південних ґрунтах більш низьке. Активність нітрифікуючих процесів підвищується від півночі до півдня. Зі зростанням населення Землі, дуже посилюється тиск людини на земельні ресурси. Наразі більша частина ґрунтів, придатних для виробництва харчів, у світі вже використовується (рис. 3).

За незначного різноманіття (сірі лісові, підзолисті, лучні та ін.) найбільш родючими на території України є чорноземи та каштанові ґрунти. У нас зосереджена п'ята частина всіх чорноземів світу, потужність гумусового профілю яких складає 60-85 см, а каштанових – 50-60 см за вмісту гумусу 3,0-6,5 %. Внаслідок надінтенсивного використання та недокомпенсації органічними речовинами вони втрачають 500-700 кг/га гумусу на рік або в середньому за кожні 5 років на всій території країни – 0,05 %.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Ґрунт є складним утворенням, у якому важливу роль відіграють біологічні компоненти. Він, як ніяке інше середовище, рясно заселений різними тваринами і мікроорганізмами, залишаючись при цьому основним життєвим субстратом для рослин. Ґрунтова фауна, або *едафон*, включає представників багатьох найвищих за рангом таксонів. Вважається, що близько 90 % видів комах на тих чи інших стадіях свого онтогенезу пов'язані з ґрунтом. В особливо сприятливих для життя умовах на 1 м² шару ґрунту і підстилки налічується до 1,5 білліона найпростіших, до 20 млн. нематод.

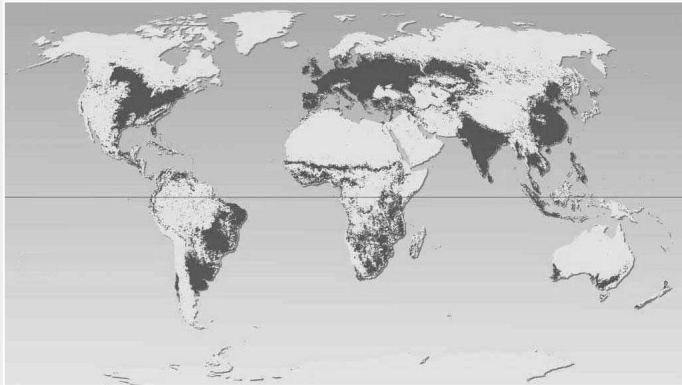


Рис. 3. Території, на яких обробляється більше 30 % ландшафту

Ґрунт став місцем проживання не лише безхребетних. У земляних сховищах багато хребетних навіть виводять нове потомство. Серед них і земноводні, і птахи, і ссавці. На окремих лісових ділянках порожнини нір крота становлять до 15 % площі. Кроти, утворюючи в ґрунті численні ходи, спускають ґрунт, покращують його фізичні і водні властивості. В земляних нірках гніздяться берегові ластівки, рибалочки, сиворакші. Різноманітний і багатий органічний світ ґрунту відіграє важливу роль у його трансформації. Прискорюючи

розклад і загальний кругообіг речовин, ґрунтові редуценти, тобто тварини, які живляться мертвими органічними речовинами, що розкладаються, збагачують ґрунт органічними сполуками, покращують його фізичні властивості: структуру, водопроникність, аерацію, а, отже, умови мінерального і водного живлення, росту і кореневого дихання рослин.

У кожній кліматичній та ґрунтовій зоні є провідні чинники, які позначаються на біології та складі мікрофлори. У кожному випадку діє не один якийсь чинник, а єдиний складний комплекс чинників, які визначають загальне формування мікробних угруповань. До провідного чинника приєднуються інші, менш значні, але суттєво важливі і характерні для кожного місця проживання.

Ґрунт, як середовище життя, за певною кількістю властивостей, займає проміжне місце між водним та повітряним. Температурний режим, відсутність світла, низький уміст кисню, значне зволоження, присутність значної кількості солей та органічних речовин у ґрунтовому розчині поєднують ґрунт з водним середовищем. Поверхневі шари ґрунту, де спостерігаються різкі зміни температурного режиму, регулярно і часто значне висушування, достатнє забезпечення повітрям, в тому числі, киснем, створюють наземно-повітряне середовище життя.

4.4. Організм як середовище життя

Поява організменного середовища життя на Землі проходила майже одночасно з появою живих організмів. Використання одних живих організмів іншими в якості місця існування не лише дуже давнє, але і широко розповсюджене явище. Фактично немає жодного виду, що не містить паразитів. Організм, в якому

поселяються інші організми, називають хазяїном. При цьому чим вище організація хазяїна, чим складніше і більше диференційовані його органи і тканини, тим більше різноманітні умови, у яких можуть поселятися співмешканці і паразити. Як середовище життя живий організм хазяїна характеризується рядом специфічних особливостей: наявністю для його мешканців великої кількості легкозасвоюваної їжі, постійністю температурного, сольового і осмотичного режимів, відсутністю загрози висихання, захищеністю від ворогів. Одночасно з цим, проблематичними для співмешканців живих організмів, виступають наступні чинники: нестача кисню і світла, обмеженість життєвого простору, подолання захисних реакцій хазяїна, тобто його „активного імунітету” і поширення від однієї особини хазяїв до інших. Крім того, це середовище завжди обмежене в часі терміном життя хазяїна, оскільки організм служить середовищем життя лише в живому стані. Організми, що населяють травний тракт „хазяїна”, його внутрішні органи і тканини, називаються *ендобіонтами* (греч. *endon* – усередині і *biontos* – що живе). Їх усіх можна вважати паразитами кишковика хазяїна, але за своїм значенням вони відносяться до різних трофічних груп: справжні паразити (що завдають шкоди хазяїну), гіперпаразити або надпаразити („паразит на паразиті”), мутуалісти (корисні хазяїну), коменсали (нахлібники і квартиранти, що не завдають шкоди хазяїну) і інші співмешканці, що мешкають усередині хазяїна.

Відносна стабільність сприятливих екологічних умов організменного середовища життя дає ряд переваг ендобіонтам, але в той же час обмежує можливості їх розселення, сповільнює проходження життєвих циклів порівняно з вільноживучими видами. Паразити і інші співмешканці (коменсали та ін.) пристосувалися до життя в певних органах і тканинах хазяїна, до певного його віку (стадії розвитку) і фізичного стану хазяїна. В процесі еволюції у ендобіонтів виробилися особливі властиво-

сті. Наприклад, для внутрішніх паразитів характерна редукція органів чуття, спрощення кишковика. Тобто спостерігається спрощення тіла паразита в порівнянні з вільноживучими його предками і родичами. В той же час спостерігається поява органів прикріплення, вироблення систем захисту від імунітету хазяїна. Істотного розвитку досягають органи розмноження, що забезпечують високу плодючість. Ендобіонтам властиві досить складні цикли розвитку зі зміною одного або декількох проміжних хазяїв.

Незважаючи на труднощі проникнення в організм хазяїна, ендобіотична фауна і флора давно і широко представлені в живому світі. Надзвичайно висока плодючість і складні життєві цикли розвитку дозволяють їм виживати у боротьбі за існування.

Таким чином, усі види які існують на Землі, мають складну систему пристосувань до життя у своєму середовищі. Їх властивості відображають особливості того або іншого середовища життя.

Причому в представників різних груп живих організмів, у тому числі і дуже далеких один від одного по спорідненості, які населяють одне і те ж місце існування, розвиваються схожі властивості, схожі типи пристосувань, у тому числі і пристосування до спільного проживання в одному середовищі.

§5. ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ СЕРЕДОВИЩА

Довкілля можна описати значною кількістю показників, які можуть мати стабільні або досить мінливі характеристики, але не всі вони є екологічними факторами. Лише той елемент середовища, який здатен впливати на організм, хоча б протягом однієї фази індивідуального розвитку називається *екологічним фактором*.

5.1. Класифікація екологічних факторів

Екологічні фактори можуть бути об'єднані за природою їхнього походження або залежно від їхньої динаміки та дії на організм.

Існують такі класифікації екологічних факторів:

- за характером дії (інформаційні, енергетичні, фізичні, хімічні);
- за середовищем виникнення (атмосферні, водні, фізіологічні, генетичні, екосистемні);
- за фактором часу (еволюційні, історичні, діючі);
- за ступенем впливу (летальні, екстремальні, обмежувальні);
- за об'єктом впливу (індивідуальні, групові, видові).

За характером походження розрізняють (рис. 4): абіотичні, тобто фактори неживої природи (температура, вологість, світло, рельєф); біотичні – фактори взаємодії живого з живим (мутуалізм, паразитизм, хижацтво, коменсалізм, вільна конкуренція); антропогенні – пов'язані з господарською діяльністю людини.

Існує думка (А. С. Мончадський)²², що пристосувальні реакції організмів залежать від періодичності впливу на них екологічних факторів і, за цією ознакою, виділяють первинні періодичні, вторинні періодичні та неперіодичні фактори (табл. 3).

До першої групи відносять фактори, пов'язані з обертанням Землі навколо Сонця та своєї осі, наприклад, зміна пори року, зміна дня і ночі, тощо. Цим факторам властива встановлена періодичність, вони були ще до виникнення життя на Землі. Організми, що виникли, змушені були відразу адаптуватись до цих факторів.

Адаптаційні механізми організмів до дії первинних періодичних факторів є спадковими. Вторинні періодичні фактори,

²² Мончадский А.С. Классификация факторов окружающей среды // Зоол. журнал. 1958. Т. 37. Вып. 5. С.680 – 690.

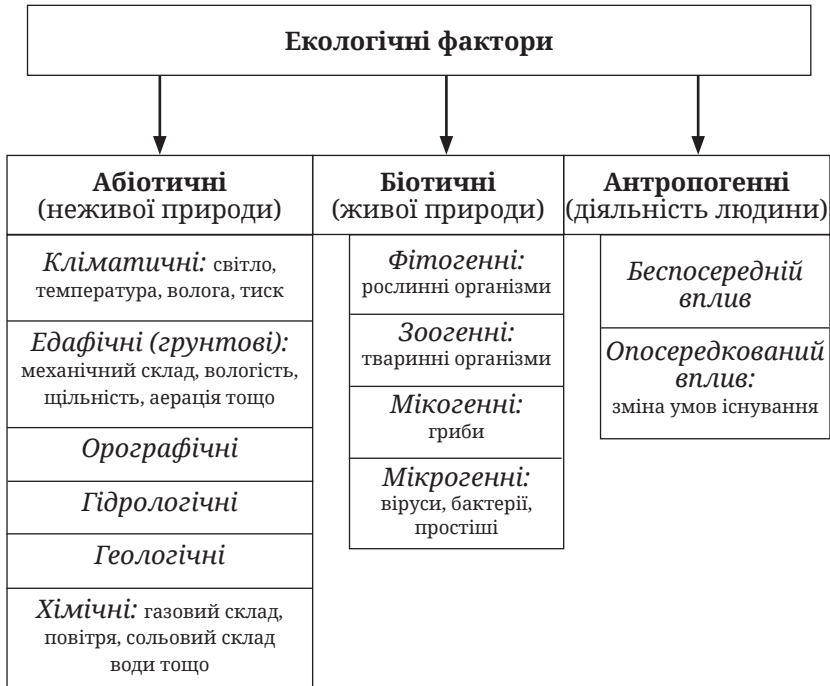


Рис. 4. Класифікація екологічних факторів

наприклад, вологість, температура, тощо, є наслідком первинних періодичних факторів. В процесі життєдіяльності організми змушені до них постійно пристосовуватись. Неперіодичні фактори – це різні стихійні явища, які, в більшості випадків, не проявляють періодичності. До неперіодичних факторів часто відносять і антропогенні, – вони виявляються раптово й нерегулярно. Нерідко рівень такого впливу виходить за межі пристосувальних можливостей організмів.

Усі екологічні фактори є мінливими, тому організми змушені весь час пристосовуватись до них. Внаслідок цього, в живих організмах виникають специфічні пристосувальні механізми і реакції на зміну екологічних факторів, які називають *адапта-*

**Класифікація екологічних факторів
за О.С. Мончадським (1958)**

Екологічні фактори		
Періодичні		Неперіодичні
Первинні	Вторинні	
1. Сонячна постійна	1. Вологість повітря (зв'язок з t°)	1. Гроза
2. Обертання планети та сонця	2. Рослинна їжа, зв'язок з вегетаційним циклом.	2. Пожежа
3. Припливи і відпливи	3. Сезонні зміни жертв або господарів є факторами, до яких пристосовуються паразити і хижаки.	3. Вітер
4. Інтенсивність світла	4. Коливання рівня води, вміст кисню, прозорість, солоність. Періодичність нестійка у зв'язку з тим, що залежність від первинних факторів слабка	4. Усі форми діяльності людини
5. Сила тяжіння	5. Біотичні внутрішньовидові впливи	5. Дії хижаків, паразитів і патогенних організмів

цією. Здатність до адаптації – одна з властивостей життя, що забезпечує саму можливість його існування і вона виявляється на всіх рівнях організації – від біохімічної реакції в організмах і поведінки окремих істот до будови і функціонування екологічних систем.

Іншими словами, *адаптація* – це здатність організму взаємодіяти з середовищем для підтримання стану внутрішньої динамічної рівноваги, тобто *гомеостазу* організму, що забезпечує безперервність його існування в часі через нащадків. На різних рівнях організації живої матерії механізми адаптації є різними.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Природно, що пристосованість до одного фактора довкілля, наприклад, підвищеної вологості, не дає організму такої ж адаптованості до інших умов середовища (температури, тощо). Ця очевидна закономірність сформульована як **закон відносної незалежності адаптації**: висока адаптованість до одного з екологічних факторів не дає такого ж ступеня пристосування до інших умов життя (навпаки, вона може обмежити ці можливості через фізіолого-морфологічні особливості організмів).

Оскільки організми, що живуть у близьких умовах існування, змушені стикатися зі схожими обмеженнями та можливостями, у відповідь на них вони виробляють близькі функціональні реакції. Наприклад, види водного середовища змушені підтримувати певний осмотичний тиск; всі організми пристосовуються до певного температурного режиму тощо. Існує велика кількість правил адаптації до тих чи інших умов життя. Відмітимо **енергетичне правило поверхонь**: відношення продукovanого особиною гомойотермного тваринного тепла до одиниці площі поверхні її тіла приблизно однакове. Воно коливається біля величини в 1000 ккал/м²/доба. Відносна тепловіддача в усіх організмів росте зі зменшенням їх розмірів, оскільки маса тіла пропорційна кубу (об'єму), а поверхня – лише квадрату його діаметра. Правило поверхонь явно перекликається з правилом Бергмана (розд. I, §3) і служить основою для його прояву.

Оскільки організми, що живуть у близьких умовах існування, змушені стикатися зі схожими обмеженнями та можливостями, у відповідь на них вони виробляють близькі функціональні реакції. Наприклад, види водного середовища змушені підтримувати певний осмотичний тиск; всі організми пристосовуються до певного температурного режиму тощо. Існує велика кількість правил адаптації до тих чи інших умов життя. Відмітимо

енергетичне правило поверхонь: відношення продукованого особиною гомойотермного тваринного тепла до одиниці площі поверхні її тіла приблизно однакове. Воно коливається біля величини в 1000 (ккал/м²)/доба. *Відносна тепловіддача в усіх організмів росте зі зменшенням їх розмірів, оскільки маса тіла пропорційна кубу, а поверхня – лише квадрату його діаметра (об'єму).*

Правило поверхонь слугує математичною основою для розкриття інших екологічних закономірностей. У 1847 р. німецький біолог К. Бергман у монографії „Про зв'язок економії тепла у тварин з їх розміром” сформулював правило, згідно з яким, тварини, що мешкають у холодному кліматі, мають більші розміри тіла, ніж їх родичі – у теплих. А у 1877 р. американський орнітолог Дж. Алєн обґрунтував еколого-морфологічне правило, за яким теплокровні тварин, що мешкають у холодному кліматі, мають коротші кінцівки, ніж споріднені види у теплому. Завдяки цьому тварини, що мешкають у холодних природних умовах, набувають меншої питомої поверхні тіла і, як наслідок, втрачають менше тепла. Правило Алєна також діє і по відношенню до людей: найкоротші (відносно розмірів тіла) руки, ноги та ніс притаманні аборигенам Гренландії, а найдовші руки та ноги – масаям, які мешкають переважно в Кенії та в північній Танзанії.

Екологічні закономірності організмів, що стосуються розвитку біосистем чи їх адаптацій до життєвого середовища, безпосередньо та тісно пов'язані з групою виявлених правил взаємодії в системах „організм- середовище”. Розділення цих закономірностей на групи чисто умовне, власне як і всіх інших узагальнень. Багато з них з однаковим успіхом та логічністю можуть бути включені до будь- якої з визначених нами груп. Все залежить від завдання досліджень та мети аналізу.

Залежно від кількості й сили впливу, один і той самий фактор може мати протилежне значення для організму, наприклад, вплив температури. Крім того, наявність того чи іншого фактору може бути життєво необхідною для одних видів і не мати

ніякого значення для інших, наприклад, вплив світла на рослини та ґрунтових безхребетних. В залежності від сили дії того чи іншого екологічного фактора, умови існування особин виду можуть бути оптимальними, неоптимальними або відповідати проміжному рівню.

5.2. Принцип лімітуючих факторів

Екологічні фактори можуть по-різному впливати на живі організми:

- як *подразники* вони зумовлюють пристосувальні зміни функцій організму;
- як *обмежувальні* унеможливають існування організмів за певних умов;
- як *сигнали вказують* на зміни інших факторів середовища.

У впливі факторів середовища на організми та реакціях останніх на цей вплив виявлені певні закономірності, причому вони стосуються факторів будь-якого походження. Кожний екологічний фактор впливає на живі організми позитивно чи негативно, залежно від сили прояву його дії. Сприятливу силу впливу фактору, тобто таку, що забезпечує найкращі або оптимальні умови життєдіяльності особин, називають *зоною оптимуму екологічного фактора*. Будь-яке відхилення від оптимуму негативно впливає на розвиток організмів – чим більші відхилення, тим сильніше пригнічується організм.

Закон оптимуму – *фактори позитивно впливають на організми лише в певних межах. Недостатня або надмірна їх дія позначається на організмах негативно* (рис. 5).

Зона оптимуму і критичні межі витривалості живих організмів стосовно якогось екологічного фактора можуть змінюватись залежно від того, з якою силою і в якому поєднанні діють одночасно інші екологічні фактори, наприклад, низька

температура і вологість. Цей принцип одержав назву **закону взаємодії факторів**. Взаємодія екологічних факторів виявляється у їх *частковій взаємозамінності*, наприклад, в'яненню рослин можна запобігти збільшенням вологості ґрунту і зниженням температури повітря. Проте, взаємна компенсація дії факторів не може бути безмежною і повністю замінити один фактор на інший неможливо.

Якщо хоча б один із екологічних факторів наближається до критичної межі або перевищує її, то, незважаючи на оптимальну дію інших умов середовища, організму загрожує загибель, а цей фактор стає для нього *обмежувальним або лімітуючим*. Вони можуть бути як абіотичними (наприклад, нестача тепла, вологи або їх надлишок, різка зміна освітленості тощо), так і біотичними факторами (наприклад, зайнятість території більш сильним конкурентом, нестача запилювачів квітів тощо).



Рис. 5. Оптимальні умови життєдіяльності організмів

Гіпотеза про те, що *витривалість організму визначається слабкою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб*, вперше була висунута і доведена Ю. Лібіхом у 1840 році. Вивчаючи вплив вмісту мікроелементів у ґрунті на ріст рослин він зазначив, що ріст залежить від того елементу, який є в мінімальній кількості. Цей висновок відомий в екології як **закон мінімуму**. Значення цього закону полягає в тому, що він дає можливість визначити, з чого починати пошук у разі потреби аналізу умов довкілля.

З часу встановлення Ю. Лібіхом цього закону вченими було відмічено, що сам закон при застосуванні на практиці потребує уточнення. Ю. Одум (1975), для застосування закону мінімуму пропонує користуватись двома допоміжними принципами.

Перший допоміжний принцип: закон Лібіха можна застосувати без уточнень тільки до умов стаціонарного стану, тобто тоді, коли приток енергії та речовин регулюється її витокком, тобто система знаходиться у стані рівноваги. Перший допоміжний принцип Ю. Одума є і обмежувальним. Акцентуючи увагу на ньому, Ю. Одум звертає увагу на те, що система характеризується динамікою і тому, на його думку, введення цього принципу обмежить похибки, які виникають при довготривалих дослідженнях екосистем.

Другий допоміжний принцип – *торкається взаємодії факторів*. Було відмічено, що в певних умовах висока концентрація або доступність певної речовини, або дія другого, не лімітуючого фактору, може змінювати потребу у мінімальній кількості речовини. Прикладом може бути заміна використання молюсками кальцію стронцієм, або такий приклад: якщо рослини живуть в умовах малої освітленості, то вони споживають менше Цинку, тощо.

Другий допоміжний принцип, уведений Ю. Одумом, вказує на неможливість аналізу стану системи на основі невеликої кількості елементів. Саме другий допоміжний принцип показує на необхідність комплексного аналізу при будь-якому екологічному дослідженні.

Отже, Ю. Одум відзначив два основних обмеження щодо використання закону мінімуму:

- *обмежувальний*, тобто закон виконується тільки в статичних умовах середовища;
- *взаємодії факторів*, тобто при зміні інших екологічних факторів величина сили дії обмежувального фактора може змінюватись.

ЦІКАВО

Закон мінімуму Ю. Лібіха лежить в основі всіх виявлених окремих закономірностей у взаємовідносинах типу „організм – середовище”. В найпростішому вигляді основний закон мінімуму Ю. Лібіха стосується успішності росту і величини врожаю сільськогосподарської рослини, що залежать від речовини, яка міститься в ґрунті в мінімумі в порівнянні з іншими агрохімічно необхідними речовинами. Цей закон було сформульовано в 1840 р. задовго до виникнення екології як науки. Згодом закон мінімуму було витлумачено як дію будь-якого екологічного фактору, що знаходиться в мінімумі у порівнянні з іншими екологічними впливами. Іноді закон мінімуму розширюють до правила, що вказує на роль екологічних факторів в розповсюдженні та кількісному розвитку організмів. Це зовнішні умови. Але можливе трактування закону мінімуму також і „зі сторони” організму: *витривалість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюгу його екологічних потреб* – життєві можливості лімітуються екологічними факторами, кількість та якість яких наближена до необхідного організмові мінімуму. Подальше зниження або погіршення цих факторів веде організм до загибелі. Це „крайне” трактування закону мінімуму, яка доволі далеко відхиляється від первинного його розуміння, але така, що має більш широке екологічне значення.

Додаткове *правило взаємодії факторів* в законі мінімуму: організм в певній мірі здатний замінити дефіцитну речовину або інший діючий фактор життя функціонально близькою речовиною чи фактором (наприклад, одну речовину іншою, хімічно близькою) – викликало потік аналогічних постулатів. Серед них **закон відносності дії лімітуючих факторів, або закон Лундегарда – Полетаєва**: *форма кривої росту чисельності популяції (її біомаси) залежить не тільки від однієї речовини з мінімальною концентрацією, а й від концентрації та властивостей інших іонів, що є в середовищі*. Вони як лімітуючі фактори складають „системи Лібіха” або „L-систему” (закон сформульовано Лундегардом у 1957 р.).

Важливою поправкою та доповненням служить **закон неоднозначної (селективної) дії фактора на різні функції організму**: будь-який екологічний фактор неоднаково впливає на функції організму, оптимум для одних процесів, наприклад, дихання, не являється оптимумом для інших, наприклад, травлення, і навпаки.

Додаткове правило заміщення дефіцитних речовин закону мінімуму Ю. Лібіха було поглиблене Е. Рюбелем у 1930 р. у вигляді **закону (ефекта) компенсації (взаємозамінності) факторів**: відсутність або недостатність деяких екологічних факторів може бути компенсована іншим близьким (аналогічним) фактором. Наприклад, недостача світла може бути компенсована для рослини достатком вуглекислого газу. Окремим випадком закону відносності дії лімітуючих факторів Лундегарда – Полетаєва та закону компенсації факторів Рюбеля є **ефект Лундегарда – Стиберга – Якобсона**: збільшення біомаси рослини при постійному або навіть зниженому вмісті одного з елементів живлення.

В.В. Альохін сформулював близьке до вищевказаних **правило заміщення екологічних умов**: будь-яка умова зовнішнього середовища в деякій мірі може замінюватися іншою; внутрішні причини екологічних явищ при аналогічному зовнішньому проявленні можуть бути різними. Наприклад, макрокліматичні впливи можуть бути компенсовані біокліматичними – вічнозелені види ростуть під захистом верхніх ярусів рослинності, багато видів тварин знаходять мікроумови для існування. Це не агрохімічне і гідробіологічне, а широкоекологічне і навіть біогеографічне тлумачення додаткового правила до закону мінімуму Юстуса Лібіха.

Прагненню звузити сферу дії закону мінімуму протистоять **закон незамінності фундаментальних факторів**, запропонований В. Р. Вільямсом. У 1949 р. він сформулював жорсткі обмеження: повна відсутність в середовищі фундаментальних екологічних (фізіологічних) факторів (світла, води, елементів живлення тощо) не може бути замінена іншими факторами. Цілком очевидно, що будь-який з екологічних компонентів до кінця не може бути замінений – при

відсутності енергії нема життя, те саме при повній відсутності води і тому подібне. Для елементарних потреб це очевидно, але в більш складних ситуаціях, особливо коли мова йде про фундаментальні, але не досить відомі та усвідомлені фактори, наприклад, в системі потреб людини, така ймовірність зникає. Це приводить до помилок, іноді фатальних.

Закон толерантності. Як показали дослідження Лібіха, існування живого організму зумовлено не тільки недостатністю того чи іншого фактору, але також і їх надлишком. Таким чином, кожен організм має свої межі, які знаходяться між мінімумом та максимумом, тобто оптимум, який забезпечує існування організму.

Наглядно вплив оптимальних умов на ріст, розмноження та існування організму бачимо на рис. 6. Для кожного виду існують свої межі. Закон про лімітуючу роль максимуму та мінімуму та необхідність оптимальних умов для існування виду ввів *В. Шелфорд*²³ (1913 р.): *природним обмежуючим чинником існування організму може бути як мінімальний, так і максимальний екологічний вплив, діапазон між якими визначає величину витривалості (толерантності) організму до даного чинника.*

В основу екологічної характеристики організмів покладено їх реакцію на вплив факторів середовища: *як дуже високі (максимальні), так і дуже низькі (мінімальні) значення факторів середовища можуть бути згубними для організму.* Порогове значення даного фактора, вираженого в цифрах, вище або нижче якого організм не може існувати називають *критичною точкою.*

²³ **Шелфорд Віктор Ернест** (*Shelford Victor Ernest*) (1877–1968) – американський зоолог, еколог, автор найвідомішого у факторіальній екології закону толерантності (1913). Перший президент Екологічного товариства Америки. В 1904- 1914 рр. працював у Чикагському університеті, з 1914 – в Іллінойському університеті (з 1927 – професором). Головні праці в галузі біоценології, теорії та термінології, присвячені методиці польових та лабораторних досліджень. Крім гідробіологічних досліджень, вивчав взаємодію організмів у наземних угрупованнях, вплив клімату на угруповання, сукцесії; займався класифікацією змішаних угруповань. Першим описав природу Північної Америки з екологічної точки зору.

Між цими критичними значеннями і розташована зона екологічної толерантності.



Рис. 6. Критичні межі екологічного фактора:

а – нижня кардинальна точка (екологічний мінімум)

б – верхня кардинальна точка (екологічний максимум)

Організм здатний вижити лише в діапазоні мінливості даного фактора, який ще називають *амплітудою*. Здатність організму витримувати певну амплітуду коливання фактору називають *екологічною валентністю*, але для життя організмів значення має не тільки абсолютна величина сили дії фактора, а й швидкість її зміни.

За екологічною валентністю організми поділяють на *еврибіонтних* з широкими пристосувальними можливостями, наприклад, сірий пацюк, горобець, кімнатна муха, таргани тощо, і *стенобіонтних*, які можуть існувати лише у відносно сталих умовах, наприклад, журавель степовий, качкодзьоб тощо. Реакція організму і його адаптаційні можливості до дії фактора, що є

основним чинником еволюції видів, залежить від поєднання дії різних факторів, а для нормального існування організму необхідний певний їх набір.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Схема стосунків в діапазоні екологічної толерантності була запропонована в 1924 р. німецьким екологом і зоогеографом Р. Гессе, який назвав її валентністю екологічних факторів. Варто зазначити, що крива, яка представляє екологічну валентність у межах зони толерантності, не завжди має симетричний вигляд із оптимальною зоною, розташованою в центрі. Наприклад, для прісноводних організмів оптимум знаходиться в нижній межі вмісту солі у воді, тоді як у морських організмів – на протилежному кінці мінливості фактора – в зоні толерантності, де вміст солі найвищий.

Ю. Одум (1975) вводить ряд доповнень до **закону толерантності Шелфорда**, які стосуються неоднорідності впливу екологічних факторів та реакції на них живих організмів:

- організми можуть мати широкий діапазон толерантності до одного фактору і вузький до іншого;
- організми із широким діапазоном толерантності, як правило, займають панівне становище в біосфері;
- якщо умови існування визначені одним екологічним фактором змінюються за межі оптимуму, то змінюються діапазон толерантності до інших екологічних факторів;
- в природі організми часто попадають в умови далекі від оптимально встановлених у лабораторних експериментах;
- період розмноження, росту, як правило є критичним, межі толерантності організму в цей час набагато вужчі, ніж у дорослої особини.

Роз'яснення, наведені Ю. Одумом, багато в чому допомагають при з'ясуванні причин неоднорідності отриманих результатів під час проведення екологічних досліджень. Таким чином, при будь-якому екологічному дослідженні є необхідність детального аналізу не тільки фізико-хімічних умов середовища або ступеню впливу живих організмів одне на одного, але і фаз існування організму.

Для нормального існування організмів їм потрібен комплекс факторів і певний їх режим з допустимими коливаннями величини дії в межах *витривалості організмів або толерантності*. Організми намагаються жити в певних межах близьких до оптимуму і не досягати критичних меж фактора (рис. 6). У таких умовах будь-які організми можуть підтримувати свою чисельність.

Для характеристики амплітуди толерантності видів в екології використовується ряд термінів. До екофактору, відношення якого характеризує вплив на живий організм, додаються два слова: *стено* (гр. *стенос* – вузький); *еври* (гр. *еурос* – широкий) – (табл. 4).

Приклад: розвиток ікри різних риб проходить при різних температурах. Якщо ікра лосося розвивається при температурі від 0 до 14 °С (при оптимумі 4 °С), то по відношенню до ікри жаби звичайної вона буде стенотермна, оскільки температурні межі розвитку ікри жаби – від 0 до 30 °С з оптимумом 22 °С.

Таблиця 4

Характеристика амплітуди толерантності видів

Екологічний фактор	Стенобіонтні	Еврибіонтні
Температура	стенотермні	евритермні
Тиск	стенобарні	еврибарні
Вода	стеногідричні	евригідричні
Глибина	стенобатні	еврибатні
Їжа	стенофагні	еврифагні
Солоність	стеногалінні	евригалінні
Місце проживання	стеноойкні	евриойкні

Температура на земній поверхні залежить від географічної широти й висоти над рівнем моря. Крім того, вона змінюється з порами року.

Живі організми можуть існувати тільки в певних температурних умовах. При високій температурі близько 100°C руйнуються білки організму, а при низькій уповільнюється, а потім і припиняється обмін речовин. В залежності від температурного режиму виділяють чотири основні кліматичні зони: тропічний пояс (температура не нижче 15-20°C), субтропічний пояс (найнижча температура +4°C), помірний пояс (коливання температури від - 20 до +30°C) та холодний пояс.

У зв'язку з цим у тварин і рослин є різні пристосування до температурних умов. У більшості організмів процеси життєдіяльності відбуваються в межах від мінус 4 до плюс 40-45°C. Цим пояснюється бідність форм життя в арктичних районах і в умовах тундри. Важливим для організмів є сезонний розподіл температур. Тут виникає ціла низка пристосувань організмів – зимова сплячка, сезонні міграції тощо.

Для кожного виду характерна своя оптимальна температура та крайні межі виживання, при яких відбуваються процеси життєдіяльності. Більшість морських безхребетних дуже чутливі до змін температури й витримують її підвищення лише до плюс 30°C і рідко які з них – до плюс 38°C. Це мешканці великих водойм, які не перегріваються, тому в них не виникло пристосувань до виживання при високій температурі. Значно ширший діапазон витривалості до змін температури у мешканців малих прісних водойм. Вони можуть витримувати як промерзання, так і нагрівання до плюс 41-44°C.

У багатьох організмів (рослин і всіх тварин, окрім птахів і ссавців) температура тіла залежить від навколишнього середовища, їх називають *пойкілотермними*. Інтенсивність життєдіяльності та темпи розвитку у них залежать від зовнішньої температури. Знання інтенсивності розвитку тих чи інших організмів при різ-

них температурах важливе для проведення заходів по боротьбі з комахами – шкідниками сільського господарства або переносниками збудників хвороб.

Квітки багатьох рослин на ніч і в негоду закриваються, що захищає їх від переохолодження.

Під час інтенсивного руху (наприклад, при літанні) у комах тимчасово підвищується температура тіла на декілька градусів. Однак у стані спокою вона зрівнюється з температурою навколишнього середовища. У деяких гуртових комах (наприклад, бджіл) існує спосіб підтримання температури шляхом колективної терморегуляції. Бджолина сім'я, в якій налічується кілька тисяч особин, виділяє стільки тепла, що у вулику встановлюється стала температура 34-35°C, що необхідно для розвитку личинок.

Найдосконаліша терморегуляція з'явилась лише у вищих хребетних – птахів і ссавців, забезпечивши їм широке розселення у всіх кліматичних поясах. Вони називаються *гомойотермними* організмами.

У гомойотермних тварин терморегуляція здійснюється зміною окисно-відновних процесів, які продукують тепло, також пристосуваннями для охолодження. У більшості ссавців охолодження досягається в результаті випаровування поту з поверхні шкіри та вологи із слизових оболонок. Волосяний покрив у ссавців і пір'я у птахів, підшкірні запаси жиру також забезпечують терморегуляцію. У гніздах тварин (норах, лігві) створюється своєрідний, найсприятливіший для них мікроклімат.

ЦІКАВО

Риби обживають водойми з різним температурним режимом: у гарячих джерелах Каліфорнії живе рибка луканія; риба далія мешкає в промерзлих водоймах Чукотки і Аляски; карась, вмерзаючи в лід, залишається живим. За здатністю витри-

мувати коливання температур риб поділяють на евритермних, що можуть жити в широкому інтервалі температур (щука, карась, короп) і стенотермних, пристосованих до життя у вузькому температурному інтервалі – риби тропічних і полярних зон та риби значних глибин, де температура мало змінюється.

Вологість. Без води життя неможливе. Вміст води у живих клітинах в середньому становить 80-92 %. Джерелом води є опади та ґрунтові води. Тут лімітуючим фактором є кількість опадів. Вона визначає навіть тип екосистем. При опадах менш ніж 250 мм на рік формуються пустельні екосистеми; 250-750 мм – степові, лісостепові та савани; 750-1250 мм – субтропічні ліси, а більш як 1250 мм – вологі тропічні ліси.

Особливо чутливими до зміни вологості і кількості води є рослини. За потребою у воді виділяють такі екологічні групи рослин:

– *гідатофіти*, які живуть тільки у воді, вони цілком або майже повністю занурені у воду та гідрофіти, які частково занурені у воду. Без води вони швидко гинуть;

– *гігрофіти* – це наземні рослини, які можуть існувати в умовах підвищеної вологості повітря і на вологих ґрунтах;

– *мезофіти*, які ростуть в умовах помірної вологи, витримують нетривалу і не дуже сильну посуху. Ці рослини є досить чисельні і поширені;

– *ксерофіти*, які можуть переносити тривалу посуху, перебуваючи в активному стані завдяки здатності регулювати водний обмін, наприклад, рослини пустель, тощо.

У мешканців посушливих місць виробився ряд пристосовань для існування в умовах водного дефіциту. Рослини степів і пустель (ксерофіти) можуть мати видозмінені листки (колючки у кактуса) або бути безлистими (саксаул). Деякі мають дуже глибокі корені (наприклад, верблюжа (колючка – до 16 м). У ковили листки складаються в трубочки, продихами всередину, чим зменшується випаровування. Випаровуванню перешкоджають і

такі пристосування, як щільна кутикула, восковий наліт, вирости шкірки волоски на поверхні листків.

Рослини-ефемери мають короткий вегетаційний період (зірочки маленькі, тюльпан, мак, шафран), весною до настання посушливого періоду встигають відквітнути, утворити насіння, запасити поживні речовини в цибулинах, кореневищах, бульбах.

Тварини також мають певні пристосування для добування та утримування води. У водних тварин і ссавців відсутній дефіцит води і тому основний продукт азотистого обміну виводиться з організму у вигляді водного розчину сечовини. Навпаки, більшість наземних тварин економлять воду, виводячи азот у вигляді нерозчинної у воді сечової кислоти.

Більшість тварин, мешканців пустель, може жити без води, отримуючи її з їжею або на безводний період відкладаючи багато жиру, при окисненні якого в організмі утворюються молекули води; деякі впадають у літню сплячку (гризуни, черепахи). Багато мешканців пустель рятуються і від спеки та втрати вологи, ховаючись на день у норах. Великі ссавці пустель (сайгак, кулан) можуть здійснювати міграції на далекі відстані в пошуках води.

Спостерігаючи за птахами, польський зоолог К.А. Глогер (1838) написав книгу „Зміни у птахів під впливом клімату”, у якій він говорить про те, що види тварин, які мешкають у теплих та вологих зонах, мають інтенсивнішу пігментацію тіла (найчастіше чорну або темно-коричневу), ніж мешканці холодних та сухих областей. Ця закономірність отримала назву „Правило Глогера”, яке поширюється на 80 % досліджених птахів та ссавців, а серед комах – на багатьох метеликів.

ЦІКАВО

Відкладання яєць у комах відбувається лише при певній вологості повітря. Комарі не кусаються, якщо відносна вологість повітря нижча за 40 %. Верблюд і одужна міль отримують воду метаболічним шляхом, окислюючи жири свого тіла.

Світло – один з найважливіших факторів, з яким пов'язане все життя на Землі. У спектрі сонячного світла виділяють три біологічно нерівнозначні зони: ультрафіолетову, видиму та інфрачервону. Ультрафіолетові промені згубні для всього живого. Життя на поверхні Землі можливе завдяки озоновому екрану, який не пропускає основну масу цих променів. Невеликі їх кількості, що досягають поверхні землі, необхідні для життя, з ними, зокрема, пов'язаний синтез кальциферолів в організмі людини і тварин.

Видимі промені особливо необхідні для життя. Вони використовуються зеленими рослинами для фотосинтезу. Більшість тварин добре розрізняють ці промені, без них неможливе орієнтування в просторі за допомогою зору. За відношенням до світла тварин поділяють на „нічні” (активні вночі) та „денні” (активні у світлу частину доби). Розвиток кольорового зору спричинив у процесі природного добору формування різного забарвлення у тварин, що часто має захисне значення квіток, що приваблюють до себе комах-запилювачів.

Інфрачервоні промені найбагатші тепловою енергією. Поглинаючись тканинами тварин і рослин, вони викликають їх нагрівання. Із ними пов'язана інтенсивність фізіологічних процесів у рослин і пойкилотермних тварин.

Характер освітлення має добову й сезонну періодичність. У зв'язку з цим у різних видів тварин виникла пристосованість до активного життя в різний час доби. Майже всі фізіологічні процеси у рослин і тварин мають добовий ритм. Люди це відчувають при швидкому переміщенні (наприклад, на літаку) із одного часового поясу в інші. Реакція тварин і рослин на тривалість світлового дня та ночі відома як *фотоперіодизм*.

Тривалість світлового дня змінюється з порами року, тому багато видів тварин і рослин мають річні цикли розвитку. Тривалість світлового дня впливає на статеву функцію багатьох

тварин. Збільшення світлового дня навесні стимулює діяльність статевих залоз, а зменшення його восени веде до затухання їхньої функції. Скорочення дня передує похолоданню, тому в процесі еволюції органічного світу для багатьох видів зменшення світлового дня стало біологічним сигналом підготовки до зими (підготовка до перельоту у птахів, линяння, нагромадження жиру, формування стадій спокою).

Різна тривалість дня на різних широтах обумовила появу рослин, що розквітають лише при короткому дні (короткоденні) на півночі й лише при довгому (довгоденні) на півдні. Багато рослин короткого дня, перенесені в умови довгого дня, утворюють велику вегетативну масу, але не завершують розвитку і не переходять до плодоношення.

Знання закономірностей *фотоперіодизму* використовуються в сільськогосподарській практиці, наприклад, при цілорічному вирощуванні овочів і декоративних рослин в умовах штучного освітлення. На птахофермах штучним освітленням збільшують „світловий день” і досягають збільшення яйценосності.

Світло відіграє вирішальну роль у життєдіяльності рослин, оскільки рослини синтезують органічні речовини з неорганічних, використовуючи світлову енергію сонця. Одним з видів конкуренції у рослин є конкуренція за світло. У тварин зміна тривалості дня викликає зміну поведінки. Так, деякі птахи готуються до перельотів, інші приступають до линьки, розмноження тощо. Середня ефективність використання сонячної енергії у рослин – 1 %, максимальна продуктивність фотосинтезу за сприятливих умов – 3-10 %.

Територія є важливим фактором у житті кожного живого організму. Всім відомо як ретельно оберігають свою територію тварини, ставлячи відповідні мітки. Це і зрозуміло, бо всяке життя починається з відмірювання життєвого простору, на якому мешкають організми та виводять потомство.

5.3. Біотичні фактори

У природному середовищі на кожний організм або групу організмів діють не тільки абіотичні чинники, але і живі істоти, які є невід'ємною частиною середовища проживання і відносяться до категорії біотичних чинників. Їх дія на організми може бути як прямою (харчування тварин, запилення комахами, паразитування одних організмів на інших), так і непрямую (зміна абіотичних чинників середовища). Представники кожного виду здатні існувати у такому біотичному оточенні, де зв'язки з іншими організмами забезпечують їм нормальні умови життя. Основною формою цих зв'язків є трофічні (харчові) взаємовідносини, на базі яких формуються складні ланки і ланцюги харчування. Крім харчових в угрупованнях рослин і тварин виникають просторові зв'язки. Все це є базою формування біотичних комплексів, у яких різноманітні види об'єднуються не в будь-якому поєднанні, а тільки при умові пристосування до спільного проживання.

Біотичні чинники, які впливають на рослинні організми як первинні продуценти органічної речовини, класифікують на зоогенні і фітогенні.

Зоогенні чинники. Безпосередньою і відчутною формою впливу представників тваринного світу на рослини є споживання рослинної маси для харчування (фітофагія). Практично всі класи тварин мають представників, які відносяться до типових *фітофагів*.

Серед фітофагів виділяються:

- великі тварини – зубри, бізони, лосі, олені, косулі;
- дрібні звірі – зайці, білки, мишеподібні гризуни;
- різноманітні птахи – гуси, казарки, лиски, річкові качки;
- чисельні представники комах – совки, листоїди, жуки тощо.

За характером споживання рослинної маси для харчування фітофаги поділяються на монофагів, олігофагів і поліфагів.

Монофаги – рослиноїдні тварини, які харчуються лише певними рослинами (колорадський жук, тутовий шовкопряд і ін.).

Олігофаги споживають для харчування групу близьких видів рослин (горіхотворки галові, попелиця та ін.).

Поліфаги з'їдають рослинну масу багатьох видів (копитні, мишоподібні гризуни, гриби-паразити та ін.).

Велике значення має механічний вплив тварин на рослини. Найбільш помітно це виражається у руйнуванні і пошкодженні рослин при поїданні їх відповідних морфологічних частин і тканин копитними, гризунами, а також при витоптуванні.

Окрім того, біотичні фактори поділяють на внутрішньо-та міжвидові.

Фітогенні чинники. Рослини, які переважно входять у склад рослинних угруповань, відчують вплив сусідніх рослин і при цьому впливають на них. Форми взаємовідносин досить різноманітні і залежать від способу і ступеня контактів рослинних організмів. Взаємодія організмів (рослинних і тваринних) може бути корисною або, навпаки, шкідливою, залежно від того, стимулюється чи обмежується життєдіяльність кожного з них. Власне саморегулюючі процеси, в основі яких лежить взаємодія організмів є, як правило, відповідальними за стан динамічної рівноваги з зовнішнім середовищем.

Як видно з таблиці 5, форми біотичних відносин умовно можна поділити на ряд типів і кожна група взаємозв'язків відіграє важливу роль у природі :

- *нейтральні* – коли жоден із взаємодіючих видів не впливає на інший (0 0);
- *взаемокорисні* – вигідні для обох видів (+ +);
- *взаємошкідливі* – негативно позначаються на обох взаємодіючих видах (- -);
- *корисно-шкідливі* – один вид має користь, а інший пригнічується (+ -);

– *корисно-нейтральні* – один партнер має користь, а другий не відчуває впливу (+ 0);

– *шкідливо-нейтральні* – один вид пригнічується, а другий не відчуває впливу (- 0).

Таблиця 5

Типи взаємодій живих організмів (Ю. Одум, 1986)

Типи взаємодій	Види		Загальний характер взаємодії
	1	2	
1. Нейтралізм	0	0	Жодна популяція не впливає на іншу
2. Конкуренція, безпосередня взаємодія	-	-	Пряме взаємне пригнічення двох видів
3. Конкуренція за ресурси (територія, їжа)	-	-	Непряме пригнічення при дефіциті спільних ресурсів
4. Аменсалізм	-	0	Популяція 2 пригнічує популяцію 1, але сама не відчуває негативного впливу
5. Паразитизм	+	-	Популяція паразиту (1) складається з особин значно менших розмірів, ніж популяція господаря (2), харчується за рахунок господаря (наприклад, п'є кров)
6. Хижацтво (а також з'їдання рослин)	+	-	Особини хижаків (1) знищують та з'їдають особини жертв (2), або з'їдають рослини, якщо популяція 1 рослинноїдна
7. Коменсалізм	+	0	Популяція 1 – коменсал, отримує користь від об'єднання, популяції 2 це об'єднання байдуже
8. Протокооперація	+	+	Взаємодія сприятлива для обох популяцій, але не обов'язкова
9. Мутуалізм	+	+	Взаємодія сприятлива для обох популяцій і обов'язкова

Нижче перераховані основні взаємовідносини між видами згідно класифікації В.М. Сукачова і М.В. Диліса.

Нейтральні біотичні зв'язки – форма біотичних зв'язків, за якої співіснування двох видів на одній території не викликає для них ні позитивних, ні негативних наслідків, називається *нейтралізмом*. Він є досить поширеним в природі. Деколи два види, які мають однакові кормові потреби, живуть на одній території і не конкурують один з одним. За таких умов, між видами немає нічого спільного, їм потрібні різні екологічні умови.

Наприклад, проживання на одній території зайця і їжака; проростання на одній території волошки і кропиви; взаємодія горобця і орла-беркута, тощо.

ЦІКАВО

Р. Дажо наводить приклад такого співжиття двох видів бакланів – чубатого і великого, які гніздяться на одних і тих самих скелях, однак, як виявляється, живляться різним кормом. Великий баклан пірнає глибоко і виловлює придонних камбалових риб і креветок, а чубатий полює в поверхневих водах на оселедцевих риб та піщанок.

Взаємошкідливі біотичні зв'язки – це така форма біотичних зв'язків, коли взаємодіючі види пригнічують розвиток один одного і це негативно позначається на партнерах.

Конкуренція – це використання певного ресурсу будь-якими організмами, який зменшує його доступність цього ресурсу для інших, що тут мешкають. За таких умов одна рослина чи тварина позбавляє частки ресурсу інші організми. Внаслідок цього скорочуються темпи росту та розвитку найменш пристосованих організмів, зменшується кількість нащадків і зростає ступінь вразливості. Розрізняють *внутрішньовидову та міжвидову конкуренцію*.

А) Внутрішньовидова конкуренція. Будь-який організм входить до складу популяції, що складається з особин того ж виду.

Всі вони мають подібні потреби, задоволення яких забезпечує їхнє виживання, ріст і розмноження. Однак потреба у певних ресурсах іноді можуть перевищувати їхній запас. У такому випадку організми одного виду конкурують за ресурс, значну частину якого вони безпосередньо споживають.

Наслідки – загибель значної кількості найслабкіших організмів. У рослин підвищення конкуренції внаслідок високої щільності популяції приводить до скорочення плідності і виживання. Це зменшує внесок кожної особини в наступне покоління.

Внутрішньовидову конкуренцію поділяють на:

– *експлуатаційну*, коли вплив одного організму на інший здійснюється опосередковано – через їжу, світло та ін.;

– *інтерференційну*, коли відбувається безпосередній тиск одного організму на інший до його повного витіснення з території. У цьому випадку саме місце мешкання приймає статус ресурсу. Це варто розглядати як гнучкий поведінковий механізм, внаслідок чого більш сильний конкурент отримує максимум ресурсу, а слабкіший – мінімум.

Одним з характерних процесів для внутрішньовидової конкуренції є скорочення щільності популяцій. Це сформульовано у вигляді «закону самопрорідження».

Б) Міжвидова конкуренція. Її сутність полягає в тому, що в особин одного виду зменшується народжуваність, виживаність або швидкість росту в результаті використання ресурсу або інтерференції з боку особин іншого виду. Вплив цієї конкуренції на динаміку чисельності багатозначний. Головним тут є правило – якщо ресурс обмежений, конкуренція обов'язково буде. Якщо він у надлишку, то два види навіть із дуже подібними потребами конкурувати не будуть. При конкуренції близьких за біологією видів спостерігається екологічне витіснення, відоме, як принцип конкурентного виключення, або принцип Гаузе (вперше підтверджено експериментально). Гаузе Г.Ф. вирощував споріднені культури *Ragamesium* в одному середовищі і помітив, що

за роздільного перебування обидва види мали дивовижну стійкість. Натомість при сумісному вирощуванні *P. caudatum* гинула, а *P. aurelia* успішно розвивалась (рис. 7).

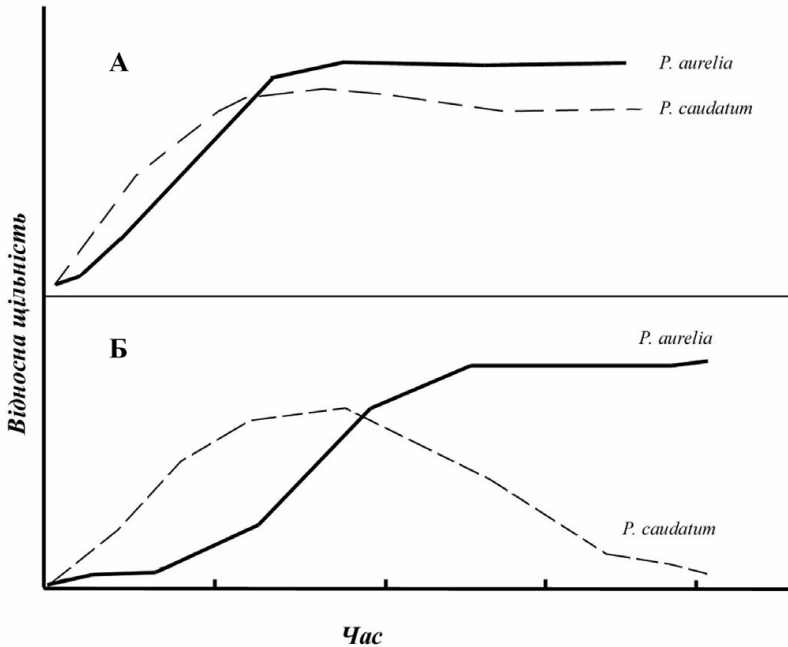


Рис. 7. Розвиток угруповань *Paramecium* при роздільному (А) та сумісному (Б) утриманні (Gause, 1934)

Закон Гаузе показує, що два види не можуть співіснувати, якщо вони залежать від одного лімітуючого їх фактора. Пізніше це було перевірено на хрущаках, мишах, дрозофілах тощо. Кролі в Австралії спричинили зниження чисельності валлабі та велетенського кенгуру. На півострові Бірючий шляхетні олені подавляють ланей, у Кримських горах – козуль.

Міжвидова конкуренція також ділиться на 2 види: *інтерференцію та експлуатацію*. У випадку експлуатаційної міжвидової конкуренції особини взаємодіють один з одним побічно, реагуючи на кількість ресурсу, зниженого внаслідок активності конкурентів. Причому один вид на іншій може впливати як слабо, так і сильно. Іноді останній може зовсім не впливати на перший, що отримало назву *асиметричної міжвидової конкуренції*.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

В рослинних угрупованнях постійно відбувається „боротьба за світло”, тому що єдиним джерелом енергії для них є сонячне світло. Це явище отримало назву конкуренції (від лат. *conspicere* – бігти разом). Конкуренція за світло є найсильнішою, порівняно з конкуренцією за воду та мінеральні речовини. В конкурентній боротьбі за світло у рослин в угрупованнях виробилися різноманітні пристосування. Це відмінності у висоті, розташуванні листків, формі крони. Особливо добре видно такі пристосування в угрупованні мішаного лісу, де рослини розташовуються ярусами. В першому (верхньому) ярусі царюють крони високих дерев – дубів, берез, лип. В другому ярусі ростуть менш високі дерева – горобина, черемха, яблуні. В третьому – кущі та напівкущі, в четвертому – трави. П'ятий ярус представлений мохами. Кожний нижче розташований ярус отримує все менше і менше світла, тому в нижньому ярусі ростуть найбільш тіневитривалі рослини.

Для рослин дуже важлива також боротьба за територію. У зв'язку з цим у них сформувалась ціла низка пристосувань. Особливо ефективним при захваті території є вегетативне розмноження. Наприклад, кульбаба, що має потужну кореневу систему, міцно вкорінюється в ґрунті і дуже стійка до витоптування. Споріш утворює суцільний трав'яний покрив, крізь який не вдається пробитися практично ні одному проростку інших видів. Подібним чином захоплює територію і

барвінок. В інших випадках швидке розмноження забезпечується високою насінневою продуктивністю без запліднення (апоміксис), як у тієї ж кульбаби або нечуйвітра.

Вільна конкуренція – взаємовідносини, що виникають між організмами одного або різних видів в однакових умовах середовища. Наприклад гризуни, саранові, копитні, що споживають трави. Такі ж відносини складаються і серед хижаків – між хижими птахами та лисицями, які живляться гризунами. Нерідко конкуруючі організми виробляють хімічні речовини, які придушують ріст та розвиток або особин свого ж виду, або інших видів. Наприклад, шавлії виділяють токсичні леткі речовини, що мають саме таку дію.

Корисно – шкідливі біотичні зв'язки:

До таких зв'язків відносяться хижацтво та паразитизм

Хижацтво. Це поїдання одного організму (жертви) іншим організмом (хижаком), причому жертва повинна бути живою перед першим нападом на неї хижака.

Існує дві класифікації хижаків:

таксономічна: а) власне хижаки (ті, що поїдають тварин); б) рослиноїдні, що харчуються рослинами; в) всеїдні.

функціональна: а) власне хижаки та хижаки з пасовищним типом харчування; б) паразитоїди й паразити (останні діляться на мікро- і макропаразитів).

Власне хижаки: тигри, орли, сонечка, гризуни, мурахи, кити (фільтрують планктон). Вони вбивають свою жертву й поїдають повністю або тільки частину. Хижаки з пасовищним типом харчування: з'їдають, як правило, тільки частину своєї жертви. Загибель не швидка, тому вони виділені окремо. Це рогата худоба, вівці, олені, бобри й інші травоїдні хребетні. Сюди ж відносять мух, п'явок, комарів.

Серед хижаків є:

- монофаги харчуються одним видом жертви,

- олігофаги харчуються невеликим числом жертв,
- поліфаги харчуються багатьма жертвами.

Відома також мутуалістична взаємодія хижаків та жертв: поїдання рослиноїдними хижаками репродуктивних органів є вигідним як для тварин, так і для рослин. Тварини, які харчуються пилом і нектаром є запилювачами; поїдання плодів у багатьох випадках також позитивне, оскільки корисне для батьківських рослин і для насіння. А от комахи, що харчуються плодами не приносять позитивного ефекту, тому що не сприяють поширенню насіння. Результат дії рослиноїдних хижаків досить складний – може змінитися загальний рівень обміну речовин, відносна швидкість росту корінь, ріст пагонів, швидкість відтворення, можуть утворюватися особливі захисні речовини або тканини в жертві. Таким чином, вплив рослиноїдних хижаків на інші популяції може виявитися більше значним, аніж здається.

Відоме знищення хижакими більш слабких представників свого ж виду. У цьому випадку хижацтво компенсує внутрішньовидову конкуренцію.

Існує гранична кількість їжі, яку конкретна популяція консумента спроможна з'їсти, тобто є межа шкідливого впливу на популяцію своєї жертви й межа до якого може збільшуватися чисельність популяції консумента. При її досягненні чисельність хижаків скорочується. Причиною цього є:

а) зростання смертності за рахунок посилення внутрішньовидової конкуренції;

б) міграція частини особин. Часто спостерігається зміна домінуючих компонентів у харчуванні – „перемикання”.

Існують безперечні випадки, коли хижацтво зумовлює значний негативний вплив на жертву. На цьому ґрунтуються біологічні методи боротьби із шкідниками. Наприклад, сонечко родолія (*Rodolia cardinalis*) фактично знищила австрійського жолобчастого червеця – шкідника цитрусових у Каліфорнії у 80-х роках XIX ст. У деяких випадках популяції хижака й жертви

з'язані один з одним через сполучені коливання своєї чисельності. Наприклад, коливання чисельності білого зайця в бореальних лісах Канади спричиняє коливання чисельності рисі. Раз в 9-10 років відбувається пік і депресія в популяціях зайця. Під час піку жертви популяція рисі зростає, як наслідок великої кількості їжі. Під час депресії, яка є наслідком перенаселеності та загибелі зайців від хвороб та нестачі їжі, спостерігається загибель значної кількості хижаків. Під час депресії популяції хижака, популяція жертви відновлюється (рис. 8). Таким чином, періодичні коливання популяцій білого зайця спричиняють коливання чисельності рисі, але не навпаки. Це стабілізує екосистему.

Існує також багато прикладів, коли чисельність популяції хижака й жертви коливається незалежно один від іншого. Загалом, динаміка популяцій хижака й жертви дуже складна і задача еколога полягає в встановленні дійсної залежності чисельності популяцій у системі „хижак-жертва” упродовж біологічного циклу.

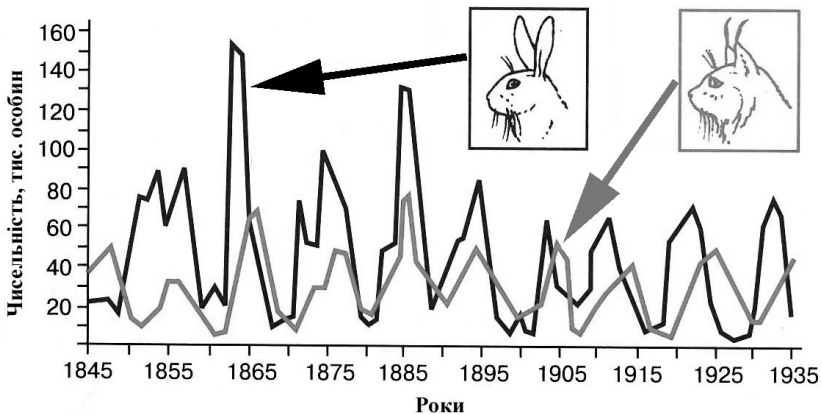


Рис. 8. Динаміка угруповань зайця білого та рисі у лісах Канади (MacLulich, 1937)

Паразитизм – дуже поширене явище, коли організм, який отримує живильні речовини від одного або дуже невеликого числа організмів-хазяїв, завдаючи їм зазвичай шкоду, але не викликаючи негайної загибелі. Ключовим моментом при цьому є залежність паразита від хазяїна та тісний зв'язок „паразит-хазяїн”. Про шкоду для хазяїна не завжди згадується. Але якщо хазяїн дійсно не одержує користі й не зазнає шкоди, то такі відносини варто вважати коменсалізмом. „Шкода” оцінюється із зниження вродженої швидкості популяційного росту хазяїна й (або) його чисельності.

Паразити й патогени (хвороботворні агенти) є вкрай важливою групою організмів. Втрата, з погляду людських страждань і економічних втрат, стає незлічимою, тому що скучення людей і свійських тварин – сприятлива обставина для паразитів і патогенів (боротьба зі свинячим грипом та іншими захворюваннями).

Вільно існуючі організми, які не уражені паразитами, – велика рідкість. Половина видів і набагато більше половини загального числа всіх особин на Землі – паразити або збудники хвороб, причому більшість бактерій і вірусів ще не описані.

Існує значна розмаїтість паразитів. Є фіто- та зоопаразити. Вони мають своїх мікро й макропаразитів. Перші розмножуються усередині тіла хазяїна (навіть усередині його клітини). Другі ростуть у тілі хазяїна, але при розмноженні утворюють особливі інвазійні стадії, що залишають його, щоб заселити нових хазяїв. До мікропаразитів відносяться – глисти, збудники кору, тифу; у рослин віруси жовтої сітчатості буряку й томатів, табачна мозаїка каштанів та ін.

Передача мікро- і макропаразитів здійснюється безпосередньо й за допомогою переносника (муха цеце, малярійні комарі) або „підстеріганням” підходящого хазяїна (паразит тривалий час перебуває в спочиваючій стадії). Для макропаразитів може існувати проміжний хазяїн. Серед макропаразитів, що передаються безпосередньо, особливе місце займають деякі квіткові рослини.

Це так звані голопаразити й напівпаразити. Голопаразити не мають хлорофілу й повністю залежать від рослини – хазяїна, тому що одержують від нього воду, мінеральні й органічні речовини, наприклад, повеліла на городніх рослинах.

Напівпаразити (екологічна група – епіфіти) здатні до фотосинтезу, але при цьому пов'язані з коріннями або стеблами інших видів і отримують від них більшу частину води (або повністю) та мінеральне харчування. Коренева система у напівпаразитів розвинена слабо або відсутня; наприклад: омела, орхідеї. Вони сповільнюють ріст хазяїв та знижують щільність їх популяцій. Вивченням розвитку захворювань у популяції хазяїна займається епідеміологія – одна з найбільш розвинених областей екології.

Для запобігання передачі паразитів у сільському й лісовому господарстві в профілактику включають створення змішаних культур різних видів або різних генотипів одного виду. У медичній практиці – це вакцинація та обмеження скупчень людей.

Існують ектопаразити, які харчуються тілом хазяїна, перебуваючи на його поверхні (блохи, воші, кліщі, сисуни й навіть деякі гриби, що викликають захворювання „борошниста роса”). Екзопаразити, як і їхні хазяї, до деякої міри використовують вплив зовнішнього середовища; вони слабо захищені від холоду, висихання. Деякі паразити живуть у порожнинах тіла хазяїна, наприклад, глисти. Зрештою, багато з них проникає безпосередньо в клітину. Макропаразити часто бувають повністю внутрішньоклітинними. Таким чином, кожний організм являє собою неоднорідне середовище для паразитів і утворює сукупність потенційних місцеперебувань.

За реакцією хазяїв, паразитів ділять на:

- а) некротрофних;
- б) біотрофних.

Некротрофи, вбиваючи хазяїна, спроможні населяти його мертві тканини. Біотрофні неспроможні мешкати у мертвому тілі. Для біотрофів загибель хазяїна означає кінець активної фази

життєвого циклу, оскільки мертвий організм вони не можуть використати як середовище існування. Це – воші, блохи, паразитичні хробаки, іржа.

Як правило, паразити у якості жертви використовують усього один або лише кілька видів. Це стрічкові хробаки, печінковий сисун, вірус кору, туберкульозна паличка, крім цього це значне число рослин і мікроорганізмів, що паразитують на рослинах (омела, тля, гусінь).

Паразити знижують щільність популяції своїх хазяїв, причому сильніше всього за низької й помірної патогенності. Тому використовувати паразитів для боротьби із шкідниками треба дуже обережно.

Є ще й *паразитоїди*, які об'єднують переважно комах, дорослі самиці яких відкладають яйця в тіло інших тварин або на поверхні їх тіла, або поруч. У наступному розвитку личинки використовують живильні речовини жертви. Спочатку хазяїнові наноситься невелика шкода, але потім вони майже повністю з'їдають його, тобто хазяїн гине, а з лялечки з'являються вже нові організми. До них належить 25 % видів, що живуть на Землі. (величезне число видів комах мають щонайменше одного паразитоїда й навіть останній може мати свого паразитоїда).

Проблеми конкуренції, хижацтва та паразитизму широко обговорювалися теоретиками, результатом дослідження яких стали диференційовані рівняння для моделювання відносин: хижак – жертва; паразит – хазяїн.

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \frac{K_1 - N_2 - \alpha N_1}{K_1}, \quad \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \frac{K_2 - N_2 - \beta N_2}{K_2},$$

де N_1 ; N_2 – чисельність I і II видів; α = коефіцієнт конкуренції, що характеризує гальмівний вплив II-го виду на I-й, β – навпаки.

Рівняння були запропоновані у 1925 та 1926 рр. математиками А.Д. Лотка (1880-1949, США) В. Вольтерра (1860-1940, Італія).

ЦІКАВО

В кишковикі коней і куланів виявлено близько 90 видів інфузорій (з них 62 види знайдено в кулана), які представляють п'ять трофічних груп ендобіонтних інфузорій:

1. „Рослиноїдні”, такі, що живляться рослинними частками, але що не конкурують з хазяїном в споживанні їжі, оскільки інфузорії мешкають у кінці кишківника, де вже майже не відбувається всмоктування поживних речовин хазяїном. Можна вважати, що ці інфузорії як нахлібники є коменсалами. У кишківнику кулана в цій групі налічувалося 11 видів інфузорій.

2. „Крохмалоїдні”, які живляться зернами крохмалю (конкуренти в живленні хазяїна). Навіть при дуже бідному раціоні хазяїна вони вишукують і поїдають крохмальні зерна, оскільки живляться майже виключно крохмалем. До їх числа входить 5 видів інфузорій.

3. „Бактероїдні”, що живляться бактеріями, населяють кишківник (отже, вони не конкурують із хазяїном у споживанні їжі, є коменсалами хазяїна, тобто вони дістають для себе користь, не завдаючи шкоди хазяїну). Поїдаючи бактерії, ці інфузорії підтримують рівновагу у біоценозі товстої кишки парнокопитних. Це найчисленніша група, причому деякі види інфузорій живляться тільки бактеріями, а інші активно використовують бактерії в якості їжі в процесі росту після ділення.

4. „Хижі”, заковтуючи інші, дрібніші інфузорії цілком

5. (2 види). Зазвичай війкові інфузорії в кишківнику кулана переходять на хижацтво на додаток до основного раціону – крохмалю або бактерій.

6. „Гіперпаразити” – інфузорії з групи сукторій (клас

7. Suctoria – сисні інфузорії,), що присмоктуються до інших більших інфузорій, зокрема війчастих, і ведуть себе як ектопаразити. Сисні інфузорії за допомогою смоктальних щупалець живляться клітинним вмістом своїх жертв. Нападають, головним чином, на великі рослиноїдні інфузорії, зустрічаються в кишківнику парнокопитних, носорогів, хоботних і деяких південноамериканських гризунів.

Відносна стабільність сприятливих екологічних умов організменного середовища життя дає ряд переваг ендобіонтам,

але в той же час обмежує можливості їх розселення, сповільнює проходження життєвих циклів порівняно з вільноживучими видами.

Паразити і інші співмешканці (коменсали та ін.) пристосувалися до життя в певних органах і тканинах хазяїна, до певного його віку (стадії розвитку) і фізичного стану хазяїна. В процесі еволюції у ендобіонтів виробилися особливі властивості. Наприклад, для внутрішніх паразитів характерна редукція органів чуття, спрощення кишківника. Тобто спостерігається спрощення тіла паразита в порівнянні з вільноживучими його предками і родичами. В той же час спостерігається поява органів прикріплення, вироблення систем захисту від імунітету хазяїна. Істотного розвитку досягають органи розмноження, що забезпечують високу плодючість. Ендобіонтам властиві досить складні цикли розвитку зі зміною одного або декількох проміжних хазяїв.

Незважаючи на труднощі проникнення в організм хазяїна, ендобіотична фауна і флора давно і широко представлені в живому світі. Надзвичайно висока плодючість і складні життєві цикли розвитку дозволяють їм виживати у боротьбі за існування.

Шкідливо – нейтральні біотичні зв'язки:

Аменсалізм – форма біотичної взаємодії двох видів, за якої один з них чинить шкоду іншому і не отримує при цьому відчутної користі для себе (деревні рослини і трав'яниста рослинність під їх кронами).

Алелопатія (антибіоз) – хімічний взаємовплив одних видів рослин на інші за допомогою продуктів метаболізму (ефірних масел, фітонцидів). Сюди можна віднести „цвітіння води” за участю синьо-зелених водоростей, явище „червоного моря” – виділення гігантськими скупченнями мікроорганізмів токсичних речовин, які викликають загибель риби.

ЦІКАВО

Мало відома і тим цікава справжня „хімічна війна”. Протягом довгого еволюційного шляху у рослин виникла ціла низка захисних хімічних речовин. Наприклад, горох виділяє пізантин, що захищає його від грибів-паразитів. Інші речовини, наприклад хромени, відлякують комах. Піретрини, що отримують з рослин роду хризантема, діють згубно на багатьох шкідників. Восковий наліт на пагонах та листках багатьох рослин робить їх важкодоступними для комах та грибів. Фітонциди – це бактерицидні (антагоністи бактерій), фунгіцидні (антагоністи грибової інфекції), протисцидні (антагоністи найпростіших) леткі речовини, які відіграють значну роль у взаємовідносинах організмів у рослинних угрупованнях і є одним з факторів природного імунітету рослин.

Фітонциди підвищують бактерицидну здатність повітря, роблячи його чистим. Механізм його явища зв'язаний з трансформацією молекул озону в електронно-збудливі молекули кисню здатні руйнувати структуру ДНК патогенних мікроорганізмів.

Бактерицидні властивості повітря, яке містить фітонциди, зумовлює і таку його властивість, як свіжість.

Свіже повітря виліковує багато захворювань, покращує стан здоров'я: позитивно впливає на нервову систему, підвищує рухливу активність, секреторну функцію шлунково-кишкового тракту, покращує обмін речовин, стимулює серцеву діяльність. Виникла необхідність глибоко розробити теорію фітонцидів у тісному зв'язку з теорією фітодизайну. Рослини, правильно підібрані і розміщені з гарним смаком, створюють психологічно сприятливе середовище, позитивно впливають на настрій людей, надають приміщенню своєрідний колорит і певний комфорт.

Здатність рослин виробляти токсичні речовини необхідно враховувати і в сільському господарстві. Багато культурних сортів порівняно з їх дикорослими предками не здатні виробляти токсичні речовини в необхідній для захисту кількості. Тому зараз приділяється особлива увага отриманню отруйних або „відлякуючих” для рослиноїдних тварин речовин рослинного походження. Виявлено, що хімічними засобами захисту володіють не лише наземні рослини, але й багато водоростей.

Взаємокорисні біотичні зв'язки – це такі типи зв'язків між видами, коли останні мають певний ступінь користі від партнерства або співжиття. Цей тип зв'язків є поширеним у природі. Чим різноманітніші і міцніші зв'язки, що підтримують спільне існування видів, тим стійкіше їх співжиття.

Серед таких зв'язків розрізняють:

– *Симбіоз* (мутуалізм – присутність кожного з партнерів стає обов'язковою) – представляє собою тривале, нероздільне і взаємовигідне співжиття двох або більше видів організмів (мікориза деяких грибів і коренів дерев). Переваги можуть бути різні. Наприклад, один одержує від іншого їжу, а інший захист від ворогів, але мова не йде про дружню взаємодопомогу. Тут діє егоїзм і вигідні відносини виникають тому, що одержувана ними користь переважає необхідні витрати.

– *Протокооперація* – найпростіша форма симбіотичних зв'язків, „первинна взаємодія”. Вона є взаємовигідною для партнерів, проте не обов'язковою для їх існування. Наприклад, обпилення бджолами квітів; перенесення птахами насіння рослин, що містилось в плодах, тощо.

ЦІКАВО

Прикладом мутуалізму є відносини між вищими рослинами та грибами. Грибниця густо оплітає коріння, утворюючи складну структуру, яка називається мікоризою (від грецьк. *Mykes* – гриб + *rhiza* – корінь). Вважають, що такі структури забезпечили рослинам завоювання суші, тому що нитки грибиці утворюють додатковий потужний всмоктувальний апарат. Гриб, у свою чергу, отримує від рослини необхідні йому для живлення органічні речовини. Ще один приклад мутуалізму цікавий тим, що багато дерев у лісі часто зростаються своїми коренями. Це дозволяє передавати поживні речовини один одному найскладнішими і несподіваними шляхами.

В результаті таких взаємовідносин життя одного виду залежить від іншого. Мутуалізм є досить поширеним явищем, від якого залежить утворення значної частки біомаси планети. Він вимагає складних поведінкових зв'язків. Наприклад, африканський птах медоуказчик дивним чином пов'язаний зі ссавцем – капським медоїдом. Птах розшукує бджолині гнізда, а медоїд руйнує гніздо. Креветки викопують нори, а бички використовують їх як притулки. Креветки майже нічого не бачать, і коли залишають нору, то за допомогою антен підтримують контакт із бичком у норі й знають про будь-які екологічні зміни. Риби-чистильники, яких існує 45 видів, поїдають ектопаразитів, бактерій і відмерлі тканини з поверхні тіла інших риб. Мурахи у Центральній Америці будують гнізда у порожніх шипах акації. При цьому вони використовують для їжі утворення на кінцях листків – „тільця Белта” і т.ч., які захищають акацію від конкурентів. Вони також зістригають чужі пагони, що проникають у крону акацій, і рятують їх від фітофагів.

Широко розвинений мутуалізм при запиленні. „Винагорода” – одержання нектару або пилку. Існує мутуалізм за участю організмів, що населяють травний тракт. У багатьох рослиноїдних тварин бактерії відіграють величезну роль при перетравлюванні їжі (розщепленні). Наприклад, без найпростіших у кишечнику термітів переварити деревину останніми було б неможливо. У жуйних тварин у рубці, забезпечується перетравлювання їжі, за рахунок летучих жирних кислот, у першу чергу, оцтової.

Можна навести ще багато прикладів подібних взаємовідносин. Рак-самітник та актинія, де рак використовує її здатність жалити інші організми для захисту, а актинія харчується залишками їжі рака. Це типовий приклад протокооперації. Особливо поширені форми симбіозу між деякими морськими тваринами та одноклітинними водоростями. Наприклад найкрупніший молюск тридакна, що досягає розміру 1,5 м і ваги 200–300 кг надає притулок великій кількості одноклітинних водоростей і без яких не може існувати. В цьому випадку тварини постачають водоростям вуглекислий газ та азотисті сполуки (продукти метаболізму), а отримують від рослин кисень і частково органічні речовини. Часто можна спостерігати зграйки рибок, що ховаються поміж щупалець медуз, що є прикладом однобічного симбіозу.

Корисно – нейтральні біотичні зв'язки:

Коменсалізм – тип біотичних взаємовідносин між двома видами – коменсалами, коли діяльність одного з них постачає харчування або притулок для іншого, не маючи від цього ні шкоди, ні користі (рибка- прилипало пересувається на великій відстані, прилипаючи до акул).

ЦІКАВО

Харчування залишками їжі інших тварин поширене серед тварин. Наприклад, у мурашниках живуть кілька видів жуків, що живляться за рахунок запасів працелюбних мурашок. Також коменсалами можна вважати рибок- лоцманів, рибок-прилипал, що постійно супроводжують акул і харчуються залишками їхньої їжі.

В цілому ж взаємовідносини живих організмів дуже складні і різноманітні. Деякі їх прояви ми починаємо розуміти лише зараз. Ті випадки, які тут описані, швидше початок досліджень, за якими стоїть багато цікавих та значних відкриттів.

Так можна відмітити ще одну біологічну особливість життя рослин в угрупованнях. Як правило, з двох видів, які певний час живуть у споріднених умовах, один обов'язково гине. Ця закономірність була доведена в експерименті і отримала назву **принципу конкурентного виключення**: якщо дві або більше рослин використовують однакові поживні речовини, кількість яких обмежена, то ці рослини будуть меншого розміру і чисельність їх буде менша.

На відміну від рослин тварини значно менше залежать від наявності світла. Якщо автотрофні організми конкурують здебільшого саме за світло, то тварини весь час проводять у пошуку їжі.

Проте, хоча і прийнято поділяти біотичні зв'язки на корисні, шкідливі і нейтральні, такий поділ є умовним. У природі все збалансовано і ні один вид організмів не намагається знищити

інший. Тому всі типи біотичних зв'язків є надзвичайно важливими і забезпечують умови існування живих організмів: запобігають переселенню території або її недостатньому заселенню, визначають природний відбір, тощо.

5.4. Антропогенні фактори

У сучасній екології, як зазначено вище, до екологічних факторів середовища відносять не лише абіотичні та біотичні фактори. Різноманітність форм людської діяльності, які змінюють біотичні й абіотичні компоненти природи, багато вчених об'єднують під загальною назвою антропогенні впливи, або антропогенні фактори. Будучи за характером впливу екзогенними, вони діють на ендегенні фактори і, завдяки їм, „зсередини” на природне середовище або його компоненти.

Вплив їх на природу може бути як свідомим, так і стихійним, випадковим. Користуючись знанням законів розвитку природи, людина свідомо виводить нові високопродуктивні сорти рослин, породи тварин, усуває шкідливі види, творить нові природні комплекси. Проте нерідко вплив людини на природу має небажаний характер. Це, наприклад, непродумане розселення рослин і тварин у нові райони, хижацьке винищення окремих видів, а також розорювання перелогових земель, внаслідок чого зникають стійкі високоорганізовані угруповання, зменшується видовий склад рослин і тварин, про що йдеться в останньому розділі цього посібника.

Необхідно також звернути увагу на те, що серед антропогенних розрізняють фактори *прямого (безпосереднього) впливу* (наприклад, полювання на тварин, рибний промисел, заготівля лікарських рослин, вирубування лісу тощо) і *опосередкованого впливу*, тобто змінюючи фізико-хімічні показники середовища (наприклад, скиди промислових відходів у річки, осушення боліт, будівництво гребель на річках тощо), впливають на адаптаційні можливості живих організмів, які або мігрують на інші території, або гинуть.

САМОСТІЙНІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ II

Питання для роздумів, самоперевірки, повторення

1. Що є об'єктом вивчення аутоекології?
2. Яке значення для кожного живого організму мають умови його існування?
3. Дайте визначення поняттю „середовище” і назвіть основні типи природного середовища.
4. Розкрийте зміст поняття „екологічні фактори”. Які ви знаєте класифікації екологічних факторів?
5. Визначте особливості фізико-хімічних показників повітряного середовища.
6. Визначте особливості фізико-хімічних показників водного середовища.
7. Визначте особливості фізико-хімічних показників ґрунтового середовища.
8. Які закони визначають силу дії екологічних факторів на організм?
9. Поясніть зв'язок впливу лімітуючих факторів на організм та меж його толерантності.
10. Які види називають еврибіонтними? Наведіть приклади.
11. Які види називають стенобіонтними? Наведіть приклади.
12. У чому полягає суть закону Лібіха?
13. Наведіть приклади взаємодії екологічних факторів.
14. Чи можна одночасно віднести вид і до стенобіонтних і до еврибіонтних організмів? Наведіть приклади.
15. Назвіть основні форми біотичних відносин. Які з них відносяться до позитивних, а які до негативних?
16. Наведіть приклади адаптації живих організмів. Визначте їхні конкурентні переваги.

17. Дайте характеристику основним антропогенним факторам.

18. Чим відрізняється свідомий та випадковий вплив людини на природу.

Наведіть приклади.

Тестові завдання: вказати одну правильну відповідь

Питання 1. Аутоекологія – це
а. Розділ екології, який вивчає угруповання гідробіонтів
б. Сукупність прикладних аспектів екології, вплив техногенного навантаження на довкілля
в. Розділ екології, який вивчає популяції організмів як особливий рівень організації живої матерії
г. Розділ екології, що вивчає взаємовідносини особин або груп особин одного конкретного виду з умовами навколишнього середовища

Питання 2. Визначте інтенсивність впливу екологічного фактора, яка для організмів ще сприятлива
а. Нижня межа витривалості
б. Зона песимуму
в. Зона оптимуму
г. Зона комфорту

Питання 3. В комплексі факторів найсильніше діє той, який ближче до межі витривалості – таке тлумачення має...
а. Закон мінімуму (закон обмежувального фактора) Лібіха
б. Правило Бергмана
в. Закон екологічної толерантності Шелфорда
г. Закон взаємодії факторів

Питання 5. Визначте інтенсивність впливу екологічного фактора, яка для організмів перевищує згубну

а. Критичні точки максимуму і мінімуму

б. Нижня межа витривалості

в. Зона песимуму

г. Верхня межа витривалості

д. Зона комфорту

Питання 7. Назвіть види, які здатні переносити значні коливання температури

а. Ксерофіти

б. Гідрофіти

в. Гідатофіти

г. Гігрофіти

Питання 8. Як називають вищу водяну рослинність?

а. Ксерофіти

б. Гідрофіти

в. Гідатофіти

г. Гігрофіти

д. Мезофіти

Питання 9. Як називають вологолюбні рослини?

а. Ксерофіти

б. Гідрофіти

в. Гігрофіти

г. Мезофіти

Питання 10. Як називають посухостійкі рослини?

а. Ксерофіти

б. Гідрофіти

в. Гідатофіти

г. Гігрофіти

д. Мезофіти

Питання 11. Як називають рослини, які ростуть на мілководді водойм (очерет, рогіз)?

а. *Ксерофіти*

б. *Гідрофіти*

в. *Гігрофіти*

г. *Мезофіти*

Питання 12. Як називають рослини, які займають проміжне місце між водяними і посухостійкими?

а. *Ксерофіти*

б. *Гідрофіти*

в. *Гігрофіти*

г. *Мезофіти*

РОЗДІЛ III

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЕМЕКОЛОГІЇ

§6. ПОНЯТТЯ ПРО ПОПУЛЯЦІЮ

Розділ загальної екології, що вивчає структурні та функціональні характеристики, динаміку чисельності популяцій, а також умови, за яких формуються популяції, називають *демекологією* або *популяційною екологією*.

Розвиток популяційної екології сьогодні пов'язаний із новими теоріями флуктуацій, генетичними і біогеоценотичними особливостями розвитку популяцій, вивченням їх енергетичного потенціалу.

Сучасні уявлення про біологічну популяцію формувалися впродовж століть. Уже в працях шведського природознавця К. Ліннея (1707-1778) бачимо роздуми про рівновагу в природі, основою якої є народжуваність і смертність організмів. Ідею ролі перенаселення, яке може стати причиною катастрофічної смертності організмів, висунув Буффон (1749 р.), а згодом її розвинув Брюкнер (1767 р.). Еволюційна концепція Ч. Дарвіна (1858 р.) ґрунтується на ідеї популяції і явищ, що в ній відбуваються.

Популяцією в екології прийнято називати сукупність особин одного виду із спільними умовами життя, необхідними для підтримання її чисельності на визначеному рівні достатньо тривалий час. Особини групи (або популяції) взаємодіють між собою і спільно мешкають на одній території. Термін „популяція” походить від латинського „популюс” – народ, населення. Цей термін в екологію ввів В. Л. Йогансен у 1903 році. Як і більшість понять екології, термін „популяція” неоднозначний. Спеціалісти різного профілю, виділяючи популяції у природі, користуються різними критеріями. У генетиці популяції розглядають як структурні одиниці, що утворюють таксономічний вид. Обов'язковою умовою

виділення окремої популяції в цьому випадку є наявність вільного обміну генами між усіма особинами даної популяції, що забезпечує спільність генофонду.

У ботаніці критеріями виділення популяції служить її розміщення в межах певного біоценозу. Такі популяції називають ценотичними. Розміри ценопопуляцій можуть бути різними. У невеликих ценозах вони невеликі, а в монотонно – однорідних типу тайгового лісу можуть охоплювати території у сотні та тисячі гектарів і складатися з багатьох мільйонів особин.

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

Механізми ізоляції окремих популяцій бувають двох типів:

- а) територіальні;
- б) репродуктивні.

У першому випадку межами між популяціями виступають певні бар'єри: гірський хребет, річка і т. ін. У другому випадку ізоляцією є неможливість схрещування між особинами різних популяцій. Наприклад, особини конюшини гірської на південному та на північному схилах одного й того ж пагорба можуть належати до різних популяцій, оскільки на північному схилі цвітіння починається тоді, коли цвітіння на південному схилі вже пройшло. Для зручності *екологічну популяцію* ми будемо визначати як населення організмів одного виду на даній території.

Між особинами популяцій складаються різноманітні відносини. На кожен з них діють фактори середовища або інші види організмів. Для популяції характерні практично всі форми зв'язків міжвидових відносин, особливо мутуалістичні (взаємнокорисні) і конкурентні. Але найбільш важливі специфічні внутривидові взаємозв'язки – це відносини між особинами різної статі, між батьківськими та дочірніми поколіннями по відтворенню самої популяції.

При статевому розмноженні обмін генами перетворює популяцію у відносно суцільну генетичну систему (тобто відмінності між особинами популяції мінімальні). Але коли у групі переважає вегетативне, партеногенетичне (розмноження яйцеклітини без запліднення) або інші способи розмноження, генетичні зв'язки слабшають і популяція стає системою клонів, або чистих ліній, які спільно використовують навколишнє середовище. Такі групи об'єднані, в основному, екологічними зв'язками. Однак у всіх випадках у популяціях діють закони, які дозволяють використовувати обмежені ресурси середовища таким чином, щоб можна було забезпечити появу нового покоління. Тобто популяції мають особливі якості щодо регулювання власної чисельності.

Підтримання оптимальної (відносно існуючих умов життя) чисельності популяції називають гомеостазом популяції. Всі популяції поділяються на певні категорії за здатністю до самовідтворення:

Незалежні популяції. Такі, що мають достатньо високий потенціал розмноження, завдяки якому постійно відновлюються втрати особин без надходження їх ззовні.

Напівзалежні популяції. Вони можуть існувати тільки при розмноженні власних особин при низькій їх чисельності. Надходження особин ззовні виразно впливає на поліпшення стану популяції.

Залежні популяції. У них народжуваність не компенсує втрат. Такі популяції існують лише за умови надходження особин із сусідньої популяції.

Псевдопопуляції. Вони поширені там, де група особин не має змоги розмножуватися у даному місці. Такі популяції утворюються внаслідок міграції особин із сусідніх популяцій, які можуть брати участь у різних біоценотичних процесах.

Популяції, що періодично виникають за межами поширення виду або в біотопах, які ще не повністю залежні. Поява їх пов'язана з періодичним виникненням сприятливих умов. З погіршенням умов середовища такі популяції зникають.

Геміопуляції. Стан популяції, коли диференціюються потреби на різних фазах життєвого циклу у певного виду. При цьому популяція складається з диференційованих компонентів щодо умов середовища, простору, які циклічно ідуть один за одним (фази розвитку комах).

Для розуміння ролі виду у біоценозі (екосистемі) потрібно знати „особливості” не індивідуумів, а великих їх груп, які взаємодіють між собою з навколишнім середовищем.

Склад популяції зумовлюється не випадковою комбінацією індивідів, а певними взаємозв'язками виду і комплексом умов навколишнього середовища в процесі видоутворення, а тому кожна популяція крім загальновидових має специфічні особливості.

§7. ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ

Популяція характеризується багатьма ознаками. Вона має „біологічні особливості”, що властиві кожному організму, який входить до її складу, та „групові особливості”, які є унікальними характеристиками, що виникають тільки за умов утворення сукупності організмів. Для популяцій як еколога – біологічного явища характерні певні ознаки (показники): чисельність, щільність, народжуваність, смертність, виживання та ряд структур (просторова, вікова, статева, етологічна та ін.).

Усі характеристики популяції можуть бути поділені на *динамічні* та *статичні показники*. Безсумнівно, все в природі змінюється до певної міри, але в порівнянні такий поділ можливий. Наприклад, чисельність, щільність, народжуваність, смертність та виживання можуть інколи дуже сильно змінюватися, а структури популяції (просторова, вікова, статева, генетична та етологічна) – більш-менш постійні протягом тривалого часу.

7.1. Динамічні показники популяції

Чисельність – це кількість особин, з яких складається популяція. Вона може бути більш-менш постійною або різко змінюватися в різні сезони чи протягом декількох років. За оптимальних умов середовища чисельність організмів, як правило, змінюється не так різко, як при нестабільних та часто несприятливих умовах життя. Чисельність великих організмів часто визначають прямим підрахунком. Підрахувати всю кількість дрібних організмів у популяції досить важко. Тому в екології для кількісної характеристики популяції дрібних організмів застосовують показник щільності популяції.

Щільність – це співвідношення чисельності організмів популяції до одиниці площі чи об'єму простору. Зазвичай її визначають числом особин або біомасою популяції на одиницю площі або об'єму. Наприклад, 150 сосен на 1 га соснового бору, 8 млн синьо-зелених водоростей на 1 м³ води, 20 кг лося на 1 км² угідь або 200 г планктону на 1 м³ води.

Розрізняють *середню* та *екологічну* (чи *специфічну*) щільність. *Середня щільність* означає число особин (або біомаси) на одиницю всього простору. *Екологічна щільність* – число особин (або біомаси) на одиницю заселеного простору. Організми за певних умов простору можуть концентруватися у відповідних частинах ареалу. При цьому середня щільність популяції незмінна, а екологічна – може сильно відрізнитися в різних частинах простору. Зростання щільності впливає на швидкість росту популяції, як правило викликаючи його сповільнення. Вона також впливає на перерозподіл ресурсів між органами рослин, в основному, в бік зменшення репродуктивних органів, на їх інтенсивність, негативно впливає на приріст фітомаси особин.

Народжуваність – це кількість особин популяції, що народилася за одиницю часу, її вираховують за такою формулою:

$$B = N_b / (t_2 - t_1)$$

де B – народжуваність, N_b – кількість організмів, що народилися, $(t_2 - t_1)$ – певний проміжок часу (Δt), що залежить від темпів розмноження даного виду.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

В екологічних дослідженнях мало знати, з яких організмів складається угруповання чи екосистема. Передусім треба мати точні дані щодо щільності тих чи інших популяцій організмів. Вплив, який чинить популяція на середовище взагалі та на окремі його види організмів зокрема, залежить від її щільності. Так, випасання десятка овець на 1 км² степу не приведе до великих змін у довкіллі, але 1000 овець на цій же площі можуть враз зруйнувати рослинний покрив (випасання, витоптування) та створити умови для ерозії ґрунтів.

Кожний організм має свої фізіологічні можливості розмноження (плодючість), але за різних умов (у тому числі й екологічних) вони реалізуються по-різному. Тому для кожної популяції в певні періоди існує свій показник народжуваності. У перенаселених популяціях народжуваність, як правило, зменшується, і навпаки, коли щільність популяції менша від оптимальних показників, народжуваність може зростати. Чим більша народжуваність, тим скоріше збільшується чисельність організмів у популяціях і пов'язано це з турботою про потомство. Обернена залежність: чим вища турбота, тим нижча народжуваність.

Народжуваність визначають як здатність популяції до омолодження та збільшення чисельності. Розрізняють такі види цього показника:

– *максимальна (абсолютна або фізіологічна) народжуваність* як теоретично максимальна швидкість появи нових особин в

ідеальних умовах за відсутності лімітуючих факторів, тобто народжуваність, обумовлена фізіологічними можливостями організму. Ця характеристика є постійною для популяції певного виду; – екологічна або реалізована народжуваність (або просто „народжуваність”) означає омолодження, збільшення чисельності популяції в реальних умовах. Вона варіює залежно від зміни останніх, а також від вікового стану популяції та інших факторів.

Але немає вічноживих організмів – рано чи пізно вони гинуть чи відмирають, звільняючи місце для нащадків. Тобто для популяцій характерна певна смертність організмів.

Смертність. Різні організми (навіть одного виду) мають різну тривалість життя. В ідеальних (оптимальних) умовах живі організми можуть жити досить тривалий час, чого вони не демонструють у природних умовах. Так, наприклад, звичайна ропуха в умовах невеликого утримання може прожити до 26 років, в той час як у природі вони рідко переживають 6-річний вік. Це означає, що фізіологічно організми можуть жити довше, ніж вони живуть у певних умовах природного середовища. Саме несприятливі умови навколишнього середовища (абіотичні та ряд біотичних, зокрема, хижаки, паразити тощо) не дають організму можливості дожити до свого максимального віку.

Смертність – це кількість організмів популяції, які вмирають чи гинуть за різних причин в певний проміжок часу, її визначають за такою формулою:

$$D = N_a / (t_1 - t_2)$$

де D – смертність, N_a – кількість організмів, що загинули чи померли, $(t_1 - t_2)$ – певний проміжок часу (найчастіше 1 рік).

Смертність як показник популяції може змінюватися за різних причин. Вона може зрости при різкій зміні оптимальних умов існування на екстремальні, при збільшенні щільності популяції і навпаки. Порівнюючи величини народжуваності та смертності, можна передбачити темпи зміни чисельності в попу-

ляції. Якщо смертність буде перевищувати народжуваність, то популяція буде зменшуватися чисельно. При однакових величинах смертності і народжуваності популяція буде мати стабільну чисельність. Коли ж народжуваність буде перевищувати смертність, то популяція зростатиме чисельно.

Смертність відображає загибель особин у популяції. Подібно народжуваності, смертність можна виразити кількістю особин, які загинули за даний період (кількість смертей за одиницю часу). Вона має закономірний характер і неоднакова в особин різних статей і віку; причини її та ступінь закономірно змінюються із зміною середовища або самої популяції.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Ступінь смертності визначає тривалість життя та послідовність відмирання окремих генерацій, а також характер вікового складу популяції. Від величини загибелі особин на різних фазах розвитку залежить характер смертності популяції, який і визначається типами кривих виживання популяцій (рис. 9):

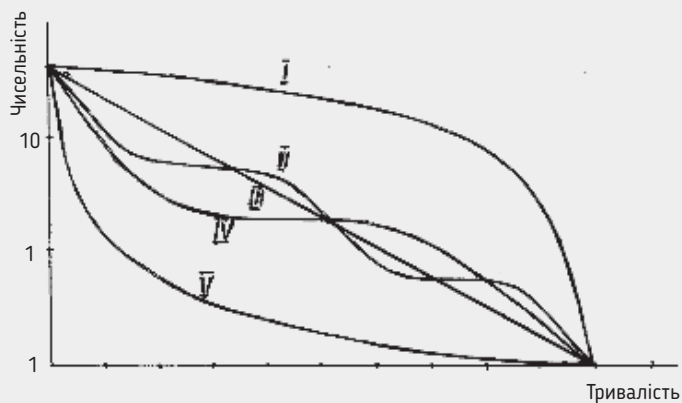


Рис. 9. Різні типи кривих виживання (за Ю. Одумом)

- 1 - тип** (випукла крива I) – висока смертність у кінці життя (кит, слон, слизень, гідра, людина);
- 2 - тип** (ступінчаста крива II) – різка зміна виживання у різному віці і фазах розвитку (голометаболічні комахи);
- 3 - тип** (похила пряма III) – постійне виживання у будь-якому віці, реально нездійсненна, може бути наближення до неї (ящірка);
- 4 - тип** (S-подібна крива IV) – найбільша смертність на початку і в кінці життя (пінгвін, довговічні деревні породи);
- 5 - тип** (ввігнута крива V) – різні за таксономічним положенням популяції з найбільшою смертністю на початку життя (багато рослин, безхребетні, риби).

Переміщення організмів. Поруч з народжуваністю та смертністю організмів розселення, або переміщення, визначає характер росту популяції та її щільність. Розрізняють три типи переміщення організмів: еміграцію, імміграцію та міграцію:

– *Еміграцією* називають масове виселення організмів з певної території внаслідок перенаселення чи інших причин.

– *Імміграцією* називають зворотний процес – вселення організмів на певну територію чи в популяцію.

– *Міграціями* називають регулярні та спрямовані переміщення організмів (туди і в зворотному напрямку) з однієї території на іншу.

Здебільшого деяке число особин постійно іммігрує в популяцію або емігрує з неї. Зазвичай це слабо відбивається на популяції в цілому (особливо якщо популяція має значні розміри) оскільки переміщення або врівноважують одне одного, або компенсуються змінами народжуваності та смертності. Однак коли розселення має масовий характер і здійснюється швидко, це сильно відбивається на популяції. Характер розселення особин великою мірою залежить від різноманітних перешкод і від вродженої здатності дорослих особин або зародкових форм до пере-

міщень, яку називають *вагільністю* (рухливість). Розселення є засобом захоплення нових або звільнених територій і встановлення збалансованого різноманіття. Воно служить також одним з факторів, що сприяє потоку генів та видоутворенню.

ЦІКАВО

Розселення істотно залежить від природних перешкод, а також від *вагільності*, тобто вродженої здатності організмів до переміщень. Рухомість багатьох видів набагато більша ніж ми гадаємо. Здатність птахів та комах „знаходитися всюди” добре відома, хоча фактично значно більшою здатністю до розселення характеризуються рослини і більш дрібні тварини. Дослідження завислих у повітрі форм („повітряний планктон”) дало змогу зрозуміти, що не тільки спори, насіння і мікроорганізми, але й тварини, наприклад, павуки, здатні перелітати на багато кілометрів, прикріпившись до власної павутини.

7.2. Статичні показники популяції

Структура популяції. Кожна популяція має *власну організацію*, тобто співвідношення різних окремих частин популяції між собою за різними ознаками. Ця організація називається *структурою популяції*. Структура групи може визначатися за розподілом особин по території (просторова або територіальна), за співвідношенням частин популяції за статтю, віком, морфологічними, фізіологічними ознаками (біологічна), за особливостями поведінки (етологічна).

Вікова структура популяції є її важливою характеристикою, яка чинить вплив як на народжуваність, так і на смертність. Співвідношення різних вікових груп популяції визначає її

здатність до розмноження в цей проміжок часу та показує, чого можна очікувати в майбутньому. Зазвичай у популяціях, які швидко зростають, значну частку становлять молоді особини, у стабільних популяціях розподіл вікових груп більш рівномірний, а в популяціях, для яких характерне зменшення чисельності, переважають особини старшого віку.

Однак вікова структура популяції може змінюватися і без зміни її чисельності. Для кожної популяції характерна деяка „нормальна”, або стабільна, вікова структура, до якої спрямована зміна її реальної (дійсної) вікової структури. Як тільки досягається стабільна вікова структура, нехарактерне збільшення народжуваності або смертності викликає її тимчасову зміну, після чого відбувається спонтанне повернення до стабільного стану.

У популяції можна виділити *три екологічні віки*:

- передрепродуктивний;
- репродуктивний;
- пострепродуктивний.

Тривалість цих віків відносно тривалості життя дуже варіює у різних організмів. У сучасної людини ці три віки більш-менш однакові, на кожний з них припадає третина життя. В минулому людина мала значно коротший пострепродуктивний період. Для багатьох рослин та тварин характерний досить тривалий передрепродуктивний період. У деяких видів він надзвичайно довгий, репродуктивний короткий, а пострепродуктивний відсутній. Класичним прикладом є одноденки. У них личинкова стадія розвитку триває від одного до декількох років, а в дорослому стані вони живуть всього декілька днів. Саме за цей час вони розмножуються та гинуть.

У популяціях багаторічних рослин всі особини характеризуються набором біоморфних ознак, які визначають їх вікову диференціацію²⁴.

²⁴ Крічфалушій В.В., Мезев-Крічфалушій Г. М. Популяційна біологія рослин. – Ужгород, 1994.

Для популяційних досліджень набагато більше значення має визначення вікових станів (біологічний вік), ніж абсолютного віку (календарний вік). На підставі комплексу якісних ознак в онтогенезі рослин виділяють 4 періоди і максимум 11 вікових станів:

I) латентний (насіння) – характеризується тривалим зберіганням, що є найдинамічнішим резервом популяції;

II) прегенеративний (проростки, ювенільні, іматурні, віргінільні) – розвиток рослин до появи генеративних пагонів;

III) генеративний (молоді, середні, старі) – утворення генеративних пагонів;

IV) сенільний (субсенільні, сенільні, відмираючі) – спрощення життєвих форм і відмирання.

Процеси новоутворення і накопичення енергії переважають до середнього генеративного стану, а після – процеси відмирання і втрати енергії.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Існує три основні типи популяцій залежно від етапу²⁵:

- ✓ інвазійний – популяція ще нездатна до самопідтримання, залежить від занесення насіння ззовні, складається переважно з прегенеративних особин,
- ✓ нормальний – відбувається самопідтримання, в основному переважають генеративні рослини;
- ✓ регресивний – втрата здатності самопідтримання, переважають постгенеративні.

Серед нормальних є повночленні і неповночленні, якщо відсутні окремі вікові групи, найчастіше через перерви „інспармації”, вимирання певних вікових груп, чи фактори внутрішнього порядку, які контролюють розвиток самої популяції. При переважанні у віковому спектрі нормальної популяції особин певної вікової групи виділяють молоді, зрілі, старіючі та старі.

²⁵ Мезев-Кричфалуший Г.Н. Популяційна біологія птицемлечника зонтичного и перспективы его выживания в Закарпатье // Экология. – 1991. – № 3.

При досить повній уяві про біологію і еколого-фітоцено-тичну приуроченість виду виділяють базові вікові спектри (модальні характеристики нормальних популяцій, які знаходяться в рівноважному стані). Існує чотири основні типи, які розрізняють за положенням абсолютного максимуму в спектрах вікових станів:

I тип – повне переважання молодих особин;

II – генеративних;

III – старих генеративних або сенильних;

визначається двома піками на старій і молодій частинах популяції (бімодальний).

Таким чином, вікова структура є однією з найважливіших ознак популяції. Віковий спектр відображає життєвий стан виду в ценозі, а також такі важливі процеси, як інтенсивність відтворення, рівень смертності, швидкість зміни поколінь. Від цієї сторони структурної організації залежить здатність популяційної системи до самопідтримання та ступінь її стійкості до впливу негативних факторів середовища в т. ч. й антропогенної дії. Також він характеризує етап розвитку популяції (віковість), а отже, й перспективи розвитку в майбутньому.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

У демографії народжуваність прийнято розраховувати на одну жінку репродуктивного віку (від 18 до 50 років), а не на все населення. В найбільш сприятливих випадках при вивченні популяцій вдається здійснити глибокий аналіз і побудувати *вікову піраміду*, показуючи співвідношення між індивідами кожного віку за статтю. Вікова піраміда дає змогу судити, молода чи стара популяція, чи відбулися у ній будь-які перетворення, передбачати еволюцію за смертністю в кожній віковій групі.

Важливим фактором зміни чисельності популяції є співвідношення особин різної статі, або **статева структура** популяції. Статеве розмноження характерне для більшості видів організмів. Хоча існує багато таких видів рослин та безхребетних тварин, які розмножуються цим шляхом дуже рідко. Еволюційне походження та селективна перевага статевого розмноження, як і раніше, залишається однією з головних проблем у біології. Статевий процес дає змогу генам, що становлять генофонд популяції, в кожному новому поколінні змішуватися і утворювати різноманітні нові комбінації. Генетична мінливість як така створюється саме під час статевого розмноження. Потенційна швидкість еволюції популяції зі статевим розмноженням вища, ніж у організмів, які розмножуються безстатевим шляхом, оскільки у випадку статевого розмноження одна особина може накопичувати певну сукупність сприятливих мутацій.

У популяціях багатьох видів роздільностатевих організмів співвідношення самців та самиць приблизно однакове. Співвідношення організмів різної статі визначається за часткою самців. Для більшої точності розрізняють *співвідношення на момент запліднення (первинне співвідношення) та в кінці періоду батьківської турботи (вторинне співвідношення)*. Співвідношення особин різної статі, які щойно набули самостійності, але ще не розмножуються (напр., пташенята, що вилетіли з гнізда), називають *третинним*, а у дорослих особин, що розмножуються, *четвертинним* співвідношенням.

ЦІКАВО

Хоча вважають, що в більшості випадків співвідношення особин різної статі в популяціях однакова, однак вона рідко дорівнює одиниці тому, що найчастіше особини однієї статі переважають чисельно іншу. У хребетних при народженні самців буває дещо більше, ніж самиць. У популяції ондатри

при народженні спостерігають чисельну рівність особин різної статі, а через три тижні співвідношення самців та самиць дорівнює 140 до 100. У качок самці часто чисельно переважають над самицями. Проте у великих популяціях білок Північної Америки (сіра та лиса білки) домінують самиці.

Існування певної статеві структури в популяціях передбачає також встановлення властивої тільки цій популяції структури схрещування, що, в свою чергу, характеризує певну систему шлюбних відносин у тій чи іншій популяції.

Більшість видів комахоїдних та хижих птахів, а також хижих ссавців *моногамні*, оскільки шлюбну пару утворюють один самець та одна самиця. У подібних випадках обоє батьків беруть участь у вихованні нащадків.

Полігамія – це така система шлюбних стосунків, при якій одна особина вступає в шлюбний зв'язок з більш як одним представником протилежної статі. Розрізняють два типи полігамії, залежно від того, яка стать підтримує множинні зв'язки:

✓ *полігінія* – коли у деяких видів птахів, наприклад, один самець має одночасно шлюбні зв'язки з двома або більшою кількістю самиць;

✓ *поліандрія*, в процесі якої одна самиця підтримує шлюбні відносини з більше, ніж одним самцем зустрічається набагато рідше. Поліандрія, ймовірно, спостерігається іноді у птахів (якани, пастушкові та тінамові).

Проміскуїтет, ідеальна структура шлюбних відносин (або, можливо, правильно буде сказано – відсутність таких), коли будь-яка особина має однакову можливість схрещування з будь-якою іншою особиною. Справжній проміскуїтет в більшості випадків малоімовірний і, можливо, не існує. Частково до нього наближені деякі види багатощетинкових червів та морські лілії, які випускають свої гамети просто в море, або наземні вітроза-

пилінні рослини, тобто такі організми, гамети яких переносяться морськими течіями або вітром. Однак навіть у таких організмів, що ведуть прикріплений спосіб життя, можуть траплятися різноманітні форми хімічної дискримінації гамет і відповідно – перевага при заплідненні;

Епігамний добір – компонент статевого добору, який пов'язаний з відносинами представників різної статі; його часто визначають як „боротьбу статі”.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Фактично полігінія – це такий результат боротьби представників різної статі, коли виграють самці (*патріархат*), а поліандрія – виграють самиці (*матріархат*). Моногамія є компромісом між цими двома крайніми варіантами. У випадку моногамної системи шлюбних відносин самець має бути впевнений у тому, що нащадки, яких він вирощує, належать йому.

Статевий диморфізм іноді виконує ще й іншу екологічну функцію, зменшуючи перекривання екологічних ніш і знижуючи конкуренцію між представниками різної статі. У деяких ящірок, що мешкають на островах, і деяких видів птахів сильний статевий диморфізм у розмірах ротового апарату (щелепи та дзьоб) корелює з диференціальним використанням харчових ресурсів.

Етологічна структура популяції – це система взаємовідносин між її особинами. Особинам різних видів притаманний поодинокий або груповий спосіб життя. В першому випадку особини популяції більш-менш відокремлені просторово і збираються групами лише на період розмноження (скорпіони, більшість видів павуків, тетеруки, качка-крижень тощо).

Груповий спосіб життя пов'язаний з утворенням постійних родин, колоній, табунів, зграй тощо.

Родинний спосіб життя пов'язаний з підсиленням зв'язків між батьками та нащадками (напр., у тигрів молоді особини тримаються біля матері до 2-3 років). Родина – група особин, в якій разом мешкають батьки і діти, причому перші піклуються про останніх. Прикладом родин особливого типу можуть бути суспільні комахи (терміти, мурашки, медоносна бджола, джмелі, деякі оси). У їхніх гніздах мешкають особини різних поколінь, які відрізняються за будовою та функціями (касти).

Колонії тварин – це групові оселення. Вони можуть утворюватися внаслідок того, що дочірні особини залишаються сполученими з материнською (губки, поліпи кишковопорожнинні тощо). В інших випадках колонії становлять певні скупчення особин, які оселяються разом (берегова ластівка, дикий кріль, бабаки тощо).

Зграї – тимчасові рухомі угруповання тварин (сарана, горобці, вовки тощо). На відміну від зграй, табуни – це більш-менш постійні групи тварин (китоподібні, мавпи, копитні тварини та ін.). Для зграй, і особливо табунів, характерна складна система зв'язків, яка може проявлятися у вигляді ієрархії серед особин.

Ієрархія – це система поведінкових зв'язків між особинами в зграї або табуні, яка визначає їхній доступ до їжі, розмноження тощо і проявляється в особливостях поведінки. Зокрема, в зграях та табунах визначаються лідери – ватажки, дії яких спрямовані на керування угрупованням, підпорядкування собі інших особин. Внаслідок цього зграї чи табуни функціонують як єдине ціле.

При найбільш складних формах етологічної структури кожна особина займає певне становище (ранг), яке визначає її права та обов'язки, домінування над особинами, що займають нижчий ранг. Часто ранг особин визначається в ході сутичок між ними.

Спільне існування організмів у вигляді родин, колоній, зграй, табунів дає можливість краще пристосуватись до умов існування (захист від ворогів, ефективне використання харчових ресурсів, розмноження, краще виживання молоді тощо). У гру-

пах тварин краще відбуваються процеси навчання, утворення умовних рефлексів.

Просторова структура. Щодо просторового розподілу, то можна виділити три основні типи: *випадковий, рівномірний і груповий* (рис. 10).



Рис. 10. Три основних типи розподілу особин у популяції:

а – рівномірне, б – випадкове, в – групове нерівномірне

Біологічний сенс того чи іншого типу розподілу визначається, як правило, умовами середовища (типом розподілу ресурсів та інших чинників середовища і характером внутрішньо популяційних взаємин.

Випадковий розподіл спостерігається там, де середовище однорідне, а організми не прагнуть об'єднатися в групи. *Рівномірний розподіл* зустрічається там, де між особинами дуже міцна конкуренція або існує антагонізм, який сприяє рівномірному розподілу у просторі. Найчастіше спостерігається утворення різноманітних скупчень. Якщо особини в популяції володіють тенденцією утворювати групи певної величини (наприклад,

пари у тварин), то розподіл самих груп частіше всього ближчий до випадкового, ніж до рівномірного.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Розміщення рослин у просторі визначається нерухомістю останніх. У рослинних угрупованнях просторова структура популяцій виявляється через характерне розміщення особин даного виду. Вони можуть знаходитися поодиночі, парами, групами або ж скупченнями, що залежить від біологічних особливостей виду, стадії розвитку популяції, умов місцезростання. Відносно ж тварин, то тут важливим фактором є пора року (лялечка зимує в лісовій підстилці, гусениця живе в кроні дерева).

Тривале існування популяції зумовлене механізмами, які регулюють або обмежують вичерпування природних ресурсів до критичного рівня. Критичним рівнем розвитку чисельності популяції є доступність життєво необхідних ресурсів.

7.3. Методи визначення чисельності популяції

Для визначення чисельності популяцій використовується багато різних методів, які поділяють на декілька категорій.

Тотальний облік можливий, іноді, для великих, добре помітних організмів (бізони на відкритих рівнинах) або для організмів, які збираються на період розмноження у великі групи (морські птахи і тюлені).

Метод пробних ділянок. Цей метод полягає у підрахунку і зважуванні організмів на пробних ділянках або на трансектах. Розміри і кількість пробних ділянок повинні бути достатні для отримання чисельності на досліджуваній території.

Методи мічення з повторним відловом (для рухомих тварин). З популяції відловлюють частину тварин, помічають їх і випускають. Відсоток помічених тварин у наступній вибірці використовується для визначення загальної чисельності.

Метод вилучення, при якому кількість організмів зібраних з деякої площі, при послідовній вибірці, відкладається по осі ординат, а кількість із зібраних раніше по осі абсцис. Якщо імовірність ловлення відносно постійна, то позначки відкладаються вздовж прямої лінії. Цю лінію можна провести до нульової точки (на осі абсцис), яка буде теоретично відповідати 100 % вилученню з даної площі.

Методи без взяття проб (застосовуються для нерухомих організмів, таких як дерева). Прикладом може бути метод випадкових точок, під час якого вимірюють віддаль від ряду довільно вибраних точок до найближчих особин відносно всіх чотирьох напрямків. Густану на одиницю площі оцінюють за середньою віддаллю.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Упродовж свого тривалого життя популяція займає певну територію і зберігає якусь середню статистичну кількість особин. Тому приступаючи до вивчення популяції, насамперед намагаються визначити чисельність і щільність особин, тобто визначити ці два показники стану популяції, які свідчать про ступінь її впливу на екосистему в цілому і функціональну значимість.

Розмір території, на якій здійснюється підрахунок, залежить передусім від розміру особин (мурашка чи олень), можливостей їх підрахунку (нерухоме дерево і рухлива тварина), типів розподілу чи дисперсії. Для великих хижаків площа підрахунку може сягати 100 км². Для підрахунку дерев, білок чи мурашників можна взяти площу 1 га, тоді як для личинок травневого хруща чи дощового черв'яка – 1 м². У водному середовищі або ґрунті поряд з одиницею площі для дрібних і мікроскопічних мешканців беруть одиницю об'єму 1 дм³ або 1 л, 1 см³ або 1 мл.

§8. ДИНАМІКА ЧИСЕЛЬНОСТІ ПОПУЛЯЦІЇ

В умовах стабільної популяції (її розміру, чисельності, щільності) в ній відбуваються постійні зміни (народження і вимирання особин, вікові, статеві тощо). Популяція весь час перебуває в динаміці, і однією з проблем є визначення частоти і швидкості таких змін. Методика їх оцінки потребує застосування диференціальних рівнянь, в яких оперують не самими величинами, а швидкостями їх змін.

Життєздатність і стабільність популяції забезпечується зміною поколінь і навіть при постійній чисельності частина організмів, яка вмирає, має замінитися новими. Динаміка чисельності популяції визначається чотирма складовими процесами:

$$\boxed{\text{Динаміка чисельності}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Народжуваність} \\ + \\ \text{Іміграція} \end{array}} - \boxed{\begin{array}{c} \text{Смертність} \\ + \\ \text{Еміграція} \end{array}}$$

Аналіз кожної з цих складових розкриває характер процесів і причини динаміки популяції. Хоча в певній популяції може переважати та чи інша складова, але визнано, що в природних популяціях рослин і тварин основу динаміки складають процеси народження та смертності, а процеси іміграції та еміграції, що відіграють важливу роль у людському суспільстві, є другорядними.

Загальний хід зміни чисельності особин у популяції визначається рівнянням:

$$N_{t+1} = N_t + |B + I| - |D + E|$$

Динамічні характеристики популяції відображають інтенсивність процесів, їх швидкість. Коли йдеться про народжуваність чи смертність, то мається на увазі якийсь певний період.

ЦІКАВО

За оптимальних умов вівця дає стійкий темп розмноження. Пара „вівця + баран” за 7 років дає в середньому 40 потомків, тобто збільшує чисельність у 20 разів. Після того, як фермери у 1835 р. завезли в Австралію кілька овець, де їх раніше не було, поголів'я овець зросло у повній відповідності з експоненціальною функцією до 1880 р. З 1880 р. темпи зростання поголів'я зменшилися, оскільки всі придатні пасовища були зайняті. Невдовзі чисельність стада стабілізувалася на рівні 7 млн. голів. Залежно від кліматичних умов та економічних вимог кількість овець коливалася в межах 1 млн. в той чи інший бік.

Зростання популяції йде за законом, який виражається S-подібною кривою, яку називають *логістичною* (рис.11), де K – верхня асимптота S-подібного росту.

Біологічний сенс асимптоти можна ототожнити з поняттям „ємності середовища” для популяції. *Ємність середовища* (для популяції) – це максимальна щільність популяції, яка може підтримуватися ресурсами даної екосистеми. Спочатку чисельність особин у популяції зростає за експонентою, після досягнення максимального значення сповільнюється і починає зменшуватись.

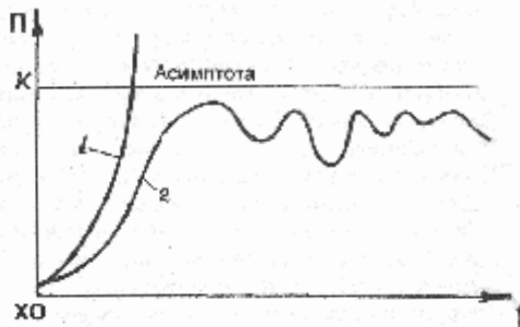


Рис. 11. Графік залежності чисельності популяцій від часу:
1 – експоненціальна крива росту; 2 – логістична крива росту

При досягненні певної чисельності, яка відповідає максимальній ємності даного середовища, настає стабілізація чисельності у вигляді коливального наближення до певної величини.

ЦІКАВО

Вперше логістичне рівняння запропонував бельгійський математик П.Ф.Ферхюльст для опису росту народонаселення (Verhulst, 1838). Зауважимо, що термін „логістична крива” був запропонований автором без будь-яких пояснень. У французькій мові того часу слово „logistique” означало „мистецтво обчислення”.

8.1. Типи динамічних змін чисельності популяцій

Показниковий тип. Він характеризується періодом інтенсивного зростання чисельності популяції за геометричною прогресією. Після максимуму кількість особин популяції різко зменшується. Тривалість періоду повного циклу таких змін залежить від біологічних властивостей типу і трофічних ресурсів.

Гіперболічний тип. Властивий популяціям, які щойно освоїли нове місце з обмеженими ресурсами живлення. Популяція збільшується з опануванням середовища, після чого вона переходить до стану рівноваги.

Циклічний тип. Він характеризує динаміку чисельності популяції, яка перебуває у неврівноважених, тобто в незбалансованих умовах середовища.

Стабільний тип динаміки популяції властивий тим популяціям, що перебувають у сталих умовах і мають досконалі регуляційні механізми. Цей тип у природі поширений рідко.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Знання особливостей росту певної популяції конче необхідні для її раціональної експлуатації. Так, максимальну продукцію можна отримувати при підтримуванні щільності популяції на рівні, близькому до точки зміни радіусу кривизни S-подібної кривої, тобто за найвищої швидкості росту даної популяції. Цей же підхід дозволяє визначити верхню межу вилучення особин з популяції (що в свою чергу визначається метою оптимізації використання певної популяції): для розробки квот виловів риб певного виду, ліцензування відстрілу окремих видів тварин, лісокористування, прогнозування спалахів чисельності видів, які є переносниками найрізноманітніших захворювань, „шкідниками” лісового і рибного господарства.

§9. ЕКОЛОГІЧНА НІША

Екологічна ніша – термін в екології, що описує взаємовідносини виду або популяції з екосистемою та їхнє в ній розташування. Більш лаконічним визначенням поняття може бути формулювання „спосіб життя організму”. Екологічна ніша (як поняття) описує також як організм, популяція або вид відповідають на особливості розподілу ресурсів та/або конкурентів (тобто, скажімо, збільшуючи свою чисельність при надлишку ресурсів та відносно малій кількості хижаків, паразитів та патогенних факторів) та як ці суб’єкти, в свою чергу, впливають на аналогічні фактори (тобто, обмежують життєві ресурси для інших організмів, виступають в ролі харчового ресурсу для хижаків, і хижаком – для інших видів).

Різні параметри екологічної ніші представляють вплив різноманітних біотичних та абіотичних факторів. Ці фактори можуть включати в себе життєвий цикл організму, параметри його природного середовища, місце в харчовому ланцюзі та в харчовій піраміді, географічне розповсюдження, тощо.

Відповідно до *принципу Гаузе, або принципу витіснення*, ніякі два види не можуть займати одну і ту ж екологічну нішу в тому самому середовищі впродовж тривалого часу. Різні види можуть займати однакові ніші, а один і той самий вид може займати різні екологічні ніші в географічно різних місцях розташування. Так, наприклад, види, що населяють австралійські сухі рівнини (в основному великі сумчасті), займають однакову екологічну нішу з копитними, що населяють степи Євразії та прерії Північної Америки. Само по собі слово „ніша” для опису даного поняття було введено натуралістом Джозефом Грінеллом (Joseph Grinnell, 1917) в його статті „The niche relationships of the California Thrasher” („Нішеві взаємовідносини у каліфорнійських пересмішників”). Проте поняття „екологічна ніша” лишалось мало вивченим та маловживаним у науковій літературі до 1927 року, коли британський еколог Чарльз Сазерленд Елтон (Charles Sutherland Elton, 1927) дав перше концептуальне визначення даного поняття. Він, зокрема, зазначив:

„Коли еколог каже, що ось іде борсук, то він повинен мати на увазі деяку концепцію розташування цієї тварини в співтоваристві, до якого вона належить, так само, як коли він каже, що ось іде священник”.

У майбутньому концепція екологічної ніші була популяризована зоологом *Евеліном Хатчінсоном* (Evelyn Hutchinson, 1958). Хатчінсон намагався зрозуміти та сформулювати, чому в одному і тому ж середовищі може жити велика кількість організмів різного типу. Повний набір варіацій умов „*теоретично можлива ніша*”. В результаті тиску з боку (або взаємодії) інших організмів види звичайно змушені займати вужчу нішу, ніж теоретично можлива, яка і отримала назву „*реалізована ніша*”.

Реалізована ніша є такою, до якої даний організм найбільш адаптований. Також екологічна ніша була визначена Хатчінсоном як „гіпероб’єм”. Під цим терміном він мав на увазі багатовимірний простір ресурсів (світло, поживні речовини,

придатні місця для життя, і т. ін.) доступні та використані організаціями деякого виду або популяції. Пов'язане з поняттям екологічної ніші поняття „адаптивна зона” визначається як набір екологічних ніш, котрі можуть бути зайняті групою видів, що використовують однакові ресурси однаковим чином. Треба зауважити, що поняття „ніша”, як воно було сформульоване Хатчінсоном (в якості екологічного простору, зайнятого організаціями) є дещо відмінним від поняття „ніша” у формулюванні Грінелла: *екологічна роль, яку може виконувати (або не виконувати) деякий організм.*

Екологічна ніша є функціональним поняттям. За уявленнями спеціалістів, які розробили концепцію екологічної ніші, вона є тим діапазоном умов, за яких живе та відтворює себе популяція. При цьому екологічна ніша сприймається не як об'єм фізичного простору, а як характеристика популяції стосовно всієї системи абіотичних та біотичних факторів, при яких вона може існувати. Щодо кожного конкретного фактора чи умов життя кожен вид має свою амплітуду, при якій він може існувати. Але оскільки факторів існування у тварин та рослин багато, то екологічну нішу можна уявити собі як область в багатомірному просторі факторів, при яких може існувати дана популяція. Кожній популяції притаманна фундаментальна екологічна ніша, що являє собою комплекс екологічних факторів, необхідних для даного виду при відсутності конкурентів. Цей тип ніші відповідає потенційним можливостям виду. На відміну від цього, реалізована екологічна ніша охоплює ту амплітуду умов, яка доступна виду в присутності його конкурентів. Реалізована ніша, як правило, в тій чи іншій мірі менша за фундаментальну.

Співвідношення між екологічними нішами різних популяцій можуть бути дуже різноманітними: від повного або часткового збігання (накладання одна на одну) екологічних ніш до їх повного розмежування (рис. 12).



Рис. 12. Співвідношення екологічних ніш А і В (за Е. Піанкою):

- I – екологічні ніші цілком накладаються (лисиця і вовк полюють на птахів і дрібних звірів);
- II – частково збігаються (сови і яструби полюють на гризунів і малих пташок, але сова вночі, а орел удень);
- III – дотикаються (слони харчуються високою травою, антилопи – низькою, а буйволи – молодими пагонами);
- IV – цілком розділені (рослини і хижаки).

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Диференціювання за екологічними нішами є дуже важливим механізмом утворення угруповань рослин і тварин. Воно забезпечує співіснування видів в одному і тому ж біоценозі. У тварин механізм диференціації за екологічними нішами часто буває досить сильним. Рослини, навпаки, часто мають подібні екологічні ніші, оскільки в принципі у них однакові джерела живлення – сонячна радіація, вода, поживні речовини ґрунту. Але й тут завжди є диференціація: види можуть займати різні яруси, або з метою пом'якшення конкуренції за опилувачів, вони квітнуть в різний час.

САМОСТІЙНІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ III

Питання для роздумів, самоперевірки, повторення

1. Що вивчає демекологія? Поясніть особливості визначення популяції в екології.
2. На які групи поділяються всі показники, що характеризують популяцію?
3. Які показники, що характеризують популяцію, відносять до динамічних?
4. Яка щільність (екологічна чи середня) є незмінною на території розселення певної популяції?
5. За яких умов екологічна народжуваність може досягти параметрів максимальної?
6. Що демонструють типи кривих виживання особин популяцій? Де практично можна використати цю інформацію?
7. Які параметри впливають на динаміку чисельності популяції?
8. Назвіть основні методи визначення чисельності популяції.
9. Що таке „логістична крива” і „асимптота”?
10. Назвіть типи динамічних змін чисельності популяції.
11. Що таке „вагільність” і яке її екологічне значення?
12. Назвіть особливості вікової структури популяції.
13. Дайте визначення первинного, вторинного, третинного і четвертинного співвідношення статей роздільностатевих особин популяції.
14. Які види шлюбних відносин можливі при схрещуванні особин у популяції?
15. Які форми етологічної структури популяції відомі? Назвіть і охарактеризуйте їх.
16. Які особливості просторової структури популяції? Наведіть приклади.

17. Сформулюйте сучасну концепцію поняття „екологічна ніша”.
18. Що таке „фундаментальна ніша” і „реалізована ніша”?
19. Наведіть приклади дії принципу Гаузе.

Тестові завдання: вказати одну правильну відповідь

Питання 1. Що є предметом вивчення демекології?
а. <i>Взаємовідносини особин одного виду з навколишнім середовищем.</i>
б. <i>Структура, динаміка чисельності та складу популяцій живих організмів, механізми їхньої саморегуляції</i>
в. <i>Вплив великих промислових підприємств на довкілля</i>
г. <i>Взаємовідносини особин кількох видів з навколишнім середовищем</i>

Питання 2. Назвіть від чого залежить чисельність популяцій різних видів тварин і рослин?
а. <i>Балансу народжуваності і загибелі</i>
б. <i>Географічної зональності біогеоценозів</i>
в. <i>Їжі</i>
г. <i>Сукцесії</i>

Питання 3. Назвіть, що є основним обмежувальним фактором чисельності тварин?
а. <i>Зміни біогеоценозу</i>
б. <i>Їжа</i>
в. <i>Рослинність</i>
г. <i>Сукцесії</i>

Питання 4. Популяція це...
а. <i>Група особин кількох видів, що співіснують в одному біотопі</i>
б. <i>Особини кількох видів, об'єднані в екосистемі харчовими зв'язками</i>

в. Сукупність особин одного виду, що відтворюють себе впродовж багатьох поколінь і тривалий час займають певну територію з відносно однорідними умовами існування

г. Форма взаємовідносин між організмами

д. Загальна сума усіх вимог виду до умов існування, включаючи фізичні умови та функціональну роль в угрупованнях

РОЗДІЛ IV

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИНЕКОЛОГІЇ

До цього часу ми розглядали ті фактори середовища, з якими зустрічається будь-який організм, організацію життя на рівні популяції, визначили закономірності її росту та регуляцію її чисельності. Але цим не вичерпуються всі необхідні умови життя. Життя на Землі можливе тільки в певних системах. Вивчення закономірностей розвитку, становлення та функціонування таких систем вивчає третя складова частина екології – синекологія або біоценологія. Синекологія як окрема частина екології була виділена на Міжнародному ботанічному конгресі у 1910 році. Термін запропонував швейцарський ботанік Карл Шрёттер²⁶ (1902).

§10. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ БІОЦЕНОЗІВ

У природному середовищі популяція, так само як і окремі особини, не може існувати ізольовано, а обов'язково взаємодіє з іншими популяціями. Отже, вона є частиною більш великої системи – біоценозу. Основною причиною утворення угруповань є те, що тривале існування організмів можливе лише в межах угруповань, у яких компоненти та елементи доповнюють один одного та взаємоприспосовані. Слід зазначити, що поняття біоценозу є більш складним, ніж поняття угруповання, адже останні можуть складатись із представників однієї екологічної групи організмів, наприклад, фітоценоз, зооценоз чи мікробіоценоз, що не дає уявлення про механізми забезпечення гомеостазу.

²⁶ **Шрёттер Карл** – *Schröter Carl [Karl]* (1855-1939). Швейцарський ботанік, флорист, професор Цюрихського університету.

Вперше термін *біоценоз* запропонував німецький гідробіолог Карл Мьобіус ²⁷у 1877 р.

Сучасні уявлення про біоценоз характеризують його як стійку систему, яка складається із популяцій всіх екологічних груп організмів, що утворилась історично в межах певної території. Хоча тривалість життя представників різних екологічних груп організмів є різною, при своїй взаємодії вони утворюють стійку систему, що має відносно сталі параметри в часі.

М. Ф. Реймерс (1994) зазначив: „...Біоценоз у класичному розумінні – це системно-функціональна сукупність продуцентів, консументів і редуцентів, тобто екологічно багатоконпонентне утворення...”.

Одним із завдань загальної екології є вивчення взаємозв'язків між властивостями і структурою біоценозу незалежно від того, які види організмів входять до нього.

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

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

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

²⁷ **Мьобіус Карл Август** (*Mobius K.A.*, 1825-1908) – відомий німецький гідробіолог. Закінчив Берлінський університет. З 1853 – викладач університету в Гамбурзі, з 1869 – професор університету в Кілі. З 1887 по 1905 -директор музею природознавства в Берліні.

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

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

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

Серед структур біоценозу звичайно виділяють такі:

а) *видову*, що розкриває видове різноманіття живих організмів;

б) *трофічну*, що демонструє характер харчових взаємин між організмами біоценозу;

в) *просторову*, що показує територіальне розміщення рослин, тварин та мікроорганізмів.

10.1. Видова структура

Видовий склад біоценозу може бути досить різноманітним. Залежно від систематичної належності організмів біоценози поділяються на:

- *фітоценози*, утворені рослинами;
- *зооценози*, які є сукупністю всіх тварин екосистеми;
- *мікроценози*, що сформовані мікроорганізмами, які населяють підземну частину екосистеми.

Сукупність популяцій різних видів можна назвати біоценозом, якщо вона має характерний видовий склад. Існують такі характерні групи видів: *домінантні*, які створюють зовнішній вигляд біоценозу і *субдомінантні*, які не виділяються так виразно як перші, але віддзеркалюють своєю присутністю умови місцевості. Субдомінантні види часто називають біоіндикаторами. Всі види біоценозу пов'язані трофічними, топічними, фабричними та іншими зв'язками з *видом-едифікатором* чи *детермінатором*, в ролі якого зазвичай виступає рослина-автотроф.

Кожен біоценоз характеризується *видовим багатством* і *видовим різноманіттям*.

Видове багатство – загальна кількість видів, що входять до нього.

Видове різноманіття, на відміну від видового багатства, враховує як кількість видів, так і відносну їх представленість у біоценозі.

У низці випадків поняття *видового багатства* і *видового різноманіття* використовуються не зовсім коректно, а інколи розглядаються як синоніми. Тому варто нагадати, що видове багатство угруповання чи біоценозу визначається кількістю видів, які до нього входять (мешкають у ньому).

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Видове ж різноманіття визначається як кількістю видів, що входять до певного біоценозу, так і їх еквітабельністю (рівнопредставленістю). За даної кількості видів видове різноманіття буде максимальним за рівномірної представленості (еквітабельності) кожного з усіх видів. Так, якщо угруповання складається з 10 видів і 1000 особин, то максимальні значення видового різноманіття будуть у випадку, коли кожний з 10 видів представлений 100 особинами. І навпаки, мінімальним видове різноманіття буде за умови, коли один вид представлений 991 особиною, а решта видів – однією особиною кожний. Отже, видове різноманіття залежить від кількості видів та їх представленості в угрупованні.

Біоценози можна порівняти між собою за схожістю видів, які входять до їхнього складу. Так, для дослідження декількох фітоценозів, наприклад, степу і луки визначають видовий склад обраних біоценозів, виявляють домінанти. Порівнюючи видовий склад обох фітоценозів, роблять висновки щодо особливостей, якими характеризуються види – домінанти кожного з фітоценозів, та якими факторами середовища зумовлена їх домінантність. Коефіцієнт флористичної спільності фітоценозів вираховують за *формулою Жаккара (Jaccard P, 1901)*:

$$K = 100 \times C / (A + B - C),$$

де К – коефіцієнт флористичної спільності (у %);

А – число видів фітоценозу (А);

В – число видів фітоценозу (В);

С – число видів, спільних для обох фітоценозів.

10.2. Трофічна структура

Всі компоненти біоценозу знаходяться в певному взаємозв'язку. Такий взаємозв'язок будується на харчових взаємостосунках. Таким чином, всі „ролі” розподіляються в залежності від джерела їжі та її загальної кількості, що отримують організми. За джерелами їжі всі організми поділяють на *автотрофів* і *гетеротрофів*.

Автотрофи – організми, здатні самостійно синтезувати власні органічні речовини. Зелені рослини, які в процесі фотосинтезу з вуглекислого газу та води утворюють складні органічні речовини, називають також *фототрофами*. Організми, що синтезують органічну речовину із CO₂ і H₂O, але використовують для цього не сонячну, а хімічну енергію, яка виділяється під час окиснення деяких сполук (заліза, сірководню, метану, аміаку) – дістали назву *хемотрофи*.

Гетеротрофи не можуть цього робити і тому живляться органічними речовинами, що виробляються автотрофами. Серед самих гетеротрофів їжа розподіляється нерівномірно. Найбільша кількість її припадає на рослиноїдні тварини, а ці служать їжею для хижаків, хижаки невеликих розмірів стають жертвою більш крупних хижаків. Тварини, що загинули або не потрапили до пазурів хижаків, врешті решт стають „здобиччю” бактерій, грибів, черв'яків, комах та інших. Таким чином, всі живі компоненти екосистеми утворюють відповідний харчовий або трофічний ланцюг (рис. 13).

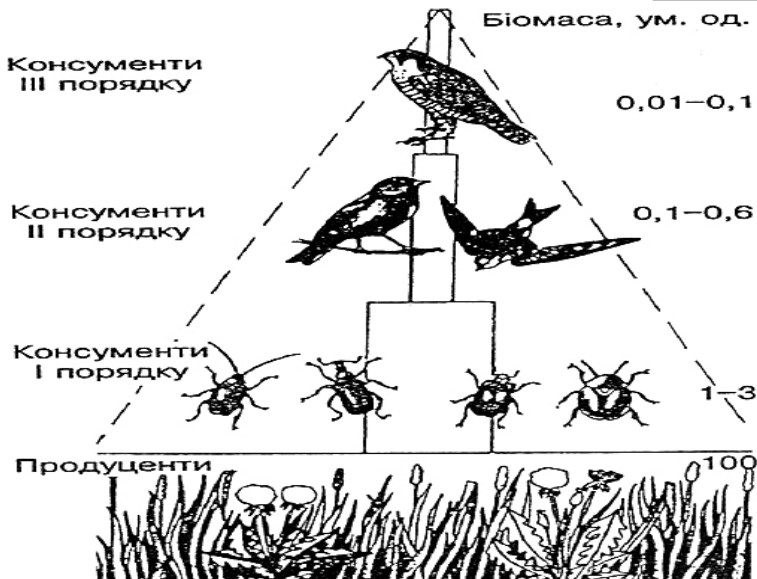


Рис. 13. Приклад трофічного ланцюга наземної екосистеми

Вираз „ланцюги живлення” був запропонований Ч. С. Елтоном і означає сукупність живих організмів, кожен з яких є їжею для наступного.

Ланцюг живлення складається з декількох ланок, але, як правило, включає три основні. Першу ланку утворюють *продуценти* автотрофні організми. Друга ланка представлена *консументами* – гетеротрофними організмами, що живляться рослинами чи іншими гетеротрофами. Розрізняють консументи першого порядку – фітофаги; другого порядку – тварини, які харчуються фітофагами (хижі звірі); третього порядку – хижакі, що живляться іншими тваринами і т.д. Третя ланка – це *редуценти* – руйнівники органічної речовини. До них відносяться мікроорганізми, гриби і організми, які живляться мертвою органічною речовиною і мінералізують її до простих органічних речовин.

Трофічні (грец. Trophe – їжа) ланцюги²⁸, що починаються з фотосинтезуючих організмів, називають *ланцюгами виїдання* або *пасовищними трофічними ланцюгами* (трава – миша – сова – яструб – пухойд). Ланцюги, які беруть початок з відмерлих решток рослин, трупів і екскрементів тварин, називають *ланцюгами розкладання*, або *детритними ланцюгами* (перегній – жук-гноювик – ворона – яструб – пухойд).

В *детритних ланцюгах живлення* продукція автотрофних рослин або консументів прямо в їжу не використовується. Жива речовина спочатку відмирає та надходить до поверхні ґрунту чи на дно водойм. Утворюється мертвий органічний матеріал – *детрит*: рослинний опад, фекалії, трупи тварин, продукти життєдіяльності, що виділяються в навколишнє середовище. Це стає їжею для різних груп організмів: рослиноїдних тварин, грибів, мікроорганізмів.

Живі організми в детритних ланцюгах, на відміну від пасовищних, повністю залежать від кількості та якості детриту. На трофічну діяльність усіх організмів детритотрофічного ланцюга найбільше впливають абіотичні фактори: температура, вологість, наявність O_2 та N_2 . Завершується детритний ланцюг пов-

²⁸ Наявність трофічних ланцюгів свідчить про специфічну “корисну” роль кожного організму в біосфері. Масове знищення “шкідників” може завдавати більшої шкоди, ніж самі “шкідники” (як, наприклад, “війна з горобцями” в Китаї в середині 20 століття).

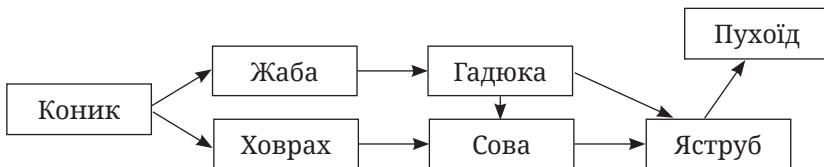
ною мінералізацією органічної речовини з її розкладом на CO_2 , H_2O та мінеральні речовини.

ЦІКАВО

Співвідношення пасовищних і детритних ланцюгів у біоценозі має важливе значення в його функціонуванні і може бути індикатором його стану. Так, відносно „молодим” біоценозам притаманне переважання пасовищних ланцюгів, у той час як в біоценозах „зрілого” типу домінують детритні ланцюги.

До кожного трофічного ланцюга входить як правило 4-5 видів організмів з однаковим або різним типом живлення. В окремих біоценозах (наприклад, в агроекосистемах) трофічні ланцюги можуть бути вкорочені, а у водних біоценозах вони, як правило, довші, ніж на суші.

Ланцюги живлення (трофічні ланцюги) можуть розгалужуватися, якщо один з його учасників може живитися кількома видами їжі, утворюючи *трофічні мережі*. В природі трофічні мережі трапляються частіше, ніж трофічні ланцюги, що забезпечує більшу стійкість біоценозів у разі зміни умов середовища:



Трофічний рівень – це сукупність організмів, які дістають перетворену на їжу енергію Сонця і енергію хімічних реакцій (від автотрофів) через однакову кількість посередників трофічного ланцюга:

- перший рівень (без посередників) – продуценти;
- другий – первинні консументи (травоїдні організми);
- третій – вторинні консументи (хижаки) і паразити первинних консументів;
- четвертий – вторинні хижаки і паразити вторинних консументів;
- п'ятий – паразити вторинних хижаків;
- шостий – надпаразити високих порядків.

Редуценти можуть входити в усі трофічні рівні, починаючи з другого, безпосередньо розкладаючи тіла продуцентів. Так, з кожного трофічного рівня пасовищного ланцюга частина речовини і енергії надходить до детритних ланцюгів, де і відбувається їх подальша трансформація. Ці детритні ланцюги разом з відповідними пасовищними і формують трофічну мережу.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Будова ланцюгів живлення визначається існуванням серед консументів тварин різних груп, що різняться за кількістю і складом кормів, які вони споживають. Це – стенофаги і поліфаги. Стенофаги живляться обмеженою кількістю видів кормів. Так, гусениці капусниці живляться лише рослинами з родини хрестоцвітих.

Крайнім виразом стенофагії є монофагія (людська аскарида, малярійний плазмодій, ряд рослиноїдних безхребетних, які живляться одним видом рослин).

Поліфаги мають різноманітну поживу (рослину і тваринну). Це олені, гризуни, кішки, тигри, комахоїдні птахи. Крайній вираз поліфагів – еврифагія (всеїдність) – бурий ведмідь, хом'як, борсук, дикий кабан та ін.

Серед поліфагів є певна спеціалізація, що є характерною особливістю тварин, мешканців певного біоценозу, яка ослаблює конкуренцію і дає можливість уживатися великій групі тварин. У процесі спеціалізації ряд тварин сильно відхилився від близьких форм. Виникли групи тварин, які живляться екскрементами –

копрофаги, трупами тварин – некрофаги і т.д. Із спеціалізацією живлення пов'язані і способи добування та отримання їжі. Серед рослиноїдних форм є сисні, гризуни, лизуни тощо. Хижаки розрізняються за способами полювання: одні тварини вистежують свою жертву, інші – доганяють, переслідують, треті викопують із нір. Птахи беруть здобич на льоту з повітря, дістають із ґрунту, з-під кори дерев, щілин тощо.

10.3. Просторова структура

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

Виділяють також так звані синузії. *Синузія* – це структурна частина фітоценозу, що охоплює ту чи іншу частину рослин угруповання й відрізняється за морфологічною організацією та функціонуванням.

ЦІКАВО

Т. Гамс (1918, 1939), автор поняття „синузія”, визначав їх як сукупність видів або особин, що потребують однакових умов існування. Сучасні вчені (П. Річардс, 1961) розглядають синузії як групу рослин близьких життєвих форм, екологічно однорідних, які відіграють однакову роль в угрупованні. Кожний чітко окреслений ярус виступає як окрема синузія.

Існують структурні одиниці біоценозів, які виділяються з урахуванням усього живого населення. Однією з таких структурних одиниць є консорція. Кожна консорція включає в себе продуценти, консументи та редуценти й виділяється за спільністю просторового розміщення та трофічних зв'язків. Наприклад, окреме старе дерево в лісі може розглядатися як консорція, оскільки з ним пов'язані певні види трав, що ростуть під деревом, специфічне населення тварин, паразити та мікроорганізми. Для кожної консорції характерна наявність центрального ядра – це звичайно одна чи кілька особин автотрофної рослини – та консортів, що концентрично розташовуються навколо цього ядра. Прикладом консорції може бути ялина (вид-едифікатор) з усіма організмами, пов'язаними з нею топічними, речовинно-енергетичними та інформаційними зв'язками. Проте у багатьох випадках детермінантами консорції можуть бути і тварини. Ретельно досліджені консорції губок, двостулкових молюсків тощо.

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

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

Ці взаємовпливи забезпечують цілісність усієї живої матерії, цілісність кожного біоценозу.

10.4. Умови утворення біоценозу

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

Перший. Добір видів у біоценоз будь-якої екосистеми здійснюється на основі спільності їхніх екологічних вимог щодо сере-

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

Другий. Наявність коадаптацій рослин та тварин до спільного життя. Співіснування видів в одному ценозі є результатом того, що один вид потрібний іншому настільки, що без нього не може існувати. Приклади такої взаємної прив'язаності організмів один до одного численні: фітофаги не можуть існувати без відповідних кормових рослин, а рослини, запилювані комахами, не можуть розмножуватися там, де немає потрібних для їх запилення комах.

Обидва механізми біоценогенезу працюють одночасно та паралельно, що в кінцевому підсумку формує в кожному біоценозі набір видів рослин та тварин не випадковий, а закономірний.

Ще К. Мьобіус підкреслював, що будь-який біоценоз є стійким угрупованням, яке повторюється в часі та просторі. Стосовно цього для кожного біоценозу характерний свій тип біопродукційного процесу та певний запас біомаси.

Розрізняють два основні типи біоценозів: *насичений* (природний) і *ненасичений* (антропогенний), які відрізняються між собою біорізноманіттям.

Біоценоз насичений – це біоценоз з повним, максимальним, за даних умов, набором видів рослин, тварин та мікроорганізмів, в якому немає місця для мігрантів, наприклад, екваторіальні ліси, широколисті ліси помірної зони, тощо. Біоценоз насичений характеризується високим ступенем стійкості.

Біоценоз ненасичений – це біоценоз із збідненим набором популяцій видів, у який, як правило, можуть безперешкодно проникати чужі організми. Ненасиченість характерна для агроценозів, які є вразливими для шкідників і бур'янів. Ненасичені біоценози є вразливими до зовнішніх впливів. Без участі людини ненасичені біоценози не можуть довго існувати.

Слід зазначити, що біоценози пустель відносять до насичених біоценозів, незважаючи на відносно невелику чисельність окремих видів. За умов пустелі більшого біорізноманіття досягти неможливо.

ЦІКАВО

Тривалість існування біоценозу відповідає тривалості життя екосистеми, частиною якої він є. У природі спостерігаються як тривалі біоценози, так і короткочасні. Біоценоз, наприклад, дубового лісу може існувати протягом багатьох століть, а біоценоз пшеничного поля – лише один вегетаційний період від висіву пшениці до її збирання та переорювання поля. На тварині, що загинула, біоценози різних груп трупотідів та детритофагів будуть змінювати одне одного протягом кількох діб.

Таким чином, біоценоз є системою, в межах якої реалізується кругообіг речовини та обмін енергією. Тому біоценозом може бути така система, яка містить усі необхідні елементи для реалізації кругообігу речовини. Біоценоз завжди є повночленним, до його складу мають входити продуценти (автотрофи), консументи (гетеротрофи) та редуценти (деструктори). Відсутність окремих членів у системі не дає підстави називати її біоценозом.

Біоценоз з його видовим складом є системою стійкою і довговічною, хоча його мешканці мають різну тривалість життя.

Простір, у якому функціонує біоценоз, має займати певну площу, відрізняється однорідністю і особливістю умов середовища. Межі біоценозу найчастіше визначають з урахуванням характерних життєвих форм та міграції видів.

Отже, біоценоз повинен сформуватись історично, щоб його представники були взаємоприспосовані і доповнювали один одного.

§11. ВЧЕННЯ ПРО ЕКОСИСТЕМИ

11.1. Співвідношення понять „біогеоценоз” та „екосистема”

Термін „екосистема” запропонував у 1935 р. англійський ботанік Артур Тенслі (*Tansley Artur G., 1871–1955*) у своїй праці

„Правильне і неправильне використання ботанічних термінів”. В це поняття входить не лише сукупність живих організмів, а й комплекс факторів навколишнього природного середовища.

Екосистема – це комплекс організмів і водночас середовище їхнього існування з усіма взаємозв'язками і взаємодією між ними. Сукупність живих компонентів становить *біоценоз*, в межах якого формується середовище життя організмів – *біотоп*.

У 1975 році Р. Даждо запропонував формулу:

Біоценоз + Біотоп → Екосистема

Нагадаємо, що біоценоз – це група організмів різних видів, котрі взаємопов'язані між собою та історично тривалий час мешкають разом на певній території. Біоценоз має синонім – угруповання. Поняття „біоценоз” стало надалі ключовим в синекології (екології угруповань). Підвалини біоценології першим заклав Василь Васильович Докучаєв (природознавець, фундатор наукового ґрунтознавства та зональної агрономії, 1846-1903). У 1899 р. він сформулював т.з. „закон зональності”, який показує щільний зв'язок клімату, ґрунтів, тваринних та рослинних організмів, співвідношення між зонами природи взагалі й усім життям, усією діяльністю людини.

Біотоп (грец. βίος – життя і τόπος – місце) – природний однорідний життєвий простір, котрий заселений біоценозом. Вміщує в себе ґрунт, кліматичні фактори, висоту над рівнем моря, світло, тиск, вологість, рН середовища, механічні та фізико-хімічні вла-

стивості ґрунту, води чи повітря. Термін „біотоп” запроваджений німецьким ученим Гессе (нім. Hesse) у 1924 р. Використовують два близьких поняття: *біотоп* та *екотоп*. Термін „екотоп” запропонував ґрунтознавець, біогеограф Георгій Миколайович Висоцький (1915).

Екотоп – це певний комплекс екологічних факторів (повітряний, водний, температурний, мінерального живлення, температурно-радіаційний та ін.) на певній ділянці земної поверхні. Екотоп складається з кліматопа, едафотопа (ґрунтових умов) та/або гідротопа;

У 1940 р. російський учений В. М. Сукачов увів додаткове поняття „біогеоценоз”, а в 1942 р. запропонував систему понять про біогеоценоз.

Біогеоценоз – історично сформований взаємозумовлений комплекс живих і неживих компонентів певної ділянки земної поверхні, пов’язаних між собою обміном речовин і енергії.

Отже, можна вважати, що *біогеоценоз* – це окремий випадок *екосистеми*, яка має більш чітку територіальну прив’язаність.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Окремі сучасні дослідники вкладають у поняття „біогеоценоз” і „екосистема” різний зміст і часто використовують їх довільно, не беручи до уваги сутність цього явища. Це вносить певний безлад у розуміння цих понять, що шкодить як науковцям, так і практикам. За висловлюванням всесвітньо відомого американського еколога Юджина Одума (Eugene P. Odum, 1986) „біогеоценоз” і „екосистема” є синонімами. Але ці терміни можна вважати синонімами лише в тому випадку, коли вони розглядаються як біоценоз, який займає певну ділянку земної поверхні з подібними атмосферними, літосферними, гідросферними умовами і характеризується однорідністю взаємозв’язків і взаємовпливів всередині біоценозу та зв’язків з його

середовищем місцезростання, наявністю в цьому комплексі живої і неживої природи кругообігу речовини і енергії. Проте однорідність біоценозу також є відносною, оскільки всередині біогеоценозу немає жодної суттєвої біоценологічної, геоморфологічної, гідрологічної і ґрунтово – геохімічної межі. Однак, досить невизначеною залишається міра цієї відносності: з одного боку, біогеоценози мають певну просторову (вертикально- горизонтальну) структуру і є сукупністю підсистем; з іншого боку, дуже часто біогеоценози не мають різних меж між собою і тому їх дуже важко розмежувати в природі.

Е.М. Лавренко і М.В. Диліс (1968) запропонували дуже влучне визначення: „*біогеоценоз – екосистема в межах фітоценозу*” (рис. 14). Дійсно, після встановлення меж фітоценозу цей природний об’єкт можна вивчати як екосистему. Але, як відомо, просторова структура фітоценозу є дуже неоднорідною і строкастою, а тому виділити межі з сусіднім фітоценозом непросто. При цьому, деякі фітоценологи вважають рослинний покрив дискретним і виділяють його межі, а інші ж схиляються до думки про континуум, або ж неперервність рослинного покриву і доводять неможливість встановлення цих меж.

Науку про біогеоценози називають *біогеоценологією*. Вона вивчає біоценотичні процеси, які відбуваються в кожному конкретному біогеоценозі (екосистемі), зокрема продуктивність, обмін речовиною і енергією.

Біоценологію від *біогеоценології* відрізняє передусім те, що остання включає як складову частину досліджуваної системи абіотичний комплекс, біоценологія ж вивчає лише сукупність організмів. Важливою характеристикою екосистем є розмаїття видового складу. Однак структура біогеоценозу, тобто склад утворюючих його видів, властивості кожного середовища і особливості взаємодії між ними визначають специфіку речовинно-енергетичного обміну.

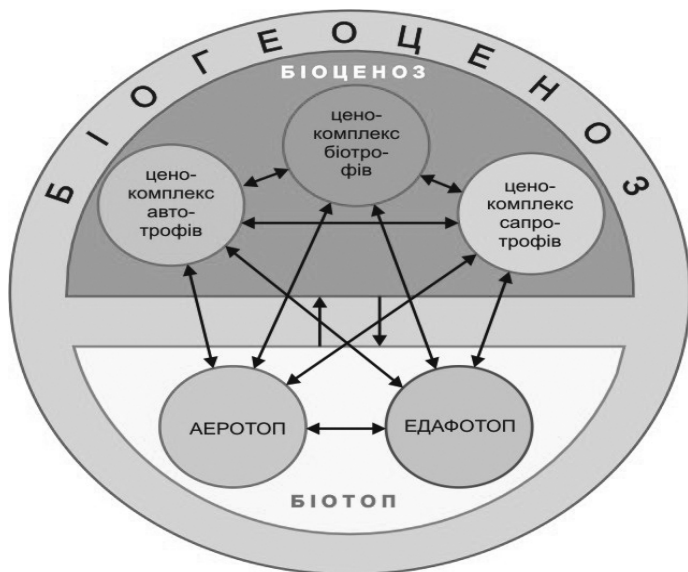


Рис. 14. Спрощена структура біогеоценозу

В.М. Сукачов висунув тезу: обмін речовиною і енергією є такою ж характерною властивістю біогеоценозу, як і склад рослин і тварин; специфіка взаємозв'язків і взаємодії між ними має принципове значення, оскільки саме участь усіх взаємодіючих організмів у речовинно-енергетичному обміні функціонально об'єднує їх в єдину систему, яка включає і абіотичне середовище. Сукупність біогеоценозів із відносно схожими характеристиками (передусім – рослинністю), які займають значну територію й розвиваються в схожих кліматичних умовах, називають біомами. Сьогодні на нашій планеті виділяють близько 30 основних біомів (тундра, тайга, степ, пустеля, тропічні ліси тощо). Таким чином, біогеоценоз – це елементарна наземна екосистема, головна форма існування природних екосистем.

11.2. Складові компоненти екосистеми

Складові компоненти екосистеми та взаємозв'язки між ними можна представити таким чином: *фітоценоз* – блоком первинних продуцентів, *зооценоз* – макроконсументами, *мікробоценоз* – мікроконсументами та деструкторами. Об'єднані вони в екосистему на основі взаємовпливу з природним середовищем (рис. 15)²⁹.

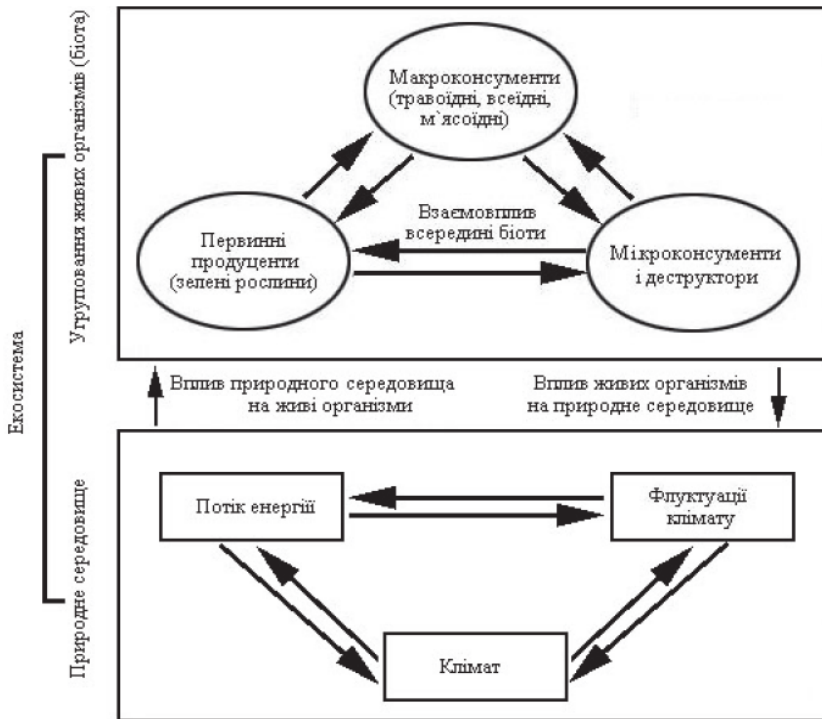


Рис. 15. Складові компоненти екосистеми та взаємодія між ними (Кучерявий В.П., 2001)

²⁹ Кучерявий В.П. Екологія. – Львів: Світ, 2001. – 386 с.

Ю. Одум децю деталізує структуру екосистеми, виділяючи в ній такі складові:

I. Неживі компоненти (абіотичні):

– *неорганічні речовини* (оксиди Нітрогену, Карбону, азот, кисень, вода та ін.);

– *органічні сполуки* (білки, вуглеводи, ліпіди, гумінові речовини тощо);

– *кліматичний режим* (температура, світло, вологість, ґрунт та інші фізичні фактори).

II. Біомаса (жива речовина):

– *продуценти* – автотрофні організми, здатні створювати самостійно органічні сполуки з простих неорганічних речовин;

– *макроконсументи* або *фаготрофи* (від грецьк. *fagotz*-той, що пожирає) – гетеротрофні організми, головним чином тварини, які поїдають інші організми або частинки органічної речовини;

– *мікроконсументи, сапрофіти* (від грецьк. *sapro* – розкла-дати), або *осмотрофи* (від грецьк. *osto* – проходить через мембрану) – гетеротрофні організми, переважно бактерії і гриби, які розкладають сполуки мертвої протоплазми, поглинають деякі продукти розкладу і вивільнюють деякі неорганічні речовини, придатні для використання продуцентами, а також органічні речовини, здатні служити джерелом енергії, інгібіторами чи сти-муляторами для інших біотичних компонентів екосистеми.

11.3. Біологічний кругообіг в екосистемі

В кожній екосистемі кругообіг речовин відбувається в резуль-таті взаємодії автотрофів та гетеротрофів.

Вуглець, водень, кисень, азот, сірка і фосфор та біля 30 простих речовин, що необхідні для утворення живої речовини, безпер-рвно перетворюються в органічні речовини або поглинаються у вигляді неорганічних компонентів автотрофами, а автотрофи

використовуються гетеротрофами (спочатку консументами, а потім деструкторами). Таким чином, біогенні елементи безперервно циркулюють: розчиняються в континентальних водах, виносяться в моря або потрапляють в атмосферу, а між цими середовищами відбувається постійний газообмін, тобто відбувається *біологічний кругообіг атомів*.

Суть кругообігу в тому, що утворення живої речовини і розклад органічної речовини – два боки єдиного процесу. В процесі біологічного кругообігу атоми поглинаються живою речовиною і заряджаються енергією, а потім залишають живу речовину, віддаючи енергію, в оточуюче середовище. За рахунок біогенної енергії відбувається більшість хімічних реакцій. Біологічні кругообіги можуть бути різних масштабів і різної тривалості – від швидкого кругообігу в ґрунті, річці, озері до тривалого, який обіймає всю біосферу. Близько 40 хімічних елементів, що входять до складу біомаси, постійно циркулюють між живими та неживими компонентами екосистеми. Наведемо приклади кругообігу найбільш розповсюджених хімічних елементів.

Кругообіг Нітрогену. Нітроген (азот) у вигляді газоподібних сполук (N_2 , NH_3 , N_2O , NO , NO_2) знаходиться в повітрі, в живих організмах переважно у вигляді білків, нуклеїнових кислот, ферментів; у ґрунті – у вигляді солей амонію, нітратів і нітритів; тут завдяки численним мікроорганізмам – азотфіксаторам, нітрифікаторам, денітрифікаторам відбуваються найрізноманітніші біохімічні процеси. В біосфері фіксація нітрогену з повітря відбувається переважно біологічним шляхом і лише незначна кількість (менш як 35 мг/м^3) – у результаті фізико-хімічних процесів в атмосфері (електричні розряди та фотохімічні процеси).

Нітроген вступає в кругообіг виключно через кореневу систему у вигляді нітратів чи солей амонію або за допомогою симбіотичного зв'язку через бактерії, гриби та синьо-зелені водорості, які здатні фіксувати атмосферний азот.

Органічні сполуки, що містять нітроген, при розщепленні в організмі виділяються у вигляді аміаку чи солей амонію в природне середовище. В природі поклади KNO_3 (чилійської селітри) є лише в Чилі, де практично не буває дощів.

Кругообіг Карбону (вуглецю). В атмосфері міститься оксид карбону (IV) або вуглекислий газ (об'ємна частка становить 0,03 %), оксид карбону (II) або чадний газ, як малі компоненти – вуглеводні, зокрема метан, та інші органічні сполуки. Карбон – основний хімічний елемент живої речовини, оскільки входить до складу білків, жирів, вуглеводів та інших речовин. При окисленні в процесі метаболізму органічних сполук утворюється оксид карбону (IV), що підтримує в крові сталу кислотність (карбонатна буферна система).

Сполуки карбону (у вигляді горючих корисних копалин і карбонатів, а також алотропних форм – алмазу і графіту) знаходяться в літосфері. У воді – карбонати і гідрокарбонати переважно кальцію і магнію, розчинений CO_2 , на дні – карбонатні мули, утворені хімічним шляхом чи внаслідок накопичення мертвих решток організмів, що будують своє тіло з карбонату кальцію.

Сполуки карбону у ґрунті – це переважно органічні речовини – рештки організмів, продукти їх метаболізму та CO_2 , що виділяється під час дихання організмів і розкладання органічних речовин в аеробних умовах. Оксид карбону(IV) рослини поглинають листям і кореневою системою для синтезу органічних сполук.

Людська діяльність значно впливає на кругообіг цього біофільного хімічного елемента. Сполуки карбону у вигляді оксидів потрапляють в атмосферу при спалюванні горючих корисних копалин, що їх запасла біосфера; вуглеводні – під час нафтовидобутку та нафтопереробки; численні нові органічні сполуки утворюються в процесах органічного синтезу.

Кругообіг Фосфору. Особливістю цього кругообігу є те, що він має лише одну газоподібну сполуку фосфін PH_3 , що утворюється при гнитті органічних решток. Фосфати не розчинні у воді.

Мінералами є апатит $\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$, де X – F⁻, Cl⁻, OH⁻ і фосфорит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. У ґрунті фосфор входить до складу решток мертвих організмів та їхніх екскрементів. Поширеним фосфоровмісним добривом є гуано-послід морських птахів.

Для підвищення родючості ґрунтів на поля вносять добрива, зокрема, фосфорні. Змивання їх у водойми спричинює *евтрофікацію* водойм (підвищення біологічної продуктивності екосистеми внаслідок нагромадження біогенних елементів, головним чином нітрогену і фосфору). Сполуки фосфору накопичуються на дні водойм і в прибережній зоні морів та океанів у вигляді решток живих організмів і фосфатів. На суходіл потрапляють з рибою та під час видобування корисних копалин.

Кислотні дощі прискорюють міграцію фосфору завдяки розчиненню фосфатів.

Кругообіг Сульфуру (лат. *sulphur* – сірка). Цей хімічний елемент має газоподібні сполуки: гідрогеносульфур та оксиди сульфуру (IV) і (VI). Більшість сульфатів розчинні у воді, тоді як сульфіді (крім лужних металів і амонію) малорозчинні³⁰.

Сульфур у складі органічних сполук міститься в живих організмах, горючих корисних копалинах. У ґрунті діють численні мікроорганізми, що перетворюють сульфіді на сульфати та сірку і навпаки. Під час гниття органічних решток виділяється токсичний гідрогеносульфур (сірководень, H_2S), що отрує водні організми; з іншого боку, H_2S може осаджувати катіони важких металів у вигляді малорозчинних сульфідів, сприяючи самоочищенню водойм.

Великі кількості оксидів сульфуру утворюються при спалюванні сміття, добуванні металів із сульфідів, у виробництві та використанні сульфатної кислоти.

У літосфері існує самородна сірка, малорозчинні у воді сульфіді багатьох металів у вигляді мінералів: свинцевий блиск PbS ,

³⁰ Сульфати – це солі сірчаної кислоти, сульфіді – з'єднання сульфуру з іншими елементами. Більшість сульфідів є природними мінералами і часто використовуються для отримання відповідних металів, а також сірчаної кислоти.

пірит FeS_2 , цинкова обманка ZnS , кіновар HgS , реальгар Ag_2S ; розчинні сульфати: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – мірабіліт, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ гіпс, CaSO_4 – ангідрид.

Значні кількості сульфат-іонів містяться в природних водах, особливо мінералізованих; деякі мінеральні води збагачені гідрогенсульфуром (сірководнем). Сірководневі зони існують і в морях³¹ та океанах – це мертві зони, хоча гідрогенсульфур і є джерелом енергії для хемосинтезуючих організмів.

Таким чином, для всіх без винятку екосистем характерний кругообіг речовин.

§12. БІОПРОДУКЦІЙНИЙ ПРОЦЕС В ЕКОСИСТЕМІ

12.1. Трансформація енергії в екосистемі. Екологічні піраміди

Речовини, які необхідні для побудови живих організмів, безперервно здійснюють кругообіг, надходячи в живі організми і повертаючись у ґрунт після їх смерті. Для цього в екосистемі повинна безперервно постачатися енергія.

Початковим джерелом енергії в екосистемах є сонячне світло. Основним процесом, що веде до утворення нової органічної речовини на основі поглинання сонячного проміння, є фотосинтез. Як зазначалося вище, існує і хемосинтез. Він є також важливим процесом і вартий уваги бодай тому, що у розвитку живої речовини міг з'явитися задовго до появи фотосинтезу, але його сучасні можливості у накопиченні енергії дуже поступаються фотосинтезу. Останній є головною „енер-

³¹ Сірководнева зона в Чорному морі починається з глибин після 150 м, де практично відсутні живі організми.

гетичною станцією” життя на Землі, тому розглянемо його докладніше.

Відомо, що речовиною, яка відіграє головну роль у поглинанні енергії видимих променів Сонця, є хлорофіл. Менш відомий той факт, що є кілька варіантів цієї надважливої молекули, а тому колір частин клітин, що їх містять, не завжди зелений. Навіть зелених хлорофілів є два, які трохи різняться характеристиками поглинання світла (втім, обидва поглинають червоні і блакитні фотони, добре відбиваючи зелені). Центральне місце у досить великих молекулах хлорофілу займає атом магнію. За будовою вони навіть схожі на гемоглобін, проте центральним у останнього, як відомо, є атом заліза.

Поглинута енергія фотонів у складному й багатоступінчастому процесі витрачається на розщеплення молекул води H_2O і вуглекислого газу CO_2 і на подальшу побудову з їхніх фрагментів глюкози $C_6H_{12}O_6$ та інших органічних молекул (глюкозу взято як типовий приклад органічного синтезу в рослинах).

Сумарне рівняння цього процесу записують так:



Для утворення одного моля (нагадаємо, що йдеться про таку кількість речовини, яка містить $6,23 \cdot 10^{23}$ молекул) глюкози масою 180 г необхідно 264 г вуглекислого газу, 108 г води і 674 ккал енергії фотонів (21 % добової енергетичної потреби середнього землянина чоловічої статі).

Оскільки рослини постійно мають змогу здійснювати фотосинтез на території, яка дещо перевищує половину площі поверхні Землі, то за рік утворена біомаса (у сухій масі) досягає не менш як 50 млрд. т (верхня межа оцінок досягає навіть 250 млрд. т). З атмосфери вилучається на 40 % більша маса вуглекислого газу, а маса виділеного кисню майже дорівнює синтезованій рослинами органічній речовині (рис. 16).



Рис. 16. Розподіл потоку енергії Сонця

До поверхні Землі потрапляє лише одна двомільярдна частина загального випромінювання Сонця, але і його потужність перевищує 200 000 млрд. кВт. І лише 0,02-0,04 % всього потоку сонячної енергії накопичують рослини, тобто всі рослини суходолу та водорості океанів використовують для фотосинтезу менше 0,1 % всього потоку сонячної енергії, який досягає атмосфери Землі.

Теоретично величина коефіцієнта корисної дії (ККД) самого процесу фотосинтезу складає близько 32 %. Але насправді ККД полів високоефективних зернових (кукурудза, рис, пшениця тощо) навіть у період найбільшої фотосинтетичної активності не перевищує 3 %. Зрозуміло, середній за рік ККД зернового поля виявиться значно нижчим. Зниження ККД зумовлюється багатьма причинами. Зокрема, до внутрішніх належить необхідність негайно витратити трохи менше чверті вловленої енергії

фотонів на дихання, мало не втричі більше на енергію поглинання води та інших мінеральних речовин.

Речовина та енергія складають єдине ціле і переходять в екосистемі від одних організмів до інших (рис. 17).

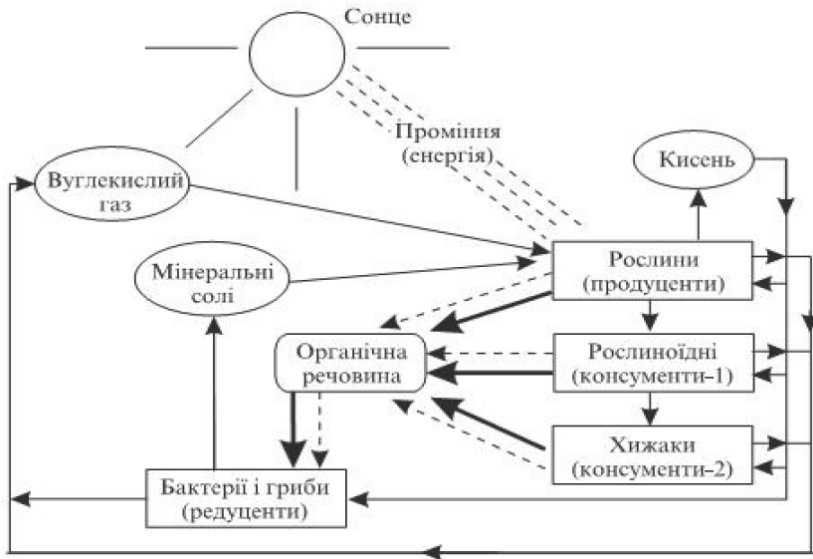


Рис. 17. Основні компоненти екосистеми та обмін енергією, органічними і мінеральними речовинами

Ефективність фотосинтезу, як і маса кінцевого врожаю, лімітується також абіотичними факторами, насамперед освітленням, температурою, опадами, родючістю ґрунту. Вся історія рослинництва є намаганням землеробів забезпечити рослини передусім необхідною кількістю води та органічними й мінеральними добривами, підвищити до максимуму родючість ґрунту. Раціонально керувати світлом і теплом вдається лише

в теплицях. Останнім часом вчені розвинених країн створили досить складну математичну модель керування і програмування врожаю, застосування якої майже сповна реалізує всі можливості фотосинтезу наземних рослин. Але є одна суттєва відмінність. Речовина може безкінечно довго здійснювати кругообіг, включаючись у процесі фотосинтезу в органічні сполуки та повертаючись у ґрунт після смерті організмів. А більша частина енергії поступово губиться у вигляді тепла (рис. 18).

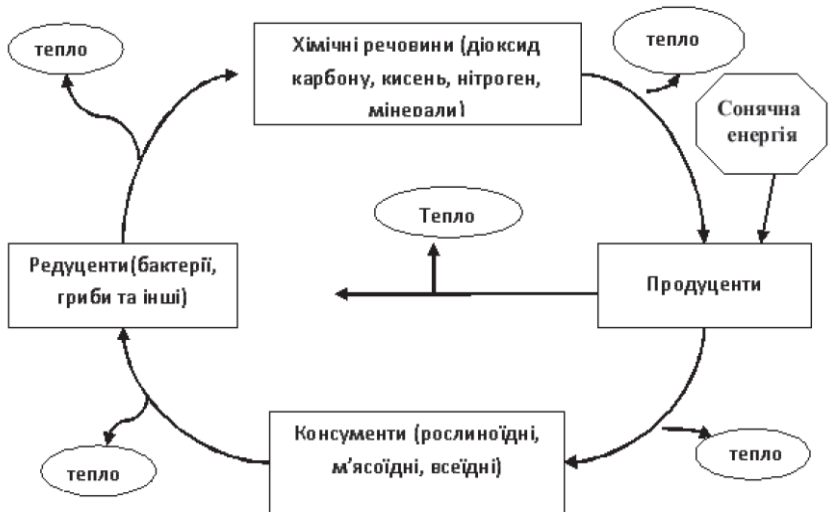


Рис. 18. Блок-схема функціонування екосистем
(основні структурні компоненти екосистеми, пов'язані енергетичними потоками та кругообігом речовин)

Таким чином, екосистема постійно потребує притоку енергії ззовні у вигляді органічних сполук, в яких „законсервоване” сонячне світло. Так, підраховано, що сонячна енергія, яка досягла

поверхні Землі протягом року, становить 5·10²⁰ ккал. Це складає 9 млрд. ккал на 1 га. Один гектар лісу в середніх широтах продукує по 6 тонн деревини і 4 тонни листя, спалювання яких дає 46 млн. ккал. Відповідно, ефективність первинної продуктивності лісу, тобто ефективність використання рослинами сонячної енергії для утворення органічної речовини, складає всього лише близько 0,5 %.

У відповідності із **законом однонапрявленого потоку енергії**, енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їх біомасою незворотно передається консументам першого, другого, третього і інших порядків, а потім редуцентам, що супроводжується втратою певної кількості енергії на кожному трофічному рівні як наслідок процесів, які супроводжуються диханням. У зворотній потік потрапляє мала кількість енергії (менше 0,25 %), тому говорити про кругообіг енергії в екосистемах не доводиться.

Згідно **закону піраміди енергії Ліндемана** (Lindemann R.L., 1942) з одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший переходить у середньому не більше 10 % енергії (7-17 %), а зворотний потік енергії (з більш високих рівнів на нижчі рівні) набагато слабший (не більше 0,5-0,25 %). При цьому, кількість консументів трофічного рівня обмежується **правилом екологічної піраміди**: кількість особин, що утворюють послідовний ланцюг, невпинно зменшується і біомаса при переході з однієї трофічної ланки до другої зменшується приблизно в 10 разів.

Продуктивність екологічних систем і співвідношення в них різних трофічних рівнів зображують, як правило, у вигляді пірамід. Першу таку піраміду побудував Ч. Ельгон (1927) на прикладі трофічного ланцюгу водної екосистеми.

Відповідно до того, що саме характеризують піраміди, вони поділяються на три типи (рис. 19):

1) **піраміда чисел**, що відображає чисельність окремих організмів (хлопчик – 1, телята – 5, люцерна 20 млн. рослин);

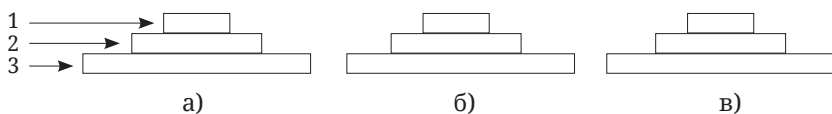


Рис. 19. Екологічні піраміди (за Ю. Одумом):

1 – хижаки, 2 – фітофаги, 3 – продуценти

2) *піраміда біомас* характеризує суху масу чи енергетичну цінність (хлопчик – 48 кг, телята – 1035 кг, люцерна – 8211 кг);

3) *піраміда енергії* показує кількість енергії в їжі кожного трофічного рівня (хлопчик – $8,3 \cdot 10^3$ ккал, телята – $1,19 \cdot 10^6$ ккал, люцерна – $1,49 \cdot 10^6$ ккал).

У деяких водних екосистемах, які відрізняються високою біопродуктивністю продуцентів, піраміда чисел і біомас може бути переверненою (біомаса продуцентів менша, ніж консументів, а іноді і редуцентів). У протилежність пірамідам чисел і біомаси, які відображають статичу системи, піраміда енергії відображає динаміку, тобто швидкість проходження маси їжі через харчовий ланцюг. Піраміда енергії дає найповніше уявлення про функціональну організацію угруповання, оскільки кількість і маса організмів залежать в більшій мірі від швидкості продукування їжі.

Ю. Одум (1986) на підставі аналізу цих пірамід сформулював наступне **екологічне правило**: дані піраміди чисел призводять до перебільшення ролі малих організмів, а дані піраміди біомас – великих організмів. У малих організмів більш інтенсивний метаболізм, тому лише потік енергії є найбільш придатним показником для порівняння будь-якого компонента з іншим і всіх компонентів між собою.

У цілому ж екологічні піраміди відображають зменшення видового різноманіття, кількості біомаси та енергії від більш низьких до більш високих трофічних рівнів, тобто демонструють основну спрямованість трансформації енергії в екосистемах.

12.2. Міграція ксенобіотиків у трофічних ланцюгах³²

У трофічних ланцюгах усі види речовин послідовно переходять від одного організму до іншого. Органічні сполуки при цьому перетворюються у форму, специфічну для конкретного організму.

Наприклад, при живленні фітофагів можна спостерігати таку схему перетворень білків:

Білки рослин $\xrightarrow{\text{Розкл.}}$ Амінокислоти $\xrightarrow{\text{Синтез}}$ Білки тваринного організму

Інший шлях проходять окремі хімічні речовини, зокрема так звані *ксенобіотики* – речовини, що в природі спочатку не існували, а були синтезовані, створені людиною. Ці речовини проходять через трофічні ланцюги в незмінному вигляді.

Згідно правила екологічної піраміди, розмір біомаси в екологічних пірамідах закономірно знижується при переході на кожен новий трофічний рівень. Але *ксенобіотики*, залишаючись у незмінному стані, зберігатимуть свою масу при переході з рівня на рівень трофічної піраміди. Тому *концентрація ксенобіотиків у розрахунку на одиницю біомаси буде зростати*. Цей ефект називається законом концентрування речовин у трофічних ланцюгах.

Це може відбуватися зі стійкими пестицидами. Наприклад, за даними Н. Гріна та ін. (США, 1990), в трофічному ланцюгу з чотирьох ланок спостерігалось зростання концентрації ДДТ³³ при переході від нижчого трофічного рівня на вищий (табл. 6).

Таким чином, всього за чотири ланки трофічного ланцюга концентрація ДДТ зростає в 1875 разів. Аналогічно концентрування в трофічних ланцюгах може відбуватися з *радіоактивними речовинами та важкими металами*.

³² Використано матеріал посібника Злобін Ю.А., Кочубей Н.В. Загальна екологія: Навч. пос. – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. – С. 99.

³³ Інсектицид, який у водній екосистемі застосовувався для знищення комарів

Таблиця 6

Накопичення ДДТ у трофічному ланцюгу водної екосистеми

Назва організмів	Концентрація ДДТ, г/кг біомаси
Водяні рослини	0,04
Риби – фітофаги	10
Риби – зоофаги	50
Птахи	75

Так, концентрація радіоактивного Cs^{137} (за даними Д.Н. Криволуцького та ін., 1989 р.), при переході від однієї трофічної ланки до іншої збільшується в 1,5-8 разів. За даними М. Крауса (1989 р.), у трофічному ланцюгу „рослини – комарі – хірономіди – ластівки” виявилось значне накопичення важких металів у тілі ластівок. У мозковій тканині і печінці накопичувався свинець, у м'язах, шкаралупі яєць та в тканинах ембріонів – хром і нікель, а в пір'ї – мідь і свинець.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Явище концентрування ксенобіотиків приводить до негативних наслідків для всієї практики господарювання людини в природних екосистемах. Забруднення, що вважається незначним при оцінці кількості забруднювача в навколишньому середовищі, стає катастрофічно небезпечним при дії закону концентрування, і перш за все, для самої людини, яка знаходиться на вершині всіх трофічних ланцюгів пасовищного типу.

Багато мінеральних речовин, не руйнуючись, потрапляють у біогеохімічний цикл (гірські породи, атмосфера та ін.), при цьому їх шкідлива дія на організм знижується. Так трофічні ланцюги виконують *бар'єрну функцію*. Саме концентруючі та бар'єрні функції живої речовини і дають можливість екосистемі *самоочищуватися*. Але існує *верхній граничний рівень концентрації*, перевищення якого вже не дає можливості біому очиститися від

даної речовини. Це залежить від типу забруднюючої речовини та швидкості надходження забруднюючої речовини в екосистему. Ефективніше самоочищення відбувається при поступовому надходженні забруднюючої речовини, ніж при разових викидах в екосистему відразу великої кількості ксенобіотиків. *Кількісна оцінка* здатності біоценозу до самоочищення здійснюється на основі порівняння швидкості надходження тієї чи іншої речовини до екосистеми зі швидкістю асиміляції цієї речовини екосистемою.

12.3. Оцінка ефективності біосистеми

Органічна речовина, синтезована рослиною, може по-різному включатися в різні процеси:

- запасається у вигляді крохмалю чи олії;
- є джерелом енергії для всіх клітинних процесів, забезпечує ріст, цвітіння, розмноження рослин;
- розкладається під час гниття чи горіння до вуглекислого газу, води, мінеральних речовин тощо з виділенням кінетичної енергії (теплової чи світлової)

Оцінкою ефективності біосистеми є розподіл енергії на частину, що перетворюється на іншу органічну речовину, доступну для вищого трофічного рівня у вигляді їжі (**P**), і частину, що окислюється та втрачається у вигляді теплоти і дихання (**R**). Відношення **R/P** називають *мірою екологічного обороту Шредінгера*, а відношення **R/B** (де **B** – сумарна біомаса), *мірою термодинамічної врівноваженості Шредінгера*.

Необхідно розрізняти *первинну продукцію* – органічна маса, створена рослинами за одиницю часу, і *первинну продуктивність* – швидкість, з якою автотрофи (продуценти) в процесі фотосинтезу зв'язують енергію, і запасують її у формі органічної речовини.

Швидкість утворення біомаси рослинами на одиницю площі, що характеризує *первинну продуктивність*, подають в одиницях енергії (E/ST , Дж/м² • добу) чи маси (m/ST , кг/га • рік), де T – час.

У межах первинної продукції розрізняють *валову* та *чисту* продукцію.

Валовою продукцією називають масу органічної речовини, яка утворюється при фотосинтезі або хемосинтезі. Але, природньо, якась частина первинної продукції витрачається на дихання. Залишок органічних речовин після цих витрат і складає *чисту продукцію*. Різниця між валовою та чистою продукцією досить велика, чиста продукція складає 40 – 80 % валової продукції. На світлі в процесі фотосинтезу відбувається утворення потенційної енергії ($R/P < 1$), в темряві посилюється дихання ($R/P > 1$).

Вторинна продукція складається з органічних речовин, які утворюються при гетеротрофному типі харчування. Консументи, які споживають первинну продукцію, утворюють свою біомасу. Для позначення біомаси і швидкості її утворення консументами застосовуються терміни: „*вторинна продукція*”, тобто продукція гетеротрофних організмів, і „*вторинна продуктивність*”, тобто, швидкість утворення продукції гетеротрофами.

Ефективність засвоєння їжі у різних тварин різна:

- у тварин, що живляться листям, – 10-20 %;
- у тварин, які споживають насіння і плоди, – 80 %
- у хижаків – 60-90 %.

Так, для одержання 1кг яловичини необхідно забезпечити від 70 до 90 кілограмів свіжої трави для тварин.

Енергія, отримана твариною з їжею, розподіляється таким чином:

- запасується у вигляді потенційної енергії органічних речовин;
- витрачається у формі кінетичної енергії під час виконання робіт органами дихання, руху;

- виділяється з організму у вигляді теплоти та продуктів метаболізму;
- витрачається на ріст і оновлення тканин як будівельний матеріал.

З урахуванням **спеціалізації типів живлення** тварини поділяють на три групи:

- ✓ *стенофаги*, що споживають лише один вид їжі (коларадський жук живиться рослинами роду пасльонових);
- ✓ *олігофаги*, що використовують 2–3 види їжі (зайці, лисиці);
- ✓ *поліфаги*, що вживають різноманітну їжу (таргани, ведмеді).

Перетравлюваність їжі у тварин різна: у копитних – 40-70 %, у дрібних гризунів – 90-95 %, у нутрії – до 99 %. З метою підвищення ефективності засвоєння кормів у тваринному світі поширена *копрофагія* (поїдання екскрементів жуками-гнояками) та *автокопрофагія* (поїдання власних м'яких екскрементів, що містять багато білків та біологічно активних речовин, наприклад, кролями).

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Якщо б на нашій планеті існували лише фотосинтезуючі організми, то невдовзі всі мінеральні речовини були перетворені в органічні. Тоді ріст та розвиток рослин припинився б зовсім. Цього не відбувається тому, що існує ціла група організмів, що живляться відмерлими рослинними та тваринними організмами. Вони розкладають органічні речовини до мінеральних, видобуваючи необхідні для своєї життєдіяльності речовини та енергію. Завдяки їхній діяльності знов утворюються форми сполук і хімічних елементів, доступні для живлення рослин.

Існує група організмів, які споживають готові органічні сполуки у вигляді мертвих решток (опале листя, коріння, сухі

гілочки дерев – детрит), або трупів та продуктів життєдіяльності тварин (гриби, бактерії, найпростіші, черви, жуки-гноювики, раки). Це – детритофаги і редуценти, які живляться органічними рештками як продуцентів, так і консументів. У процесі їх життєдіяльності утворюються низькоенергетичні речовини: CO_2 , H_2O , нітрати, фосфати тощо або досить прості органічні речовини – молочна кислота (продукт життєдіяльності молочнокислих бактерій) та ін.

12.4. Принцип лімітування біопродукції

Біологічна продуктивність будь-якого біогеоценозу – це відтворення біомаси рослин, тварин і мікроорганізмів, які входять до його складу. Відтворення біомаси видових популяцій рослин і тварин протікає з певною швидкістю, тому біологічна продуктивність може бути виражена продукцією за сезон, за рік, за декілька років чи інші одиниці часу. Для наземних і донних організмів вона визначається кількістю біомаси на одиницю площі, а для планктонних і ґрунтових – на одиницю об'єму.

Отже, **біологічна продуктивність** є відтворенням біомаси на 1 м^2 площі (чи в 1 м^3 об'єму) за одиницю часу і виражається частіше всього в грамах вуглецю чи сухої органічної речовини. Біологічну продуктивність не можна змішувати з біомасою. Так, планктонні водорості на одиницю площі синтезують за рік стільки ж органічної речовини, скільки і високопродуктивні ліси, однак, біомаса останніх у сотні тисяч разів більша.

Особливості навколишнього середовища і, в першу чергу, режим абіотичних факторів помітно впливають на процес синтезу органічної речовини автотрофними та гетеротрофними організмами (табл. 7).

Загальна зумовленість біопродукції екологічними факторами підпорядковується **закону толерантності**. Відповідно до цього

закону в амплітуді дії того чи іншого фактора є зона оптимуму, в межах якої біопродукція максимальна, та дві зони песимуму, в області яких формування біопродуктивності гальмується або нестачею даного ресурсу, або його надлишком.

У сукупності ресурси та умови, що сприяють можливості отримання біологічної продукції від живих організмів, розуміють як родючість природного угіддя.

Розрізняють *природну родючість*, як вихідну потенційну продуктивність угіддя (ділянки суходолу або водойми) та *економічну родючість*, як реальну кількість біологічної продукції, яку можна отримати від даного угіддя.

Таблиця 7

**Чиста первинна продуктивність
деяких великих угруповань**

Тип угруповання	Продуктивність (г сухого рослинного матеріалу на 1 м ² /рік)
Коралові рифи	2500
Тропічний дощовий ліс	2200
Ліси помірної поясу	1250
Савана	900
Тайга	800
Землі, які обробляються	650
Континентальний шельф	360
Тундра	140
Відкритий океан	125
Гола пустеля	3

Природна родючість є базовою властивістю будь-якої природної екосистеми. Отримання продукції за рахунок природної родючості безвитратне. Витрати необхідні тільки для збору біомаси та її перевезення в потрібне місце.

Економічна родючість – поняття більш складне. Воно включає в себе співвідношення між біомасою, що отримується,

і витратами матеріалів, енергії та праці на її отримання. Економічна родючість може бути від'ємною величиною, коли вартість сукупних витрат перевищує вартість біопродукції. При цьому „вартість” розуміється у грошовому вираженні, але можливе її вираження у формі енергетичних одиниць.

Біомаса стабільних угруповань, де кругообігом речовин в стані рівноваги, залишається відносно постійною тому, що практично вся первинна продукція витрачається в ланцюгах живлення і розкладання. Екосистеми відрізняються за швидкістю створення і витрачання первинної і вторинної продукції. Але всі вони підпорядковуються закону співвідношення кількості первинної і вторинної продукції. Цей закон називається **правилом піраміди продукції**: на кожному попередньому трофічному рівні кількість біомаси, яка створюється за одиницю часу, більша, ніж на наступному. В більшості наземних екосистем діє також **правило піраміди біомас**, тобто сумарна маса рослин більша, ніж маса фітофагів і травоядних, а маса останніх більша, ніж маса всіх хижаків.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Знання законів продуктивності екосистем має велике практичне значення. Воно дає можливість наукового обґрунтування кількості продукції, яку людина може використовувати для власних потреб, не завдаючи шкоди природним системам.

В екосистемах біосфери людина займає вершину екологічної піраміди, тому її чисельність завжди буде обмежена біологічною продуктивністю природних або сільськогосподарських екосистем. Знищуючи окремі ланки трофічної піраміди, людина може викликати дуже несприятливі наслідки (рис. 20). Так стійкість окремої лучної екосистеми може підтримуватись продуктивністю травостою; далі по спадній

розташовуються рослиноїдні коники, комахоїдна жаба, хижі змії; вершину піраміди вінчає орел. Якщо людина уб'є орла, це призведе до збільшення чисельності змій, змії знищать велику частину жаб, кількість коників та інших комах збільшиться, а біомаса травостою зменшиться. Потрібно буде чимало часу, щоб налагодилися нові трофічні зв'язки й екосистема набула структури, що відповідає законам піраміди.

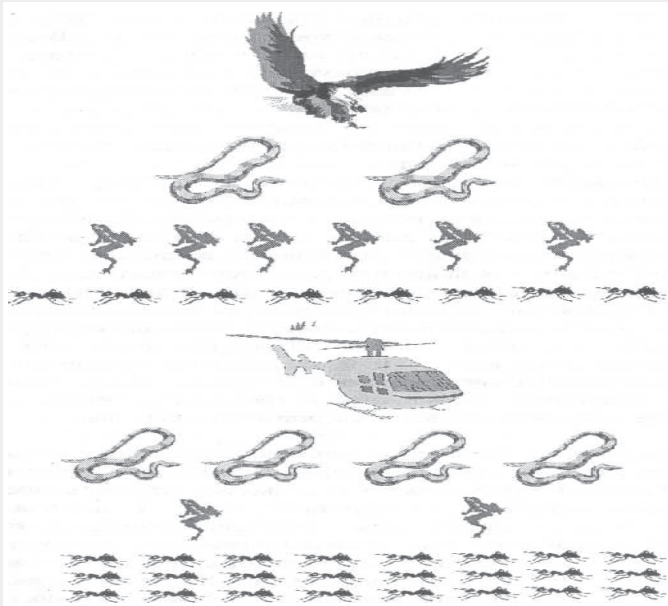


Рис. 20. Екологічна піраміда та її порушення внаслідок діяльності людини

12.5. Генетичні фактори продуктивності

В усіх живих організмів рівень біопродуктивності чітко зумовлений їхньою видовою належністю і, відповідно, контролюється генотипом.

Генотип визначає й іншу властивість живих організмів, що впливає на планетарне накопичення біомаси – це темпи розмноження. У результаті продукція, що створюється тим чи іншим живим організмом, залежить від двох факторів: *інтенсивності біопродукційного процесу та темпів розмноження*.

Обидва ці фактори мають генетичну зумовленість. У тих випадках, коли рівень *біопродукційного процесу* досить високий, він визначає запаси біомаси, які створюються даним організмом. Умікроскопічних організмів при їх мікроскопічних розмірах тіла накопичення біомаси цілком визначається темпами розмноження. Окремі акти розмноження бактерій та інших мікроорганізмів у сприятливих умовах можуть відбуватися кожні 30-60 хвилин. Теоретично це означає, що вже протягом кількох років мікроорганізми змогли б сформувати біомасу розміром із Земну кулю. Однак цього не спостерігається, оскільки швидкість розмноження мікроорганізмів обмежена великою кількістю зовнішніх факторів і, перш за все, нестачею органічної речовини для живлення.

Тому в сучасній біосфері Землі сумарна біомаса мікроорганізмів невелика. Найбільша її частина зосереджена у ґрунті. За підрахунками спеціалістів, ґрунт вміщує 0,3 кг/м³ бактерій, 0,3 кг/м³ грибків, 0,15 кг/м³ актиноміцетів.

У вищих зелених рослин продукування біомаси коливається в дуже широких межах. Це пов'язано з розмірами їхнього тіла. Особини ряски, наприклад, мають масу всього декілька грамів, а маса найбільшого на нашій планеті дерева секвої гігантської, що росте в Каліфорнії (США), становить приблизно 2 тис. тонн.

Дослідження селекціонерів та тисячолітній досвід ведення сільського господарства показали, що як у рослин, так і у тварин продукція дійсно контролюється генетично, але спеціального „гену врожайності” немає.

Здатність формування біомаси визначається генотипом в цілому. Незалежні набори генів впливають на морфологічні, фізіологічні та біохімічні параметри, що контролюють процес

накопичення біомаси. У світі живих істот діє загальна закономірність: чим більший розмір біомаси особини певного виду рослини чи тварини, тим нижчий темп розмноження та менша кількість потомства продукується за один акт репродукції. Природа немовби контролює продукційний процес, не допускаючи перевиробництва біомаси одного виду та сприяючи збільшенню біомаси різних видів.

ЦІКАВО

Окремі рослини та тварини відрізняються високим рівнем біопродукції. Найчастіше це пов'язано з явищем поліплоїдії – природного чи штучного збільшення числа хромосом у ядрах. Найбільш характерна вона для рослин, але спостерігається й у тварин, зокрема вона властива дощовим черв'якам. Особини поліплоїдів відрізняються великими розмірами і мають підвищену стійкість до несприятливих факторів. У сільському господарстві у зв'язку з цим ведеться цілеспрямована робота щодо створення поліплоїдів з максимальною продуктивністю.

Останнім часом вчені розвинених країн створили досить складну математичну модель керування і програмування врожаю, застосування якої майже сповна реалізує всі можливості фотосинтезу наземних рослин. Насамперед ідеться про застосування генної інженерії для конструювання нових рослин чи надання незвичних характеристик існуючим.

Значно більшого можна чекати від завершення розшифрування ланцюгів реакцій, які здійснюються під час фотосинтезу, від створення його штучного аналогу на основі синтезованого хлорофілу або ж за рахунок використання принципово інших молекул. Це дасть змогу перетворити пустелі або частину

поверхні тропічних морів у місця найвищої у світі біопродуктивності, продукцією якої буде їжа та інші необхідні людям органічні речовини.

§13. СТІЙКІСТЬ ЕКОСИСТЕМ

13.1. Динаміка екосистем

Будь-які структурні особливості екосистем є результатом їхнього динамічного розвитку. Дані геологів свідчать, що еволюція екосистем зумовлена ходом вікових змін самої геоморфологічної структури Землі та пов'язаними з ними змінами клімату. Відтворенням еволюції екосистем займається окрема наука палеоекологія. Велику допомогу у відтворенні шляхів еволюції екосистем пайнозоя надає вивчення залишків пилку, які добре збереглися в торфових та мулистих покладах. Метод побудови пилкових діаграм дозволив отримати багато важливих даних про екосистеми минулого.

Основними факторами динамічних змін екосистеми вважають зміну середовища, спадкову мінливість живих організмів, природний добір та наявність в екосистемах вільної енергії. Окремим випадком еволюції екосистем є **сукцесії** – послідовні зміни екосистем на одній і тій же території під впливом природних факторів або діяльності людини. Наприклад, оголення ґрунту після зсуву, свіжі річкові наноси, заростання ставків і перетворення їх на болото, а потім на суходольну екосистему та ін.

Процес розвитку і зміни екосистем на раніше не заселених ділянках, що починається з їх колонізації (поява лишайника на скелях і подальше руйнування гірської породи) називають **первинною сукцесією**.

Відновлення існуючої на певній території екосистеми, знищеної вогнем, вирубуванням лісу тощо (листяний ліс може відновитися лише через 170 років) – це **вторинна сукцесія**.

Угруповання живих організмів, які першими заселяють такі місця, називаються **піонерними**. У міру розвитку будь-яке піонерне угруповання рано чи пізно досягає стійкої рівноваги, коли воно вже не може замінюватися іншим угрупованням. Такі угруповання називаються **клімаксними**.

Концепція клімаксу належить американському екологу Фредеріку Клементсу (Frederic E. Clements, 1916), який стверджував, що в будь-якій кліматичній зоні існує лише один істинний клімакс – кінцевий стабільний стан рослинного угруповання, що перебуває в рівновазі з оточуючим середовищем. До його виникнення ведуть усі сукцесії незалежно від того, почався він із піщаної дюни, перелогу чи навіть заростаючого ставка, що поступово переходить в суходільне угруповання. А. Тенслі (Tansley Arthur G., 1939) та його однодумці заперечували Клементсу і говорили про поліклімакс, стверджуючи при цьому, що клімакс на даній ділянці може визначатися одним або декількома факторами: кліматом, ґрунтовими умовами, топографією, пожежею тощо. Тому в одній кліматичній зоні, без сумніву, може існувати цілий ряд специфічних типів клімаксів (наприклад, букові праліси чи чорновільшнякаи Закарпаття), склад яких є майже незмінним протягом тривалого часу (останніх двох століть).

Поява клімаксних біоценозів пояснюється передусім зміною пануючих популяцій на основі конкурентної взаємодії, що приводить до поступового формування стійкіших угруповань, які відповідають існуючим абіотичним умовам середовища, що утворилися за певний історичний період. Такий ланцюг біоценозів, які змінюють один одного, називають **сукцесійним рядом**, кожна тимчасова ланка якого являє собою певну стадію формування кінцевого клімаксного угруповання.

Ф. Клементс описує певні етапи в сукцесійному процесі екосистеми до досягнення її клімаксного стану, визначивши такі фази сукцесії:

- а) *фаза оголення* – поява незаселеного простору;
- б) *фаза міграції* – поява перших піонерних форм життя;
- в) *фаза ецезису* – заселення живими організмами простору і пристосування їх до конкретних умов середовища існування;
- г) *фаза змагання* – передбачає конкуренцію з витісненням деяких первинних поселенців;
- д) *фаза реакції* – зворотній вплив угруповання на біотоп і умови існування;
- е) *фаза стабілізації* – остання стадія сукцесії, в результаті якої формується клімаксний біоценоз.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Через тривалість сукцесійних процесів важко проводити спостереження на певній фіксованій території, оскільки один дослідник зможе описати тільки їх окремі фази, між якими він чи хтось інший пізніше віднаходить певні логічні послідовності. До цього часу опубліковано тільки описи початкових фаз сукцесій та спроби прогнозування їх подальшого ходу.

13.2. Загальні принципи стійкості екосистем

Стійкість екосистем забезпечується рівновагою популяцій, яких в екосистемі може бути сотні чи навіть тисячі. У свою чергу, рівновага залежить від співвідношення біотичного потенціалу („тиску життя”) і опору середовища, які діють у протилежних напрямках.

Біотичний потенціал – це сукупність чинників, які сприяють збільшенню чисельності популяції:

- ✓ велика швидкість розмноження;

- ✓ поповнення статевозрілого складу за рахунок потомства;
- ✓ достатня кількість їжі;
- ✓ здатність розширювати свій ареал;
- ✓ параметри довкілля в зоні оптимуму виду.

Опір середовища включає чинники, що протидіють збільшенню популяції, зокрема:

- ✓ нестача їжі;
- ✓ несприятливі умови життя;
- ✓ розмноження хижаків;
- ✓ поширення хвороботворних бактерій;
- ✓ низька репродуктивна здатність;
- ✓ сприйнятливність до хвороб і паразитів;
- ✓ нездатність адаптуватися до змін зовнішнього середовища;
- ✓ вузька екологічна ніша.

Оскільки кожна популяція прагне збільшити свою чисельність, вона використовує для цього два механізми: збільшує *біотичний потенціал* за рахунок міграцій, освоєння нових територій і зменшує *опір середовища*, виробляючи численні пристосування до несприятливих умов існування: освоєння нових видів їжі, посилення захисних функцій організму. Так, дуб захищається від гусені, синтезуючи таніни (гіркі на смак речовини, що викликають порушення функціонування травної системи гусені); сосни на Донеччині ростуть на вапнякових відслоненнях, віддаючи перевагу в центральній Україні піщаним ґрунтам.

Зменшення опору середовища може зумовити *популяційний вибух* – різке зростання чисельності окремої популяції (такі явища часто відбуваються з інтродукованими видами). З іншого боку, несприятливі умови навколишнього середовища спричиняють масову загибель певної популяції (розмноження хвороботворних організмів; отруєння пестицидами бджіл тощо).

Збільшення чисельності видів в екосистемі зменшує ймовірність таких ситуацій, тому різноманітність екосистем забезпечує їх стабільність.

Усі природні екосистеми, які сформувалися протягом тривалого історичного часу, характеризуються досить великою стійкістю. Для них існує ряд закономірностей формування і стійкого існування, що визначаються чотирма головними **екологічними принципами стійкості екосистем**.

Перший принцип був встановлений Августом Тінеманом (1939): *чим більш різноманітні умови біотопу, тим більше число видів у біоценозі*. Прикладом може стати тропічний ліс, де надзвичайно велика кількість екологічних ніш у різних ярусах рослинного покриву та ґрунту, різноманітність видів рослин і рівний без коливань клімат, призводять до того, що у цьому середовищі проживає найбільше число видів тварин. Тисячі видів комах одночасно живуть поряд і займають кожний свою екологічну нішу.

Другий принцип також сформульований Августом Тінеманом: *чим більше умови біотопу відхиляються від норми і від властивого організму оптимуму, тим бідніший видами і специфічніший біоценоз* (тим більша чисельність окремих видів).

„Відхилення від норми”, про які йде мова, характерні для тих біотопів, де умови клімату далекі від сприятливих: солоні озера, гарячі джерела, бідні на кисень глибини озер, а також полярні льодяні пустелі і високогір'я. Розповсюджується це і на території, які зруйновані людиною: забруднені водойми та індустріальні ландшафти. Вони зберегли незначні залишки вихідної фауни і флори.

Третій принцип сформулював Г. Франц: *чим більш плавно змінюються умови середовища у біотопі, чим більш тривалий час він залишається незмінним, чим багатший видами біоценоз, тим більш зрівноважена і стабільна екосистема*. Тому старі клімаксні угруповання найбільш різноманітні і стабільні. Коралові рифи, вологі тропічні ліси, печери, стародавні озера (оз. Байкал), є наочними прикладами прояву цього екологічного принципу.

Четвертий принцип сформульований Й. Ілліесом: *близькоспоріднені види, як правило, не зустрічаються одночасно в одному і тому ж місці, тобто не займають однакові екологічні*

ніші всередині біотопу, тому багаті видами роди, звичайно, представлені у біоценозах тільки яким-небудь одним видом. Цей принцип відбиває іншу аналогічну закономірність – кожний біотоп „насичений” обмеженою кількістю екологічних ніш, у кожній з яких може існувати тільки один вид з певним типом пристосування.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Основною умовою, яка визначає життєздатність окремого виду й екосистеми загалом, – це здатність підтримувати рівновагу між видами завдяки кругообігу біогенних хімічних елементів і стійкому потоку енергії³⁴. Циклічні явища, що супроводжувалися зміною кліматичних умов на Землі, зумовлювали зміни і в рослинному та тваринному світі³⁵. Назавжди зникли величезні травоїдні динозаври, мамонти, шаблезубі тигри, птеродактилі тощо. Вчені називають багато причин їх загибелі, серед яких – падіння великого метеорита, зміна клімату, знищення людиною.

Підсумовуючи даний розділ, необхідно звернути увагу, що цілісність і стійкість екосистем (за Б. Небелом) забезпечується трьома принципами:

I. *Кругообігом хімічних елементів* – одержання ресурсів і позбавлення відходів відбувається в рамках кругообігу всіх хімічних елементів.

II. *Використанням сонячної енергії* – екосистеми існують за рахунок сонячної енергії, яка не забруднює середовище,

³⁴ До найбільш стійких наземних екосистем помірних широт відносять широколистяні ліси, які складаються приблизно із 100 видів рослин і кількох тисяч видів тварин. Така екосистема може існувати віками при відносно невеликих коливаннях зовнішніх умов.

³⁵ За час існування біосфери (близько 1 млрд. років) у процесі біологічної еволюції через природний відбір пройшло у 1000 разів більше число видів (мікробів, грибів, рослин, тварин) ніж існує зараз (на даний час – близько 10^7 , число особин – близько 10^{27})

практично вічна і кількість якої відносно стала й надлишкова. Російському вченому, основоположнику геліобіології О. Чижевському належать такі слова: „Люди і всі тварі земні є „дітьми Сонця” – „творіннями” складного світового процесу, що має свою історію, в якому наше Сонце займає не випадкове, а закономірне місце разом з іншими генераторами космічних сил. Велич полярних сьйв, цвітіння троянди, творча робота, думка – все це прояв променистої енергії Сонця”.

III. *Передачею енергії ланцюгами живлення* – чим більша біомаса популяції, тим нижчим має бути трофічний рівень, який вона займає.

САМОСТІЙНІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ IV

Питання для роздумів, самоперевірки, повторення

1. Що вивчає синекологія? Назвіть напрями її розвитку.
2. Які типи живлення ви знаєте?
3. Поясніть схему процесів фотосинтезу та хемосинтезу.
4. Порівняйте особливості живлення рослинних, тваринних та мікроорганізмів.
5. Поясніть екологічне значення явища поліфагії.
6. Що таке біоценоз? Назвіть його основні структури.
7. Як називають однорідні угруповання рослин, які складаються з певних видів (сосновий ліс, ковиловий степ та ін.)?
8. Які види відносять до домінантних, субдомінантних та едифікаторів?
9. Назвіть основні компоненти трофічної структури біоценозу.
10. Що таке синузії, консорції, деми? Наведіть приклади.
11. Назвіть поняття про єдине ціле організмів та середовища, яке дав англійський вчений-еколог А. Тенслі у 1935 році.
12. Назвіть систему, яка має визначені межі території з однорідними фізичними умовами і населена взаємозв'язаними популяціями різних видів.
13. Поясніть, яке поняття ширше: біогеоценоз чи екосистема.
14. Як називають ділянку середовища, яку займає біоценоз?
15. Як поділяють ланцюги живлення? Вкажіть на особливості детритних ланцюгів живлення.
16. Назвіть основні компоненти екосистем.
17. Що таке біологічний кругообіг? Наведіть приклади кругообігу основних хімічних елементів.
18. Як графічно відображається закон піраміди енергії Ліндемана?

19. Які існують типи екологічних пірамід? Вкажіть їх особливості.
20. Зазначте різницю в поняттях „продукція” і „продуктивність”.
21. Що таке первинна і вторинна продуктивність?
22. Назвіть біомасу, створену за певний час гетеротрофними організмами.
23. Вкажіть на екологічне значення чистої продукції екосистеми.
24. Як можна оцінити здатність екосистеми до самоочищення?
25. Розкрити зміст поняття „екологічний резерв екосистеми”.
26. Які процеси зумовлюють відновлення рослинності після певних порушень? Дайте визначення.
27. Які негативні наслідки закону концентрування речовин у трофічних ланцюгах для природних екосистем? Приклади.
28. У чому проявляється позитивна дія явища концентрування ксенобіотиків в екосистемах? Наведіть приклади.
29. Як біотичний потенціал і опір середовища впливають на рівновагу екосистеми?
30. З'ясуйте зміст основних екологічних принципів стійкості екосистем.

Тестові завдання: вказати одну правильну відповідь

<p>Питання 1. Після пожежі велика ділянка, де росли ялини, заселяється трав'янистими рослинами. Далі на ній ростуть берези, осики, згодом – ялина і тільки через 100 років відновлюється ялиновий ліс. Як називають цей процес?</p>
--

<p>а. <i>Баланс народжуваності і загибелі</i></p>

<p>б. <i>Зміни біогеоценозу</i></p>

<p>в. <i>Географічна зональність біогеоценозів</i></p>
--

<p>г. <i>Біоценотичні кризи</i></p>

<p>д. <i>Сукцесії</i></p>

Питання 2. Що є провідним компонентом біоценозу?

а. Рослинність

б. Їжа

в. Баланс народжуваності і загибелі

г. Суцесії

Питання 3. Як називають однорідні угруповання рослин, які складаються з певних видів (сосновий ліс, ковиловий степ та ін.)?

а. Фітоценози

б. Едифікатори

в. Консорції

г. Деми

Питання 4. Яких живих організмів називають гетеротрофами?

а. Організми, які не здатні самостійно синтезувати органічну речовину, а отримують готові речовини під час живлення.

б. Зелені водорості

в. Організми, які здатні утворювати органічні речовини з не органічних

г. Всі квіткові рослини

д. Всі живі організми, які в екосистемах виступають в якості продуцентів.

Питання 5. Як називають види, без яких тривале існування біоценозу неможливе?

а. Субдомінанти

б. Едифікатори

в. Домінанти

г. Консорції

Питання 6. Назвіть сумарну масу особин різних видів у перерахунку на одиницю площі чи об'єму

а. Вторинна продуктивність

б. Первинна продуктивність

в. Продукція біоценозу

г. Біомаса біоценозу

д. Видова різноманітність

Питання 7. Які організми відносять до автотрофів?

а. Паразитичні організми

б. Організми, які не здатні самостійно синтезувати органічну речовину з неорганічної

в. Віруси та всі без виключення мікроорганізми

г. Хижаки, які екосистемах виступають в якості консументів II порядк

д. Організми, які здатні утворювати органічні речовини з неорганічних, використовуючи при цьому сонячну енергію або енергію хімічних реакцій

Питання 8. Назвіть сукупність популяцій різних видів, які входять до даного біоценозу

а. Первинна продуктивність

б. Продуктивність біоценозу

в. Біомаса біоценозу

г. Видова різноманітність

Питання 9. Назвіть масу органічної речовини, яка створюється за одиницю часу автотрофними організмами

а. Первинна продуктивність

б. Продуктивність біоценозу

в. Біомаса біоценозу

г. Первинна продукція

д. Вторинна продукція

Питання 10. Назвіть біомасу, створену за певний час гетеротрофними організмами

а. Вторинна продуктивність

б. Первинна продуктивність

в. Продуктивність біоценозу

г. Біомаса біоценозу

д. Вторинна продукція

Питання 11. Назвіть трофічний рівень сірої ворони, яка живиться зерном

а. Консументи I порядку.

б. Консументи III порядку.

в. Консументи II порядку.

г. Продуценти

Питання 12. Які з екологічних пірамід ніколи не бувають інвертованими (перевернутими)?

а. Піраміда чисельності

б. Піраміда біомаси

в. Піраміда енергії

г. Піраміди чисельності, біомаси, енергії

РОЗДІЛ V

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОСФЕРОЛОГІЇ

§14. СТАНОВЛЕННЯ БІОСФЕРИ ТА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКА

Термін **біосфера** (грец. *біос* – життя, *сфера* – оболонка) – оболонка Землі, в якій існує життя, вперше ввів у науковий вжиток австрійський геолог Едвард Зюсс у 1875 році. Цілісне вчення про біосферу було створено видатним вітчизняним вченим В.І. Вернадським, хоча на його думку, вперше до цієї ідеї в своїх працях наблизився французький біолог Ж.- Б. Ламарк.

Біосфера не утворює окремої оболонки Землі, а є частиною геологічних оболонок земної кулі, заселених живими організмами, займаючи верхню частину літосфери, всю гідросферу та нижній шар атмосфери (рис. 21).

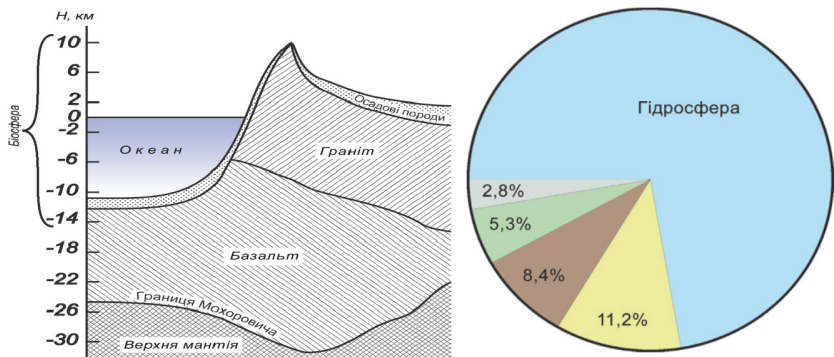


Рис. 21. Структура біосфери (за Білявським, 2004)

Таким чином, до складу біосфери входять частини геосфери, в яких умови придатні для існування живих організмів:

✓ нижня частина атмосфери – від поверхні Землі до озонової оболонки, тобто до висоти близько 25-30 км. Атмосфера складається із суміші газів (азот – 78 %, кисень – 21 %, аргон – 0,93 %, діоксид карбону – 0,03 %, інші гази – менше 0,005 % за об'ємом) та колоїдних домішок (пил, краплі води, кристали тощо);

✓ *вся гідросфера* – водна оболонка, яка покриває 2/3 поверхні планети (до найбільшої глибини – Маріанської впадини в Тихому океані – 11 030 м). Об'єм гідросфери складає близько $137 \cdot 10^7$ км³, а її хімічний склад наближається в середньому до складу морської води. Із загальної маси води близько 98 % знаходиться в океанах і морях, 2 % її загальної кількості складають прісні води;

✓ *верхня частина літосфери* – верхня “тверда” оболонка Землі, що включає земну кору та верхню частину мантії Землі, до глибини приблизно 5 км (де вода перебуває в рідкому стані). Товща ж літосфери складає 50-200 км, в тому числі земної кори – до 75 км на континентах і 10 км нижче дна океану.

14.1. Еволюція біосфери

Говорячи про еволюцію³⁶ живих організмів мають на увазі послідовні зміни в часі їхнього стану, які приводять до виникнення якихось нових властивостей. В основі біологічної еволюції лежать унікальні властивості самовідтворення живих організмів, що дає практично безмежні можливості перетворення живих систем у послідовності поколінь.

Біологічна еволюція – це незворотній і цілеспрямований історичний розвиток живої природи, при якому змінюється генетичний склад популяцій, формуються адаптаційні властивості, утворюються і вимирають види, трансформуються біогеоценози

³⁶ Термін „еволюція” (лат. *evolutio* – розгортання) в біологічних науках вперше використав швейцарський натураліст Ш. Бонне у 1762 році.

і біосфера в цілому³⁷. Результатом біологічної еволюції завжди є відповідність живої системи умовам її існування. Досягнення такої відповідності завжди пов'язане з переважаючим поширенням одних і загибеллю інших біологічних систем. Таким чином, *еволюційне вчення* вивчає загальні закономірності і руйнівні сили історичного розвитку життя. Основу сучасного еволюційного вчення складає теорія Чарльза Дарвіна про провідну роль природного добору як головного і єдиного спрямованого еволюційного фактора (тому досить часто еволюційне вчення в літературі називають дарвінізмом). Основу сучасної теорії еволюції складають два великих розділи *мікро-* і *макроеволюції*.

Еволюційні ідеї виникали ще за тисячі років до нашої ери, але лише у кінці 18 століття вони сформували еволюційне вчення. Вперше цілісну еволюційну концепцію розвитку природи створив Ж.Б. Ламарк (1809, праця „Філософія зоології”), а розкриття Чарльзом Дарвіним механізму природного добору призвело до формулювання у 1842-1859 рр. стрункої теорії еволюції (найвидатніша праця „Походження видів шляхом природного добору, або збереження порід у боротьбі за життя”). Вивчивши величезну кількість фактів з палеонтології, біогеографії, а також з практики рослинництва і тваринництва, Чарльз Дарвін дійшов висновку про існуючі в природі тенденції до розмноження кожного виду у геометричній прогресії. Це правило не має виключень ні в рослинному, ні в тваринному світі. Потенційно кожен вид здатний продукувати і продукує значно більше особин, ніж виживає їх до дорослого стану – молодих особин завжди більше ніж старих.

Геніальність Ч. Дарвіна полягала у тому, що співставляючи факти боротьби за існування і загальної мінливості ознак і властивостей він дійшов висновку про невідворотність у природі вибіркового знищення одних особин і розмноження інших. У процесі боротьби за існування незначні, на перший погляд,

³⁷ Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М.: Высшая школа, 2006. – 310 с.

відмінності дають певні переваги одним особинам і призводять до загибелі інших. В кінці кінців живими залишаються лише ті особини, які мають володіти певними, в конкретних умовах сприятливими властивостями, які відрізняють їх від інших особин цього виду. Невідворотним результатом відбору стає виникнення певних пристосувань і на їх основі – таксономічного і екологічного різноманіття.

Треба пам'ятати, що всі факти і приклади еволюційних змін, наведені Ч. Дарвіним, відносились до виникнення лише внутрішньовидових відмінностей, а не появи нових видів, не кажучи вже про нові таксони більш високого рівня. Тільки на початку ХХ століття теорія видоутворення набула певного завершення у зв'язку з розвитком порівняльної геноміки, коли Рональд Фішер сформулював і довів фундаментальну теорему природного добору.

***Теорема Фішера**³⁸ інтенсивність природного добору і, відповідно, швидкість еволюції, пропорційна величині генетичної дисперсії з пристосованості популяції, яка у свою чергу, пропорційна ефективному розміру популяції.*

Для розуміння закономірностей еволюції органічного світу на Землі дуже важливо визначити загальні особливості живих організмів і виділити основні рівні організації життя. Як це не дивно, але й досі немає загально визнаного визначення поняття життя і живий.

До фундаментальних властивостей організації життя на Землі відносять *дискретність і цілісність*. Живі об'єкти в природі відносно уособлені один від одного – особини, популяції, види. Будь-яка особина багатоклітинного організму складається з клітин, а клітина і одноклітинні організми – з певних органел. Органели складаються з дискретних, як правило високомоле-

³⁸ Генетична теорія природного добору (Fisher, 1930) – цитується за Е. Кунин. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. 1kunin_e_v_logika_sluchaya_o_prirode_i_proiskhozhdenii_biolog.pdf

кулярних, органічних речовин, які у свою чергу складаються з дискретних атомів і елементарних частинок (також дискретних). У той же час складна організація неможлива без взаємодії її частин і структур, тобто без цілісності. При цьому, цілісність біологічних об'єктів якісно відрізняється від цілісності неживого насамперед тим, що цілісність живого підтримується в процесі розвитку. Живі системи – це відкриті системи, які постійно обмінюються речовиною і енергією із зовнішнім середовищем. Для них характерна від'ємна ентропія (збільшення впорядкованості), в живому виявляється здатність до самоорганізації матерії.

Серед живих систем немає двох однакових особин, популяцій і видів. Такий унікальний прояв дискретності і цілісності живого базується на дивовижному явищі *коваріантної редуплікації*.

Коваріантна редуплікація або самовідтворення зі змінами, здійснюється на основі матричного принципу синтезу макромолекул – це єдина специфічна для життя властивість. У його основі лежить здатність до самовідтворення основних управляючих систем (ДНК, хромосом і генів).

Базові управляючі системи, молекули ДНК примітивних дискретних живих частинок (вірусів, бактерій) та статеві клітини багатоклітинних організмів, мають відносно високу стабільність. Це забезпечує можливість ідентичного самовідтворення (явище спадковості) – еволюційний процес неможливий без спадкової передачі властивостей в ряді поколінь. Таким чином, коваріантна редуплікація визначає можливість спадкової передачі дискретних відхилень від початкового стану, тобто мутацій.

Еволюція як умова існування життя. Відповідно до вчення В.І. Вернадського про біосферу, на земній поверхні немає хімічної сили „більш могутньої за своїми кінцевими наслідками, ніж живі організми, взяті в цілому”. В результаті діяльності живих організмів змінювались параметри всієї Землі, кожна попередня зміна виявлялась умовою для наступної і створювала все більш сприятливі умови для захоплення життям всієї планети і підпо-

рядкуванню процесів кругообігу речовин на Землі біологічним законам. Одним з найбільш значних глобальних результатів діяльності живих організмів є утворення ґрунтового покриву Землі (згідно вчення В.В. Докучаєва).

Основою геохімічної енергії життя є надлишкова чисельність потомства, яка є також механізмом, який невідворотно веде до природного відбору.

Прогресія розмноження має два важливі наслідки:

- зростає імовірність появи нових спадкових відхилень;
- створюється „тиск життя” і, як наслідок, виникає боротьба за існування – фундамент природного відбору.

Системність і організованість життя. При еволюційному підході виявляється тісний зв'язок і взаємообумовленість всіх рівнів організації живих організмів. Ще Ч. Дарвін чітко визначив вид як систему, а природний відбір – як фактор, який впроваджує організацію життя. Формування знань про біологічні системи здійснило потужний вплив на розвиток загальної теорії систем і кібернетики, яка у свою чергу, сприяла поглибленню уявлень про системну організацію життя.

Ч. Дарвіну належить також думка про те, що еволюція біосфери тісно пов'язана з еволюцією Землі, яку можна спрощено представити у вигляді п'яти послідовних еволюційних змін:

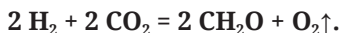
- 1) еволюція елементарних частинок;
- 2) еволюція хімічних елементів;
- 3) еволюція мінералів;
- 4) біологічна еволюція (від появи життя);
- 5) соціальна еволюція (поява і діяльність людини).

Еволюція елементарних частинок, з точки зору теорії Великого вибуху, починається 15-10 млрд. років тому – прискореним розширенням (упродовж 10-44 с) надгустої і надгарячої точки Всесвіту розміром 10-33 см (це і є „чорна діра”, маса якої може сягати маси мільйонів мас Сонця). Результатом вибуху було утворення елементарних частинок, яких відомо майже

300 (кварків, фотонів, нейтрино, лептонів, позитронів, протонів, нейтронів та ін.). за цією теорією весь Всесвіт утворився єдиним актом і поширюється до тепер. Про таке поширення свідчить зміщення спектральних ліній віддалених галактик у червону частину спектру („червоне зміщення” у реліктовому випромінюванні) – галактики віддаляються від Землі.

Еволюція хімічних елементів. Після певного зниження температури Всесвіту починається з'єднання протонів з нейтронами і утворенням ядер важких ізотопів водню і гелію (H, He). Термоядерні реакції утворення хімічних елементів з елементарних частин (протонів) відбуваються за надвисоких температур і тиску, які забезпечують зіткнення однойменно (позитивно) заряджених частинок, що відштовхуються. Такі реакції постійно відбуваються на Сонці і забезпечує енергією біосферу для термодинамічної підтримки гомеостазу життя. Сонце утворилося близько 5 млрд років тому; народження Землі знаходиться у межах 4,6 млрд років. Дослідження хімічного складу Сонця методами спектрального аналізу встановило, що майже 75 % маси займає H, близько 24 % He, решта 1-2 % припадає на інші елементи.

Еволюція мінералів – утворення і перетворення оксидів, солей та найрізноманітніших речовин (у тому числі органічних) ще неживої планети, що є предметом вивчення геохімії та геології. Гаряча планета могла синтезувати кисень задовго до появи фотосинтезу за схемою:



Біологічна еволюція і первісні екосистеми. Якщо притримуватися гіпотези, що життя з'явилося у вигляді первісної екосистеми з анаеробних гетеротрофів та хемосинтетиків у сприятливих для цього умовах на Землі. Процеси в біосфері породжуються й підтримуються як космічними факторами (сонячним світлом, променями від інших астрофізичних джерел), так і земними (гравітацією, енергією обертання Землі та її супутника Місяця,

магнітним полем планети, тепловим випромінюванням надр тощо). Еволюційні зміни відбуваються внаслідок довготривалої перебудови структурно-функціональної організації біосфери під впливом різних чинників, зокрема, кліматичних та ґрунтово-гідрологічних умов, землетрусів, міграції материків, напряму філогенезу фіто-, зоо-, міко- та мікроценозів і накопичення в екосистемах запасів вільної енергії. В останні декілька століть в процесах еволюції біосфери доцільно враховувати й антропогенний фактор.

Етапи виникнення життя. Існує чотири головних гіпотези появи життя на Землі: перша – *креаціонізм* (життя було створена Творцем); друга – гіпотеза *абіогенезу* або мимовільного зародження (самозародження; життя виникло неодноразово з неживої речовини); третя – гіпотеза *стаціонарного стану* (життя існувало завжди) і четверта гіпотеза – *панспермії* (життя занесене на Землю з інших планет). Остання гіпотеза не може розглядатись як самостійна, оскільки передбачає наявність життя за межами нашої планети.

Гіпотези абіогенезу знову розвинулись у ХХ столітті – їхня особливість полягає в тому, що, унеможливаючи самозародження життя в наш час, учені вважають можливим його виникнення з хімічних сполук у минулому. Вперше цю думку висловив Ж.-Б. Ламарк 1820 року; згодом її підтримали Е. Геккель та К.А. Тимірязев. Вони вважали, що в первісному океані внаслідок певних хімічних процесів виникли спочатку органічні речовини, а потім – доклітинні форми життя, які поступово перетворилися в клітинні організми.

Основні положення гіпотези Опаріна-Холдейна. У 20-х роках ХХ ст. російський біолог і біохімік О.І. Опарін та англійський біолог і генетик – Д. Холдейн сформулювали біохімічну гіпотезу походження життя. Згідно з цією гіпотезою біологічній еволюції передувала хімічна, що тривала кілька сотень мільйонів років аж до появи життя. Первинна атмосфера Землі

складалась із вуглекислого газу, метану, аміаку, оксидів сульфуру, сірководню та водяної пари. Озонового екрану в атмосфері ще не було і на поверхню Землі потрапляв потік космічного та ультрафіолетового сонячного випромінювань. Унаслідок підвищеної вулканічної активності у води Світового океану й атмосферу з надр Землі надходили різноманітні хімічні сполуки. Такі умови вчені неодноразово відтворювали в лабораторіях. У водному розчині солей, близьких за складом до морської води, в умовах опромінення та пропускання через них електричних розрядів (аналогія блискавки), утворювались деякі органічні сполуки – нуклеотиди, амінокислоти, пептидні ланцюги, моносахариди тощо. Вони утворювали скупчення, відокремлені від води поверхнею розділу – коацерватні краплі, здатні існувати досить тривалий час. Але нічого, що нагадувало б живих істот, за 70 років подібних експериментів одержати не вдалось.

Гіпотеза стаціонарного стану. Ознаки діяльності живих організмів вчені виявили в породах, вік яких становить близько 3,5 млрд. років. Науково-природничий принцип *актуалізму* стверджує, що походження життя пов'язане з послідовним та можливим перебігом певних хімічних реакцій на поверхні планети. Специфічні фізичні і хімічні властивості води (в'язкість, високий дипольний момент, висока теплоємність тощо) та Карбону (здатність до відновлення та до утворення лінійних з'єднань) обумовили те, що вони стали основою зародження життя. Згідно з теорією хімічної еволюції живого при наявності вільної енергії на Землі з молекул Гідрогену, Нітрогену і Карбону могли виникати спочатку прості молекули аміаку, метану і подібні ним, які в подальшому в первинному океані могли вступати в нові зв'язки між собою та з іншими речовинами. Особливо успішно повинні були б протікати процеси росту молекул при наявності групи $-N=C-N-$, яка має значні можливості до росту як за рахунок приєднання до

атома Карбону атому Оксигену³⁹, так і реагуванням з азотистою основою.

В атмосфері кисень міг накопичуватись при розкладанні води і водяної пари під дією ультрафіолетових променів Сонця. Для перетворення відновної атмосфери первинної Землі в окисну треба було не менше 1 млрд. років.

З накопиченням в атмосфері Землі кисню відновні з'єднання почали окислюватись. Ці речовини, вступаючи в реакції з аміаком та ціаністим воднем дали початок амінокислотам і з'єднанням типу аденіну. По ходу подібних реакцій води первинного океану насичувались різноманітними речовинами, утворюючи первинний бульйон (теорія Холдейна-Опаріна). При цьому важливо знати, що можливість синтезу амінокислот та інших високомолекулярних з'єднань з неорганічних елементів і з'єднань вже доведена експериментально⁴⁰. Ймовірно, що шляхом реакцій полімеризації з відносно простих молекул могли утворитись і більш складні молекули: білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти і їх похідні. Як елементарний об'єкт добіологічної еволюції виділяють фракцію макромолекул полінуклеотидів або поліпептидів, які мали властивість стійкості за рахунок процесів синтезу, каталізу тощо.

Утворення мембранної структури вважається найскладнішим етапом хімічної еволюції життя, оскільки жива істота, навіть сама примітивна одноклітинна, не могла сформуватись до виникнення мембранної структури і ферментів. Окрім того, біологічні мембрани, утворені агрегатами білків і ліпідів, мають здатність відокремлювати речовину від середовища і надавати сукупності молекул необхідну міцність. Комплекс послідовних змін і ускладнення структури молекул привели до виникнення циклічного обміну речовин, що є характерною ознакою живого (рис. 22).

³⁹ Є гіпотези, що Оксиген (кисень) міг утворитись при розкладанні силікатної матриці після ударів твердих космічних тіл по поверхні Землі (при цьому поверхня могла нагріватись до $T = 30000 \text{ }^\circ\text{K}$)

⁴⁰ Хоча отримати живу клітину з подібного бульйону поки що нікому не вдалось (прим. автор.).

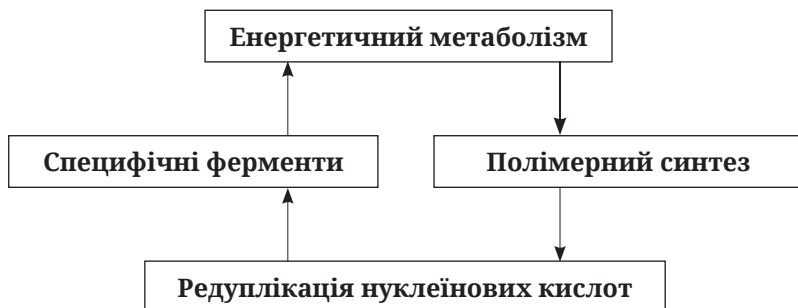


Рис. 22. Схема циклічного обміну речовин (Яблоков, 1989)

Між літосферою, гідросферою і атмосферою постійно відбувається речовинний і енергетичний взаємообмін, проявом якого є, зокрема, землетруси і виверження вулканів.

Біосфера є відкритою термодинамічною системою. Енергію вона отримує від Сонця і з надр Землі. Отримана ззовні енергія трансформується і розсіюється, підпорядковуючись двом фундаментальним законам термодинаміки.

Перший закон термодинаміки – це закон збереження енергії (енергія не може ні з'явитися, ні зникнути, вона лише трансформується з однієї форми в іншу).

Другий закон термодинаміки визначає напрям якісних змін енергії в процесі її трансформації з однієї форми в іншу – закон описує співвідношення корисної та марної роботи під час трансформацій форм енергії (рис. 23).

За другим законом термодинаміки, будь-яка робота супроводжується трансформацією високоякісної енергії в енергію нижчої та найнижчої якості – теплоту – і призводить до зростання ентропії (тобто збільшення в системі кількості енергії найнижчої якості, непридатної до корисної роботи, тобто розсіювання енергії). Максимальна ентропія характерна для деградованих екосистем, або таких, що перебувають на стадії вимирання.

Вважають, що еволюція біосфери відбувалась у напрямі зменшення ентропії. Чим довгими є ланцюги живлення, тим вони енергетично досконаліші.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

Явище еволюційного прогресу – поява і розвиток дедалі складніших і досконаліших форм молекулярних та біологічних структур має певну матеріальну природу і підкоряється загальним фізичним законам, зокрема термодинамічним. На основі кругообігу неорганічних речовин під впливом сонячної енергії виник біотичний кругообіг – цикл синтезу і розпаду органічних речовин. Еволюція біосфери тісно пов'язана з еволюцією Землі й умовно поділяється на кілька фаз: перша – формування ранньої земної кори, атмосфери і гідросфери, виникнення великого геологічного кругообігу речовини.

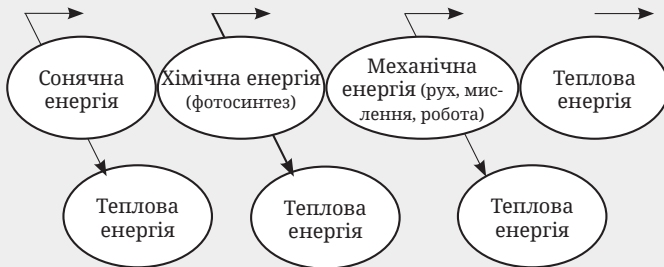


Рис. 23. Трансформація енергії з однієї форми в іншу за другим законом термодинаміки

Великий геологічний кругообіг – циркуляція атмосферних мас, води і розчинених у ній мінералів, переміщення продуктів гірських порід на поверхню планети і знову в її надра (близько 4,6 млрд. років тому); друга – хімічна еволюція (4,6–3,8 млрд. років тому) – розвиток процесів синтезу і накопичення простих органічних сполук, необхідних для існування життя (амінокислот, простих пептидів, азотистих

основ, простих вуглеводів); третя (3,8-1,2 млрд. років тому) – розвиток давньої біосфери, еволюція прокаріотичного світу, виникнення біологічного кругообігу речовин, формування кисневої атмосфери; четверта – виникнення еукаріотів, заселення суші, розвиток сучасного біорозмаїття світу (1,2 млрд. років тому – теперішній час). Перші живі організми були *анаеробами* (існували в безкисневому середовищі), потім з'явилися організми *автотрофи*, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних сполук (вуглекислого газу, води, нітрогеновмісних і фосфоровмісних сполук) за допомогою сонячної енергії (*фотосинтез*) або окисних реакцій (*хемосинтез*). Першими фотосинтезуючими організмами були бактерії (*ціанобактерії*), які дали початок розвитку процесів у трофічному ланцюгу „продуценти – консументи – редуценти” – ланцюгу живлення, який через неживу речовину – мінеральні сполуки – замкнувся в коло. З потоку речовин у цьому колі утворився *біологічний кругообіг речовин*. Геологічний і біологічний кругообіги речовин разом склали *біогеохімічний кругообіг*, з'єднавши в ньому величезну потужність геологічного і надзвичайну швидкість та активність біологічного. Біогеохімічний кругообіг формувався впродовж майже 1,5-2,0 млрд. років, потім стабілізувався і суттєво не змінювався останні 2 млрд. років. Фотосинтезуючі продуценти практично сформували на Землі кисневу атмосферу. Через живі організми за відносно короткий час проходить практично вся речовина біосфери⁴¹.

14.2. Жива речовина

Сукупність усіх живих організмів на планеті В.І. Вернадський назвав „живою речовиною”. Планету населяє приблизно 500 тис. видів рослин і 1,5 млн. видів тварин. Жива речовина – невід'ємна

⁴¹ Самі організми внаслідок інтенсивного обміну речовин за час існування біосфери тисячі разів пропустили кризь себе (свої клітини, тканини, органи, кров) всю земну атмосферу, весь об'єм світового океану, більшу частину ґрунтів, величезну кількість мінеральних і органічних речовин та енергії. Ці процеси і зумовили формування сучасного навколишнього природного середовища.

складова біосфери, що об'єднує всі її компоненти в єдине ціле, є її функцією і одночасно „однією з наймогутніших геохімічних сил на нашій планеті” (В. Вернадський).

Якщо зрівняти поверхню Землі і рівномірно розподілити на ній існуючі рослини, тварини і мікроорганізми, то вони утворять шар завтовшки всього 2 см.

Жива речовина розміщена на планеті дуже нерівномірно, що пов'язано з різними умовами її існування (у тропічних лісах – більше 500 т/га, на гірських луках – 125-150, а в пустелях – 2,5 т/га). Біомаса є кількісною оцінкою живої речовини. Розподіл біомаси живої речовини наведено в табл. 7.

Біомаса – це виражена в одиницях маси чи енергії кількість живої речовини тих чи інших організмів (популяцій, видів, окремих живих організмів, угруповань у цілому), яка припадає на одиницю площі чи об'єму. Світ живої природи надзвичайно різноманітний і його будову, зв'язки, функціонування розглядають на різних рівнях і з різних точок зору.

Таблиця 7

Жива речовина Землі

Компоненти живої речовини	Жива біомаса, кг	Суха біомаса, кг
Фітомаса наземна	$6,5 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{15}$
Фітопланктон	$0,9 \cdot 10^{12}$	$0,18 \cdot 10^{12}$
Зоомаса суші	$6,0 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{12}$
Зоопланктон	$21,2 \cdot 10^{12}$	$4,2 \cdot 10^{12}$
Зообентос	$6,6 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{12}$
Уся жива речовина суші	$6,5 \cdot 10^{15}$	$2,6 \cdot 10^{15}$
Уся жива речовина океану	$29,9 \cdot 10^{12}$	$7,05 \cdot 10^{12}$

Основна маса живої речовини зосереджена на межі літосфери і атмосфери та у верхній частині гідросфери. В біосфері виділяються зони „згущення життя” і „розрідження життя”.

Швидкість оновлення живої речовини біосфери залежить від:

- виду організму;

- чисельності потомства;
- кліматичних умов;
- опору середовища тощо.

З наближенням від полюсів до екватора спостерігається:

✓ *збільшення кількості видів*. Так, у вологих тропіках (гілеях) зосереджено понад 8000 видів рослин – половина всіх існуючих на планеті, 67 % всіх видів тварин, тоді як у тундрі менш ніж 500 видів рослин, а у хвойних і листяних лісах – до 2000 видів рослин;

✓ *збільшення біомаси*. Первинна продукція екосистем тундри складає в середньому 140 г сухої органічної речовини на 1 м² на рік, степових екосистем помірної зони – 5-30 т/га, з яких на зоомасу припадає 10–50 кг/га;

✓ *збільшення висоти дерев*. У тундрі це низькі, покручені, часто повзучі форми рослин – береза, верба; у тропіках висота досягає зростання потужності ґрунту.

Океан бідніший на життя – біомаса Світового океану в 1000 разів менша від біомаси суші. Загальна первинна продуктивність фітопланктону Світового океану становить 50 млрд. т на рік, тобто близько третини всієї первинної продукції біосфери. Найбільша щільність життя в океані, як і на суходолі, – в екваторіальній зоні, особливо в коралових рифах.

Таким чином, найважливішими рисами біосфери є існування в її межах живої речовини і постійний матеріально-енергетичний обмін з космосом. Наявність життя – це головне, чим відрізняється Земля від інших планет сонячної системи.

В.І. Вернадський зазначав, що на земній поверхні немає хімічної сили, могутнішої за своїм кінцевим результатом, ніж загалом взяті живі організми. Він відмічав чотири функції живої речовини: газові, концентраційні, окисно-відновні і біогеохімічні. В наш час розрізняють шість її основних функцій (табл. 8).

Газову функцію здійснюють зелені рослини, які в процесі фотосинтезу виділяють в атмосферу кисень, рослини і тварини,

Таблиця 8

Функції живої речовини

Функція	Зміст
Енергетична	Здійснення зв'язку біосферно-планетарних явищ з космічним випромінюванням, головним чином з космічною радіацією. В основі цієї функції лежить фотосинтетична діяльність зелених рослин.
Газова	Забезпечення міграції газів та їх перетворення і динаміку в біосфері.
Концентраційна	Пов'язана з накопиченням живими організмами біогенних елементів з навколишнього середовища; їх концентрація в живих організмах на три порядки більша, ніж у навколишньому середовищі.
Окисно-відновна	Полягає у хімічному перетворенні речовин, які містять атоми із змінним ступенем окиснення (сполуки заліза, марганцю тощо).
Деструктивна	Пов'язана з властивістю деяких організмів перетворювати (мінералізувати) мертву органічну речовину в неорганічні сполуки.
Інформаційна	Проявляється у можливості накопичення, збереження і передачі молекулярної (в т.ч. генетичної) і сигнальної (нервової та інтелектуальної) інформації, необхідної для існування різних видів.

які під час дихання виділяють вуглекислий газ, а також багато видів бактерій, які відновлюють азот із сполук, сірководень та ін.

Концентраційна функція пов'язана з нагромадженням у живій речовині хімічних елементів (Карбону, Гідрогену, Нітрогену, Оксигену, Кальцію, Калію, Силіцію, Фосфору, Магнію, Сульфору, Хлору, Натрію, Алюмінію, Феруму). Окремі види є специфічними концентраторами деяких елементів: багато морських водоростей – йоду, жовтець – літію, ряска – радію, діатомові водорості і злаки – силіцію, моллюски і ракоподібні – міді, хребетні – заліза, бактерії – мангану.

Окисно-відновна функція виявляється в окисненні речовин за участю організмів у ґрунтах і гідросфері, що супроводжується

утворенням солей, оксидів тощо, та відновленні деяких речовин (сірководень, сульфат заліза та ін.). З діяльністю бактерій пов'язане формування вапняків, бокситів, залізних, манганових і мідних руд тощо.

Біогеохімічна функція реалізується в процесі обміну речовин у живих організмах (живлення, дихання, виділення) і руйнування, деструкції відмерлих організмів та продуктів їхньої життєдіяльності. Ці процеси зумовлюють кругообіг речовин у природі, біогенну міграцію атомів.

У процесі фотосинтезу рослини засвоюють Карбон, який надходить до листків із повітря у вигляді оксиду Карбону (IV), й утворюють вуглеводи. При цьому відбувається перетворення сонячної енергії на хімічну. В цьому полягає космічна роль зелених рослин. У процесі дихання рослин частина вуглеводів окиснюється і оксид Карбону (IV) виділяється у повітря. Більша частина вуглеводів нагромаджується у рослинах, де утворюються також білки і жири.

14.3. Біогеохімічні кругообіги речовини в біосфері

Для постійного існування біосфери, для запобігання припинення розвитку життя на Землі у природі повинні постійно відбуватись безперервні процеси перетворення її живої речовини.

Біологічний кругообіг, як було розглянуто вже раніше (§11) – це багаторазова участь хімічних елементів у процесах, які протікають у біосфері. Причина кругообігу – обмеженість елементів, з яких будується тіло організмів.

У біосфері відбувається постійний кругообіг активних елементів, які переходять від організму до організму, у неживу природу і знову до організму. Елементи, які вивільняються мікроорганізмами при гнитті, надходять у ґрунт і атмосферу, знову включаються в кругообіг речовин біосфери, поглинаючись живими орга-

нізмами. Весь цей процес і буде біогенною міграцією атомів. Для біогенної міграції характерним є накопичення хімічних елементів у живих організмах, а також їх вивільнення у результаті розкладу мертвих організмів. Біогенна міграція викликається трьома процесами: обміном речовин в організмах; ростом; розмноженням.

Визначення біогенної міграції хімічних елементів, яка викликана силами життя, дав В.І. Вернадський (Закон біогенної міграції атомів). Біогенна міграція є частиною загальної міграції хімічних елементів біосфери. Головною геохімічною особливістю живої речовини є те, що вона пропускаючи через себе атоми хімічних елементів земної кори, гідросфери та атмосфери, здійснює у процесі життєдіяльності їх закономірну диференціацію. Завершуючи свій життєвий цикл, організми повертають природі все, що взяли в неї протягом життя.

В.І.Вернадський підрахував, що за час існування на Землі біосфери було створено $3,5 \cdot 10^{19}$ т біомаси, що майже в 2 рази перевищує масу всієї земної кори, яка становить $2,1 \cdot 10^{19}$ т. Робота, що виконується живою речовиною, за Вернадським, може бути оцінена за формулою:

$$E = PV^2 / 2,$$

де **P** – маса організмів,

V – швидкість розтікання біомаси (розмноження організмів).

ЦІКАВО

Жива речовина значно прискорила й змінила кругообіги різних речовин – води, кисню, азоту, вуглекислого газу тощо. Сучасний склад атмосфери створений завдяки діяльності живої речовини. Обмін повітря між всіма широтами й півкулями Землі відбувається в середньому за 2 роки. Активно переміщується течіями океанічна вода. Вся прісна вода стікає в океан за 14 діб, у льодовиках вода оновлюється за 15 000 років.

Жива речовина активно регулює геохімічну міграцію атомів. Завдяки йому зберігається стабільність біосфери і здійснюється еволюція як живих організмів, так і всієї біосфери в цілому. Цей особливий вид стану рівноваги, що постійно змінюється, В.І. Вернадський називав динамічною рівновагою (гомеостаз). Для геосфер, не охоплених життям, характерна стійка динамічна рівновага. В біосфері динамічна рівновага не стійка. Це означає, що біосфера розвивається в процесі діяльності, самовдосконалюється, все більш повно, активно і в більшому масштабі накопичує, трансформує енергію, ускладнює свою організацію, збагачується інформацією.

Великий (геологічний) кругообіг. Вивержені глибинні породи мантіїного походження (базальти) тектонічними процесами виводяться з надр Землі в біосферу. Під впливом сонячної енергії й живої речовини вони вивітрюються, переносяться, відкладаються, перетворюючись у різноманітні осадові породи, де запасається сонячна енергія (з вивержених мінералів утворюються глини, а вулканічні гази – CO, NH₃ – переходять у вугілля та нафту).

Потім за рахунок тектонічних рухів осадові породи потрапляють у зони високих тисків та температур (а також радіоактивного розпаду й гравітаційної диференціації) і перетворюються в гранітні породи з більш високим рівнем енергії, ніж в осадових порід. Кристалізовані вивержені породи знову за рахунок висхідних тектонічних рухів потрапляють у біосферу. Таким чином, цикл завершується, але вже на новому рівні, бо з вихідних базальтів утворилися вивержені породи гранітного складу.

В порівнянні з тривалістю існування біосфери людина існує надзвичайно короткий час. Проте, за цей короткий проміжок часу кругообіг речовин у біосфері змінився радикально. В.І. Вернадський підрахував, що в античні часи люди використовували лише 18 хімічних елементів, у XVIII ст. – 29, у XIX ст. – 62,

а тепер використовуються 89 елементів, що є в земній корі, крім того одержані такі, яких у природі зовсім немає (плутоній, технецій тощо).

14.4. Антропогенний вплив на біосферу

Взаємодіючи з природою, людина завжди прагнула поліпшити свій добробут, зробити життя більш комфортним і матеріально забезпеченим. Це обумовило збільшення виробництва необхідної продукції промисловості та сільського господарства і призвело до необмеженого використання різноманітних природних ресурсів. Виробництво продукції, як відомо, пов'язане з утворенням відходів, які, потрапляючи у навколишнє природне середовище, забруднюють його. Крім того, в процесі життєдіяльності людина цілеспрямовано перетворює природу, створюючи на місці природних систем техногенні об'єкти та території – міста та промислові комплекси, дороги та лінії електропередач, водосховища та кар'єри. Процес незворотного перетворення людиною частин біосфери на техногенні об'єкти та території дістав назву техногенезу, а частина біосфери, штучно перетворена в результаті життєдіяльності людини і заповнена її продуктами, називається техносферою (техногенно змінена оболонка біосфери).

Розвиток промислового виробництва, заснованого на використанні ресурсного і технологічного потенціалу, неминуче породжує дисгармонію у системі „природа – суспільство”. Свідченням цього є техногенна деградація природних ресурсів, ландшафтів та ін. Наприклад, в Україні відносно чисті території не перевищують 7 % від загальної площі, а на 68 % екологічна ситуація є несприятливою для здоров'я людини. У багатьох країнах території екологічних катастроф досягають 1 % загальних їх площ.

Грандіозні науково-технічні досягнення останніх десятиріч супроводжуються виникненням не менш значних глобальних

екологічних проблем: зникненням сотень біологічних видів, надмірним забрудненням природних вод, винищенням лісів, деградацією орних земель, появою озонових „дірок” і, врешті-решт, поглибленням соціально-економічної кризи, яка призводить до голоду сотні мільйонів людей.

Забруднення – це внесення в навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних хімічних і біологічних речовин, агентів або внесення в надлишковій кількості будь-яких уже відомих речовин, які чинять шкідливий вплив на природні екосистеми й людину і яких природне середовище не здатне позбутися самоочищенням. Речовини або явища, які спричиняють це забруднення, називаються *забрудниками (полутантами)*.

Розрізняють *природне* забруднення, яке виникає внаслідок потужних природних процесів (виверження вулканів, лісові пожежі, вивітрювання тощо) і *антропогенне*, яке є результатом діяльності людини й інколи за масштабами впливу переважає природне. Різні типи забруднення можна розділити на три основні групи: фізичне, хімічне та біологічне.

Фізичне забруднення пов'язане зі змінами фізичних, температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів зовнішнього середовища. Зокрема, тепловий вплив виявляється в погіршенні режиму земної поверхні та умов життя людей. Джерелами теплового забруднення в межах міських територій є: підземні газопроводи промислових підприємств (140-160 °С), теплотраси (50-150 °С), збірні колектори і комунікації (35-45 °С) тощо. До фізичного забруднення можна віднести вплив шуму й електромагнітне випромінювання, джерелами якого є високовольтні лінії електропередач, електропідстанції, антени радіо- і телекомунікаційних станцій, а останнім часом також деякі побутові електроприлади. Встановлено, що при тривалому впливі електромагнітних полів навіть у здорових людей спостерігається перевтома, головний біль, почуття апатії та ін.

Хімічне забруднення – збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також: проникнення (введення) в нього хімічних речовин, не притаманних йому або в концентраціях, котрі перевищують норму. Найнебезпечнішим для природних екосистем і людини є саме хімічне забруднення, яке отрує навколишнє середовище різними токсикантами (аерозолі, хімічні речовини, важкі метали, пестициди, пластмаси, детергенти та ін.). За підрахунками спеціалістів, у наш час у природному середовищі міститься 7-8,6 млн. хімічних речовин, причому їхня кількість щорічно поповнюється ще на 250 тис. нових сполук. Багато хімічних речовин мають канцерогенні та мутагенні властивості, серед яких особливо небезпечними є 200 (список складений експертами ЮНЕСКО): бензол, азбест, бензапирен, пестициди, важкі метали (особливо ртуть, свинець, кадмій), харчові добавки і різноманітні фарбники.

Біологічне забруднення – випадкове або пов'язане з діяльністю людини проникнення в екосистеми не притаманних їм рослин, тварин і мікроорганізмів (бактеріологічне); часто справляє негативний вплив при масовому розмноженні нових видів.

Особливо забруднюють середовище підприємства, які виробляють антибіотики, ферменти, вакцини, сироватки, кормовий білок, біоконцентрати та ін., тобто підприємства промислового біосинтезу, в викидах якого наявні живі клітини мікроорганізмів. До біологічного забруднення можна віднести надмірну експансію живих організмів. Так, у містах наявність звалищ, несвоєчасне прибирання побутових відходів призвели до значного збільшення синантропних тварин: шурів, комах, голубів, ворон та ін.

Забруднювачі бувають також *первинні* (безпосередньо з джерела забруднення) і *вторинні* (внаслідок розкладу первинних або хімічних реакцій). Ще виділяють забруднювачі стійкі (ті, що не розкладаються), які акумулюються в трофічних ланцюгах.

Проникнення різних забруднювачів у природне середовище може мати небажані наслідки: завдання шкоди рослинності і

тваринному світу (зниження продуктивності лісів і культурних рослин, вимирання тварин); порушення стійкості природних біогеоценозів; втручання в біогеохімічні цикли тощо.

Багато забруднювачів (пестициди, поліхлордифеніли, пластмаси) у край повільно розкладаються в природних умовах, а токсичні сполуки (ртуть, свинець) взагалі не знешкоджуються.

Якщо до середини ХХ ст. домінували натуральні продукти (бавовна, шовк, вовна, каучук, мило, їжа практично без добавок), то в наш час у промислово розвинутих країнах вони замінені синтетичними, які важко розкладаються і забруднюють навколишнє середовище. Це насамперед синтетичне волокно, миючі засоби (детергенти, відбілювачі), їжа з добавками, мінеральні добрива, синтетичний каучук та ін.

Як вже було відмічено раніше, центральне місце в біосфері посідають біогеохімічні цикли: вуглецю, води, азоту та фосфору. Ці цикли найбільшою мірою зазнали трансформації при формуванні техносфери та агросфери, і вивчення їх стало важливим завданням екології.

Так біогеохімічний цикл вуглецю базується на атмосферному депо, яке утримує його в кількості, приблизно рівній 700 млрд. тонн у формі оксиду Карбону (II). Цей цикл ініціюється фотосинтезом і диханням. Обидва процеси йдуть так інтенсивно, що у рослин і тварин на долю карбону припадає до 40 – 50 % загальної маси. Залишки відмерлих рослин і тварин сприяють утворенню гумусу. Аналогічно утворюється й торф. У цих двох формах вміщується до 99 % карбону нашої планети. Швидкість кругообігу цього елемента обчислюється в середньому від 300 до 1000 років.

Утворення техносфери суттєво змінило цей цикл. Зараз антропогенне надходження вуглекислого газу в атмосферу перевищує природне на 6 – 10 %. Це пов'язано, головним чином, з вирубуванням лісів та заміною їх менш продуктивними агроценозами.

Певний внесок робить і промисловість та всі виробництва, які пов'язані зі спалюванням палива. Найбільший вплив на стан

атмосфери чинять теплоенергетика, металургійна промисловість, підприємства хімічної та будівельної індустрії, автотранспорт та ін. (табл. 9). У повітря надходять пил, важкі метали, вуглеводні, оксиди карбону, сульфурнітрогену та інші речовини, зокрема в усіх термічних процесах, що стосується органічних сполук, також утворюється надзвичайно небезпечний для живих організмів і здоров'я людини бенз(а)пірен. Найбільший вплив на хімічний склад атмосферного повітря справляє спалювання кам'яного вугілля; останнім часом частка його як джерела енергії зменшилася за рахунок використання нафти й природного газу. Однак, оскільки їх запаси значно менші, ніж кам'яного вугілля, у світі знову з'являється тенденція збільшення використання вугілля як паливного ресурсу, що негативно вплине на стан довкілля за існуючих технологій.

Таблиця 9

Внесок різних галузей промисловості в забруднення

Галузь промисловості	Внесок у забруднення, %	Галузь промисловості	Внесок у забруднення, %
Теплова енергетика	25,7	Кольорова металургія	11,1
Чорна металургія	23,4	Гірничодобувна	7,1
Нафтовидобувна і нафтохімічна	13,7	Підприємства будівництва	3,4
Транспорт	11,6	Машинобудування	2,8
Інші галузі			1,2

Серед усіх видів *транспорту* (автомобільний, залізничний, водний і повітряний) автомобільний займає абсолютне перше місце по кількості і різноманітності забруднюючих речовин, а також по незворотнім змінам ландшафтів і іншим негативним впливам на довкілля. В містах з розвинутою промисловістю

внесок автотранспорту у забруднення довкілля становить до 80 % всіх забруднень.

Проблеми, пов'язані з гідросферою, зумовлені браком прісної води для потреб людства, її забрудненням, порушенням природних кругообігів та зменшенням продуктивності водних екосистем.

Насамперед, вода – найголовніша мінеральна сировина, якої людство витрачає в 1000 разів більше, ніж вугілля чи нафти. Крім того, використовуючи чисту воду для власних потреб, людина повертає в природу меншу її кількість і значно гіршої якості, найчастіше у вигляді стічних вод. Оскільки вода здійснює взаємозв'язки в екосистемах, то порушення будь-якого ланцюга впливає як на кількість так і на якість води. Зокрема, в разі надходження значних кількостей біогенних елементів, особливо азоту і фосфоромістких сполук, у відкритих водоймах влітку (при температурі води вище 20°C) створюються сприятливі умови для швидкого розмноження синьо-зелених водоростей („цвітіння” води) і погіршення стану водойми.

Нестача питної води в певних регіонах пов'язана з нерівномірним розміщенням поверхневого стоку. Крім того, 96 % прісних вод знаходиться в льодових щитах Антарктиди, Гренландії, айсбергах, льодовиках, у зоні вічної мерзлоти.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), багато захворювань пов'язані зі споживанням води низької якості (кожен шостий житель Землі використовує для питних потреб воду, яка не відповідає санітарним вимогам).

Екологічні проблеми України, пов'язані з забрудненням води, такі:

- ✓ нестача води в певних місцевостях;
- ✓ незадовільна якість води для питних потреб;
- ✓ забруднення вод Чорного і Азовського морів та зменшення їх біорізноманіття;
- ✓ забруднення річок та водосховищ ксенобіотиками;
- ✓ підтоплення територій поблизу водосховищ;

✓ „цвітіння” стоячих вод водосховищ та зникнення малих річок;

✓ зсуви і селі в гірських районах тощо.

Надзвичайно складною проблемою України є також забруднення підземних вод сільськогосподарськими поверхневими та стоками зі звалищ побутових і промислових відходів, внаслідок втрат нафти і нафтопродуктів під час добування, транспортування чи переробки, при будівництві метро, бурінні свердловин тощо. Всі ці забруднювачі (пестициди, нітрати, важкі метали, вуглеводні) можуть потрапляти і потрапляють з питними водами і в організм людини, спричиняючи отруєння чи захворювання.

Антропогенне природокористування вносить у природні біогеохімічні цикли чимало перешкод. Це, по суті, привело до появи нового антропогенного типу кругообігу хімічних елементів.

Таким чином, жива речовина біосфери (вся сукупність організмів нашої планети) забезпечує постійний кругообіг речовин та потік енергії, здійснює значну біогеохімічну роботу з перетворення оболонок Землі.

За період історичного розвитку Землі сформувалися такі оболонки: літосфера, гідросфера та атмосфера. Частина цих оболонок, яка населена живими організмами і називається біосферою, представляє собою сукупність усіх біогеоценозів Землі, єдину екосистему вищого порядку про що буде йти мова в наступному параграфі.

§15. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Біосфера, як глобальна екосистема, складається з *наземних і водних* екосистем. Кожний тип екосистем характеризується певними угрупованнями рослин і тварин, що адаптуються до умов навколишнього середовища.

Гетерогенність. Всі екосистеми світу, завдяки впливу на них різноманітних екологічних умов, відрізняються значною неоднорідністю. Незважаючи на існуючі класифікації, що включають від 10 до 32 типів, вирізняють:

- Наземні екосистеми (полярні пустелі, тундра, тайга, змішані та листяні ліси помірної зони, степи та лісостепи помірної зони, тропічні степи і савани, пустелі, чапараль і жорстколистяні ліси, тропічні і екваторіальні дощові ліси, тропічне рідколісся „скреб“).

- Прісноводні екосистеми: стоячі водойми (озера, стави, водосховища) або лентичні („*lenis*” лат. – спокійний) та текучі (джерела, потоки, ріки) – („*lotus*” лат. – омиваючий).

- Заболочені ділянки з рівнем води, що коливається за сезонами чи роками – марші і болота.

- Морські екосистеми (океанічні області, континентальний шельф, область апвеллінгу, лимани).

Класифікація екосистем. В екології екосистеми класифікують у відповідності до схожості їх структури. У залежності від розміру, розрізняють:

а) Мікроекосистеми (озеро, калюжа, город).

б) Мезоекосистеми (луки, став, ліс, болото).

в) Макроекосистеми (тайга, тундра, степ тощо), які ще називають *біомами*.

За джерелами енергії екосистеми поділяють на 4 групи:

- Природні, які функціонують завдяки Сонцю.

- Природні, які окрім Сонця використовують інші природні джерела енергії.

- Природні, які функціонують завдяки Сонцю та діяльності людини.

- Індустріально-міські, які функціонують завдяки штучним джерелам енергії.

На основі кількості утворюваної первинної продукції Р.Х. Уіттекер (1975) поділяє природні екосистеми на наступні 4 класи:

- *Екосистеми найвищої біологічної продуктивності* – понад 2 кг/м² в рік. До них відносяться зарості очерету в дельтах Дунаю, Волги, Дону тощо. За продуктивністю вони близькі до екосистем тропічних лісів і коралових рифів.

- *Екосистеми високої біологічної продуктивності* – 1-2 кг/м² в рік. Це липово-дубові ліси, прибережні чагарники очерету на озері, посіви кукурудзи і багатолітніх трав при зрошуванні.

- *Екосистеми помірної біологічної продуктивності* – 0,25-1 кг/м² в рік. Таку продуктивність мають багато рослин: соснові і березові ліси, сінокісні луки і степи, асоціації водоростей у Японському морі.

- *Екосистеми низької біологічної продуктивності* – менше 0,25 кг/м² в рік. Це арктичні пустелі островів Північного Льодовитого океану, тундри, напівпустелі.

Середня продуктивність екосистем Землі не перевищує 0,3 кг/м² за рік, тобто за площею переважають низькопродуктивні екосистеми пустель і океанів.

При характеристиці основних природних екосистем світу їх прийнято поділяти на екосистеми суходолу та водні екосистеми. В залежності від типу рослинності (екосистеми суходолу) та властивостей води (водні екосистеми) екосистеми світу поділяють на кілька типів. *Різноманіття екосистем на нашій планеті є важливим фактором загальної стійкості біосфери!*

Між біомами або їх різко відмінними частинами (тундра – тайга, ліс – луки, м'який – твердий ґрунти морських біоценозів тощо) виділяють перехідні території, які називаються „*екотонами*”. Вони можуть мати значну лінійну протяжність, але завжди будуть вузькими від сусідніх угруповань. Наприклад, ширина лісостепу, який є переходом між лісовою та степовою зонами, в Україні по Дніпру становить ~310 км, а по меридіану (30° сх. д) ~320 км. Ширина лісотундри у Північній Америці та Євразії коливається від 30 до 300 км. Екотонам властивий високий рівень біологічної різноманітності, особливо коли вони

займають значні площі і є достатньо стабільними упродовж тривалих проміжків часу, що пояснюють явищем, так званого, *екотонного або краєвого ефекту* – підвищенням видової насиченості внаслідок перекривання екологічних амплітуд видів різних екологічних і систематичних груп. Прояв краєвого ефекту властивий і узлісню. Найвиразніше екотонний ефект виявляється між екологічно контрастними оселищами – що більш відмінні умови оселищ фітоценозів, то відмінніші композиції видів екотону. Але збільшення щільності населення організмів в екотоні – явище не універсальне. У водних екосистемах було виявлено цікаву закономірність, яку називають „Ефектом Ремане” (1934) або „Законом мінімуму видів”. Це парадокс солонуватих вод, згідно якого: *мінімальна кількість морських і прісноводних видів тварин спостерігається у солонуватій (близької до прісної води) зоні за солоності на рівні 5-8 ‰*).

15.1. Характеристика природних екосистем суходолу

Загальна площа поверхні Землі складає -510 млн. км², з них до 71 % або 360 млн. км – це Світовий океан, і тільки біля 150 млн. км – суходіл. Сонячна енергія по поверхні Землі розподіляється нерівномірно. Її розподіл визначає географічне положення, висота над рівнем моря тощо. Поверхня суходолу припадає переважно на пустелі, гори, ліси, савани і рідколісся, льодовики. Характеристику основних біомів вивчають *синекологія* та *біогеографія*.

Тундра. Тундрові або субарктичні екосистеми розташовані циркумполярно в Америці та Євразії – від узбережжя Північного Льодовитого океану до Полярного кола (66°30' пів. широти). В день зимового сонцестояння (21-22 грудня) сонце не з'являється взагалі, а 21-22 червня – не заходить. Характерні: полярна ніч (від 23 діб на 68° до 176 – на полюсі) і полярний день (від 40 діб на 68° до 189 – на полюсі).

Характерні наступні особливості екологічних умов: а) низька теплозабезпеченість (сонячна радіація становить 70-80 ккал/см² на рік) і великі втрати тепла на альbedo; б) високий широтний градієнт температури найтеплішого місяця – при переміщенні з півдня на північ на 25-50 км температура повітря скорочується на 1°, що в 20 разів більше, ніж у нас; в) мало опадів (300-400 мм/рік); г) багато ультрафіолету – мало бактерій, повільно процеси розкладання органіки; д) сильне охолодження Північного Льодовитого океану – літні ізотерми співпадають з обрисами узбережжя. Внаслідок суворого клімату, спостерігається низька активність геохімічних і ґрунтоутворювальних процесів – мало Са, К, Na, але багато Fe і Al. Ґрунти кислі, що посилюється на півдні. Дуже повільно утворюється торф, шари якого мають незначну потужність: 10-40 см в арктичній тундрі, 20-80 – в типовій і 1-5 м – в реліктових торфових пагорбах.

Розрізняють: північну (арктичну), типову та південну тундри, які відрізняються теплозабезпеченням. У північних тундрах середня температура найтеплішого місяця – 3-6°C, в типових – 7-10, в південних – 10-12 °C. Взимку, по мірі віддалення від океану, температура зменшується: в Салехарді – мінус 23,7°C, в Ігарці – 28,6; в Хатанзі – 33,8 °C. Абсолютний мінімум на заході становить мінус 54 °C, на сході – 64 °C, а абсолютний максимум, відповідно, плюс 31°C та 34°C. Наслідком низької температури є мале випаровування та значна кількість боліт, що підсилено вічною мерзлотою (потужність 3-4 м). Остання перешкоджає фільтрації, обмежує живлення водойм, гальмує біохімічні процеси. Кількість днів зі снігом в приатлантичних тундрах становить біля 200, в континентальних – понад 260. На ділянках без снігу формуються морозобійні тріщини глибиною 3-5 м.

Із продуцентів характерні низькорослі чагарники – полярна берізка, верби (арктична, полярна, шерстиста, повзуча, срібляста, філіколиста, деревцевидна та ін.) і чагарнички (голубика, брусниця, чорниця, багно, морошка, вороніка), деякі види злаків,

осоки, пушиці, багато мохів, лишайників. Вздовж морозовідбійних тріщин – мохи і гідрофітні трави, на пагорбах – чагарники. Зустрічаються однорідні осокові та пушицьо-гіпнові болота. Запаси фітомаси в арктичних тундрах – 50 ц/га, в південних – 200-300 (підземна маса переважає).

На півдні чагарникова тундра схожа на лісотундру – з'являється вереск, який біля моря утворює купини, та багато невисоких дерев. В залежності від мезорельєфу, формуються різні фітоценози: на кам'янистих добре дренованих ділянках – кам'яноломка, тундровий мятлик, накипні лишайники, дріада (куріп'яча трава); в вологих низинах – пушиця, мохи (~1 тис. видів) та 100-300 видів цвіткових рослин. На заході Євразії (Скандинавський та Кольський п-ови) переважають ягельні тундри з різних видів кладонії, на сході – з алекторії та центрарії.

Серед консументів та редуцентів досить чисельними є гриби (домінують навіть у порівнянні з бактеріями). Суворі умови, нестача кормів і схованок сприяють розвитку специфічних адаптації у тварин (міграції, сплячка). За біомасою у тундрі переважають безхребетні (личинки комарів, довгоножок, товкунців та справжніх комарів, вільноживучі нематоди – 0,5-5 млн. екз./м², є 1 вид дощових червів – ейзенія Норденшельда). Основними користувачами фітомаси є північний олень (карибу), лемінги (норвезький, обський, сибірський копитний); в Америці – кільчастий лемінг, лемінгова миша. В роки піків, які бувають через 2-3 і 11 років, маса лемінгів сягає 30-40 кг/га. Оскільки кожен з них з'їдає 40-50 кг фітомаси за рік, ці гризуни мають дуже важливе біоценотичне значення. Північний олень, який мешкає в тундрах Данії (Гренландія), Ісландії, Норвегії, Швеції, Росії, Канади та США, є найбільш чисельним видом копитних на Землі. Його поголів'я у 80-роки ХХ ст. нараховувало близько 5 млн. особин. Локально мешкають: довгохвостий ховрах та камчатський байбак, вівцебик та інші. У тундрі влітку мешкає багато птахів (пуночка, гуси, кулики, сова полярна, зимняк, сапсан). Хоча в

пікові роки їх маса складає 160-300 кг/га, у тундрах досить часто спостерігається їх загибель у голодні роки.

Сучасне господарське використання тундри пов'язане з видобутком корисних копалин, серед яких домінують вуглеводні, а також їх транспортуванням за допомогою нафто- та газогонів. Їх будівництво та експлуатація відбуваються у надсуворих екологічних умовах, наслідком чого є часті аварії, які руйнують тундрові БГЦ. Суттєвий негативний вплив на тундрові екосистеми спричиняє російський полігон на о-вах Нова Земля, де було здійснено понад 100 ядерних вибухи.

Тайга. Тайгові ландшафти (тюрк. “тайга” – хвойний ліс) в Євразії розташовані суцільною смугою між 50-70° пів. широти і сягають біля 2 тис. км за широтою. В Північній Америці південна межа сягає 47° пів. широти, а ширина – 1,5 тис. км. Займає майже 10 % суші. Єдність тайгових екосистем визначається рівнем теплозабезпеченості: а) сонячна радіація становить 70-100 ккал/см² на рік; б) річний баланс – 25-30 ккал/см² в північній підзоні і 30-40 – в південній; в) температура повітря найтеплішого місяця в південній підзоні становить 17-19 °С, а в північній – 12-14 °С; г) мала тривалість безморозного періоду – від 120-150 діб на півдні до 70-80 на півночі.

Взимку температура повітря дуже відрізняється за довготою – в скандинавських приатлантичних районах у січні вона становить мінус 3-4°С, а в східносибірських – до мінус 50°С. За рахунок посилення суворості зими зростає континентальність клімату: середня річна амплітуда температура повітря в приатлантичній тайзі дорівнює 18°, в східносибірській – 25-35°, в західносибірській – 45-65°, а у далекосхідній – 34-45 °С. В рівнинній тайзі Північної Америки клімат дещо м'якший. Хоча температура повітря найтеплішого місяця на півдні становить 16-18°, а на півночі – 12-14°С, тривалість безморозного періоду тут більша: на півдні – понад 100, а на півночі – до 60 діб. У зв'язку з близькістю океанів, на тихоокеанічному узбережжі зимова

температура повітря не буває нижчою мінус 10° (місцями 0°), а на атлантичному – мінус 4-5 °С. Пересічна кількість опадів становить 600-700 мм/рік і дуже залежить від циклонів. Тому різко змінюється за довготою – зокрема, у тайзі Східного Сибіру – 400, а у внутрішніх котловинах – менш, ніж 200 мм. Сніг лежить понад 200, хоча на південному заході – 120-150 діб. У типовій тайзі випаровується 50-70 % опадів, що обумовлює активний стік, а у низинах – заболочування. В Північній Америці найбільш зволеними є надвітрені західні схили Кордильєр (2000-4000 мм) та атлантичний сектор (1200-1600 мм опадів). По всій території Східного Сибіру та на півночі Північної Америки поширена вічна мерзлота, яка в інших тайгових локалітетах відсутня.

Тайга утворює циркумбореальну зону в Америці та Євразії. Відповідно виділяють: північну, середню і південну підзони, а також європейську приатлантичну, східноєвропейську, західносибірську, східносибірську та далекосхідну тайгу. В європейсько-сибірському секторі корінні біоценози представлені темно-хвойними та темно-хвойно-дрібнолистими лісами. На заході домінує європейська ялина, на сході – сибірська ялина з домішком смереки та сибірської сосни. Скрізь трапляється 1-2 види берези, осика, на пісках і скелях – сосна звичайна. На значних просторах Сибіру домінують сибірська та даурська модрини, які пристосовані до континентального клімату з сувою зимою та мерзлотою. Модринові ліси добре освітлені, тому вони мають гарний підлісок із кущових верб, рододендрону, кедрового стланника тощо, а у чагарниково-трав'яному ярусі поширені: багно, брусниця, голубика, толокнянка. На Далекому Сході до них приєднуються аянська ялина і корейська сосна, яку разом з сибірською неправильно називають кедром. Долинами річок, окрім типової тайги, поширені ольси, ліси із духм'яної тополі, різних видів верби та ін.

В Америці головними деревними породами є біла ялина і модрина-тамарак, на пісках – сосни банксова, червона та біла,

ялина чорна тощо. На вирубках та згарищах поширені тополя бальзамічна, осика та береза біла, а у південній тайзі – великий домішок цукрового клена, американських в'яза, липи та чорного ясеня.

У тайзі зафіксована проста і чітка просторова структура, яка складається з деревостану, підліску, чагарниково-трав'яного та мохово-лишайникового ярусів. Зазвичай, кількість видів під шатром лісу значно перевищує таке в деревостані. Але часто, завдяки аелопатії, у темно-хвойній тайзі підлісок взагалі відсутній. Лише в південній тайзі з'являється жимолость, шипшина, горобина, в Європі – клен гостролистий, дуб звичайний, ліщина, в'яз, а в північній тайзі – завжди береза. В чагарниково-трав'яному ярусі, який досить виразний, характерні: кислиця, плаун, голубика, багно, чорниця тощо.

В мохово-лишайниковому ярусі типовими є зелені мохи (рис. 24: А), а на болотах – сфагнум. У світовій флорі налічується 57 видів сфагнуму, у канадській тайзі – 17, а у європейській (Великобританія) – лише 6. У повітряно-сухому стані сфагнові мохи здатні поглинути води приблизно в 20 разів більше власної маси, що в 4 рази перевершує можливості гігроскопічної вати (звідси і назва моху, „сфагнос” по-грецьки – губка). Сфагнум дуже стійкий до розкладання, висушений довго зберігається, але він продукує різні кислоти, що унеможливує життя багатьох інших рослин. Після припинення життя формуються сфагнові подушки, які у північній тайзі створюють своєрідний мікрорельєф.

У тайзі часто бувають пожежі, які дають початок пірогенним сукцесіям (рис. 24: Б). Досить показовою є сосна банксова, насіння якої зберігає схожість 15-18 років. Ця рослина дуже залежить від лісових пожеж, які сприяють розплавленню рослинних смол та розкриттю шишок.

В хвойних лісах з потужним моховим шаром – часто заболочуваність. Болотні ґрунти зазвичай формуються в умовах тривалого або постійного надмірного зволоження в лісовій зоні

помірних поясів. Після осушення на болотних ґрунтах вирощують сільгоспкультури та добувають торф. Він має погану аерацію і високу вологість – понад 90 % (мало азоту, кисле середовище: рН до 2,6). Болотні ґрунти, які поділяють на торфові та торфоголеєві, поширені в Російській Федерації, Білорусії, Україні, Канаді, США, Бразилії, Аргентині, Індонезії та в інших країнах.



Рис. 24. Тайга в Україні:

А – бір-зеленомошник в національному парку „Старогутський”;

Б – пожежа у Народицькому районі Житомирської області

Крони хвойних дерев затримують 140-1800 мм опадів/рік, біля 200-250 мм з них транспірується, останні опади фільтруються і поповнюють запаси ґрунтових вод. Запаси фітомаси дуже коливаються, зокрема: для плакорних східноєвропейських ялинових лісів на півночі вони становлять 1-2 тис., в середній – 2-7, в південній – 2,7-3,5 тис. ц/га. Близькі величини зафіксовані в темнохвойній тайзі Сибіру. В південній тайзі суха фітомаса дорівнює ~50 т/га (90 % – деревина, 10 – фотосинтезуючі органи). Первинна продукція становить біля 10 т/га сухої речовини або 0,6 % річного потоку сонячної енергії. Одночасна кількість зоомаси майже в 3 рази менша за фітомасу: в європейській тайзі – 100-150 на півночі і 160-300 кг/га – на півдні. Причому до 90 % її становлять сапрофаги із підстилки, деревного опаду і верхнього шару ґрунту.

Для тайги характерна велика різноманітність хлорофітофагів – сибірський шовкопряд, усачі, златки, короїди тощо. Багато хребетних – зеленоїдів (птахи – тетерук, глушець, рябчик, дикуша) сім'яноїдів (білка звичайна, бурундук, лісові полівки, оленячі миші, шишкарі тощо). У американській тайзі немає справжніх мишей – замість них багато хом'якоподібних гризунів. Дуже розвинуті консументи вищих порядків – мурахи, бурі жаби, землерийки, синиці, дятли тощо. Характерні крупні ссавці (ведмідь, рись, росомаха, соболь, пекан, куниця та інші). У канадській тайзі мешкають сірі білки, які створюють величезні запаси шишок банкової сосни та чорної ялини, які складують у вигляді великих куп або ховають в нори. При сильних холодах, коли температура повітря опускається нижче мінус 25 °С, вони ховаються і харчуються створеними припасами.

У тайзі знаходяться найвизначніші національні парки світу: в США – Йеллоустонський (1872), Йосемітський (1890), у Канаді – Принс-Альберт (1927), в Україні – Карпатський (1980), на території яких успішно охороняються тайгові екосистеми.

Лісові екосистеми. Серед лісових екосистем найпоширенішими і найбільш цінними є лісові типи, які займають до 30 % площі суходолу. На долю лісових екосистем припадає до 80 % фітомаси Землі або 1960 млрд. тонн.

Ліс відносять до поновлюваних природних ресурсів, в якому накопичено тисячі видів дерев, кущів та ліан. В процесі фотосинтезу, лісові екосистеми утворюють до 100 млрд. тонн органічних речовин. В той же час, ліс є елементом географічного ландшафту, що складається із сукупності деревних, кущових, трав'яних рослин, тварин і мікроорганізмів, біологічно взаємопов'язаних і які впливають як один на одного, так і на навколишнє середовище.

Екологічну цінність лісів важко переоцінити. По-перше, ліс є регулятором водного режиму територій. По-друге, ліси є основним регенератором кисню (ліси продукують ~ 6 % кисню атмосфери). Крім того, лісові екосистеми нейтралізують

і переробляють значну кількість забруднюючих речовин, зокрема пил із повітря, оксиди Сульфуру і Нітрогену тощо.

Лісові екосистеми класифікують як за типом рослинності, так і за географічними зонами. Для кожного типу лісу характерна своя біопродуктивність, замкненість крони дерев, видовий набір тощо.

Під *типом* лісу розуміють ділянки лісу або їх сукупність, що характеризуються загальними лісорослинними умовами, однаковим складом деревних порід, кількістю ярусів, аналогічною формою.

Виділяють кілька типів рослинності лісів:

– *північна позатропічна рослинність*, до якої відносять кущі кедру, берези, шпилькові породи, широколистяні рослини (дуби, клени тощо), чагарники. Вони формують шпилькові, змішані й широколисті ліси, рідколісся, субтропічні ліси, пустелі і напівпустелі субальпійських чагарників тощо;

– *тропічна рослинність*, до якої належать рослини, що формують вічнозелені тропічні ліси, листопадні тропічні ліси, тропічне рідколісся і савани. Це окремі види сукулентів, пальмові рослини, окремі представники магнолій і пальмових рослин тощо;

– *південна позатропічна рослинність*, до якої належать рослини, що формують евкالیптові ліси, вологі підтропічні ліси, мангрові зарості, рідколісся та широколистяні ліси.

В той же час, найбільш часто ліси поділяють за зональними ознаками і виділяють шість типів лісу: шпилькові, мішані, вологі, екваторіальні, тропічні (Індія, Південна Америка тощо) і ліси посушливих областей (Середземномор'я тощо). Найбільшого значення мають перші чотири типи лісів.

Шпилькові ліси холодної зони розташовані в північній півкулі і в зоні тайги. Найбільш характерними представниками рослинного світу є ялина європейська і сибірська, сосна звичайна, модрина, кедр, ялиця. Шпилькові ліси займають територію

рію ~13,4 млн. км² або 10 % площі суходолу. Вони, в першу чергу тайга, відіграють важливу роль у продукуванні кисню і за цим показником займають друге місце після екваторіальних лісів. Для цих територій характерна кількість опадів, що відповідає 300-1600 мм на рік. Висока замкненість крони виключає ярусність, хоча трофічні ланцюги є розвинутими і стійкими.

За рахунок особливості рослинних угруповань цих лісів, вони надзвичайно вразливі до зовнішніх впливів, особливо забруднення.

Мішані ліси помірної зони знаходяться в середній широті північної півкулі і представлені шпильково-широколистяними, широколистяними лісами і лісостепами. Найбільш характерними представниками рослинного світу є дуб, бук, горіх, береза, каштан, липа, клен, сосна, ялиця, туя, тощо. Ці ліси найбільш інтенсивно експлуатуються людиною. Для цих територій помітно зростає кількість опадів (900-1500 мм на рік) і, незважаючи на високу замкненість крони, спостерігається ярусність. Тваринний світ мішаних лісів є багатий з великою кількістю трофічних ланцюгів. Це відносно стійкі до зовнішнього впливу екологічні системи.

Вологі ліси теплого помірного клімату зустрічають в обох півкулях в межах субтропічного поясу. Рослинність цих лісів представлена сосною, буком, ясенем, горіхом, тюльпановим деревом, евкаліптом. Ці ліси є відносно малочисельними.

Екваторіальні дощові ліси ростуть в межах екватора і тропічних районів Землі з інтенсивними опадами (1800-2000 мм на рік). В цих районах спостерігається висока температура (~26-28°C) і висока відносна вологість повітря (понад 90 %). Ці умови сприяють ґрунтоутворенню. Рослинний світ представлений червоним деревом, кедром, бальсою, ебеновим деревом, лімбом, тощо. Хоча площа цих лісів складає тільки 10 млн. км², в них зосереджено до 40 % фітомаси планети. В цих лісах зберігається до 50 % Світового генофонду рослин і до 75 % Світового генофонду тварин.

Для цих екосистем характерна складна просторова структура, що відображено в багатоярусності. Для цих лісів характерною є, також, висока щільність біомаси на одиницю площі. Ці ліси відіграють надзвичайно важливу роль в продукуванні кисню, але останнім часом інтенсивно експлуатуються для меблевого виробництва. Ці екосистеми є відносно стійкими до зовнішніх впливів.

Тропічні дощові ліси (гілея, сельва) розташовані вздовж екватору на незначній висоті у Центральній та Південній Америці (басейнах Оріноко та Амазонки); у Центральній і Західній Африці (басейни Конго, Нігера, Замбезі), а також на Мадагаскарі; у Індо-Малайзії (о-ви Суматра, Борнео, Філіппіни, Нова Гвінея, Шрі-Ланка). Їх характерними ознаками є стабільність абіотичних факторів: а) середньорічна температура становить $+25+26^{\circ}$; б) річна сума опадів завжди перевищує 2000, але у горах може сягати 5-7 тис. мм, а їх кількість значно перевищує випарування.

Важливим для розвитку продуцентів є:

- Переважання глинистих і суглинистих ґрунтів, збіднених елементами мінерального харчування (вміст органіки – лише 2-5 %). Домінування ферралітів через велику кількість оксиду заліза, а також високий вміст окислів алюмінію, як наслідок виносу лугів та кремнезему.

- У насиченій дубильними і гуміновими речовинами воді тропічних річок та озер мало мікроорганізмів, а також відсутні карбонати кальцію та магнію. Внаслідок цього, вона – м'яка, майже знесолена і має жовтий або бурштиновий колір.

Крайня бідність ґрунтів у поєднанні з інтенсивним промивним режимом видаються несумісними з максимальним різноманіттям продуцентів і консументів та опатністю органічного світу. Цей парадокс обумовлений особливостями кругообігу речовин:

- а) значна кількість біогенів зосереджена в живих організмах, а не в ґрунті; б) після їхнього відмирання відбувається швидке розкладання органіки і елементи мінерального живлення мит-

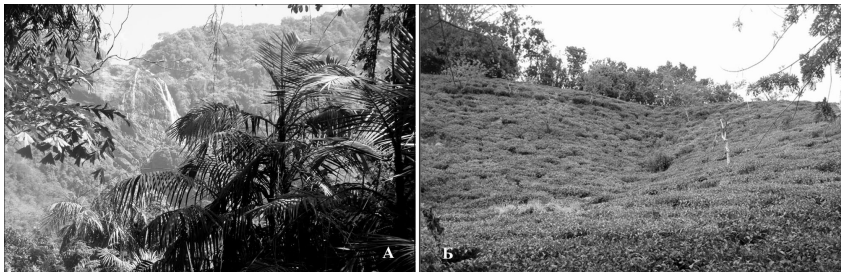
тево засвоюються рослинами оминаючи ґрунт; в) пряме повернення в кругообіг біогенних елементів здійснюється внаслідок мутуалістичних зв'язків між мікроорганізмами та рослинами.

Механізми цього такі:

- тонкі сисні корені пронизують підстилку й швидко вилучають елементи живлення із опалого листа та дощової води, а також паралізують активність денітрифікуючих бактерій;
- мікоризи грибів, що пов'язані з кореневими системами, є пастками живлення, які здійснюють повторне вилучування органічних решток і утримують їх у екосистемі;
- вічнозелене листя з товстою восковою кутикулою сповільнює втрати води і елементів живлення деревами а також перешкоджає поїданню їх тваринами і паразитами;
- водорості і лишайники фіксують азот і вилучають елементи живлення із дощової води віддаючи їх листям;
- товста кора перешкоджає дифузії елементів живлення із флоєми назовні та їх втрату зі ствольним соком.

Екосистеми тропічних лісів характеризуються найбільшим видовим різноманіттям (рис. 25). Хоча вони займають менше 10 % поверхні планети, в них зосереджено близько 90 % всіх видів, серед яких понад 3 тис. видів складають дерева. В південноамериканських лісах зростає ~40 тис. рослин, на о-ві Калімантан (Борнео) ~11 тис., на п-ові Малакка ~17,5 тис. У типовому дощовому лісі добре вирізняється 3 яруси: верхній (50-90 м), середній (20-40 м) та нижній (3-10 м висотою). У багатьох дерев розгалуження гілок з'являється лише на висоті 25-30 м, а гілки спрямовані вгору, що викликано конкуренцією рослин за світло. Якщо гілок немає, то формується велике листя, що спостерігається у різних видів пальм (рис. 25, А).

Досить численним деревом у тропічних лісах Західної Африки є вернонія, стовбури якої сягають у висоту до 7-9 м. Її листя, бруньки, квіти та гнилувата деревина є улюбленими продуктами харчування гірської горили. На скелястих галявинах лісу



**Рис. 25. Тропічний дощовий ліс (А – Індія, Гоа);
чайна плантація на місці лісу (Б – Сейшельські о-ви)**

та камінні поширені велетенські лобелії, на схилах гірського масиву Вірунга – пігеум, дерево висотою до 18 м. Скрізь дуже поширений бамбук, який утворює зарості з висотою окремих рослин біля 30 м, а під шатром лісу – щільний підлісок.

Характерними рисами продуцентів є:

- Дошкоподібні і ходульні корені у високих дерев – через погану аерацію вони проникають у глибину лише на 0,5-1,0 м. Характерно, що у одних і тих видів, в залежності від вологості, таких коренів може і не бути.

- Кауліфлорія – утворення на стовбурах і товстих гілках квіток та плодів у більш як 1000 видів (рис. 26, А).

- Слабка транспірація, тому вивільнення від надмірної води здійснюється за допомогою гуттації (*gutta*: крапля – італ.).

- В нижньому ярусі спостерігається низька інтенсивність фотосинтезу, яка компенсується низькою інтенсивністю дихання.

- Майже відсутні характерні для помірних широт такі життєві форми, як чагарники – їх замінюють карликові дерева.

- Багато рослин (ліани, молочаї, кактуси, орхідеї, бромелії та інші) є епіфітами, що використовують стовбури та гілки дерев у якості підпори. При цьому вони перетискають їх судини, чим сприяють всиханню господарів.

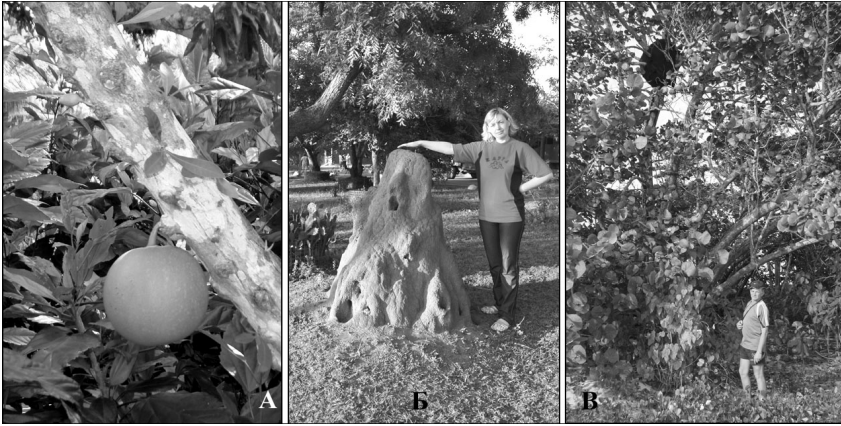


Рис. 26. Екваторіальні ліси: А – кауліфлорія, Б – наземний термітник (Шрі-Ланка), В – деревний термітник (Куба)

Біологічний кругообіг в екваторіальному лісі найбільш потужний. Щорічно споживається ~ 2 т/га хімічних елементів, серед яких головними мігрантами є: Si, N, Ca, потім – K, Mg, Sl, Fe. Запаси біомаси в азійських тропічних лісах становлять 400-600, продуктивність – 30-50, а щорічний опад сягає 15-28 т/га. Маса підстилки дорівнює 1,5-5,0 т/га, повне розкладання якої відбувається усього за 4 місяці. Головна роль у цьому процесі належить грибам і комахам-фітофагам, серед яких найбільше значення мають терміти (рис. 25, Б, В). У африканських тропічних лісах фітомаса сягає 100-600, її продуктивність – 17-32, а опад, який повністю розкладається за 9-11 місяців, – 10-25 т/рік. У Амазонії, яка вивчена замало, запаси фітомаси сягають 1000 (~ 70 % наземна частина), а опад – до 27,5 т/га.

Уздовж гирла тропічних річок добре розвинені мангрові зарості. Особливо велику площу вони мають у Східній Індії у естуарії, утвореного дельтами річок Ганг, Брахмапутра і Мегхна, де створено національний парк Сундарабан.

Серед консументів досить чисельними є дрібні форми, більшість з яких мешкає у верхньому ярусі рослинності. Зоомаса у південно – американському лісі невелика ~200-210 кг/га (165 кг – ґрунтова фауна). Скрізь трапляється велике різноманіття комах: в зоні Панамського каналу на 15 км² ~20 тис. видів (у нас – кілька сотень). У червоних ґрунтах у 2 рази більше мікроорганізмів, аніж у чорноземах і у 50 разів, аніж у тундрах. Дуже розповсюджені *прототрофи* (бактерії, гриби), які відіграють значну роль у замиканні кругообігу речовин. Деякі зелені рослини можуть бути також сапрофітами – орхідеї. Характерні наземні п'явки. Досить поширеними є *хлорофітофаги* (гусінь метеликів, жуки, прямокрилі, мурахи (сотні видів розміром до 1 см, для більшості яких основою харчування є терміти). Серед мурах цікаві листорізи, які на силосі вирощують гриби, якими живляться. Багато кліщів, коллембул (ногохвісток), личинок, а також *сапротрофів*, що руйнують лісовий опад (ківсяки, мокриці, таргани, дощові черв'яки). Особливо важливі терміти, у кишковому тракті яких виявлено понад 200 видів джгутикових, що переробляють клітковину (мутуалізм). Найбільше різноманіття термітів (570 видів) зафіксоване у Африці; трапляються гумусоїдні і грибоїдні види (є термітники на деревах).

В тропіках багато жаб (веслоногі), квакш, ігуан, хамелеонів (Мадагаскар Індія, Африка) та деревних змій. Перше місце серед хребетних належить ссавцям, які харчуються плодами, квітами, комахами тощо). У Центральній та Південній Америці звичайними є лінивці (ряд Неповнозубі); чіпкохвості мавпи (ревун, коата, капуцин, уакарі) та ігрунки. В Західній Африці поширені мартишки (блакитна та золотава, колобус, гусар, макака, павіан) та гібони. Рідкісними стали людиноподібні мавпи Африки (шимпанзе, горילה) та Азії (орангутан), лемури Мадагаскару, а також сумчасті кускуси Нової Гвінеї, які харчуються різними рослинами. Скрізь поширені білки (африканські, смугасті, сонячні – Африка; сулавеські, малайські, чорновухі – Азія, карликові, пігмеї – Південня Америка). У лісах Старого світу мешкають пло-

доїдні (крилани), а в Новому – листконосі кажани. Скрізь досить численними є різноманітні гризуни.

Серед консументів досить різноманітними є копитні: в Африці – лісовий слон, бабіруса, китичновуха та велика лісова свині, аноа (карликовий буйвіл), кафрський буйвіл окапі, дукери, бушбок, карликовий бегемот; в Азії – індійський слон, чепрачний тапір, індійський та лісовий буйволи, гаур, гаял, коупрей, в Південній Америці – звичайний тапір, пекарі та інші. Консументи вищих порядків представлені такими хижаками: в азійських лісах – тигр, азійський лев, червоний вовк, малайський ведмідь; у південно-американських – ягуар, ягуарунді; в африканських – леопард.

Тропічні ліси мають виключно багату орнітофауну. Над кронами дерев ширяють гірські канюки, білошії вброни, на галявинах – одноцвітні мухоловки, дронго, бюльбюлі, нектарниці. Серед заростей бамбука звичайними є плодоїдні голуби та горлиці. У Південній Америці досить поширені колібрі, гарпія т інші.

В тропіках зростає багато цінних дерев: браза, палісандрові, рожеві, пурпурові, ебенові, зеброві, пальми тощо, попит на які обумовив знищення багатьох корінних лісів. За таких умов структура екосистеми дощового лісу, яка обумовлює її функціонування, втрачаються. Тому наша стратегія землекористування, яка основана на монокультурі, зовсім не придатна для тропіків. При сільгоспвикористанні землі в тропіках врожаї падають до 0 за кілька років, тому для посівів потрібно розчищати та випалювати нові ділянки. Звідси – домінування гевеї, кави, какао, манго, папайї, чаю (рис. 19, Б), прямих рослин і відсутність пшениці, кукурудзи, огірків, картоплі тощо. За помірного клімату після вирубки лісу основні елементи живлення залишаються у ґрунті і за допомогою неорганічних добрив, оранки, врожай однолітніх культур можна відновити протягом 1-3 років. У тропіках вирубка лісу забирає у землі здатність утримувати елементи живлення та підтримувати їхню циркуляцію через високу температури та вилуговування дощами.

ЦІКАВО

У тропічному лісі 58 % загального азоту закладено в біомасі, 44 % піднято над ґрунтами. В сосновому європейському лісі ці показники відповідно складають 6 і 3 %. В тропіках приблизно 70 % органічного вуглецю знаходиться в деревині і лише ~20 % – у ґрунті, тоді як в європейському хвойному лісі у ґрунті ~50 %, а в деревині ~ 40 %.

В Індії були розкорчовані значні масиви лісу, на території яких безперервно вирощували сільгоспкультури, а неорганічні добрива (гній від зебу та буйволів) використовували „на паливо”. За стислий термін родючі землі були деградовані. Натомість на Філіппінах, завдяки древнім технологіям, рисові поля обробляються на тому ж самому місці більш ніж 1 тисячу років (рекорд землеробства).

Незважаючи на те, що ліси Амазонки виробляють ~ 50 % O₂ Землі і поглинають ~ 25 % CO₂, зараз скрізь спостерігається руйнування екосистеми вологого лісу. У XX ст. його площа зменшилася у 2 рази. В Бразилії будується 4 шосейних шляхи і освоєно 200 км смуги вздовж річок. Це також спостерігається у Африці. Активізувалась ерозія, сповзання ґрунту. Антропогенна сукцесія скорочує видове різноманіття.

Широколистяні ліси. Це листопадні ліси помірної зони, які утворені листопадними деревами (бук, дуб, ясен, клен, липа, черешня, тополя та ін.) з широкими листовими пластинками. Поширені на сході Північної Америки, у Європі, Північному Китаї та Японії. Загалом вони трапляються у вологих та помірно вологих районах з незначною континентальністю клімату, рівномірними опадами упродовж року і відносно високими температурами. У Південній півкулі до аналогічних лісів можна віднести ліси із південного бука (*Nothofagus*). По мірі зростання запасів тепла та наближення до екватору змінюється продуктивність і структура екосистем. На заході високою залишається вологість внаслідок західного переносу і циклічності полярних фронтів;

на сході панують літні мусони, які 2 рази на рік змінюють напрямок на протилежний. Тому в таких місцях значно зростає біогенний колообіг речовин та формується максимальна для помірної зони біомаса, що спричиняє появу великих широколистяних лісів, які охоплюють значні території на різних континентах.

У Східній Європі, внаслідок складності рельєфу, зона широколистяних лісів виглядає, як окремі острови, що чергуються зі степовими ділянками та часто об'єднуються з ними і утворюють лісостеп. У Західній Європі вона має вигляд суцільної смуги до 1,3 тис. км (13°) в ширину по широті. Виділяють Західно- і Центральноєвропейські екосистеми широколистяних лісів. Крайніми елементами є кримські та кавказькі гірські ліси, що мають бар'єрно-дощове походження.

Сумарна радіація у межах зони широколистяних лісів становить 80-100 ккал/см²-рік, а радіаційний баланс – 40-50 ккал/см²-рік. Сума активних температур становить 1800-2800 °С, температура липня – плюс 15-22°, січня – від 0 до мінус 5°. Сніг лежить 50-60 днів. Але є виключення в приатлантичних районах: на Британських островах смуга широколистяних лісів становить 150-200 км. Вздовж узбережжя Північного та Балтійського морів температура зимових місяців сягає +4-7. Сніг лежить 10-40 днів, але стійкого покриву немає. В зоні широколистяних лісів випадає 600-1500 мм опадів, які рівномірно розподіляються упродовж року. Випаровуваність становить 400-500 мм на заході та ~800 – на сході. Це спричиняє різний вплив на формування рідкого стоку річок. Загалом у багатьох місцях випаровування вологи перевищує річковий стік. Живлення річок переважно дощове – максимум весною, на заході – зимою. У гірських річок є другий літній максимум.

У зв'язку з розвитком щільної рослинності, 10 % опадів затримується в кронах дерев, при цьому 50-60 % вологи використовується лісовими культурами, що дуже зменшує випаровування. Так, буковий ліс транспірує 350-400 мм опадів, т. є. майже

повністю використовує опади, що випадають упродовж вегетативного періода. В зоні широколистяних лісів, внаслідок високої вологості, багато хімічних елементів вимивається вглиб, що призводить до накопичення на всіх горизонтах глинистих мінералів та гідроксидів заліза. За таких умов формуються бурі лісові ґрунти, які містять 5-10 % гумусу та мають іржаво-коричневе забарвлення. Вони зазвичай відзначаються гарною структурованістю та мають слабкокисло і навіть нейтральну реакцію (РН = 6,0-6,5). Бурі лісові ґрунти поширені у Західній, Центральній і Східній Європі, на Кавказі, Далекому Сході РФ, а також у Китаї, Кореї та США. Вони придатні для вирощування тютюну, винограду, сої, зернових та овочевих культур. У зазначеній зоні також поширені типові сірі, темно-сірі ґрунти, дуже рідко – чорноземи. Скрізь вони піддаються денудації або водній ерозії, яка найбільш потужна у горах.

За біомасою продуцентів, яка складає 300-400 т/га, листяні ліси поступаються лише тропічним та екваторіальним співтовариствам. При цьому частка зелених асиміляційних частин становить 1 % біомаси, стовбурів та гілок – 74 %, коріння – 25 %. У функціонуванні лісових екосистем у помірній зоні спостерігається період скорочення формування продукції, що пов'язано з сезонними особливостями погоди. Але, якщо тривалість активної вегетації в тайзі зростає до 4-5 місяців, то у широколистяних лісах – до 6-7. Видовий склад продуцентів у Європі бідніший, ніж у Північній Америці чи в Східній Азії. Причиною є молодість ландшафтів, які сформувалися після четвертинного зледеніння. Тут домінують букові, дубові, рідше – грабові та липові ліси. Серед дубів типові: звичайний, пухнастий та скельний; у Південній Європі – пробковий. Окрім інших дерев часто трапляються: ясен, в'яз, берест, клени (польовий, татарський, гостролистий та ін.). У підзоні хвойно-широколистяних лісів значну частину деревостанів складають: сосна, ялина, модрина та інші хвойні породи. В Північній Америці та Азії є десятки видів кленів і сотні – дубів.

Зокрема в США найбільш поширеними є: кленово-букові, дубово-гікореві, дубові, а в минулому (до знищення каштана грибом *Endothia parasitica*) – дубово-каштанові ліси. Серед інших деревних порід тут часто трапляються: тюльпанове дерево, ліквідамбар, липа та інші. В приатлантичних американських лісах (Апалачі) поширені: червоний, білий, північний дуби, чорний горіх, гікорі.

У широколистяних лісах 1-2-й яруси складають дерева; 3-й ярус – підлісок, утворений чагарниками; 4-й и 5-й яруси становить трав'яно-чагарниковий покрив. Під шатром найвищих дерев розташований ряд дерев меншої величини – татарський клен, черемха, дикі яблуня та груша, глід тощо. У Східній Європі нижче розвинений багатий підлісок із ліщини, черемхи, бересклетів (європейський та бородавчастий), жимолості, калини, глодів, крушини та інших чагарників, які місцями утворюють щільні зарості. В дубових насадженнях зазвичай на ґрунті відсутній моховий покрив, що є наслідком впливу алелопатії та великої кількості опалого листя. Мохи тут розвиваються лише на стовбурах дерев, що вже впали. Трав'яна рослинність широколистяного лісу також суттєво відрізняється від хвойного. В європейських лісах значно менше вічнозелених рослин, а в трав'яному покриві панують мезофітні евтрофні або мезотрофні види – переліска, яглиця, зеленчук, копитняк, медунка, маренка, осока волосиста та ін. *Широколистим лісам* також властиві весняні ефемероїди-геофіти: ряст, анемона, зубниця, підсніжник, проліска, зірочки та ін., які встигають швидко пройти цикл розвитку весною – ще до повної вегетації листяних дерев: від появи листя до стиглості насіння.

Таким чином, фітоценоз широколистяного лісу має складнішу будову, ніж тайги, оскільки в ньому чітко вирізняються 3 яруси: високі дерева (дуб, липа, клен), ярус трохи нижчих дерев (яблуня, груша) і ярус чагарників (підліску), тоді, як у хвойному лісі нерідко – лише один: із ялини або сосни.

Тваринний світ широколистяних лісів подібний до тайги, але має свої відмінності. Маса гетеротрофів (зоомаса) менша в сотні разів, ніж фітомаса, але тварини (сойка, білки, бобри, олені, миші, кабан, хом'яки) створюють значний вплив на лісові екосистеми. Ґрунти багаті на комах, тому багато кротів.

Середня продуктивність європейського широколистяного лісу складає 12-14 т/га (в 3-4 рази менша, ніж екваторіального). При цьому не менше 50 % чистої первинної продукції припадає на опад. Натомість дійсний приріст більший ніж в тайзі і становить 4-5 т/га. Через високий вміст сполук кальцію спостерігається досить активний біогенний колообіг елементів. Місцями у верхньому горизонті ґрунту з'являються великі запаси гумусу – до 6 %.

Зона широколистяних лісів є найбільш урбанізованою на Землі. Тут мешкає понад 250 млн. людей, із яких – 3/4 складає міське населення. Це спричиняє значне забруднення довкілля та інтенсивну трансформацію корінних біоценозів. В результаті тривалого антропогенного впливу природна рослинність скрізь погано збереглась – з'явилося багато вторинних ялинових та соснових лісів.

В кінці XVIII – на початку XIX ст. у Середній Європі особливого поширення набула „ялиноманія”, яка означала заміну букових і інших листяних лісів на шпилькові (рис. 26).

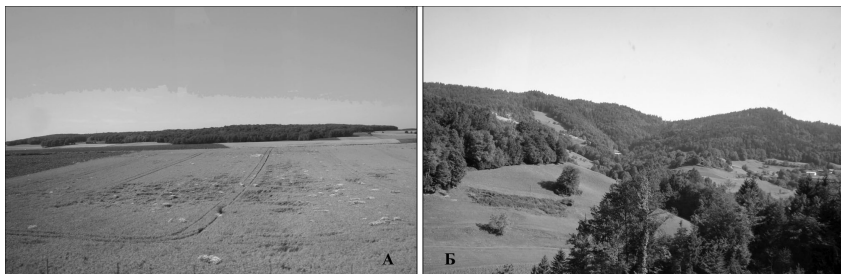


Рис. 26. Залишки широколистяного лісу у Європі:

А – Франція (околиці Сомме); Б – Словенія (околиці Любляни)

Причиною такого явища стало суттєве зростання попиту на лісоматеріали, обумовлене інтенсифікацією будівництва. В приатлантичному секторі на місці вирубаних лісів сформувались зарості вереску та болота, а у Карпатах на місці букових пралісів були створені смерекові та ялицеві насадження.

Зараз 2/3 лісової зони зайнято агросистемами, в яких вирощують кормові трави, картоплю, інші коренеплоди та зернові (30 % площі). В південній частині та в міжгірських западинах вирощують більш теплолюбні культури – табак, кукурудзу, виноград. Скрізь багато луків та пасовищ, площі яких стали різко збільшувати за рішенням Австрійського уряду ще з XIX ст.

Для зменшення антропогенного впливу на широколистяні ліси, було створено: в Україні Хотинський, Дермано-Острозький, Деснянсько-Старогутський, в Угорщині – Кишкуншаг, у Польщі – Славська Гора, у ФРН – Грьодіцер Скала, Рабенауер Грун, у РФ – Хоперський, Воронежський та інші національні парки та заповідники.

Отже, роль лісу як компоненту природного середовища, місця існування живих організмів і природного ресурсу є надзвичайно великою і різноманітною.

Екосистеми трав'яних ландшафтів. На долю цих екосистем припадає, також, значна площа суходолу. Вони відіграють важливу роль для навколишнього середовища і представлені, переважно, степами (прерії, пампа) і лісостепами (савани).

Степ – це планетарне географічне утворення, на площу якого припадає ~6 % площі суходолу. Степи формуються в помірному та субтропічному поясі з посушливим кліматом (250-450 мм на рік опадів) і непостійним режимом опадів. Для степів характерним є ксерофітний тип рослинності з характерними екологічними особливостями.

Ґрунти степів являють собою, переважно, чорноземи та ґрунти каштанового типу. Степи – це безлісові співтовариства багаторічних ксерофітних трав, які представлені, головним

чином, злаковими. Лісові угруповання зустрічаються лише в долинах річок. Біомаса степів є відносно малою 100-370 ц/га.

Поширеними рослинами степів є вузьколисті ксерофітні дерновидні злаки (ковиль, тощо), екологічними особливостями яких є розгалужена коренева система, яка занурюється на значну глибину в ґрунт (до 1,5 м). Тваринний світ досить багатий, але характерна фрагментація, тобто тварини прив'язані до певних ділянок. Переважна кількість степових тварин – фітотрофи.

Трофічні ланцюги степів складні, з великою кількістю ланок, але вони виникли внаслідок видоспеціалізації. Це зумовлює вразливість цих екосистем до зовнішніх впливів.

Степи зазнають значного антропогенного впливу (до 90 % степів розорані), що призводить до їх деградації. В цих зонах особливого значення мають меліоративні роботи (ідея належить В.В. Докучаєву) для зменшення несприятливих впливів природних (пилі, бурі, посухи) та антропогенних факторів.

Савани являють собою тропічний біом (лісостеп) з переважною більшістю трав'яних рослин за участю дерев і кущів. Для саван характерна сезонна ритмічність розвитку, що зумовлено сезонністю опадів. Найбільшою поширення савани набули в Африці та Південній Америці.

Для різних типів саван кількість опадів коливається від 500 до 1500 мм/рік, тому розрізняють вологі, сухі та колючі савани. Деревні рослини саван мають характерні екологічні особливості, які проявляються в їх пристосуванні до сезонного коливання вологості. Для зменшення транспірації під час посушливого періоду, дерева скидають листя або вони перетворюються в шпильки. Крім того, крони дерев можуть мати парасольковидну форму (акації, тощо).

Трав'яні рослини саван, особливо злакові, які вкривають до 80 % поверхні саван, не змінюють величину транспірації в посушливий період, а вигорають. В той же час, кореневі системи і бруньки поновлення трав добре захищені від висихання

і, в період дощів, проходить відновлення трав'яного покриву. Характерним для саван є і такий вид рослин як сукуленти (кактуси, молочаї тощо), які здатні запасати вологу в листках, стеблах та стовбурах рослин і тим самим витримувати значну посуху. Біомаса в саванах коливається в межах 500-1500 ц/га.

Тваринний світ саван дуже багатий і різноманітний, наприклад, африканські савани за чисельністю і різноманітністю копитних займають перше місце серед всіх екосистем суходолу. В саванах характерна значна кількість як трав'янистих тварин, так і хижаків. На відміну від степів і лісостепів помірної зони, в саванах важливу роль редуцентів відіграють терміти (чисельність до 2000 особин на га), таргани і жуки.

Пустелі – це наземні біоми, які характеризуються вкрай несприятливими кліматичними умовами (кількість опадів менше 200 мм/рік) і бідністю рослинного світу. Ці аридні зони займають до 36 % площі суходолу і основним обмежувальним фактором пустель є сухість клімату.

Зона напівпустель і пустель добре представлена головним чином у Північній півкулі, де вона тягнеться між 15 і 50° пн. ш. у вигляді смуги різної ширини. Зона займає понад чверть усієї поверхні суші Землі. Пустелі і напівпустелі, які є екотонами між степами та справжніми пустелями, поступово змінюються різними рослинними співтовариствами.

До найвизначіших з них у Північній півкулі відносяться: північно- і центральноамериканські, середньо- і центральноазійські, північноафрикансько-аравійські, ірансько-пакистансько-індійські, а також високогірні пустелі Тибету. У Південній півкулі це: аргентино-чилійсько-перуанські прибережні пустелі Південної Америки, приатлантичні пустелі Африки, а також напівпустелі Центральної і Південної Австралії.

За температурним режимом пустелі поділяють на:

- жаркі в тропічних і субтропічних широтах;
- внутрішньоконтинентальні в середніх широтах;

- прохолодні прибережні (на західних берегах континентів у тропічних широтах – Наміб, Атакама, приатлантичні райони Сахари, Карру тощо).

За характером ґрунтів та ландшафтів виділяють чотири основні морфологічні типи пустель: піщані (рис. 27, А), кам'янисті, глинисті та солончакові. Адаптація рослин до умов пустелі (висока температура з перепадом вдень і вночі, нестача вологи, тощо) проявляється у здатності сукулентів їх кореневої системи проникати на значну глибину в ґрунт (до 10 м) у пошуках вологи. Це такі рослини як верблюжа колючка, саксаул тощо. Як зазначалось раніше, для таких рослин характерним є особливий вид фотосинтезу (С₄-метаболізм), що дозволяє їм ефективно використовувати вологу.

Тваринний світ пустель дуже бідний і всі тварини по-різному адаптовані до дефіциту води, який, у залежності від розташування пустель та їх еколого-географічних характеристик, може виникати у різні пори року:

а) комахи і рептилії мають щільний покрив і виділяють сухі екскректи, утворюючи сечову кислоту та гуанін. За дуже низької вологості повітря багато пустельних тварин переходить до нічної активності, а деякі жуки (чорнотілки) здатні утворювати метаболічну воду;

б) слабо адаптовані до браку води ссавці (тушканчики, кенгурові пацюки, лучні собачки, ховрахи) виділяють висококонцентровану сечу, а деякі з них (жовтий ховрах) вдаються до літньої сплячки. Досить відомою є стійкість верблюдів до гідратації і впливу високої температури, що пов'язано зі здатністю утворювати з накопиченого жиру метаболічну воду. Крупні пустельні ссавці (антилопи вилоріг, орикс, аддакс) під час екстремальних ситуацій вдаються до міграцій і ніколи не утворюють великих стад (рис. 27, Б);

в) деякі пустельні птахи (жайворонки, кам'янки, дрофи, страуси, джек) мають здатність пити солонувату воду, а деякі (рябки,

саджа) – щоденно літати за нею на велику відстань (30-60 км і більше).

На Землі понад 600 млн. людей мешкає на територіях з дефіцитом вологи. Тому завжди життя людей в пустелях було пов'язане з можливістю ведення с/г в оазах. Це добре видно на прикладі Сахари. У древні віки тут вирощували дикий рис, просо, сорго, пшеницю. Дуже поширеними були: цибуля, арахіс і різні боби. Завжди особливо цінувались пальми, як джерело деревини для будівництва, харчування, енергії.

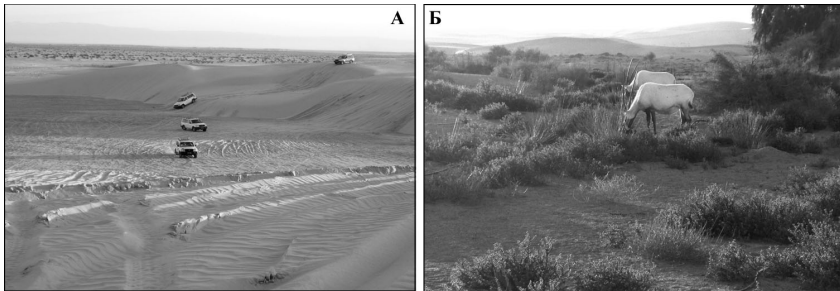


Рис. 27. Пустельні екосистеми:

А – бархани Сахари (Туніс), Б – аравійські орикси в оазі пустелі Руб-ель-Халі (Дубай)

У 19 ст. тут вже вирощували: тютюн, ячмінь, часник, коріандр, горох, моркву, томати, редиску, баклажани, буряк, перець, огірки, капусту, баптанні культури, конюшину, люцерну, бавовну, індиго тощо. Окрім фінікової пальми, із деревних порід в пустельних районах поширені інжир, лимон, апельсин, виноград, айва, персик, мигдаль, яблука та абрикос. До цього часу асортимент культур суттєво не змінився, але взимку вирощують європейсько-азіатські, а влітку – африканські (ююба, лобія, кавун-колоцинт та ін.). В пустелях, за умов зрошення, вода перестала бути лімітуючим чинником, але зростає дорожнеча будівництва

меліоративних систем. Оскільки багато води витрачається на розсолення ґрунтів, це призводить до значного зростання собівартості продукції. По мірі старіння зрошувальних систем, збільшуються витрати на їх утримування та на боротьбу з негативними наслідками. Виникають проблеми відтворення старих та будівництва нових меліоративних систем, що породжує „спіраль інфляції”. Хоча зростання інтенсивності використання підземних і наземних джерел води призвело до краху древніх цивілізацій (Месопотамія, Єгипет, Урарту), зараз, завдяки розвіданим запасів нафти і газу, ситуація змінилась на краще.

ЦІКАВО

У 1968-1977 рр. на південній околиці Сахари, в Судансько-Сахельській частині Африки мала місце страшна посуха, за якої: а) не відбувалось вегетації ефемерів; б) не цвіли багаторічні рослини і мали мало листя; г) мігрувало багато диких тварин.

Внаслідок цього від голоду та хвороб тут загинуло біля 250 тис. людей, а 2 млн. кочівників втратили худобу. В 1968 році межа Сахари просунулась на південь на 575 км, а за 1972-1978 рр. – ще на 550 км, що було розцінено як інтенсифікація опустелювання. Після зростання вологості – все відновилося, але посування Сахари на південь може початися знову. Спочатку його провокує посуха, а потім підтримують інші механізми, серед яких: вирубка чагарників, під якими виживають за спеки інші види, деградація пасовищ під впливом свійських тварин, чисельність яких збільшують у вологі роки, що підриває відтворювальні здатності екосистеми тощо. Для Сахари характерний кліматичний „Ефект Чарні”: при знищенні рослинності внаслідок перевипасу або вирубаня дерев „на дрова”, зростає „альbedo” регіону. В результаті температура над поверхнею знижується, тиск зростає, що скорочує вірогідність опадів. Є й інші причини: течія р. Нігер стала дуже нерівномірною через зменшення площі лісів у басейні водозбирання.

15.2. Загальна характеристика водних екосистем

За Ю. Одумом, водні екосистеми поділяють за особливостями водного середовища на дві великі групи: прісноводні та морські. Екосистеми кожної групи мають свої особливості.

Прісноводні екосистеми. Такі екосистеми займають порівняно малу частину земної поверхні, але їх значення для людини і довкілля надзвичайно велике. Прісноводні екосистеми поділяють на три групи: проточні водойми (річки, канали, потічки), стоячі водойми (озера, ставки, водосховища) та болота (клімаксові співтовариства).

Річки є основним джерелом прісної води і вони зазнають найбільшого антропогенного впливу. Характерною особливістю трофічних ланцюгів річок є їх короткість (1-4 ланки) і невелика кількість продуцентів. В таких екосистемах рослинний і тваринний світи залежать від кількості поживних речовин, розчиненого у воді кисню і швидкості течії. Для річок характерний значний виніс речовин з екосистем і незначна замкненість кругообігу речовин.

В річках виділяють *перекати* – ділянки з швидкою течією, причому дно річки немає намулу або уламкового матеріалу, та плеси – глибоководні ділянки з повільною течією, як правило, з м'яким субстратом (намулом, піском).

На перекатах живуть організми, які або закріплюються на субстраті, або є добрими плавцями. На перекатах практично відсутні редуценти, що живуть переважно в намулі або біоплівці і тому такі ділянки надзвичайно вразливі до забруднення, незважаючи на виніс речовини. Це характерно для малих гірських річок. На плесах виникають сприятливі умови для життя рийних і плаваючих тварин, а також водних рослин з розвинутою кореневою системою. На великих плесах створюються сприятливі умови для розвитку планктону і для таких ділянок характерно замулювання дна.

Озера – це також важливі прісноводні джерела, але в порівнянні з річками, для них характерним є більш різноманітніше життя. В озерах представлені всі види живих організмів: продуценти – консументи – редуценти. Для озер кругообіг речовин є практично замкненим, але вони є також вразливими до забруднення.

В прісноводних озерах виділяють три основні частини, які можуть бути розглянуті як окремі екосистеми:

- прибережна частина – *літораль*;
- глибоководна частина – *профундаль*;
- основна товща води – *пелагіаль*.

Рослинний і тваринний світ озер визначається наявністю у воді поживних речовин, а трофічні ланцюги є також відносно короткими. Для озер характерним є те, що основна частина організмів розташовується в верхніх освітлених шарах води, а мінеральні речовини знаходяться в придонних шарах. Верхні і нижні прошарки води розділені так званим термоклинном, який перешкоджає вертикальному водообміну і викликає дефіцит мінеральних речовин в приповерхневих шарах води.

Літораль є найбільш заселеною живими організмами і прибережні зони озер є основними трофічними областями. Організми літоралі представлені багатьма видами – від планктону до бентосу. На цих ділянках є достатня кількість і світла, і мінеральних речовин. На цих ділянках широко представлені окремими рослинними угрупованнями, комахи та значною кількістю видів риби, в тому числі і хижих видів. Пелагіаль заселена різноманітними видами рослин, тварин та комах з характерними пристосувальними механізмами, що дозволяє їм втримуватись біля поверхні води.

Болота лише умовно можна віднести до водних екосистем. Болотні екосистеми є азональними і вони формуються в зонах сильного переводження ґрунту. При цьому, детритний трофічний ланцюг вкорочується та не завершується утворення гумусу. Рештки рослин (рослинний опад) накопичується в напіврозкладеному стані та утворює торф.

Болотні екосистеми представлені, переважно, рослинами та мікроорганізмами, а тваринні організми практично відсутні, за виключенням птахів. При високій вологості болотних ґрунтів, рослини практично не отримують з них вологи, що зумовлено низькою температурою торфової маси та насиченістю води гуміновими кислотами. Біомаса боліт коливається в межах 90-1770 ц/га. В їх межах у вигляді торфу накопичуються значні запаси Карбону.

Морські екосистеми класифікують, за Ю. Одумом, в залежності від умов водного середовища. Екосистеми Світового океану займають значну площу поверхні Землі (~360 млн. км або 71 %) і містять значні об'єми води (1,37 млрд. км або 94 % гідросфери). Життєві кордони, які б перешкождали розселенню організмів в Світовому океані відсутні.

У водах Світового океану розчинено до 48×10^6 тонн солей, що створює сприятливі умови для створення та життя різних форм живих організмів. Це понад 160000 видів тваринних організмів та ~10000 видів рослин. Серед представників тваринного світу домінують молюски – до 80000 видів, ракоподібні – до 20000 видів, риби – до 16000 видів, простіші – до 15000 видів, тощо. Серед рослин океану домінують водорості, зокрема діатомові – до 5000 видів, червоні – до 2500 видів, синьо-зелені – до 2000 видів, тощо. Абіотичні фактори водного середовища (світловий режим, температура, солоність, густина води тощо) дозволяють поділити водну товщу океану на кілька зон, які відрізняються умовами існування живих організмів. Це, насамперед, верхня освітлена (евфотична) зона до глибини 200 м, та нижня темна (афотична) зона на глибині понад 200 м. Для всіх зон характерні свої особливості, а представники морської флори і фауни мають власні адаптаційні механізми до умов середовища. Найбільше біорізноманіття характерне для евфотичних зон, особливо в межах теплих районів.

Розселення організмів у морських екосистемах має певні закономірності. Так, шельф (глибиною до 200 м) займає лише 7-8 % площі цих водойм, проте тут живуть до 80 % усіх морських орга-

нізмів. Материковий схил (глибина 200-2000 м) займає 8,1 % абісаль – 82,2 %, глибоководні жолоби – 2,1 %. В межах цих ділянок густота життя є значно меншою, а організми мають власні механізми адаптації. Морським екосистемам притаманна висока продуктивність і вони відіграють важливу роль для стабілізації умов на Землі зокрема є регулятором клімату, хімічного складу атмосфери, тощо.

Живі організми, що населяють океан, поділяють на три основні екологічні групи: планктон, нектон і бентос.

Планктон – це сукупність пасивно плаваючих і переносних морськими течіями в шарі води рослин (фітопланктон), тварин (зоопланктон) та бактерій (бактеріопланктон), які практично нездатні самостійно пересуватись на значні відстані. Ці групи організмів є першою ланкою трофічних ланцюгів океану, зокрема фітопланктон – основний первинний продукт органічної речовини в морських водоймах, за рахунок якого існують гетеротрофні організми. Саме з фітопланктоном пов'язані такі явища, як „цвітіння вод” та „червоні приливи”.

Нектон – це група активно плаваючих морських організмів, що можуть пересуватись на значні відстані (різноманітні риби, китоподібні, тюлені, морські змії та черепахи, кальмари, восьминоги, тощо). Чисельність окремих видів організмів є значною і вони мають промислове значення.

Бентос – це організми, які населяють морське дно. При цьому вони можуть бути прикріпленими, сидячими (корали, губки, водорості, тощо), риучими (кільчасті черви, молюски, тощо), повзаючими (ракоподібні, голкошкірі, тощо) або вільно плаваючими біля дна (черевоні молюски, скати, тощо).

Виділяють і інші співтовариства морських організмів, проте за рахунок планктону, нектону та бентосу здійснюється кругообіг життя в Світовому океані. Сонячна енергія, яка поглинається рослинами, передається від них тваринам і мікроорганізмам у вигляді потенційної енергії за основними трофічними

ланцюгами. Гетеротрофні організми обмінюються з рослинами вуглекислим газом і мінеральними поживними речовинами.

ЦІКАВО

Розглядаючи афотичну зону Світового океану, можна виявити ряд закономірностей. Наприклад, розглянемо екосистему глибоководних рифтових зон. Ця унікальна екосистема відкрита лише в 1977 році в рифтовій зоні підводного хребта Тихого океану, на північний схід від Галапагоських островів, на глибині 2600 м. На цій глибині є суцільна темрява, що унеможлиблює фотосинтез, наявне сірководневе забруднення і значні викиди отруйних металів через гідротермальні джерела. Живі організми представлені гігантськими трубчастими червами (погонофорами), двохстулковими молюсками великих розмірів, креветками, крабами і деякими видами риб. Висока густина життя вражає (10–15 кг/м³ біомаси), а роль зелених рослин відіграють сірчисті бактерії, в яких реалізується хемосинтез. Такі екосистеми були знайдені і в інших ділянках Світового океану.

До 75 % організмів глибоководних рифтових зон живуть у симбіозі з хемоавтотрофними бактеріями, що дозволяє їм виживати. Сірчисті бактерії складають першу ланку харчового ланцюга даної екосистеми, далі йдуть погонофори, всередині яких живуть бактерії, що здатні переробляти сульфід – гідроген і таких чином забезпечувати погонофорів поживними речовинами. Двохстулкові молюски також живуть у симбіозі з сіркобактеріями, що поселяються в молюсках, вилучають із води діоксид Карбону і кисень, які необхідні для окислення сульфід – гідрогену. При цьому утворюються поживні речовини. Живі організми глибоководних зон мають ряд морфологічних відмінностей, зокрема, у них атрофований зір, у риб відсутній повітряний міхур, розвинуто свічення органів, тощо. В океані відомо більше 800 видів організмів, які світяться – близько 200 видів молюсків, 300 видів риб, 150 видів ракоподібних тощо.

15.3. Біологічні ресурси планети, шляхи їх збереження

Ресурси – це матеріали, потоки речовини, енергії та інформації, які утворюють вхідні ланки природних та господарських циклів. Вони є їх необхідними компонентами, а відтак носіями функції корисності. Ресурси мають кількісну характеристику, яку можна визначити (маса, обсяг, щільність, концентрація, інтенсивність, потужність, вартість). При змінах у часі ресурси підпорядковуються фундаментальним законам збереження речовини та енергії.

З екологічної точки зору ресурси класифікують на:

✓ *ресурси біосфери*, які є відновлюваними і, як правило, вичерпними ресурсами речовини, енергії, інформації і знаходяться під контролем живих організмів;

✓ *ресурси техносфери*, до яких входить частина відновлюваних ресурсів біосфери, що знаходяться під контролем людини (використання цих ресурсів призводить до вилучення їх з біотичного кругообігу) та вичерпні невідновлювані ресурси, що видобуваються в основному з надр і які знаходяться поза контролем біоти біосфери.

Біологічними ресурсами називають сукупність живих організмів планети, що забезпечують існування біосфери. Діяльність живих організмів забезпечує найважливіші процеси, що протікають у природі (фотосинтез, дихання, біогеохімічні кругообіги тощо) і з якими тісно пов'язане формування всіх інших природних ресурсів: сировинних, кліматичних, водних, земельних, рекреаційних. Біологічні ресурси можна розглядати як сукупність живих організмів усіх чотирьох царств природи: рослин, тварин, грибів та мікроорганізмів. Експлуатація біоресурсів планети включає такі основні види діяльності людини як сільське господарство, лісівництво, збирання продукції лісів, промисел звірів, птахів, риби і морепродуктів. Така діяльність часто призводить до порушення та знищення природних біоценозів, зменшує біо-

логічне різноманіття. Згідно з оцінкою Лісового департаменту ФАО ООН на початок ХХ ст. ліси світу займали близько 40 млн. км² (на період виникнення землеробства – 62 млн. км²) поверхні суші. Процес вирубування лісів продовжується і надалі. Особливо інтенсивно зменшується площа тропічних лісів. На жаль, зараз в Україні щорічно вирубується більше лісів, ніж висаджується.

Територія України, розташована на перехресті багатьох природних зон і шляхів міграції представників рослинного і тваринного світу. Займаючи менше 6 % площі Європи, в Україні зосереджено приблизно 35 % європейських видів живих організмів. На порівняно невеликій території утворились чотири природні зони: широколистянолісова, лісостепова, степова і присередземноморська.

Значна частина території України розташована в басейні Дніпра і сформована різноманітними ландшафтами. Багатство ландшафтного і біологічного різноманіття в Україні збільшується у такій послідовності: луки, болота, плавні, степи та ліси. Зважаючи на значну загальну площу земель сільськогосподарського призначення (близько 70 %), значна частина біорізноманіття залишається асоційованою із антропогенно-зміненими екосистемами. У деякій мірі ситуація змінюється на краще практично через постійне збільшення заповідників та буферних зон – за останні 20 років сумарна площа природно-заповідного фонду збільшилась майже на 20 % (з 3 % до 4,6 % від площі загальної території України). В Україні проживають представники більш ніж 70 тис. таксонів. До української *Червоної книги* (Додаток Б) занесено 511 видів рослин і 382 види тварин. На території України поширено понад 3500 асоціацій рослинних угруповань. За даними *Зеленої книги України* (Додаток В), до складу рідкісних і таких, яким загрожує небезпека зникнення, віднесено 126 рослинних угруповань⁴².

⁴² Національна доповідь про гармонізацію життєдіяльності суспільства у навколишньому природному середовищі // Спеціальне видання до 5-ї Всеєвропейської конференції міністрів навколишнього середовища "Довкілля для Європи". – Київ, 2003.

У порівнянні із деякими країнами-сусідами основне таксономічне ядро біорізноманіття України має ряд переваг, що накладає певну відповідальність у питанні забезпечення збереження біорізноманіття у паневропейському контексті. Так у розвинених країнах Західної Європи, де залишилися лише вторинні ліси, відбувається деградація та ураження лісів через техногенне забруднення повітря і ґрунтів, хоча загальна площа не змінюється (уражені ліси займають близько 1,2 млн. км², або 38 % урбанізованої території).

Сумарне споживання деревини у світі в наші дні складає приблизно 3 млрд. м³/р. Це рівнозначно видаленню 4,5 млрд. т сухої речовини рослинної маси, або 7 % річної біологічної продукції усіх лісів. Більша половина біологічної продукції видобувається з тропічних лісів Азії, Африки та Латинської Америки, де майже 80 % деревини використовують як паливо. У країнах, що розвиваються, щорічно “переходить у дим” приблизно 12 млн. га лісу. Вологі тропічні ліси займають до 7 % поверхні суші, і в них знаходиться до 2/3 усіх видів тварин і рослин (табл. 10).

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

В лісах планети щорічно в процесі фотосинтезу нагромаджується велика кількість деревних та інших органічних продуктів – смол, кислот, цукрів, вітамінів, фітонцидів (сумарна кількість всієї органічної біомаси складає близько 100 млрд. тонн), значна частина яких бере участь у біологічному та біоенергетичному колообігу речовин та енергії, а частина використовується людством для потреб господарства (із лісової сировини виробляється понад 20 тис. найменувань різної продукції). В той же час вони є гігантською біологічною фабрикою, в якій продукується кисень, що дозволяє існувати людству і всьому живому на планеті.

Таблиця 10

Площа лісів планети

Формації	Площа лісів		Запас деревини	
	млн. га	% від загальної площі лісів	млрд. м ³	% від загальної площі лісів
Тропічні вологі (дощові) ліси:				
Низинний пояс	418	17,1	94,5	27,0
Гірський пояс	45	1,8	8,4	2,4
Вологі тропічні ліси	260	10,7	33,6	9,6
Сухі тропічні ліси	510	20,9	32,9	9,4
Разом лісів тропічних зон	1233	50,5	169,4	48,4
Ліси помірного поясу, лаврові ліси	20	0,9	7,7	2,2
Ліси твердолистяних порід	170	7,0	0,875	4,1
Вічно зелені ліси і гірські хвойні ліси	395	16,2	102,2	29,2
Північні хвойні ліси	620	25,4	21,35	16,1
Разом лісів помірного поясу	1205	49,5	180,6	51,6
Всього	2438	100	350	100

За 10 тисячоліть цивілізації людство значною мірою перетворило усі простори нелісових рівнинних екосистем – 30–50 млн. км² степів, лісостепів, саван, прерій. Заміна природних фітоценозів агроценозами призвела до радикальної зміни наземних екосистем. Замість стійких угруповань десятків видів рослин виникли штучні монокультури, які не здатні до самопідтримки і саморегуляції.

За оцінками ФАО, глобальне скорочення лісів у 18 разів перевищує їх відновлення. Зазначені тенденції є дуже серйозною екологічною загрозою для людства через те, що:

– *по-перше*, зменшується біомаса і продукційний потенціал біосфери, а відповідно, і глобальний ресурс фотосинтезу.

Згаданий процес зменшення призводить до послаблення газової функції біосфери та її здатності регулювати асиміляцію сонячної енергії і склад атмосфери;

– *по-друге*, зменшується внесок транспірації у кругообігу води на суші, що призводить до зміни режимів опадів і стоку, а також може прискорювати юридизацію (спустелювання) великих територій. У зоні тропічних лісів кругообіг води повністю зарегульовано рослинністю, тому її знищення в умовах інтенсивної сонячної радіації приводить до кліматичних змін. Вирубка лісів у гірських районах і на вододілі приводить до інтенсифікації паводків, селей і посух на цих територіях;

– *по-третє*, скорочення лісів призводить до зникнення біотопів багатьох видів і зменшення ландшафтного і біологічного різноманіття (бо ліси є джерелом і екологічним резервуаром більшості біоценозів Землі).

Господарське використання наземної фауни незначне (у порівнянні з продукцією тваринництва) і має суттєве значення лише для малої частини населення. При цьому, людина продовжує зменшувати розміри природних популяцій багатьох звірів та птахів.

Значне господарське значення мають водні біоресурси. На сьогодні у світі виловлюють щорічно 100 млн. т риби та 10 млн. т інших морепродуктів. За даними ФАО, в процесі вилову риби завдаються збитки 70 % світових експлуатаційних запасів промислових риб. Водним біоресурсам збитки наносяться не лише промислом, але й техногенним порушенням нерестилищ, шляхів міграції, забрудненням акваторій та іншими впливами техногенезу на біосферу.

За останні 40 років через повне винищення або різку зміну чисельності популяції було заборонено промисел 18 видів цінних риб. За всю історію полювання на тварин людиною остаточно знищені десятки видів великих ссавців і птахів (мамонт, печерний ведмідь, носоріг Мерка, ірландський олень, тур, Стелерова корова,

дронт, птах моа тощо). Сьогодні під загрозою знищення перебуває до 10 тис. видів, в основному вищих рослин, ссавців, комах.

Рослинні ресурси. Під власне рослинними ресурсами розуміють частину природних ресурсів, представлену рослинами, які використовуються або можуть бути використані людиною для прямого чи непрямого споживання, створення матеріальних багатств, поліпшення умов життя. Природні рослинні ресурси за своєю екологічною, господарською, науковою, оздоровчою, рекреаційною цінністю та іншими ознаками поділяються на природні рослинні ресурси загальнодержавного та місцевого значення.

До рослинних ресурсів загальнодержавного значення належать:

а) об'єкти рослинного світу у межах: внутрішніх морських вод і територіального моря, континентального шельфу та виключної (морської) економічної зони України; поверхневих вод (озер, водосховищ, річок, каналів), що розташовані і використовуються на території більш ніж однієї області, а також їх притоків усіх порядків; природних та біосферних заповідників, національних природних парків, а також заказників, пам'яток природи, ботанічних садів, дендрологічних парків, зоологічних парків, парків-пам'яток садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення;

б) лісові ресурси державного значення;

в) рідкісні і такі, що перебувають під загрозою зникнення, судинні рослини, мохоподібні, водорості, лишайники, а також гриби, види яких занесені до Червоної книги України;

г) рідкісні і такі, що перебувають під загрозою зникнення, та типові природні рослинні угруповання, занесені до Зеленої книги України.

До *рослинних ресурсів* місцевого значення відносяться дикорослі та інші несільськогосподарського призначення судинні рослини, мохоподібні, водорості, лишайники, а також гриби, не віднесені до природних рослинних ресурсів загальнодержавного значення. Використання природних рослинних ресурсів може

здійснюватися з метою: природоохоронною; рекреаційною; оздоровчою; культурно-освітньою; виховною; науково-дослідною та господарською, яка включає:

а) забезпечення потреб населення та виробництва у технічній, лікарській, пряно-ароматичній, харчовій сировині з дикорослих рослин;

б) випасання худоби, забезпечення інших потреб тваринництва;

в) потреби бджільництва;

г) потреби мисливського та рибного господарства.

Рослинні ресурси України представлені вищими рослинами, мохами, лишайниками та водоростями, які використовуються для матеріальних і культурних потреб суспільства. В Україні налічується понад 25 тис. видів рослин, з яких вищих судинних рослин – 4,5 тис. видів, мохоподібних – близько 800 видів, лишайників – понад 1 тис., грибів – понад 15 тис. видів, водоростей – близько 4 тис. видів.

Трав'янисті рослинні ресурси України представлені як степовою, так і болотною рослинністю (0,6 млн. га), плавнів (0,96), прісноводних (1,50) і морських (0,80) акваторій, солонців і солончаків (0,58). Щорічно вони виробляють 21 878 тис. т органічної речовини.

Трав'янисті рослинні ресурси відзначаються багатством видів, які є цінними кормовими (46 % загального числа видів), лікарськими (23 види), технічними (12), декоративними (72), харчовими (13), медоносними та пергоносними (76), кормовими (26) рослинами. Сучасна рослинність України значною мірою видозмінена під впливом господарської діяльності людини: природна рослинність збереглася лише на 19 млн. га, що становить близько 32 % загальної площі держави. Під прямим або опосередкованим антропогенним впливом цілу низку поширених колись в Україні рослин переведено до розряду зникаючих, а 429 видів судинних рослин занесено до Червоної книги України.

Тваринний світ є невід'ємною складовою біологічних ресурсів. Під тваринним світом розуміють сукупність всіх особин тварин різних видів, які постійно або тимчасово мешкають у межах будь-якої території чи акваторії. На відміну від поняття „фауна” він характеризується не лише видовим складом, а й чисельністю. В свою чергу, *ресурси тваринного світу* визначаються як ті, що безпосередньо використовуються в мисливстві, рибному та інших видах господарства.

Об'єктами тваринного світу є: хордові, в тому числі хребетні (ссавці, птахи, плазуни, земноводні, риби та інші) і безхребетні (членистоногі, молюски, голкошкірі та інші) тварини в усьому їх видовому і популяційному різноманітті та на всіх стадіях розвитку (ембріони, яйця, лялечки тощо), що перебувають у стані природної волі; частини диких тварин (роги, шкіра тощо); продукти життєдіяльності диких тварин (мед, віск тощо); залишки викопних тварин; нори, хатки, лігва, мурашники, боброві загати та інше житло і споруди тварин.

„Розміри” тваринного світу, тобто його біомаса (загальна маса всіх тварин, що населяють Землю) складає два відсотки від загальної біомаси нашої планети, що становить приблизно $4,84 \times 10^{10}$ т. Академік В.І. Вернадський вказував, що органічний світ Землі являє собою потужну геохімічну силу, яка в кінцевому рахунку визначає історію розвитку планети. Головна особливість тваринного світу біосфери Землі полягає в його різноманітті – організованій різнорідності (близько 2 млн. видів).

Ресурси тваринного світу України. Загалом в Україні налічується понад 44 тис. видів тварин, у тому числі близько 700 видів хребетних (серед останніх 103 види ссавців, 367 видів птахів, понад 270 видів риб, майже 40 видів плазунів земноводних) та понад 27 тис. видів безхребетних (серед них домінують комахи – понад 20 тис. видів).

Серед країн Європи за біорізноманіттям Україна поступається лише Франції, і це покладає на неї високу відповідальність

за його збереження. Водночас фауна є природним капіталом країни, а отже рівень її збереження визначатиме в майбутньому долю держави.

На перший погляд, нас оточує чимало представників дикої фауни, однак без дбайливого ставлення до них з боку людини, без здійснення комплексу природоохоронних заходів деякі представники тваринного світу можуть назавжди зникнути з нашої планети. Адже тільки за останні століття в Україні повністю зникли тарпан (дикий кінь), тур, український степовий сайгак. У багатьох місцевостях майже повністю були винищені лось, олень, свиня дика, бобер та деякі інші тварини. За останні роки значно зменшилась чисельність глушця, тетерука, чорних лелек, великої і малої чепури. На грані зникнення були хохуля, дрохва та хохітва.

Найбільше уваги приділяється нині вивченню, охороні та раціональному використанню хребетних тварин, які представлені у фауні України більш ніж 200 видами риб, 18 видами земноводних, 20 видами плазунів, близько 400 видами птахів та 101 видом ссавців.

§16. ЕКОЛОГІЧНА ДІАГНОСТИКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

16.1. Основи екологічних досліджень

Будь-яке екологічне дослідження починається зі спостережень, відмітною рисою яких є невтручання спостерігача в процеси, що відбуваються. Такі спостереження можуть здійснюватися, так би мовити, неозброєним оком, що було характерно для екології першої половини ХХ століття. В останні десятиріччя екологічні спостереження ведуться із застосуванням різноманітних приладів та технічних засобів. Це вже начебто і не спо-

стереження в звичайному 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.

Він ішов від мальовничих описів картин природи, чудові зрізці яких зустрічаються в працях А. Гумбольдта, А. Уоллеса, Ч. Дарвіна в першій половині XIX століття, до сучасних комп'ютерних баз даних видового складу, параметрів середовища тих чи інших екосистем. Для вивчення властивостей природного середовища – повітря, води та ґрунту застосовуються досить різноманітні прилади та устаткування, до обслуговування яких доводиться залучати спеціально підготовлені інженерні кадри. Специфічні також і методи вивчення живих організмів. Для їх реалізації необхідні спеціалісти – біологи.

Особливістю сучасних екологічних спостережень за допомогою приладів є їхня комплексність та довгостроковість, коли на одній і тій же ділянці екосистеми ведуться протягом досить великого відрізка часу спостереження за живими організмами та абіотичними факторами середовища. Для реалізації комплексних спостережень засновуються спеціальні стаціонари, що розміщуються в типових та особливо характерних біотопах так, щоб вона давала найбільш характерну інформацію про екосистему. Окрім комплексних спостережень на стаціонарах може проводитися глобальний моніторинг екосистем і біосфери в цілому.

Як міждисциплінарна наука екологія широко застосовує **експериментальні методи досліджень**. Їх суть полягає в тому, що до екосистеми свідомо вноситься звичайно якась одна зміна, і через деякий час зіставляються результати спостережень на контрольній (яка є обов'язковою) та експериментальній ділянках екосистеми. Але такі класичні однофакторні експерименти в екології мало реальні. Тут більше придатні багатфакторні експерименти, коли змінюються значення одразу багатьох факторів, а стан екосистеми в кінці експерименту оцінюється за

багатьма її параметрами. Екологія широко використовує результати стихійних експериментів, які „ставить” сама природа або ж вони є наслідками виробничої діяльності людини. Так, відоме виверження вулкану Кракатау, що відбулося наприкінці XIX століття, знищило все живе на ряді островів Південно-Східної Азії. Ці острови були використані для вивчення сукцесій в ході природного заростання та заселення вулканічних порід.

Чимало корисної інформації додає вивчення масових вирубок лісу, створення великих водосховищ і т. ін. У результаті спостережень та експериментів у розпорядженні еколога накопичується сукупність наукових фактів. Але за науковий факт не можна брати результати будь-якого спостереження. Важливим критерієм достовірності результатів спостережень та експериментів є їхня відтворюваність. Вона досягається, як правило, багаторазовими повтореннями спостережень та експериментів. Результати таких повторюваних спостережень або обліків у сукупності складають так звану вибірку. Відповідна статистична обробка 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 на ознайомлення з нею слід отримати дозвіл. З іншого боку, всім відомі випадки, коли службова інформація (особливо щодо якості природного середовища) упереджено викривлялася. Населення м. Києва після Чорнобильської аварії не отримувало в потрібний час достовірних відомостей про забруднення радіоактивними речовинами атмосфери та водойм у місті та передмісті. Повністю була викривлена та прихована від населення південного Уралу інформація про викиди радіоактивних речовин на початку 50-х років.

У зв'язку зі складністю екологічних систем щодо їх вивчення часто використовують моделювання. Як модель може виступати матеріальна копія об'єкта екології, звичайно, до певної міри спрощена. Наприклад, акваріум можна розглядати як модель ставка. На таких моделях отримують немало корисної інформації, але в цілому їх значення в екології порівняно обмежене. Реальні екосистеми – це багатовидові, комплексні об'єкти, в той час, як їхні моделі мають багато спрощень і часто виявляються досить дорогими. Отримання за допомогою матеріальних моделей інформації про стійкість, особливості розвитку екосистем і т. ін. вимагає багато часу, оскільки тривалість будь-якого процесу в матеріальній моделі та реальному об'єкті має співвідношення 1:1.

Інший клас матеріальних моделей складають реальні об'єкти природи, спеціально виділені для вивчення в природному середовищі. У цьому випадку говориться про „модель особини”, „модель популяції” і т. ін. Більш широко в екології використовують абстрактні моделі. У даному випадку моделлю називають деякі абстрактні описи того чи іншого об'єкта або явища реального світу, що дозволяє аналізувати його властивості. Переваги абстрактних моделей полягають у тому, що вони дозволяють порівняно простими та недорогими засобами аналізувати поведінку екологічних систем та передбачати характер їхніх змін при внесенні в систему тих чи інших коректив. Головна вимога до абстрактних екологічних моделей – це точність та достатня узагальненість. Точність абстрактних моделей у багатьох випадках залежить від кількості вибраних для її конструювання елементів та параметрів системи. Включення до моделі досить великої кількості компонентів ускладнює її аналіз, створює „шум”.

Навпаки, редукація кількості елементів до занадто малого їх числа робить модель далекою від реальності. **Моделювання екологічних процесів** на основі абстрактних моделей базується на ряді спільних рис. Спершу визначається об'єкт моделювання – популяція, екосистема і т. ін. Потім визначається межа об'єкта,

визначається мета моделювання, і на цій підставі складається перелік компонентів та зв'язків, що включаються до моделі. Наступний важливий етап моделювання – це з'ясування співвідношення між компонентами моделі.

Досить важливим етапом моделювання є кількісна оцінка усіх параметрів, що беруть участь у функціонуванні об'єкта. Наприклад, це може бути оцінка ємності ґрунту щодо кількості мінеральних речовин, швидкість мінералізації речовини, величина біомаси рослин, тварин та мікроорганізмів і т. ін. На кінцевому етапі співвідношення між компонентами та процесами можуть бути подані у вигляді математичного виразу. Всі розрахунки, пов'язані зі змінами кількісних параметрів моделі, сьогодні виконуються з використанням комп'ютерної техніки. Під час конструювання та дослідження моделі перевіряється її відповідність реальному об'єкту. Модель може ускладнюватися шляхом додавання суттєвих, але спершу пропущених компонентів та зв'язків, або спрощуватися за рахунок виключення мало суттєвих для її функціонування компонентів та процесів. Залежно від апарату дослідження абстрактні моделі поділяються на ряд видів.

Основними видами абстрактних моделей є:

1. *Вербальні моделі* – це суто словесні описи елементів та процесів екосистем. Вони непридатні для дослідження та прогнозування екосистем, але в самому процесі моделювання вербальні моделі відіграють досить важливу роль. Чим ближче вербальна модель до реальності та чим точніше вона відображає суть екологічної системи, тим більш правильними виявляються створені на її основі матеріальні та інші моделі. Успіх конструювання вербальних моделей безпосередньо залежить від екологічної освіти дослідника та точного використання ним термінів і понять екології.

2. *Графічні моделі* являють собою схематичні зображення компонентів системи та зв'язків між ними.

3. *Математичні моделі* описують екологічну систему у вигляді одного чи декількох математичних виразів.

Метод моделювання екосистеми вимагає великих затрат і багато часу, а такі великі системи, як біосфера, практично не моделюються за великої кількості зв'язків, що є в них та високої значущості випадкових факторів.

На сучасному етапі розроблено багато **методів збору інформації** про стан біосфери, що є одним з найголовнішим завдань екології. Контроль сучасного стану біосфери в цілому чи в межах її окремих складових, збір екологічних даних у межах окремих континентів, їх частин або акваторій, порівняльний аналіз екологічної інформації з різних регіонів земної кулі з метою визначення динаміки екологічних ситуацій і можливих біосферних змін здійснюється за допомогою екологічного моніторингу навколишнього середовища – системи режимних довгострокових безперервних спостережень за станом довкілля. Найважливішими засобами його є дистанційні екологічні дослідження. Вони дають змогу здійснювати зондування земної поверхні у видимому, інфрачервоному, мікрохвильовому діапазонах, або з використанням лазерної техніки.

Комплексний моніторинг довкілля повинен забезпечити своєчасну оцінку стану навколишнього середовища і забезпечити передбачення можливих катастрофічних змін, зменшити їх силу або відвернути. Від якості організації і проведення екологічного моніторингу залежить ефективність рішень, що приймаються керівниками підприємств і урядами країн. Система моніторингу за станом навколишнього середовища включає три основних види діяльності:

- 1) систематичні спостереження за станом навколишнього середовища;
- 2) аналіз і прогноз – визначення можливих змін у природі під впливом природних і антропогенних чинників;
- 3) наукове обґрунтування заходів щодо регулювання стану навколишнього середовища.

Одним із найефективніших методів екологічних досліджень є **дистанційний аерокосмічний моніторинг**. Основою дистанційного моніторингу є властивість будь-якого об'єкту випромінювати та відбивати електромагнітну енергію відповідно до особливостей його природи. Розбіжності в довжинах хвиль та інтенсивності випромінювання можуть бути використані для визначення властивостей об'єкта без безпосереднього контакту з ним.

Картини Землі з космосу – це насамперед інтегральні зображення природних і господарських систем. Саме вони легше за все виділяються і характеризуються в процесі аерокосмічного моніторингу.

Відзначаються наступні особливості і переваги космічного моніторингу: спостерігаються і реєструються дані про великі простори, аж до всієї видимої в момент зйомки частини земної кулі; завдяки великій оглядовості можна простежити глобальні і регіональні особливості природи Землі; космознімки дають однотипну інформацію про важкодоступні райони з такою ж точністю, як і для добре вивчених ділянок; можливість регулярного проведення повторних зйомок дозволяє вибирати кращі зображення; за матеріалами повторних зйомок вивчається динаміка природних процесів; комплексний характер інформації, що міститься на знімках з космосу, обумовлює використання їх для вивчення складних процесів взаємодії компонентів природи: атмосфери, гідросфери, літосфери; завдяки природній генералізації зображення на космічних знімках відображаються найбільш великі і істотні елементи ландшафтної структури географічної оболонки і сліди антропогенного впливу.

Існуючі технічні засоби одержання багатоспектрального зображення і методи опрацювання інформації дозволяють визначити, класифікувати і картографувати окремі компоненти природно – господарських систем. Радіолокаційна зйомка також має надзвичайно велике значення. Її перевага полягає в тому, що

вона дає цінну інформацію про властивості літогенної основи природних комплексів, речовинний склад порід, рельєф і т. ін. Важлива особливість РЛ- зйомки – її незалежність від метеорологічних умов.

В оцінці стану навколишнього середовища поряд із дистанційними важливу роль відіграють наземні методи дослідження: геофізичні, геохімічні та індикаційні.

Геофізичний метод передбачає вивчення процесів надходження і перетворення речовини й енергії в геосистемах і екосистемах. Спостереження проводяться в стаціонарних і в напівстаціонарних умовах, на площадках або профілях із застосуванням різної вимірювальної апаратури згідно зі спеціальною програмою. Визначаються елементи радіаційного, теплового і водного балансів, досліджується тепло- і вологообмін між компонентами природного середовища і їх вплив на продуктивність екосистем. Порівняння структури балансів зміненої і непорушеної територій дозволяє визначити напрямок і ступінь змін.

Геохімічний метод полягає у вивченні функціонування природних систем за допомогою аналізу міграції хімічних елементів. Вивчається надходження елементів природним шляхом і в результаті господарської діяльності людини, виявляється інтенсивність їх водної і повітряної міграції, розглядається біологічний кругообіг елементів і його зміни під впливом техногенезу. Аналіз охоплює усі середовища: повітря, атмосферні опади, поверхневі і ґрунтові води, геологічний субстрат, ґрунти і рослини. Геохімічний метод дає можливість визначити закономірності змін хімічного складу навколишнього середовища, спроможності природних систем до самоочищення, виявити напрямки потоків забруднюючих речовин.

Індикаційний метод ґрунтується на можливості визначення стану одного об'єкта за іншим. Головну роль тут відіграє біоіндикація, а головним біоіндикатором є рослинний покрив. Останній дозволяє виявляти зміни за чотирма ознаками:

фізіологічно, морфологічно, фітоценотично і флористично. Зміни цих показників у бік зменшення кількості і погіршення якості вказують на деградацію рослинного покриву, а отже, наростання негативних тенденцій у зміні стану навколишнього середовища. Не менш важливими індикаторами є показники, що характеризують тваринний світ: структура популяцій, особливості розмноження, масові розмноження, або, навпаки, масова загибель тварин через хвороби або нестачу корму. Оцінка навколишнього середовища передбачає порівняння його стану з визначеними нормами. У якості критеріїв можуть виступати показники непорушеного стану природних комплексів, або фонові параметри середовища. Розробляються нормативні показники, які характеризують ступінь можливого впливу людини на природу.

16.2. Можливості біоіндикації на різних рівнях організації живих організмів

Біоіндикація можлива на різних рівнях організації живої матерії: макромолекула, клітина, орган, тканина, система, організм, популяція, біоценоз. З підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і їх складність, бо одночасно все більше ускладнюються їхні взаємовідносини з факторами біотопу. Слід зауважити при цьому, що біоіндикація на нижчих рівнях включається в біоіндикацію на вищих рівнях і проявляється уже в новій якості.

Інколи біоіндикаційні методи, які легко використовують на нижчих організаційних рівнях, можуть так ускладнити біоіндикацію в більш комплексних біосистемах, що розрізнити вплив фактора надто важко, а то й неможливо. З іншого боку, біоіндикаційні ознаки, що виявляють на вищому організаційному рівні, пов'язані з відповідними змінами, що відбулися на попередньому рівні. Цю закономірність слід враховувати при пошуках можливостей ранньої біоіндикації. В порівнянні з окремими

організмами екосистеми реагують на стресові впливи, як правило, із запізненням і в дуже зміненій формі. Широка гама різноманітних елементів в екосистемі та їх складні взаємовідносини заважають процесам ідентифікації тих чи інших відповідей системи на різні вхідні сигнали стресових реакцій.

Аналізуючи реакції організмів на певні антропогенні стресори і порівнюючи їх з правильно підібраним контролем (з незабрудненого місця існування), можна зробити висновки про стан довкілля.

Надійність організму проявляється в ефективності його захисних пристосувань, в його стійкості до дії несприятливих факторів зовнішнього середовища: дефіциту води, високої і низької температури, нестачі кисню, засоленню і загазованості довкілля, іонізуючого опромінювання, інфекції та ін. Несприятливі фактори називають стресорами, а реакції організму на будь-які відхилення від норми – *стрессом*.

Реакції, обумовлені стресорами, відносяться до різних системних рівнів ієрархічної організації обміну речовин. При цьому змінюються:

- організація, структура і склад біомембран (наприклад, змінюється проникність); концентрація макромолекул (наприклад, змінюється кількість ферментів); активність макромолекул (наприклад, ферментативна);
- продукування речовин із захисними функціями (наприклад, проліну); індукція нових метаболічних систем або хід біохімічних реакцій;
- структура клітин.

На рівні організмів і екосистем вплив стресорів помітний тільки завдяки появленню зовнішніх симптомів пошкодження (наприклад, некроз, хлороз) після того, як перейдена межа адаптивної здатності і системи стають нестабільними. Наприклад, реакцію індикаторних рослин можна простежити тільки за виникненням певного пошкодження.

При необхідності своєчасного запобігання необоротних змін стану ранне розпізнавання порушень часто є вирішальним. Про чутливість біохімічних і фізіологічних параметрів часто можуть свідчити дуже незначні концентрації стресора. На клітинному, субклітинному рівнях біоіндикації вплив стресорів частіше всього прихований від спостерігача, однак його можна вимірити за допомогою молекулярно-біологічних, біохімічних та фізіологічних методів.

Таким чином, на перший план виступають причинно-аналітичні дослідження, за допомогою біохімічних і фізіологічних методів, які дозволяють зрозуміти механізми дії стресорів. Ці механізми дуже важливі, оскільки :

- видимі симптоми будь-якого пошкодження – результат глибоких змін в обміні речовин рослин і тварин, причина (причини) яких важливі для розуміння подібних явищ;
- точне знання цих механізмів дії дозволяє провести ранню діагностику порушень;
- з їх допомогою можна пояснити адаптаційні механізми і прийняти захисні міри, щоб якомога раніше спинити розвиток необоротних змін. Реакції, обумовлені стресорами, можуть широко використовуватися в структурі біологічного моніторингу.

Екологічне тестування – оцінка дії токсиканта за відповідними реакціями організмів. *Основний принцип тестування* – це постановка експерименту, в ході якого досліджувані тест-функції або тест-реакції того чи іншого тест-об'єкту кількісно оцінюються в умовах впливу токсикантів (в різних концентраціях) в порівнянні з контролем, який знаходиться в аналогічних умовах, але не піддається дії токсиканта. Тестування проводиться в лабораторних (активне) або польових (пасивне) умовах. За його допомогою оцінюють токсичність новосинтезованих речовин, якість природних та стічних вод, впливи на організми пестицидів, важких металів, СПАР.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

У відповідності з організаційними рівнями біологічних систем можна встановити й різні рівні біоіндикації. Звичайно, їх неможливо строго розмежувати тому, що прояви біоіндикації переплітаються, взаємозв'язані, доповнюються один одним. Основного має добиватися дослідник в галузі біоіндикації – достовірності. Достовірність – це міра поєднання індикатора з об'єктом індикації. Абсолютно достовірним вважається індикатор, якому в ста відсотках випадків відповідає об'єкт індикації. Для підрахунків показника достовірності беруть певне число еталонних ділянок або майданчиків, де обов'язково є індикатор. Серед них є й такі, де індикатор можна виявити разом з об'єктом індикації. Відсоткове співвідношення цих ділянок і ділянок з індикатором, але без об'єкта індикації, служить кількісним показником достовірності індикатора. Зазвичай користуються задовільно надійними індикаторами, бо абсолютно достовірні індикатори проявляються рідко. Показник достовірності ще не дає повного уявлення про практичну значимість того чи іншого індикатора. Так, наприклад, якщо якась рослина завжди прив'язана до об'єкта індикації, але рідко зустрічається в природі (якщо занесена в Червону книгу), то його практичне значення обмежене. Тому для індикаторів введено ще і показник значимості, який відображає картину того, наскільки часто індикатор знаходиться разом з об'єктом індикації. При визначенні цього показника за 100 % приймається кількість еталонних ділянок з об'єктом індикації. Значимість виражається відношенням кількості еталонних ділянок, де об'єкт індикації знаходиться разом з індикатором, до загальної кількості еталонних ділянок з об'єктом індикації, виражених у відсотках. Наприклад, об'єкт індикації виявлений на 60 еталонних ділянках, при цьому на 42 ділянках він присутній разом з індикатором. Значить, значимість даного індикатора складає 70 %.

Рослини розповідають про умови навколишнього середовища, в якому вони знаходяться, за допомогою тих чи інших ознак, які російський еколог Б. В. Виноградов⁴³ класифікував на **флористичні, морфологічні, фізіологічні, фітоценотичні**.

Один з провідних фахівців у галузі фітоценотичних досліджень Р. Шуберт⁴⁴, доповнив перелік рівнів біоіндикації і визначив таких шість типів:

- ✓ біохімічні і фізіологічні реакції;
- ✓ анатомічні, морфологічні, біоритмічні і поведінкові відхилення;
- ✓ флоритичні, фаугічні і хорологічні зміни;
- ✓ ценотичні зміни;
- ✓ біогеоценотичні зміни;
- ✓ зміни ландшафтів.

Однак всі ці рівні біоіндикації взаємозалежні і не підлягають чіткому розмежуванню.

Дослідник Рабе в 1982 р. запропонував два методи, придатних для біоіндикації: пасивний і активний моніторинг. За допомогою пасивного методу в організмів, які вільно живуть, досліджуються видимі чи малопомітні пошкодження або відхилення від норми, що є ознаками стресових впливів. Активний моніторинг полягає в тому, щоб виявити ті ж самі впливи на тест-організми, які знаходяться в стандартизованих умовах на досліджуваній території.

Поширеним видом біоіндикації є фітоіндикація, тобто визначення умов середовища за станом рослин.

Для фітотестування використовують широкий спектр тест-рослин, серед яких значне місце посідають злакові, бобові, мареві та ін. Доцільно вивчати реакцію рослин на забруднення середовища на різних стадіях онтогенезу.

⁴³ Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

⁴⁴ Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Вайнерт Э., Вальтер Р., Ветцель Т. и др. Пер. с нем. Г. И. Лойдиной, В. А. Турчаниновой. – М.: Мир. – 1988.

Морфологічні зміни в рослинах під впливом антропогенних факторів середовища привертали до себе увагу дуже давно. Ще в середині XIX ст. були виявлені пошкодження димом рослин, навколо бельгійських і англійських фабрик, які виробляли соду. В 1850 р. природодослідник Штекгард опублікував свої спостереження про пошкодження димом ялинок. Пізніше повідомлялось про характер зміни забарвлення листків рослини під час застосування отруйних газів в роки Першої світової „війни. Тепер відомо про видимі пошкодження рослинності димом, а також дерев, що насаджують обабіч доріг, які взимку посипають сіллю під час ожеледиці. В багатьох країнах морфологічні індикатори успішно використовують у національній системі моніторингу протягом останніх десятиліть. Одержана значна частина картограм антропогенного впливу за допомогою методів біоіндикації, основаної на морфології рослин.

Крім цього, морфологічні методи індикації використовують при селекції стійких ліній лісових, плодових і декоративних рослин. Використання рослин як біоіндикаторів промислового забруднення природного середовища дозволить не тільки оцінити екологічний вплив окремих хімічних речовин, але й виявити сукупну дію забруднювачів із врахуванням різних природних факторів.

Фітоіндикація – складова загальної системи біоіндикації.

За Я. П. Дідухом⁴⁵ (1994) предмет фітоіндикації чітко окреслений – це оцінка екологічних чинників за допомогою ознак рослин. Саме системний підхід вивів фітоіндикацію на більш високий рівень досліджень і дозволяє оцінювати не тільки статичні властивості екосистем, а й їх динаміку, зміни процесів, що спричинені як природними, так і антропогенними факторами. Велика роль у цьому відводиться оцінці довкілля за накопиченням в органах рослин забруднювачів.

⁴⁵ Дідух Я.П. Основи біоіндикації. – К.: Наук. думка, 2012. – 344 с. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – К.: Наукова думка, 1994. – 280 с.

Отже, біоіндикація – економічно ефективний метод контролю якості середовища існування, вартість досліджень первинного санітарно-гігієнічного районування всієї території, яка знаходиться в зоні дії джерела забруднення, значно менше коштує постійного аналітичного контролю складу атмосферного повітря в одній точці. Використання методів біоіндикації виправдано, оскільки з їх допомогою можливо спростити програму робіт без збитків для якості отримуваної інформації.

Таким чином, екологічна діагностика стану довкілля є джерелом необхідної інформації для прийняття управлінських рішень щодо природоохоронних заходів і вироблення стратегії гармонізації співіснування природи і суспільства.

САМОСТІЙНІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ V

Питання для роздумів, самоперевірки, повторення

1. Охарактеризуйте умови існування живих систем на Землі.
2. Що таке біосфера? Які її межі?
3. Які складові біосфери ви знаєте? Дайте їм характеристику.
4. Прокоментуйте вчення В.І. Вернадського про біосферу.
5. Що таке жива речовина біосфери?
6. Назвіть основні властивості живої речовини.
7. Як ви розумієте різницю між живою і неживою природою?
8. Розкрийте основні функції живих систем.
9. Які функції виконує жива речовина в біосфері?
10. Як відбувається розподіл живої речовини в біосфері та від чого він залежить?
11. Дайте характеристику основним типам екосистем Землі.
12. Обґрунтуйте важливість поняття „стійкість біосфери”.
13. Як проявляється різноманітність природних екосистем? Наведіть приклади.
14. Як поділяють різні екосистеми за відмінностями біопродукції?
15. Дайте загальну характеристику екосистем суходолу та водних екосистем.

Тестові завдання: вказати одну правильну відповідь

Питання 1. Що забезпечують взаємозв'язки організмів між собою та з середовищем?
--

а. <i>Кругообіг речовин</i>

б. <i>Стойкість біогеоценозів</i>

в. <i>Саморегуляцію</i>

г. <i>Кругообіг речовин та потоки енергії</i>

д. <i>Потоки енергії</i>

Питання 2. Назвіть складову літосфери, що є верхнім родючим шаром

а. Грунт

б. Гумус

в. Комахи

г. Нітрифікуючі бактерії

Питання 3. Яку назву має перехідна зона від одного біогеоценозу до іншого?

а. Ареал

б. Екотон

в. Біотоп

г. Літораль

д. Сукцесія

Питання 4. В якому з шарів атмосфери має місце найвища концентрація озону (озоновий екран)?

а. Іоносфера

б. Стратосфера

в. Тропосфера

г. Термосфера

Питання 5. Невичерпними природними ресурсами є ...

а. Прісна вода, родючі ґрунти

б. Мінеральні корисні копалини

в. Чисте повітря

г. Сонячна енергія, енергія вітру, припливів.

д. Рослини і тварини

Питання 6. На першому місці по збільшенню концентрації CO₂ в атмосфері знаходиться:

а. Інтенсивний розвиток сільського господарства

б. Спалювання палива на електростанціях

в. Розвиток гірничодобувної та металургійної промисловості

г. Транспорт

д. АЕС

Питання 7. Евтрофікація водоймищ виникає внаслідок надходження у водне середовище:

а. Важких металів

б. Неорганічних речовин, в основному сполук азоту і сірки

в. Патогенних мікроорганізмів

г. Фосфор та нітрогеновмісних органічних речовин

ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ

ТЕМА 1. Екологія як наука.

Предмет, об'єкт та основні завдання її вивчення

Мета: Розглянути основні поняття екології, її місце в системі природничих наук, коротку історію виникнення.

Основні поняття: загальна екологія, аутоекологія, демекоекологія, синекоекологія, глобальна екологія, рівні організації живого, прикладна екологія, біоекологія, соціоекологія, екологічні закони, методи екології.

План семінарського заняття

1. Історія розвитку сучасної екології.

Екологія виникла як суто біологічна наука, але в наш час вона трансформувалася і стала наукою про структуру та функцію природи в цілому, наукою про біосферу, наукою, що вивчає місце людини на нашій планеті, оптимізацію взаємин людини з довкіллям.

2. Визначення, предмет і завдання екології.

Екологія – це наука про взаємовідносини живих організмів між собою та з неорганічною природою, що їх оточує; про зв'язки в системах, яким підпорядковане існування організмів; про структуру і функціонування цих систем.

3. Рівні організації живої матерії та структура сучасної екології.

Основними ланками екологічної структурної ієрархії є організм, популяція, угруповання. Серед напрямів сучасної екології найчастіше виділяють два: теоретичний (загальна екологія) та прикладний (соціологічні науки та технологічні науки).

4. Методологічна основа екології.

Екологія базується на законах діалектики і законах природничих наук. За оцінкою М.Ф. Реймерса сучасна екологічна наука використовує 250 законів, закономірностей, принципів, правил.

Методи екологічних досліджень можна поділити на три основні групи: збір інформації; обробка, згортання, стиснення та узагальнення її; інтерпретація отриманих фактичних матеріалів.

Навчальні завдання

Завдання 1. Користуючись даним посібником та додатковою літературою, дайте відповіді на такі питання:

- а. Назвіть і охарактеризуйте основні етапи розвитку екології.
- б. В чому проявляються особливості становлення екології як науки в період до ХХ століття?
- в. Покажіть динаміку розвитку екології в ХХ столітті та охарактеризуйте структуру екології за М.Ф. Реймерсом.
- г. Порівняйте визначення екології як науки на різних етапах її розвитку.
- д. В чому полягають предмет вивчення і завдання сучасної екології?
- е. Охарактеризуйте методи сучасної екології.
- ж. Наведіть структуру сучасної науки про довкілля.
- з. Покажіть взаємозв'язок між екологією і охороною довкілля.

Завдання 2. Підготуйте доповіді чи реферати на такі теми:

- а. Внесок українських вчених у розвиток сучасної екології.
- б. Загальна екологія як теоретична основа заходів з охорони природи і природокористуванню.
- в. Рівні організації живих систем і місце в них екологічної науки.
- г. Основні екологічні закони та їх практичне застосування.

Рекомендована додаткова література

1. Злобін Ю.А., Кочубей Н.В. Загальна екологія: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2003. – С. 8–34.
2. Олійник Я.Б. Основи екології: підручник / Я.Б. Олійник, П.Г. Шищенко, О.П. Гавриленко. – К.: Знання, 2012. – С. 11-41.
3. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.

4. Сухарев С.М., Чундак С.Ю., Сухарева О.Ю. Основи екології та охорони довкілля. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: Центр навч. літер., 2006. – С. 9–24.

ТЕМА 2. Типи середовищ. Екологічні фактори середовища

Мета: Визначити зміст понять „середовище” та реакцію живих організмів на різні види екологічних факторів.

Основні поняття: навколишнє середовище, повітряне, ґрунтове та водне середовище, абіотичні, біотичні та антропогенні фактори; кліматичні, едафічні, гідрологічні, орографічні, геологічні чинники середовища; нейтралізм, конкуренція, аменсалізм, паразитизм, хижацтво, коменсалізм, протокооперація, мутуалізм; аутоекологічні закони, діапазон толерантності, екологічна валентність, еврибіонтні та стенобіонтні види.

Хід роботи

Завдання 1. Вказати фізико-хімічні показники відповідних середовищ, які сприяли виникненню наступних пристосувань у живих організмів:

- А. Утворення повітряного пухиря і жирового шару у риб.
- Б. Плоска форма тіла придонних риб (камбала).
- В. Округлий переріз тіла форелі і плоский переріз тіл коропа і карася.
- Г. Явище реотропізму у тварин водного середовища.
- Д. Наземні організми мігрують у товщу ґрунту й там переживають в активному чи неактивному стані період посух, низьких або підвищених температур.
- Е. Уникнути пошкоджень у ґрунті мурашкам і деяким жукам допомагають міцні покриви тіла, а різноманітним черв'якам – слиз, яким вкрите тіло тварини.

- Е. У дощового черв'яка і личинки хруща покриви тіла зволожені.
- Ж. Деякі мешканці ґрунту мають маленькі очі або взагалі позбавлені органів зору, як дощовий черв'як, сліпак, личинки комах. Орієнтуватися цим організмам допомагають органи дотику і нюху.
- З. Ящірки та змії зимують у тріщинах ґрунту і ходах, зроблених кротою. З настанням холодів виноградний слимак заривається в ґрунт на глибину 30-40 см, щільно затуляє свою черепашку і впадає у стан заціпеніння. Тварини ґрунту на зиму переміщуються у глибші шари. Наприклад, дощовий черв'як зимує на глибині до 1,5 метра.
- И. Восени у птахів і ссавців відбувається линяння. Оппадає листя з дерев і кущів.
- І. Хом'яки, бурундуки, їжаки, кажани, деякі види ховрахів впадають у зимову сплячку.
- Й. У вовчих та котячих не розвинений кольоровий зір, а сови та лемури мають великі розміри очей.

Завдання 2. Вставити пропущені терміни:

- А. Чинники, що прямо чи опосередковано діють на живі організми в будь-який момент їхнього життя називають _____.
- Б. _____ – компоненти неживої природи (температура, вологість, світло, рельєф).
- В. _____ – фактори взаємодії живого з живим (мутуалізм, паразитизм, хижацтво, коменсалізм, вільна конкуренція, тощо).
- Г. _____ фактори пов'язані з господарською діяльністю людини.

Завдання 3. По відношенню до вологи, рослини поділяють на такі групи:

- А. _____ – рослини, що повністю занурені у воду (водорості, квіткові рослини).

- Б. _____ – напівзанурені (рогоз, комиш, осока, очерет тощо);
- В. _____ – суходільні рослини з достатнім зволоженням;
- Г. _____ – мешкають на сухих територіях.

Завдання 4. Серед перелічених організмів визначити належність до *стенобіонтів* чи *еврибіонтів*, вказати фактор впливу:

- А. Рибоїдний птах скопа (*Pandion haliaetus*) – типовий стенофаг, але має здатність пересуватися на великі відстані в пошуках їжі і займає значний ареал.
- Б. Риби тропічних і полярних зон та риби значних глибин, де температура мало змінюється.

Завдання 5. Визначити типи біотичних взаємодій серед живих організмів, які розглядаються нижче і пояснити свій вибір:

- А. Грибниця густо оплітає коріння, утворюючи складну структуру, яка називається *мікоризою*. Нитки грибниці утворюють додатковий потужний всмоктувальний апарат. Гриб в свою чергу отримує від рослини необхідні йому для живлення органічні речовини. В результаті таких взаємовідносин життя одного виду залежить від іншого.
- Б. Виноград добре росте разом з фіалками. Овес та люпин, кукурудза та горох або квасоля всі добре себе почувають поруч. Яблуна поруч з чорними тополями або кленами краще росте й стає стійкішою до морозів. Для горобини корисне сусідство з липою, для жовтої акації – з бузиною, для фіалки – з пшеницею.
- В. Клітини водоростей живуть у коралах, постачаючи їм органічну речовину.
- Г. Відмінності у висоті, розташуванні листків, формі крони. Особливо це добре видно в угрупованні мішаного лісу, де рослини розташовуються у 5 ярусів.

- Д. У випадку враження грибами або бактеріями багато рослин виділяють жироподібні антибіотики, що називаються фітоалексинами. При поїданні листків дуба гусінню непарного шовкопряда, нові листки, що відростають, містять велику кількість танінів. Такі листки стають мало їстівними і личинки шовкопряда гинуть.
- Є. Комарі та кліщі можуть ссати кров тварин та людини від 2хв. до 8 діб.
- Ж. Комахи, птахи і летючі миші здатні запилювати квіткові рослини.

Завдання 6. Пояснити яким чином алелопатичні взаємовідносини живих організмів може використати людина у своїй практиці. Навести приклади.

Завдання 7. Навести приклади антропогенного впливу на довкілля (прямого та опосередкованого).

ТЕМА 3. Ознайомлення з фітонцидними рослинами і виявлення можливості використання їх в інтер'єрі приміщення

Мета: Скласти список рослин, які виділяють у навколишньому середовищі фітонциди та можуть бути корисними для здоров'я людини та естетичного сприйняття.

Хід роботи

1. Користуючись літературними даними, складіть списки з 15-20 кімнатних рослин, що проявляють фітонцидні властивості, з врахуванням їх особливостей.
2. Результати представити у вигляді таблиці (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика вибраних рослин

Назва	Наявність яскравих квіток	Наявність декоратив- них листків	Вимогливість до світла	Фітонцидні та інші корисні властивості

1. Оформити в лабораторному зошиті план інтер'єрного озеленення приміщення залежно від його функціонального призначення (на вибір): вестибуль, адміністративно – службове приміщення, зимовий сад, засклена галерея, довгий коридор, лікарняна палата. При цьому врахувати освітлення і температурний режим цих приміщень.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Правильний світловий режим – це не просто необхідний рівень освітлення. Існує шкала освітленості:

- ✓ **Пряме сонячне освітлення.** Яскраво освітлене місце на відстані до 1,5м від південного вікна.
- ✓ **Невелика кількість прямих сонячних променів.** Яскраво освітлене місце, куди потрапляє певна кількість денних прямих сонячних променів.
- ✓ **Яскраве розсіяне світло.** Місце, куди потрапляють прямі промені світла поблизу сонячного вікна (в радіусі близько 1,5 м).
- ✓ **Напівтінь.** Місце з помірним освітленням в радіусі 1,5–2,5м від сонячного вікна або біля вікна, яке не знаходиться на сонячній стороні.
- ✓ **Тінь.** Затемнене місце, але світла має бути достатньо для того, щоб на протязі декількох годин тут можна легко читати газету.

На допомогу студенту

Людина, як і інші живі організми, може вступати в різного роду взаємовідносини з тваринами, рослинами і собі подібними. Деякі форми цих взаємовідносин склалися ще в ході природної еволюції органічного суспільства. З покоління в покоління людина передавала відомості про користь та шкідливість тих чи інших живих організмів. При цьому користувалися найбільш стародавнім методом досліджень – методом спостережень.

Корисні рослини входили в кімнатну культуру. Лише в 20 столітті було науково доведено їхню корисність. Зокрема, кімнатні рослини впливають на мікроклімат приміщення, поглинаючи частину шкідливих речовин, у тому числі надлишком вуглекислого газу. Крім цього кімнатні рослини мають естетичне та рекреаційне значення. Зелений колір рослин позитивно впливає на здоров'я. Він не втомлює очі, знімає зорову напругу, нормалізує внутрішньо зоровий тиск, покращує кров'яне постачання очей.

У другій половині ХХ ст. стала розвиватися ароматологія, що зацікавило хіміків, медиків, екологів. Встановили, що рослинні аромати здатні впливати на дихання, збудливість м'язів, нервову систему, мозкові біоритми. Наприклад, запахи лаванди та розмарина знімають стреси і заспокоюють нервову систему. При роботі з монітором комп'ютера, число помилок знижується, якщо вдихати запахи кімнатних рослин: лимона – на 54 %, жасмину – на 33 %.

Багато кімнатних рослин вирощуються завдяки їх чудовій властивості – виділяти в навколишнє середовище фітонциди (рис. 1).

Фітонциди – це бактерицидні (антагоністи бактерій), фунгіцидні (антагоністи грибової інфекції), протисцидні (антагоністи найпростіших) леткі речовини, які відіграють значну роль у взаємовідносинах організмів у рослинних угрупованнях і є одним з факторів природного імунітету рослин. Фітонциди

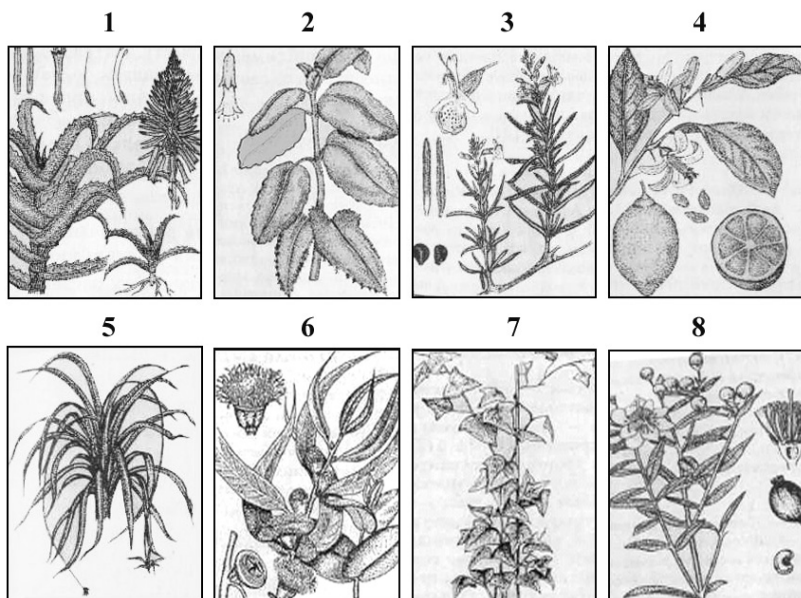


Рис. 1. Кімнатні рослини з фітонцидними властивостями

- 1 – *Алое деревовидне*; 2 – *Каланхое строкате*;
3 – *Розмарин лікарський*; 4 – *Лимон звичайний*;
5 – *Хлорофітум*; 6 – *Евкалипт сферичний*;
7 – *Плющ звичайний*; 8 – *Мирт звичайний*

підвищують бактерицидну здатність повітря, роблячи його чистими. Механізм його явища зв'язаний з трансформацією молекул озону в електронно-збудливі молекули кисню – озонів, здатні руйнувати структуру ДНК патогенних мікроорганізмів.

Бактерицидні властивості повітря, яке містить фітонциди, зумовлює і таку його властивість, як свіжість. Свіже повітря виліковує багато захворювань, покращує стан здоров'я: позитивно впливає на нервову систему, підвищує рухливу активність, секреторну функцію шлунково-кишкового тракту, покращує обмін речовин, стимулює серцеву діяльність.

Виникла необхідність глибоко розробити теорію фітонцидів у тісному зв'язку з теорією фітодизайну. Рослини, правильно підібрані і розміщені з гарним смаком, створюють психологічно сприятливе середовище, позитивно впливають на настрій людей, надають приміщенню своєрідний колорит і певний комфорт.

ТЕМА 4. Вивчення і оцінка основних показників популяції

Мета: Вивчити популяційний рівень організації живої матерії, основні характеристики та структури популяції живих організмів та їх практичне застосування в екологічних дослідженнях.

Основні поняття: визначення популяції, категорії популяцій, основні ознаки популяцій, чисельність, щільність, методи обліку щільності, типи динамічних змін чисельності, народжуваність і смертність, криві виживання, просторова, статева, етологічна і вікова структура популяцій.

Хід роботи

Завдання 1. Розглянути та порівняти різні методи обліку чисельності популяції:

- *Тотальний облік* можливий, іноді, для великих, добре помітних організмів (бізони на відкритих рівнинах) або для організмів, які збираються на період розмноження у великі групи (морські птахи і тюлені).

- *Метод пробних ділянок.* Цей метод полягає у підрахунку і зважуванні організмів на пробних ділянках або на трансектах. Розміри і кількість пробних ділянок повинні бути достатні для отримання чисельності на досліджуваній території.

- *Методи мічення з повторним відловом* (для рухомих тварин). З популяції відловлюють частину тварин, помічають їх і випускають. Відсоток помічених тварин у наступній вибірці використовується для визначення загальної чисельності.

- *Метод вилучення*, при якому кількість організмів зібраних з деякої площі, при послідовній вибірці, відкладається по осі ординат, а кількість із зібраних раніше – по осі абсцис. Якщо імовірність ловлення відносно постійна, то позначки відкладаються вздовж прямої лінії. Цю лінію можна провести до нульової точки (на осі абсцис), яка буде теоретично відповідати 100 % вилученню з даної площі.

Завдання 2:

- A. На графіку залежності чисельності популяції від часу (рис. 7, §8) позначити ділянки, що відповідають різним типам її динамічних змін.
- Б. На конкретному прикладі пояснити ці зміни і визначити ті фактори, від яких залежить динаміка чисельності популяції.

Завдання 3:

- A. Уважно розгляньте, замалюйте та опишіть типи розподілу особин у популяції (рис. 6, §7).
- Б. На конкретному прикладі поясніть вплив екологічних факторів на розподіл особин у популяції.

Завдання 4:

Уважно розгляньте кожен тип кривої виживання (рис. 5, §7), замалюйте. Наведіть приклади практичного застосування кривих виживання різних організмів.

Завдання 5:

Популяція з 50 особин найпростіших у деякому об'ємі води збільшується шляхом поділу. Через 1 годину кількість особин збільшилася до 150 особин. Розрахувати абсолютну народжуваність та питому народжуваність (середня швидкість зміни чисельності на особину у популяції).

Завдання 6:

Пояснити практичне значення показника статевої структури „співвідношення статей” на конкретному прикладі (у свійських тварин, антилоп, курей).

ТЕМА 5. Порівняльний аналіз флори в біоценозах

Мета роботи: визначити видовий склад фітоценозів та оцінити флористичну спільність біоценозів.

Основні поняття: біоценоз, видова структура, фітоценоз, флористичний склад, едифікатори, домінанти, субдомінанти, флористична спільність, життєві форми рослин.

Хід роботи

Для дослідження декількох фітоценозів, наприклад, степу і луки визначають видовий склад обраних біоценозів; виявляють домінанти. Порівнюючи видовий склад обох фітоценозів, роблять висновки щодо особливостей, якими характеризуються види – домінанти кожного з фітоценозів, та якими факторами середовища зумовлена їх домінантність. Коефіцієнт флористичної спільності фітоценозів вираховують за *формулою Жаккара*:

$$K = 100 \times C / (A + B - C),$$

де К – коефіцієнт флористичної спільності (у %);

А – число видів фітоценозу (А);

В – число видів фітоценозу (В);

С – число видів, спільних для обох фітоценозів.

Завдання 1.

А. Розрахувати ступінь спорідненості трьох фітоценозів (I, II, III), що знаходяться на різних територіях, за результатами дослідження видового складу: I – налічує 86 видів, II – 93,

III – 116 видів. Кількість спільних видів для I та II угруповань склала 69 видів, для II та III угруповань склала 72 види, для I та III угруповань склала 64 види.

- В. Визначити фітоценози, які мають найвищий ступінь спорідненості.
- В. Зробити висновок про практичне застосування коефіцієнта флористичної спільності

Завдання 2.

На рисунку 1 представлено одну з найбільш популярних систем життєвих форм рослин, яку запропонував датський ботанік К. Раункієр, по відношенню до дії температурного фактора.

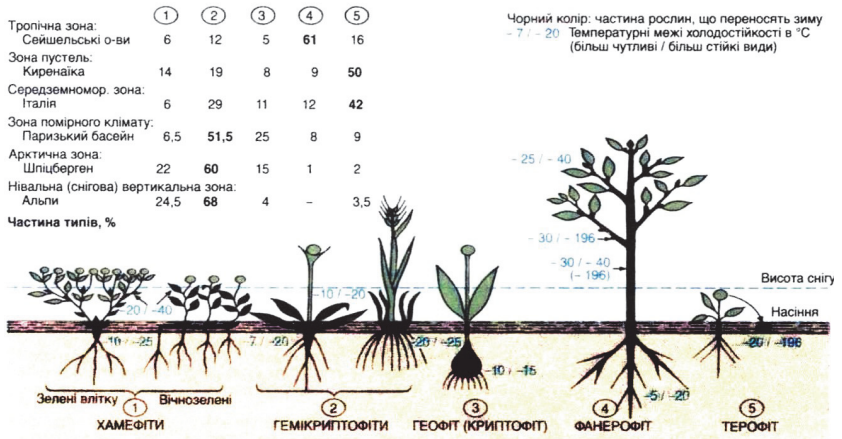


Рис. 1. Життєві форми рослинних організмів (за Раункієром)

Уважно розгляньте рисунок 1, замалюйте і вставте відповідні до опису терміни:

- А. _____ – деревні рослини, у котрих бруньки поновлення знаходяться високо над поверхнею ґрунту і повністю відкриті

для атмосфери. Включають дерева з довільною мінімальною висотою до 25 см, а також ліани та епіфіти, що підтримуються в ролі опори деревами і чагарниками.

- Б. _____ – різні рослини з бруньками поновлення, розміщеними вище поверхні землі, але нижче 25 см. Включають чагарники і напівчагарники, низькорослі сукуленти та розеточні чагарники. Їх форма характерна і для холодних територій, і для сухих та жарких районів землі.
- В. _____ – багаторічні трави з бруньками поновлення на рівні ґрунту. Не лише сніг в холодному кліматі, але й опале листя або відмерлі залишки рослин можуть захищати бруньки цих рослин.
- Г. _____ – багаторічні трави з бруньками поновлення захищаними у ґрунті (цибулини, бульбоцибулини, кореневища). У цих рослин найбільш надійний захист від суворого клімату – як жаркого, так і холодного.
- Д. _____ – однорічники, що переживають несприятливий час року у вигляді насіння.

Завдання 3.

Дайте відповідь: в біоценозах яких екосистем кожна з цих форм може бути домінуючою? Наведіть приклади.

ТЕМА 6. Розв'язування екологічних задач

Мета роботи: з'ясувати практичне застосування правила екологічної піраміди та закону концентрування.

Основні поняття: трофічна структура, ланюги живлення, пасовищні та детритні ланцюги живлення, трофічні рівні, продуценти, консументи, редуценти, типи екологічних пірамід, закон Ліндемана, поліфаги, ксенобіотики, закон концентрування.

Алгоритм розв'язку задач

1. Визначити тип ланцюга живлення, необхідного для розв'язку задачі. Розмістити організми даної екосистеми по трофічних рівнях, пам'ятаючи про явище поліфагії.
2. Побудувати екологічні піраміди біомас для всіх необхідних ланцюгів живлення.
3. Застосовуючи правило екологічної піраміди, розрахувати біомасу організмів на кожному трофічному рівні.
4. Визначити масу ксенобіотика на кожному трофічному рівні, пам'ятаючи про властивості ксенобіотиків у трофічних ланцюгах.
5. Розрахувати концентрацію ксенобіотика на всіх трофічних рівнях і визначити необхідну для розв'язку задачі.
6. Результати розрахунків представити у вигляді таблиці 1:

Таблиця 1

Розрахунки біомаси організмів та концентрації ксенобіотика

Номер трофічного рівня	Біомаса організмів, кг	Маса ксенобіотика, г	Концентрація ксенобіотика, г/кг
I			
II			
III			
IV			

Приклад розв'язку

Задача. Яка біомаса ягідних кущів необхідна для того, щоб біомаса яструбів в екосистемі лісу становила 200 кг? Видове різноманіття даної системи: трава; заєць; вовк; ягідний кущ; рослинна комаха; павук; синиця; яструб; бактерії – сапрофіти.

Розрахуйте можливу концентрацію свинцю в ягідних кущах, якщо його концентрація в тілі яструба становила 10 г на кг біомаси.

Хід розв'язування

- Для розрахунків необхідно скласти пасовищний тип ланцюга живлення.
- Розподіл організмів по трофічних рівнях:
 - *I трофічний рівень (продуценти)*: трава, ягідний кущ;
 - *II трофічний рівень (консументи I-го порядку)*: заєць, рослинна комаха, синиця;
 - *III трофічний рівень (консументи II-го порядку)*: павук, синиця, яструб;
 - *IV трофічний рівень (консументи III-го порядку)*: яструб
- Для відповіді на перше питання задачі можливі два варіанти, що передбачають розв'язки за двома пірамідами біомас, оскільки яструб може бути консументом II або III порядків.

I ВАРІАНТ: (яструб – консумент II-го порядку)

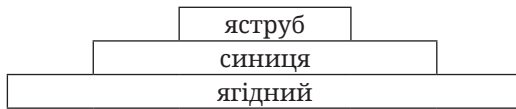


Рис. 1. Екологічна піраміда біомас за трьома трофічними рівнями

- Згідно з „правилом 10 %”, знаючи біомасу живих організмів III трофічного рівня (яструб), розраховуємо біомасу живих організмів на II (синиця) та I (ягідний кущ) трофічних рівнях (табл. 2).

Таблиця 2

Результати розрахунків біомаси організмів

Номер трофічного рівня	Біомаса організмів, кг	Маса ксенобіотика, г	Концентрація ксенобіотика, г/кг
I	20000		?
II	2000		
III	200	?	10

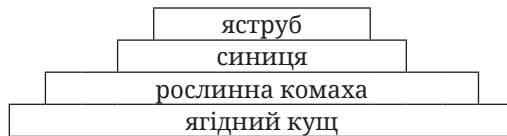
2. Далі, знаючи властивості ксенобіотика та закон концентрування ксенобіотиків при переході з одного трофічного рівня на інший, визначаємо масу свинцю та його концентрацію відповідно на III, II та I трофічних рівнях (табл. 3).

Таблиця 3

**Результати розрахунків концентрації свинцю
в ягідних кущах**

Номер трофічного рівня	Біомаса організмів, кг	Маса ксенобіотика, г	Концентрація ксенобіотика, г/кг
I	20000	2000	0,1
II	2000	2000	1,0
III	200	2000	10

II ВАРІАНТ: (яструб – консумент III-го порядку)



**Рис. 2. Екологічна піраміда біомас
за чотирма трофічними рівнями**

Аналогічно алгоритму розв'язку I варіанта, маємо такі результати (табл. 4):

Таблиця 4

Результати розрахунків II варіанту

Номер трофічного рівня	Біомаса організмів, кг	Маса ксенобіотика, г	Концентрація ксенобіотика, г/кг
I	200000	2000	0,01
II	20000	2000	0,1
III	2000	2000	1,0
IV	200	2000	10

Самостійні завдання

Задача 1. До екосистеми ставу входять такі організми: водорості багатоклітинні; дафнія; жаба; карась; окунь; сапрофітні

- A. Складіть схему трофічної мережі цієї екосистеми.
- Б. Розрахуйте можливу концентрацію свинцю в тілі окуня, якщо його концентрація у біомасі водоростей 0,3 г на кг. Маса водоростей – 700 кг.

Задача 2. На рисунку 3 показано передачу ксенобіотика по трофічних рівнях біоценозу.

- A. Складіть схему даного трофічного ланцюга.
- Б. Розрахуйте можливу концентрацію ДДТ у зеленій біомасі дерев, якщо його концентрація у ґрунті становила 0,07 мг/кг (ГДКДДТ = 0,100 мг/кг). Маса дрозда – 1,2 кг. Зробіть відповідний висновок.

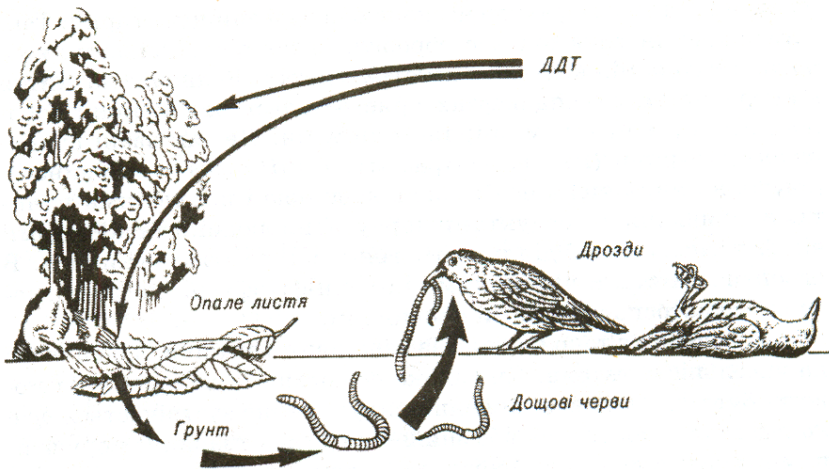


Рис. 3. Передача ксенобіотика по ланцюгу живлення

Задача 3. Видове різноманіття біогеоценозу лісу: трава; заєць; вовк; ягідний кущ; рослинна комаха; павук; синиця; яструб; бактерії – сапрофіти.

- А. Розрахуйте яка біомаса ягідних кущів необхідна для того, щоб біомаса яструбів у лісовому біогеоценозі становила 800 кг? Розглянути всі можливі варіанти.
- Б. Розрахуйте можливу концентрацію свинцю в траві масою 20 тонн цього ж біогеоценозу, якщо концентрація свинцю в тілі яструба становила 7 г на кг біомаси.

ТЕМА 7. Розрахунок коефіцієнта екологічно-відповідних умов проживання людини

Мета роботи: визначення найсприятливіших умов навколишнього природного середовища для гармонійного розвитку людини.

Основні поняття: природне середовище, коефіцієнт природних умов, забезпеченість орними землями, зміни атмосферного тиску, сейсмічний стан, властивості сонячної радіації, величина атмосферних опадів, температурний режим, валовий внутрішній продукт (ВВП).

На допомогу студенту

Природний і людський фактори є невід’ємними частинами єдиної глобальної системи. Однак темпи і спрямованість розвитку природних і антропогенних процесів не завжди узгоджуються між собою. Крім того, соціальні процеси історично обумовлюються невідповідними природі суспільними закономірностями. Внаслідок цієї неузгодженості виникає переважна більшість глобальних екологічних проблем, серед яких першочерговими є проблема ресурсів живої природи, питної води, просторова, енергетична, загальноресурсна і технологічна проблеми.

Розвиток промислового виробництва, заснованого на використанні ресурсного і технологічного потенціалу, неминуче породжує дисгармонію у системі „природа – суспільство”. Свідченням цього є техногенна деградація природних ресурсів, ландшафтів та ін. Наприклад, в Україні відносно чисті території не перевищують 7 % від загальної площі, а на 68 % екологічна ситуація є несприятливою для здоров'я людини. У багатьох країнах території екологічних катастроф досягають 1 % загальних їх площ.

Для встановлення коефіцієнта екологічної відповідності умов проживання людини використовують багато факторів. Інтегруючим серед них є величина валового внутрішнього продукту (ВВП) в розрахунку на 1 особу населення області. Адже, чим багатша область, тим більше коштів спрямовує вона на охорону навколишнього середовища.

Інтегральний коефіцієнт екологічної відповідності ($K_{ев}$) обчислюють за такою формулою:

$$K_{ев} = \frac{1}{e} \sum i \cdot v,$$

де $K_{ев}$ – коефіцієнт екологічної відповідності;

e – кількість складових природного середовища);

i – коефіцієнт природних умов;

v – величина ВВП на одну людину (в тис. дол на 1 людину).

Методика розрахунку коефіцієнта природних умов.

У системі відносин „людина – природа” особливо важливим є визначення екологічно безпечних умов проживання людини, основних складових середовища, які впливають на її розвиток і вдосконалення. Такими складовими є:

- 1) забезпеченість орними землями;
- 2) зміни атмосферного тиску;
- 3) сейсмічний стан;
- 4) властивості сонячної радіації;
- 5) величина атмосферних опадів;
- 6) температурний режим.

За цими складовими вираховують бали для кожної країни, потім методом зменшення цих балів у 10 разів отримують розрахункові коефіцієнти. Сума 6-ти розрахункових коефіцієнтів становить коефіцієнт природних умов.

Розрахунок забезпеченості орними землями. Коефіцієнт забезпеченості орною землею кожної людини вираховують за такою схемою: за вихідний показник береться 0,6 га як оптимальна величина; збільшення площі на кожні 0,5 га має відповідно зростаючий коефіцієнт; кожні 0,5 га нижче оптимуму мають відповідний понижуючий коефіцієнт. Наприклад; 2,1 га/л (гектар на людину) – 4 бали; 1,6 га/л – 3 бали; 1,1 га/л – 2 бали; 0,6 га/л – 1 бал; 0,1 га/л – 0,4 бала; 0,05 га/л – 0,3 бала; 0,09 га/л – 0,2 бала.

Величина показника забезпеченості орними землями на 1 людину залежить від площі кожної з держав, щільності розселення і техногенного навантаження. Наприклад, в Україні при загальній площі 60,4 млн. га на ріллю припадає 34,2 млн га (55 %), але цей показник має тенденцію до зниження, що є наслідком, водної, вітрової і лінійної ерозії, а також невваженого втручання людини.

Розрахунок впливу атмосферного тиску. Газова оболонка Землі створює постійний тиск на її, поверхню. Він може змінюватися залежно від географічних умов місцевості, особливостей атмосферної циркуляції, пори року, температури повітря та інших причин.

Найпоширенішими одиницями виміру тиску є міліметри ртутного стовпчика, бари і паскалі. Нормальний тиск при температурі 0°C над рівнем моря на географічній широті 45° становить 760 мм рт. ст., що дорівнює 1013 мБар, або 1013,25 Па.

Один бар створює тиск силою 1 кг на 1 см², який вважають рівним одній атмосфері.

У процесі дослідження впливу атмосферного тиску на стан організму вивчали і медичні аспекти. Так, парціальний тиск

кисню у венозній крові становить 40 мм рт. ст. Для того щоб кисень з артеріальної крові міг „подолати” цей тиск та утворити оксигемоглобін, його тиск в артеріальній крові має бути вищим і становити приблизно 40–60 мм рт. ст. Це можливо за умови, що парціальний тиск кисню у повітрі, яке людина вдихає, становитиме не менше 70–80 мм рт. ст., а в альвеолярній крові – не менше 55– 60 мм рт. ст.

Карта ізобар містить інформацію про те, що у липні розподіл атмосферного тиску у Західній і Східній півкулях північної широти на континентах змінюється від 1013 гПа до 1000 гПа.

Прийнявши за межу відліку 1010 гПа, тобто тиск 760 мм ртутного стовпчика, можна визначити бали з урахуванням підвищуючих і знижуючих величин тиску (табл. 1).

Таблиця 1

**Шкала визначення бальності території
залежно від величини атмосферного тиску**

Атмосферний тиск, гПа	Бали	Амосферний тиск, гПа
1010	10	
1009	9	1011
1008	8	1012
1007	7	1013
1006	6	1014
1005	5	1015
1004	4	1016
1003	3	1017
1002	2	1018
1001	1	1019
1000	0	1020

Найсприятливіші умови щодо стабільності атмосферного тиску на півночі Європи є в Норвегії, Швеції (1009– 1011 гПа), на півдні – у державах Середземномор’я (1009–1011 гПа). У Південно-Східній Азії найкращі умови за цим показником мають В’єтнам,

Лаос, Філіппіни. Знижені величини атмосферного тиску зафіксовані у Китаї, Афганістані, Туркменістані (1018 гПа).

Розрахунок сейсмічного стану. При визначенні екологічної відповідності територій для проживання людини за сейсмічним станом беруть до уваги наявність вулканів і землетрусів за останніх 100 років (відсутність їх оцінюється в 0 балів). Залежно від площі вияву сейсмічних явищ в межах території держави, величина бала з від'ємним знаком дорівнює кількості складових за умови, що кожна держава поділена на 10 складових.

Розрахунок величини сонячної радіації. Із сонячною радіацією пов'язують поширеність хвороб органів кровообігу. Статистичні дані свідчать, що кількість загострень серцево-судинних захворювань та їхні наслідки пов'язані з хромосферними спалахами на Сонці. Це припущення підтверджують результати аналізу частоти інфаркту міокарда протягом доби в Києві, Санкт-Петербурзі та Караганді. Як з'ясувалося, в дні підвищеної сонячної активності кількість інфарктів міокарда в 1,5–2 рази перевищує середньорічний рівень.

При визначенні вихідних показників величини сонячної радіації використовують 10-бальну систему її розподілу, беручи за початок відліку величину 60-70 ккал/1 см²-рік, тобто пересічну величину, від якої найнижчою межею є 20 ккал/1 см²-рік, а максимальною – 140 ккал/1 см²-рік. Отже, 60–70 ккал/1 см²-рік сонячної енергії, або 10 балів, є оптимальною величиною сонячної радіації, яка сприяє нормальному розвитку людського організму (табл. 2).

Розрахунок температурного режиму. Враховуючи, що середньомісячна температура найтеплішого місяця дещо вища від середньорічної, яка може становити +21°C, за вихідну взято температуру +28°C, що зумовило певну залежність (табл. 3).

Розрахунок обсягу атмосферних опадів. Для визначення бальності опадів використовують карту розподілу атмосферних опадів на Землі, відповідно до якої для всіх країн Західної півкулі оптимальна кількість опадів становить 2–3 бали.

Таблиця 2

**Шкала визначення бальності території
залежно від величини сонячної радіації**

Сонячна радіація, ккал/1 см ² -рік		Бали	Сонячна радіація, ккал/1 см ² -рік	
70	–	10	–	70
60–50	–	8	–	70–80
50–40	–	6	–	80–90
40–30	–	4	–	90–100
30–20	–	2	–	100–110
<20	–	10	–	>110

Таблиця 3

**Шкала визначення бальності території
за температурним режимом**

Температура, + °С	Бали	Температура, +°С
28	10	28
27	9	29
26	8	30
25	7	31
24	6	32
23	5	33
22	4	34
21	3	35
20	2	36
19	1	37
18	0	38

Градаційну бальність розраховують на основі умовних позначень: <250 мм, 250–500, 500–1500, 1500–2500, >2500 мм. За оптимальну взято кількість опадів липня, що змінюється від 500 до 1500 мм – її оцінено в 3 бали. Кількість опадів від 250–500 і 500–2500 має 2 бали. Максимальна (>2500) і мінімальна (<250) кількість опадів – 1 бал.

Хід роботи

Завдання 1. Розрахувати коефіцієнт природних умов відповідних областей України за описаною вище методикою (табл. 4-6).

Таблиця 4

Розрахунок коефіцієнта природних умов на прикладі Київської області

№ п/п	Показник	Величина показника	Бали	Коефіцієнт
1	Атмосферний тиск, гПа	1012	?	?
2	Сейсмічний стан	-----	?	?
3	Сонячна радіація, ккал/см ² -рік	92	?	?
4	Атмосферні опади, мм	570-610	?	?
5	Середня температура найтеплішого місяця, +°С	20	?	?
6	Забезпеченість землею, га/люд.	0,78	?	?
Коефіцієнт природних умов			?	

Таблиця 5

Розрахунок коефіцієнта природних умов на прикладі Чернігівської області

№ п/п	Показник	Величина	Бали	Коефіцієнт
1	Атмосферний тиск, гПа	1003	?	?
2	Сейсмічний стан	-----	?	?
3	Сонячна радіація, ккал/см ² -	96	?	?
4	Атмосферні опади, мм	550-660	?	?
5	Середня температура найтеплішого місяця,	21,5	?	?
6	Забезпеченість землею, га/люд.	0,61	?	?
Коефіцієнт природних умов			?	

Таблиця 6

**Розрахунок коефіцієнта природних умов
на прикладі Дніпропетровської області**

№ п/п	Показник	Величина показника	Бали	Коефіцієнт
1	Атмосферний тиск, ГПа	1016	?	?
2	Сейсмічний стан	-----	?	?
3	Сонячна радіація, ккал/см ² -	96	?	?
4	Атмосферні опади, мм	550-610	?	?
5	Середня температура найтеплішого місяця, +°C	22,5	?	?
6	Забезпеченість землею, га/люд.	0,61	?	?
Коефіцієнт природних умов			?	

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

1. Величина ВВП на душу населення в Київській області (2004 р.) становила 6652 грн/1 л-рік, що дорівнювало 1315 дол/1 л-рік.
2. Величина ВВП на душу населення в Чернігівській області (2006 р.) становила 3361 грн/1 л-рік, що дорівнювало 660 дол/1 л-рік.
3. Величина ВВП на душу населення в Дніпропетровській області (2006 р.) становила 14913 грн/1 л-рік, що дорівнювало 2752 дол/1 л-рік.

**ТЕМА 8. Оцінка рівня забруднення автотранспортом
атмосферного повітря чадним газом (СО)
розрахунковим методом**

Мета роботи: Оцінити завантаженість ділянки вулиці різними видами автотранспорту, порівняти у цьому відношенні різні вулиці. Зібрані параметри використати для розрахунку

рівня забруднення повітряного середовища відпрацьованими газами автомобілів за концентрацією (оксиду карбону II) в мг/м³.

Основні поняття: забруднення, забрудники, джерела забруднень, моніторинг навколишнього середовища, ГДК та його різновидності, ГДВ, ефект сумації.

Методичні вказівки до першої частини роботи

1. Студенти поділяються на групи по 3–4 особи (один рахує, один записує, інші оцінюють обстановку). Студентів попередньо необхідно проінструктувати, потім розмістити на певних ділянках різних вулиць з одностороннім рухом. У випадку двостороннього руху кожна група повинна розміститися на своєму боці.
2. Інтенсивність руху автотранспорту визначають методом підрахунку автомобілів 3 рази по 20 хв. в кожному із термінів. Підрахунок проводять методом позначень.
3. На кожній точці спостережень проводять оцінку вулиці за такими параметрами:
 - **Тип вулиці:** міські вулиці з односторонньою забудовою. (набережні, естакади, високі насипи), житлові вулиці з двосторонньою забудовою дороги, дороги у виїмці, магістральні вулиці та дороги з багатоповерховою забудовою з двох боків, транспортні тунелі та ін.
 - **Нахил.** Визначається екліметром або приблизно.
 - **Швидкість вітру.** Визначається анемометром.
 - **Відносна вологість повітря.** Визначається психрометром.
 - **Наявність захисної смуги з дерев** (видовий склад)
4. Автомобілі розділяють на п'ять категорій: легкі, середні та важкі вантажні (дизельні), автобуси, легкові.
5. Результати підрахунків оформляють у вигляді таблиці (табл. 1).

Відповідно до даних, наведених у таблиці, будують графік і оцінюють рух транспорту на окремих вулицях.

6. Проведіть порівняння сумарного завантаження різних вулиць міста в залежності від типу автомобілів, поясніть відмінності.

7. Підсумком першої частини роботи вважається сумарна оцінка завантаження вулиць автотранспортом згідно з ГОСТ-17.2.2.03-77: низька інтенсивність руху – 2,7-3,6 тис. автомобілів за добу, середня – 8-17 тис. і висока – 18-27 тис.

Таблиця 1

Зведена таблиця кількості автомобілів

Тип автомобіля	Одиниць	Частка від загальної кількості
Легкий вантажний		
Середній вантажний		
Важкий вантажний (дизельний)		
Автобус		
Легковий		
Всього автомобілів		

Методичні вказівки до другої частини роботи

1. За результатами даних першої частини роботи накресліть спеціальну таблицю (табл. 2), в якій зазначте варіант, тип вулиці, поздовжній нахил, відносну вологість повітря, швидкість вітру, тип перехрестя та інтенсивність руху автомобілів за годину (N).

2. Розрахунки концентрації CO проведіть за формулою Бегма (1984), модифікованою Шаповаловим (1990):

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot N \cdot K_T) K_A \cdot K_H \cdot K_C \cdot K_V \cdot K_{II}$$

де 0,5 – фонове забруднення атмосферного повітря нетранспортного походження, мг/м³;

N – сумарна інтенсивність руху автомобілів на міській дорозі, автомобілів за год.;

K_T – коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в атмосферне повітря оксиду вуглецю (II);

Таблиця 2

Результати обстежених автомагістралей

Тип вулиці	Поздовжній нахил	Швидкість вітру	Відносна вологість повітря	Тип перехрестя	N
Дорога з багатоповерховою забудовою з двох сторін	0°	1	100	Регульоване зі світлофорами, звичайне	200
Транспортний тунель	2°	2	90	Регульоване зі світлофорами, кероване	250
Вулиця з односторонньою забудовою	4°	3	80	Саморегульоване	300
Вулиця з одноповерховими будівлями	6°	4	70	Нерегульоване із зниженням швидкості	350
Транспортна галерея	8°	5	60	Нерегульоване кільцеве	400
Дорога багатоповерховою забудовою з двох сторін	0°	6	50	Нерегульоване з обов'язковою зупинкою	450
Транспортний тунель	2°	1	80	Регульоване зі світлофорами, звичайне	350
Міська вулиця з односторонньою забудовою	4°	2	70	Регульоване зі світлофорами, кероване	500
Вулиця з одноповерховими будівлями	6°	3	60	Саморегульоване	550
Транспортна галерея	8°	4	50	Нерегульоване із зниженням швидкості	600

Ка – коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості;

Кн – коефіцієнт, що враховує зміни забруднення атмосферного повітря оксидом Карбона (II) в залежності від величини поздовжнього нахилу;

Кс – коефіцієнт, що враховує зміни концентрації оксиду вуглецю (II) в залежності від швидкості вітру;

Кв – коефіцієнт, що враховує зміни концентрації оксиду вуглецю (II) в залежності від вологості повітря;

Кп – коефіцієнт збільшення забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю (II) біля перехресть.

3. *Коефіцієнт токсичності* автомобілів визначте як середній для потоку автомобілів за формулою:

$$K_t = \sum P_i K_{ti}$$

де **P_i** – склад автотранспорту в частках одиниці;

K_{ti} – визначається за таблицею 3

Наприклад: коефіцієнт токсичності автомобілів:

$$K_t = 0,1 \cdot 2,3 + 0,1 \cdot 2,9 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 3,7 + 0,7 \cdot 1 = 1,41.$$

Таблиця 3

Токсичність викидів різних автомобілів

Тип автомобіля	Коефіцієнт K _{ti}
Легкий вантажний	2,3
Середній вантажний	2,9
Важкий вантажний (дизельний)	0,2
Автобус	3,7
Легковий	1,0

4. *Значення коефіцієнта Ка*, який враховує аерацію місцевості, визначте за таблицею 4.

Таблиця 4

Аерація місцевості

Тип місцевості за ступенем аерації	Коефіцієнт K_a
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістральні вулиці та дороги з багатоповерховою забудовою з двох сторін	1,0
Житлові вулиці з одноповерховими будівлями; вулиці та дороги у виїмці	0,6
Міські вулиці та дороги з односторонніми будівлями, набережні, естакади, високі насипи	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

5. Значення коефіцієнта K_n , який враховує зміни забруднення повітря оксидом Карбону (II) в залежності від величини поздовжнього нахилу, визначте за таблицею 5.

Таблиця 5

Поздовжній нахил місцевості

Поздовжний нахил, °	Коефіцієнт K_n
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

6. Коефіцієнт зміни концентрації оксиду Карбону (II) в залежності від швидкості вітру K_s визначте за таблицею 6.

Таблиця 6

Швидкість вітру

Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт K_s	Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт K_s
1	2,70	4	1,20
2	2,00	5	1,05
3	1,50	6	1,00

7. Значення коефіцієнта K_v , що визначає зміни концентрації оксиду Карбону (II) в залежності від відносної вологості повітря, наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

Вологість повітря

Відносна вологість, %	Коефіцієнт K_v	Відносна вологість, %	Коефіцієнт K_v
100	1,45	70	1,00
90	1,30	60	0,85
80	1,15	50	0,75

8. Коефіцієнт збільшення забруднення повітря оксидом Карбону (II) біля перехрестя K_p наведено в таблиці 8.

Якщо перехрестя **відсутнє**, то коефіцієнт K_p ми не використовуємо!!!

Таблиця 8

Типи перехресть автодоріг

Тип перехрестя	Коефіцієнт K_p
Регульоване перехрестя зі світлофорами звичайне	1,8
Регульоване перехрестя зі світлофорами кероване	2,1
Саморегульоване перехрестя	2,0
Нерегульоване перехрестя зі зниженням швидкості	1,9
Нерегульоване перехрестя кільцеве	2,2

9. Підставте значення коефіцієнтів у формулу пункту 2, розрахуйте **рівень забрудненості атмосферного повітря оксидом Карбону (II)**.

$$\text{Наприклад: } K_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot 500 \cdot 1,41) \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 1,20 \cdot 1,00 = 9,6 \text{ мг/м}^3$$

10. Тепер порівняйте концентрацію CO отриману вами для відповідної урбоєкосистеми з ГДКСО для атмосферного повітря.

ГДК викидів автотранспорту за оксидом вуглецю (II) дорівнює 5 мг/м³.

11. Зробіть висновки про рівень забруднення викидами автотранспорту. При цьому врахуйте, що зниження рівня викидів можливе завдяки таким заходам:

- заборона руху автомобілів;
- обмеження інтенсивності руху до 300 автомобілів за годину;
- заміна карбюраторних вантажних автомобілів дизельними;
- встановлення на автомобілі фільтрів.

СЛОВНИК

ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕРМІНІВ

Абіотичне середовище – сукупність компонентів неживої природи, необхідних для існування живих організмів (світло, вологість, температура, тиск, неорганічні речовини тощо).

Адаптація – (від *лат.* adaptatio – пристосування) – в біології – сукупність морфологічних, поведінкових, популяційних та інших особливостей біологічного виду, яка забезпечує можливість специфічного способу життя особин у певних умовах зовнішнього середовища. А. називають і сам процес вироблення пристосувань. У фізіології і медицині означає також процес звикання.

Акліматизація – (від *лат.* ad – до, для і *клімат*) – пристосування живих організмів до нових умов існування, до нових біоценозів. А. буває природною (міграції тварин, перенесення насіння рослин тваринами в нові місця і т.п.) і штучною (після інтродукції тварин і рослин). Акліматизовані організми можуть у нових умовах давати життєздатне потомство. Стосовно людини А. – пристосування до нових кліматичних умов.

Ареал – це ділянка поширення на земній поверхні систематичної групи живих організмів або угруповань. Ареали можуть мати різний вигляд (форму) та змінюватися в часі під впливом як природних факторів, так і в результаті господарської діяльності людини.

Алелопатія (від *грец.* allelon – взаємно і ...патія) – взаємний вплив рослин (уповільнення зростання, цвітіння і т.д.) в результаті виділення ними в навколишнє середовище різних органічних речовин (антибіотиків, фітонцидів та ін.).

Біогеоценоз – історично сформований взаємозумовлений комплекс живих і неживих компонентів певної ділянки земної поверхні, пов'язаних між собою обміном речовин і енергії.

- Біоіндикатори** – група особин одного виду або угруповання, за наявністю, кількістю і станом яких, а також за їх поведінкою визначають зміни в довкіллі.
- Біологічно активна речовина** – будь-яка речовина, що стимулює або пригнічує процеси життєдіяльності, в т.ч. регенерацію і зростання організмів. До них належать фітогормони, стероїдні (тваринні) гормони і ряд інших речовин, таких, як етилен C_2H_4 , вуглекислий газ CO_2 , синтетичні інгібітори (уповільнювачі) росту, цвітіння і т.п., гербіциди та ін.
- Біологічна різноманітність** – якісний і кількісний склад представлених видів – рослин, тварин і мікроорганізмів.
- Біом** – велика регіональна або субконтинентальна біосистема (сукупність біоценозів), яка характеризується певним основним типом рослинності або іншою характерною особливістю ландшафту.
- Біомаса** – сумарна маса живих організмів або маса живої органічної речовини в екосистемі, виражена в одиницях маси чи енергії.
- Біота** – історично сформована сукупність рослин і тварин, об'єднаних загальною областю поширення.
- Біотоп** – (абіотичне середовище) – сукупність умов, яка забезпечує нормальну життєдіяльність організму або популяцій видів взагалі.
- Біосфера** – це своєрідна оболонка Землі (грецьк. „біос” – життя, „сфера” – оболонка), яка заселена живими організмами, що знаходяться в безперервному обміні речовиною, енергією та інформацією.
- Біоценоз** – стійка система, яка складається із популяцій всіх екологічних груп організмів, що утворилась історично в межах певної території.
- Вид** – сукупність особин, які мають спільні морфологічні ознаки, здатні схрещуватися між собою в природних умовах і мають певний ареал поширення.

Викид(и) – короткочасне або за визначений час (година, доба) надходження в навколишнє середовище будь-яких забруднень. Розрізняють: 1) **В.** від окремого джерела; 2) сумарний **В.** на площі міста, регіону, держави, їхньої групи, світу в цілому.

Гомеостаз – (від гомео... і *грец.* stasis - нерухомість, стан) - відносна динамічна постійність складу і властивостей внутрішнього середовища і стійкість основних фізіологічних функцій організму. Поняття **Г.** застосовують і до біоценозу (збереження постійності видового складу і числа особин), в генетиці і навіть кібернетиці.

Генофонд – сукупність генів однієї групи організмів (*вид, популяція* тощо), що характеризується певним якісним складом та чисельністю.

Гідросфера – перервна водна оболонка Землі, яка представлена річками, озерами, морями і океанами.

Гранично допустима концентрація (ГДК) – це така концентрація шкідливої речовини в об'єктах довкілля, коли вона практично не викликає несприятливих наслідків в організмі людини.

Ґрунт – складне біокосне утворення, у якому важливу роль відіграють біологічні компоненти. Він, як ніяке інше середовище, рясно заселений різними тваринами і мікроорганізмами, залишаючись при цьому основним життєвим субстратом для рослин.

Детрит (синон. мортмаса) – відмерла біомаса. Дрібні частки органо-мінерального походження, що утворюються з відмерлих частин чи померлих організмів та продуктів їх життєдіяльності. На його поверхні активно розвиваються мікроорганізми – сапрофіти.

Дефоліанти – хімічні засоби, які використовують для опадання листя рослин.

Дефляція – вітрова ерозія ґрунту.

Допустима залишкова кількість (ДЗК) речовини – максимальна кількість речовини, яка, надходячи в організм

упродовж усього життя, не викликає ніяких порушень у здоров'ї дітей і дорослих людей.

Екологічна валентність – здатність організмів пристосовуватися до змін умов середовища; межі витривалості між критичними точками у різних діапазонах дії факторів.

Екологічна ніша - термін в екології, що описує взаємовідносини виду або популяції з екосистемою та їхнє в ній розташування. Більш лаконічним визначенням поняття може бути формулювання «спосіб життя організму». Екологічна ніша (як поняття) описує також як організм, популяція або вид відповідають на особливості розподілу ресурсів та/або конкурентів (тобто, скажімо, збільшуючи свою чисельність при надлишку ресурсів та відносно малій кількості хижаків, паразитів та патогенних факторів) та як ці суб'єкти, в свою чергу, впливають на аналогічні фактори (тобто, обмежують життєві ресурси для інших організмів, виступають в ролі харчового ресурсу для хижаків, і хижаком - для інших видів).

Екологія популяції (демекологія) – розділ загальної екології, що вивчає основні характеристики, закономірності динаміки чисельності та структури популяцій.

Екологія прикладна – розглядає джерела антропогенних впливів, норми використання природних ресурсів, допустимі навантаження на довкілля, способи екологізації виробничих процесів. В більш загальному вигляді – це розділ екології, який вивчає механізми руйнування біосфери людиною, розробляє заходи його запобігання і принципи раціонального використання природних ресурсів без деградації природного середовища.

Екологія угруповань (синекологія) – вивчає закономірності живих організмів на біоценозному рівні організації живого, структуру біоценозів і функціонування, що проявляються, в першу чергу, як біотичний кругообіг і трансформація (перетворення) речовин в ланцюгах живлення.

Екотоп – сукупність екологічних чинників у межах певного однорідного місцезнаходження (топу), зумовлена поєднанням і взаємодією компонентів неживої природи, характеризуючи певну однорідну ділянку землі.

Ефект сумації – посилення дії одного чинника за наявності іншого. За наявності в середовищі домішок, щодо яких визначено необхідність урахування сумісної шкідливої дії, як критерії для встановлення ГДК використовуються вимоги про виконання співвідношення:

$$C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n \leq 1.$$

Забруднення – це будь-який природний або антропогенний фізичний, хімічний чи біологічний чинник, які потрапляють або виникають у середовищі життя у кількості, яка виходить за межу граничних природних коливань або середнього на даний час фону, або знаходяться в довіллі в кількості, що перебільшує допустиму.

Загальна екологія – наука про загальні закономірності взаємовідносин рослинних, тваринних, мікроорганізмів та середовища. У ній виділяються підрозділи: аутекологія, демекологія, синекологія та біосферологія.

Зелена книга – зведення відомостей про рідкісні, зникаючі і типові рослинні угруповання, які потребують особливої охорони.

Зелена книга України – набула статусу законодавчого акта в 1997 році. До її першого видання занесено понад 120 рослинних угруповань.

Зона санітарно-захисна – територія навколо підприємства, де забороняється мешкання людей і не допускається розміщення спортивних споруд, парків, дитячих садків, шкіл, лікувально-профілактичних і оздоровчих установ. На території З.с.-з. концентрація шкідливих речовин не може перевищувати 0,3 ГДК для робочої зони.

Зона санітарної охорони – територія навколо джерел водопостачання і водопровідних споруд із режимом, що виключає (обмежувальним) можливість забруднення води.

Канцероген – чинник хімічної чи фізичної природи, який здатний викликати розвиток злоякісних новоутворень, або сприяти їх виникненню з нормальної тканини.

Кислотні дощі – атмосферні опади, які утворені розчинними кислотними оксидами антропогенного походження і мають $pH < 5,6$.

Коеволюція – паралельний, спільний розвиток людства і природи.

Кругообіг речовин біологічний – кругообіг хімічних речовин, пов'язаний з життєдіяльністю живих організмів. В різноманітних географічних умовах має різну інтенсивність, показником якої може бути, наприклад, швидкість накопичення та розкладання органічних речовин опадаючого листя. Остання коливається від 50 (заболочені ліси з вкрай повільним кругообігом) до 0,1 (вологі тропічні ліси, де підстилка практично не встигає утворитися); в степах цей показник наближається до 1-1,5, в широколистяних лісах складає 3-4. В розвинених екосистемах біологічний кругообіг починається з первинної підсистеми (сітки) виїдання і закінчується вторинною підсистемою (сіткою) розкладання органічної речовини. Сітка виїдання (за Е. Одумом – „пасовищна”) характеризується тим, що організми попередньої ланки живляться організмами наступної ланки трофічного ланцюгу, який починається з фотосинтетиків (наприклад, „рослини – травоїдні тварини – хижаки”) і в якому превалюють аеробні (кисневі) процеси. Сітка розкладання (за Е. Одумом – „детритна”) починається з органічних залишків (детриту) і здійснюється детритофагами різних систематичних груп і закінчується редуцентами, які завершують розкладання органічної речовини до вихідних мінеральних компонентів. У випадках перевантаження еко-

системи мертвою органічною речовиною (детритом) переваги набуває сітка розкладання, в той час як сітка виїдання скорочується (або зовсім зникає) та все більшої сили починають набирати анаеробні (безкисневі) процеси. Найбільш повного розвитку „детритна” сітка набуває, наприклад, в екосистемах очисних споруд (аеротенки з активним мулом), а також у чорноземах, глибинних ділянках океанів і морів, у мулах евтрофних водойм та ін.

Ксенобіотики – сторонні для живої природи шкідливі речовини (пестициди, солі важких металів, радіонукліди, препарати побутової хімії та ін.), які довгий час залишаються в незмінному стані, порушуючи нормальний хід природних процесів в екосистемах.

Літораль (Від лат. „litoralis” – береговий, прибережний) зона узбережжя морського дна, що осушується під час відпливу. Розташована між рівнем найвищого припливу і найнижчого відпливу. Ширина її звичайно 10–15 м, хоча в окремих випадках може досягати і декількох кілометрів. У озерах – це зона донною рослинністю.

Метаболіти – проміжні продукти обміну речовин у живих клітинах. Багато з них чинить регулювальний вплив на біохімічні і фізіологічні процеси в організмі.

Метал важкий – метал з густиною 8 г/см³ і більше. До них належать: свинець, мідь, цинк, нікель, кадмій, кобальт, сурма, олово, хром, вісмут, ртуть. Майже всі вони високотоксичні, антропогенне їх розсіювання в біосфері призводить до отруєння або загрози отруєння живих організмів.

Норма забруднення – ГДК речовин, які надходять або вже є в навколишньому середовищі, що допускаються нормативними актами.

Норма санітарно – гігієнічна – якісно-кількісний показник шкідливого і небезпечного агента або дії, забезпечення якого гарантує безпечні або оптимальні умови існування людини.

- Озоновий шар** – шар атмосфери, що лежить на висоті 20-25 км, з підвищеною концентрацією молекул озону.
- Онтогенез** (від *грец.* *on*, род. *v.* *ontos* – існуюче і ...генез) (індивідуальний розвиток організму) – сукупність перетворень, що зазнаються організмом від зародження до кінця життя. Термін уведений німецьким зоологом Е. Геккелем (1866).
- Отруєння** – група захворювань, зумовлених дією на організм отрут різного походження. Можуть бути гострими, хронічними; виробничими, харчовими, лікарськими та ін.
- Парниковий ефект** – утворення в атмосфері шару повітря з підвищеною концентрацією так званих парникових газів (вуглекислого газу, метану та ін.), який не пропускає теплове випромінювання земної поверхні, що призводить до глобального потепління клімату.
- Популяція** – сукупність особин зі спільними властивостями, що належить до одного виду, яка здатна до самовідновлення і відмежована від інших аналогічних сукупностей цього самого виду екологічними чи біологічними бар'єрами, що ускладнює обмін генетичною інформацією.
- Рекреація** – система заходів для відновлення здоров'я та працездатності людей шляхом відпочинку поза постійним житлом на спеціалізованих територіях (санаторій, ліс, річка, море та ін.).
- Репелент** – це одна з груп пестицидів природного походження (або синтезована штучно), яка використовується для відлякування тварин. В природних умовах це один з агентів алелопатії (хімічного впливу організмів, що мешкають поряд, один на одного).
- Середовище** – сукупність умов, необхідних для нормальної життєдіяльності організмів. Середовища поділяють на природне, штучне і соціальне.
- Стійкість середовища** – властива йому здатність до самозбереження, самовідновлення і саморегулювання в допустимих критичних межах екологічного навантаження.

Сукцесія – закономірний спрямований процес саморозвитку угруповань організмів, що супроводжується послідовною природною або антропогенною заміною протягом тривалого часу одних біогеоценозів іншими на певній ділянці земної поверхні.

Техносфера – це трансформована під впливом техногенної діяльності людини частина біосфери.

Трофічний рівень – сукупність організмів, які об'єднуються подібним типом живлення і займають однакове положення в загальному трофічному ланцюзі.

Урбанізація – 1) процес збільшення відносної площі міст у регіоні; 2) процес пристосування видів тварин і рослин до умов існування в місті; 3) формування в місті специфічних для існування організмів умов середовища.

Фактори екологічні – будь-яка умова середовища (окремі властивості або елементи довкілля), яка діє на організм протягом хоча б однієї із стадій його життя. Поділяються на абіотичні, біотичні і антропогенні.

Фітонциди (від *грец.* phyton – рослина і лат. caedo – вбиваю) – утворювані рослинами біологічно активні речовини, що вбивають або пригнічують ріст і розвиток мікроорганізмів; виконують важливу роль в імунитеті рослин й у взаємостосунках організмів у біоценозах. Препарати цибулі, часнику, хрину та інших рослин, що містять Ф., застосовують у медицині.

Фіторе mediaція – комплекс методів для очищення водного, ґрунтового і повітряного середовищ з використанням зелених рослин. Один з напрямків більш загального методу біоре mediaції.

Хімічне споживання кисню (ХСК) – показує яку кількість кисню витрачається на окислення органічної речовини під впливом сильнодіючого окислювача – біхромату калію.

Хімічне споживання кисню (ХСК) – показує яку кількість кисню витрачається на окислення органічної речовини під впливом сильнодіючого окислювача – біхромату калію.

Червона книга – книга, до якої занесені описи рідких видів рослин та тварин, що знаходяться на межі зникнення і беруться під охорону.

Якість води – характеристика складу та властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних цілей використання.

Якість повітря – рівень складу повітря, який необхідний для забезпечення нормальної життєздатності живих організмів і людини зокрема.

Якість ґрунту – характеристика складу і властивостей ґрунту, яка визначає її придатність для конкретних цілей використання.

Якість середовища – ступінь відповідності природних умов потребам людей та інших живих організмів.

ВИКОРИСТАНА

І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Білявський Г.О. Основи загальної екології / Г.О. Білявський, М.М. Падун, Р.С. Фурдуй – К.: „Либідь”, 2005. – 368 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис, 2007. – 576 с.
3. Вернадський В.И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967. – 376 с.
4. Дідух Я.П. Популяційна екологія. – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – 192 с.
5. Злобін Ю.А. Загальна екологія: навч. посібн. / Ю.А. Злобін, Н.В. Кочубей – Суми: Університетська книга, 2003. – 416 с.
6. Кучерявий В.П. Екологія. – Львів: Світ, 2001. – 386 с.
7. Кучерявий В.П. Загальна екологія. – Львів: Світ, 2010. – 520 с.
8. Некос В. Ю. Загальна екологія та неоекологія : підручник [В.Ю. Некос, А.Н. Некос, Т.А. Сафранов]. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – 596 с.
9. Олійник Я.Б. Основи екології: підручник / Я.Б. Олійник, П.Г. Шищенко, О.П. Гавриленко. – К.: Знання, 2012. – 558 с.
10. Реймерс Н.Ф. Природопользование. – М.: 1990. – 638 с.
11. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.
12. Сухарев С. М. Основи екології та охорони довкілля: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С.М. Сухарев, С.Ю. Чундак, О.Ю. Сухарева – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 394 с.

Додаткова література

1. Білявський Г.О. Основи екології: теорія і практикум: навч. посібник / Г.О. Білявський, Л.І. Бутченко – К.: Лібра, 2006. – 368 с.

2. Білявський Г.О. Основи екологічних знань: навч. посібник / Г.О. Білявський, М.М. Падун, І.Ю. Костіков – К.: Либідь, 2001. – 368 с.
3. Боголюбов В.М. Моніторинг довкілля: підручник / В.М. Боголюбов, М.О. Клименко та ін. (за ред. В.М. Боголюбова і Т.А. Сафранова) – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 530 с.
4. Боголюбов В.М. Стратегія сталого розвитку: навч. посібник / В.М. Боголюбов, В.А. Прилишко – Херсон: Олді-плюс, 2009. – 322 с.
5. Боголюбов В.М. Екологія з основами збалансованого природокористування: навчально-методичний посібник / В.М. Боголюбов, Л.І. Соломенко, О.Г. Предместніков, Ю.В. Пилипенко – Херсон: Айлант, 2009. – 216 с.
6. Гандзюра В.П. Екологія: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. – К.: ВГЛ „Обрії”, 2008. – 356 с.
7. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч посіб. – 4-те вид., випр. і доп. – К. : Т-во „Знання”, КОО, 2006. – 319 с.
8. Дідух Я.П. Фітоіндикація екологічних факторів / Я.П. Дідух, П.Г. Плюта – К.: Наукова думка, 1994. – 280 с.
9. Екологічна енциклопедія / Редк.: А.В. Толстоухов (гол. ред.) та ін. Т. 1 – 3. – К. ТОВ „Центр екологічної освіти та інформації”, 2007. – Т. 2: Є – Н. – 416 с.
10. Запольський А.К. Основи екології: підручник / А.К. Запольський, А.І. Салюк (за ред. К.М. Ситника) – К. Вища шк., 2003. – 358 с.
11. Злобін Ю.А. Основи екології: підручник. – К.: Лібра, 1998. – 248 с.
12. Крисаченко В.С. Людина і біосфера: основи екологічної антропології: підручник. – К.: Заповіт, 1998. – 688 с.
13. Кучерявий В.П. Урбоекологія. – Львів: Світ, 1999. – 360 с.
14. Лаврик В.І. Моделювання і прогнозування стану довкілля: підручник / В.І. Лаврик, В.М. Боголюбов, Л.М. Полетаєва, С.М. Юрасов, В.Г. Ільїна (за ред. В.І. Лаврика) – К.: ВЦ „Академія”, 2010. – 400 с.

15. Милер Г.Т. Жизнь в окружающей среде. Ч. 1-3: пер. с англ. – М.: Прогресс-Пангея, 1994. – 256, 336, 400 с.
16. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи: Словник – довідник. – К.: Т-во „Знання”, КОО, 2002. – 550 с.
17. Небел Б. Наука об окружающей среде (Как устроен мир) / Перевод з англ. Т. 1, 2. – М.: Мир, 1993. Т. 1. – 420 с. Т. 2. – 328 с.
18. Одум Ю. Экология: в 2 т. / Ю. Одум – М.: Мир, 1986. Т. 1. – 328 с., Т. 2. – 376 с.
19. Основи стійкого розвитку: навчальний посібник / За заг. ред. проф. Л.Г. Мельника. – Суми: “Університетська книга”, 2005. – 654 с.
20. Потіш А.Ф. Екологія: Основи теорії і практикум: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / А.Ф. Потіш А.Ф., В.Г. Медвідь, О.Г. Гвоздецький, З.Я. Козак – Львів: „Новий світ – 2000”, „Магнолія плюс”, 2003. – 296 с.
21. Радкевич В. Экология. Мн.: Вышэйшая школа, 1997. – 250 с.
22. Ревель П. Среда нашего обитания: В 4-х книгах. Пер. с англ. / П. Ревель, Ч. Ревель – М.: Мир, 1994. – 340, 296, 291, 191 с.
23. Ситник К.М. Словарь-справочник по экологии / К.М. Ситник, А.В. Гордецький, А.П. Брайон – К.: Наукова думка, 1994. – 666 с.
24. Соломенко Л.І. Загальна екологія: Навчально – методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. – К.: ТОВ „ДІА”, 2010. – 170 с.
25. Соломенко Л.І. Загальна екологія: теоретичні основи і практикум. – К.: ТОВ „ДІА”, 2010. – 176 с.
26. Яцик А.В. Екологічна безпека України. – К.: Генеза, 2001. 216 с.

ДОДАТКОВИЙ

ІНФОРМАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

ДОДАТОК А

Основні закони аутоекології

Закон біологічної стійкості. Сутність цього закону полягає в тому, що зона нормальної життєдіяльності органів – оптимум – лежить в інтервалі сприятливих (оптимальних) значень важливих чинників (температури, вологості тощо). Поза цією зоною – зона песимуму, де активність більше або менше пригнічується, тобто припиняється розмноження, гальмується ріст та інше. Досить часто цю зону називають зоною екстремальних умов, яку рухомі істоти намагаються покинути, щоб знайти щось краще. Ще далі розміщена зона смерті. Тривале перебування у подібних умовах закінчується загибеллю особин. Вивчення реакції особин на всі фактори впливу та вміле використання цієї інформації дуже важливе.

Закон лімітуючого чинника, або закон мінімуму. Сформульований всередині XIX ст. німецьким фізіологом і хіміком Ю. Лібіхом, який вивчав вирощування рослин на штучних субстратах. Він встановив, що результуючу витривалість особин визначає найслабкіша ланка його потреб, тобто той чинник, значення якого потрапляє у зону пригнічення чи й смерті. Якщо кількість і якість екологічних факторів близькі до необхідного організму мінімуму, він виживає, якщо менші за цей мінімум, організм гине. Практичне застосування закону Лібіха знаходиться, насамперед, у агрономії. Фактична врожайність визначається кількістю в ґрунті того елемента, потреба рослин в якому задовольняються найменше. Правильне та своєчасне визначення лімітуючого фактора надзвичайно важливе

для складання точного екологічного прогнозу та своєчасного уникнення проблем.

Закон рівнозначності чинників середовища. Цей закон стверджує, що всі головні екочинники однаково важливі, не можна ігнорувати жодного з них. З нього випливає інший закон – сукупної дії екологічних факторів. На жаль, цей закон часто ігнорується, хоча має велике значення.

Закон сукупної (спільної) дії чинників середовища. Цей закон стверджує, що фізіологічна активність особин (наприклад, результируючий врожай на полі) залежить не лише від одного (бодай і лімітуючого) фактора, а від певної сукупності всіх екологічних чинників одночасно. Дослідження показують, що ефективність впливу кожного окремого екофактора (його значимість чи коефіцієнт дії) неоднакова. Їх можна визначити дослідним шляхом. Особливо точно це робиться для чинників впливу на врожайність, бо крім основних чинників (температура, освітлення, опади, вміст у ґрунті азоту, фосфору і калію), вже враховують додаткові (наявність мікроелементів живлення, кількість шкідливих сполук тощо).

Закон оптимальності. Цей закон стосується ефективності діяльності як окремої особини, так і їх сукупності (популяції), а також ще складніших біосистем. Він стверджує, що будь – яка система (від бактерії чи рослини аж до величезного лану) з максимальною ефективністю діє (функціонує) у певних просторових та часових межах, за певними критеріями їх розмірів та інших характеристик. Інакше кажучи, параметри системи (чи організму) завжди суворо відповідають її функціям. Тобто ніяка система не може звужуватися або розширюватися до нескінченності. Ніякий цілісний організм не може перевищити певні критичні розміри, які забезпечують підтримку його енергетики. Ці розміри залежать від умов живлення та факторів існування. Це впливовий і суворий, але складний для практичного застосування закон

екології. Спроби його якось проігнорувати коштуватимуть людині дорого.

Прикладом є багато невдач створити величезні плантації, поля чи лісові насадження з однієї – єдиної культури. Такі системи – гіганти дуже нестійкі. Але є й чимало прикладів того, як уся територія вміло ділиться на невеликі площі, на яких висаджуються такі рослини, що в даних умовах можуть забезпечити максимум біопродукції.

Поряд з розглянутими законами існують інші. Є чимало висновків у формі правил, тверджень, закономірностей. Наприклад, закон 5 породжує *правило Бергмана*: у межах біологічного виду, який поширений від тропіків до Полярного кола, маса і розміри особин зростають під час переходу від дуже теплих зон життя до дуже холодних. Відомим прикладом є пінгвіни, крячки та інші птахи, ведмеді, дельфіни тощо. Іншим висновком з цього закону є *правило Аллена*: виступаючі частини тіла тварин (вуха, хвости) і лапи тим коротші, чим холодніший клімат. Так, вуха у пустельної лисиці набагато більші від вух наших лисиць. Зовсім короткі вуха і хвіст мають песці, які змушені існувати при великих морозах сибірської і канадської тундри.

ДОДАТОК Б

Основні закони синекології

Нагадаємо, що синекологія є тим розділом екології, який вивчає взаємозв'язки між складовими частинами екосистем та їхній спільний розвиток. Твердження про необхідність потоку енергії крізь екосистеми для забезпечення її існування – теж закон синекології. Його важливість і загальність безсумнівні й не потребують додаткового обґрунтування, бо енергообмін є умовою існування будь – якої живої істоти.

Перший закон синекології – закон обмеженості (вичерпності) всіх природних ресурсів. Уявлення про наявність на Землі невичерпних ресурсів помилкове.

Так, в Україні ресурси прісної води вичерпані практично до дна, а те, що її все ще чимало у Бразилії чи Заїрі, нас не дуже втішає. Очевидно, що забруднення повітря теж рано чи пізно вичерпає можливості його природного самоочищення. Теоретичні дослідження енергетичного балансу біосфери і Землі вже давно показали, що без порушення існуючої рівноваги у довкіллі не можна вилучати чи долучати більше 1 % всієї енергії, що входить в енергетичний потік біосфери (правило 1 %, яке частина екології вважає окремим законом).

Це означає:

а) навіть оволодіння енергією синтезу гелію з дейтерію чи транспортування з навколоземних станцій додаткової електроенергії не зроблять енергетичні ресурси людства безмежними;

б) загально енергетичне обмеження робить абсолютно неможливим сподівання на те, що у майбутньому людству пощастить поєднати збільшення власної чисельності з одночасним підвищенням якості життя;

в) для порятунку людей і стабілізації біосфери на тривалий час необхідне негайне припинення „демографічного вибуху” (а ще краще – зменшення населення у багатьох країнах) і свідомо обмеження потреб кожної особи до розумної межі.

Закон односпрямованості і неповного використання енергії. Цей закон стверджує, з одного боку, що енергія використовується лише один і тільки один раз (циклічний і замкнений рух енергії неможливий ні в живому, ні в неживому світі), а з другого, що це використання неминуче супроводжується її незворотними втратами. Тобто енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їх біомасою, або безповоротно передається консументами першого, другого, третього та інших порядків, а потім редуцентами, що супроводжується

втратаю певної кількості енергії на кожному трофічному рівні в результаті процесів, які супроводжують дихання. Оскільки у зворотний потік (від редуцентів до продуцентів) потрапляє дуже мало початкової енергії (не більше 0,25 %), термін „кругообіг енергії” є досить умовним.

Закон „піраміди енергій”. Традиційно цей закон формулюють так: з одного трофічного рівня екологічної піраміди на другий її рівень у найсприятливіших обставинах переходить в середньому 10 % тієї енергії, яку отримали живі істоти першого рівня. Вживання слова „піраміда” пов’язано з тим, що екологи часто користуються пірамідальними діаграмами для відтворення маси і накопиченої в ній енергії тих істот, які формують окремі рівні трофічного ланцюга. Правило десяти відсотків широко використовується для обчислення величини земельної площі, необхідної для повного забезпечення продовольством наявного населення. Звичайно, це все в умовах, коли всі прагнуть зберегти нормальний і рівноважний стан місцевої екосистеми і біосфери в цілому.

Закон максимізації енергії екосистем. Цей закон був сформульований Ю. Одумом та доповнений М. Реймерсом: у конкуренції екосистем, можливих у даному життєвому середовищі, зберігається та з них, яка найбільше сприяє надходженню енергії та інформації і використовує максимальну їх кількість найефективніше. Для цього така система утворює накопичувачі (сховища) високоякісної енергії, частину якої витрачає на забезпечення надходження нової енергії, забезпечує нормальний кругообіг речовин і створює механізми регулювання, підтримки, стійкості системи, її здатності пристосовуватися до змін, налагоджує обмін з іншими системами. Максимізація – це підвищення шансів на виживання.

ДОДАТОК В

Основні закони екології великих систем

Закон біогенної міграції атомів (або закон Вернадського). Цей закон має широке поле проявів на поверхні Землі. Йдеться про те, що шляхи міграції основних біогенних елементів та їхня концентрація у зовнішніх сферах Землі давно вже контролюється біосферою. Без такого регулюючого впливу Земля вже давно втратила б не просто кілька найменш пристосованих видів, а всю свою біосферу. Тобто міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері в цілому здійснюється під переважаючим впливом живої речовини, організмів. Так відбувалося і в геологічному минулому, мільйони років тому, так відбувається і в сучасних умовах. Жива речовина або бере участь у біохімічних процесах безпосередньо, або створює відповідне, збагачене киснем, вуглекислим газом, воднем, азотом, фосфором та іншими речовинами середовища. Цей закон має важливе практичне і теоретичне значення. Розуміння всіх хімічних процесів, що відбуваються в геосферах, неможливе без урахування дії біогенних факторів, зокрема еволюційних. Нині люди впливають на стан біосфери, змінюють її фізичний і хімічний склад, умови біогенної міграції атомів, що збалансована віками. У майбутньому це може спричинити дуже негативні зміни, які набувають здатності саморозвиватися та стають глобальними і некерованими (спустелювання, деградація ґрунтів, вимирання багатьох видів організмів тощо). За допомогою цього закону можна свідомо запобігати розвитку таких негативних явищ, а також керувати біогеохімічними процесами, використовуючи екологічні методи.

Закон внутрішньої динамічності рівноваги. У цьому законі стверджується, що потоки речовин, енергії, інформація та сукупність якостей окремих природних систем в їх структурній ієрархії в біосфері взаємопов'язані так тісно, що неможливо суттєво змінити бодай один елемент без переведення всіх у новий стан.

Наслідки дії цього закону проявляються в тому, що після будь – яких змін елементів природного середовища (речовинного складу, енергії, інформації, швидкості природних процесів тощо) обов'язково розвиваються ланцюгові реакції, які намагаються нейтралізувати ці зміни. Слід зазначити, що незначна зміна одного показника може спричинити сильні відхилення в інших показниках усєї екосистеми.

Зміни у великих екосистемах можуть мати необоротний характер, а будь – які локальні перетворення природи викликають у біосфері планети (тобто в глобальному масштабі) та в її найбільших підрозділах реакції – відповіді, які зумовлюють відносну незмінність еколого – економічного потенціалу. Штучне зростання цього потенціалу обмежене термодинамічною стійкістю природних систем. Закон внутрішньої динамічної рівноваги – один з найголовніших у природокористуванні. Він допомагає зрозуміти, що у разі незначних втручань у природне середовище його екосистеми здатні саморегулюватися та відновлюватися, але коли ці втручання перевищують певні межі і вже не можуть „згаснути” в ланцюгу ієрархії екосистем (охоплюють, наприклад, цілі річкові або гірські системи), вони призводять до значних порушень енерго- та біобалансу на значних територіях і навіть в усій біосфері.

Закон необхідного генетичного різноманіття. Цей закон стверджує, що жодна ефективна і стійка біосистема не може бути побудованою з тотожних елементів. Різноманіття і взаємодоповнення є ультимативною вимогою. Тобто все живе генетично різне і має тенденцію до збільшення біологічної різноманітності. Цей закон має важливе значення, особливо в сфері біотехнології (генна інженерія, біопрепарати), коли не завжди можна передбачити результат нововведень під час вирощування нових мікрокультур через виникаючі мутації або поширення дії нових біопрепаратів не на ті види організмів, на які вони розраховувались.

Закон розвитку та існування біосистем за рахунок довкілля. Цей закон стисло формулює тезу про те, що використання енергетичних, матеріальних та інформаційних ресурсів близького та віддаленого довкілля є необхідною умовою тривалого існування не лише штучних, але й природних біосистем усіх розмірів. Закон пояснює нереальність створення абсолютно безвідходних виробництв. Тобто будь – яка природна система розвивається лише за рахунок використання матеріально – енергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища. Абсолютно ізольований саморозвиток неможливий – це висновок з законів термодинаміки.

Дуже важливими є такі наслідки закону:

- абсолютно безвідходне виробництво неможливе;
- будь-яка більш високоорганізована біотична система в своєму розвитку є потенційною загрозою для менш організованих систем. Тому в біосфері Землі неможливе повторне зародження життя – воно буде знищене вже існуючими організмами;
- біосфера Землі як система розвивається за рахунок внутрішніх та космічних ресурсів.

Закон зменшення енергетичної ефективності природокористування. Цей закон свідчить, що попри всю винахідливість людини (застосування селекції, генної інженерії тощо) з плином часу і поглиблення інтенсифікації сільського господарства доводиться витратити дедалі більшу і більшу кількість енергії на одиницю виробленої продукції. Допустима межа вже перейдена і шкідливі наслідки наростають щороку. Тобто у процесі одержання корисної продукції з природних систем з часом (у історичному аспекті) на її виготовлення в середньому витрачається дедалі більше енергії – зростають енергетичні витрати на одну людину. Так, нині витрати енергії на одну людину за добу майже у 60 разів більше, ніж у часи наших далеких предків, які жили кілька тисяч років тому. Збільшення енергетичних витрат не може відбуватися нескінченно – його слід розраховувати та планувати.

Закон історичної необоротності. Згідно з цим законом, розвиток біосфери і людства як цілого не може відбуватися від пізніших фаз до початкових; загальний процес розвитку односпрямований. Повторюються лише окремі елементи соціальних відносин (наприклад, рабство) або типи господарювання.

Закон константності. Цей закон був сформульований В. Вернадським: кількість живої речовини біосфери за певний геологічний час є постійною величиною. Він тісно пов'язаний із законом внутрішньої динамічної рівноваги. За законом константності, будь – яка зміна живої речовини в одному з регіонів біосфери неминуче призводить до такої ж за об'ємом зміни речовини в іншому регіоні, тільки із протилежним знаком. Наслідком цього закону є правило обов'язкового заповнення екологічних ніш.

Закон кореляції. Цей закон був сформульований Ж. Кюв'є: в організмі як цілісній системі всі його частини відповідають одна одній як за будовою, так і за функціями. Зміна однієї частини неминуче викликає зміни в інших.

Закон максимуму біогенної енергії (закон Вернадського – Багера). Цей закон стверджує, що будь – яка біологічна система, яка перебуває в стані стійкої нерівноваги, тобто динамічної рухливої рівноваги з довкіллям, при розвитку збільшує свій вплив на середовище. Як зазначав Вернадський, у процесі еволюції видів виживають ті, які збільшують біогенну геохімічну енергію. На думку Багера, живі системи ніколи не перебувають у стані рівноваги і за рахунок своєї вільної енергії виконують корисну роботу проти рівноваги, якої потребують закони фізики та хімії за існуючих зовнішніх умов.

Закон сукупної дії природних факторів. Цей закон ще називають законом Мітчерліха – Тінемана – Бауле: об'єм урожаю залежить не від окремого, нехай навіть лімітуючого фактора, а від усієї сукупності екологічних факторів одночасно. Частку кожного фактора в їх сукупній дії нині можна підрахувати. Закон має

силу за певних умов – коли вплив монотонний і максимально виявляється кожний фактор за незмінності інших факторів у тій сукупності, що розглядається.

Закон фізико-хімічної єдності живої речовини. Цей закон також був сформульований В. Вернадським: уся жива речовина Землі має єдину фізико-хімічну природу. З цього випливає, що шкідливе для однієї частини живої речовини шкодить і іншій її частині, тільки, звичайно, різною мірою. Різниця полягає лише в стійкості видів до дії того чи іншого фактора. Крім того, через наявність у будь – якій популяції більш чи менш стійких до фізико – хімічного впливу видів швидкість відбору за витривалістю популяцій до шкідливого агента прямо пропорційна швидкості розмноження організмів та чергування поколінь. Через це, наприклад, тривале вживання пестицидів екологічно неприпустиме, бо шкідники, які розмножуються значно швидше, також швидше пристосовуються і виживають, а об'єми хімічних забруднень доводиться дедалі збільшувати.

ДОДАТОК Д

Червона книга України

Червона книга України є основним державним документом з питання охорони тваринного і рослинного світу. Вона містить узагальнені відомості про сучасний стан видів тварин і рослин України, які перебувають під загрозою зникнення, і заходи щодо їх збереження та науково обґрунтованого відтворення. До Червоної книги України заносяться види тварин і рослин, які постійно або тимчасово перебувають чи зростають у природних умовах на території України, в межах її територіальних вод, континентального шельфу та виключної (морської) економічної зони, і знаходяться під загрозою зникнення.

Перше видання Червоної книги України (1980 р.) містило опис 85 видів (підвидів) тварин: 29 – ссавців, 28 – птахів, 6 – плазунів, 4 – земноводних, 18 – комах і 151 вид вищих рослин. За час, що минув після 1980 року, наукові знання про тваринний світ значно поповнились; декотрі тварини, які ще недавно були звичайними, сьогодні стали рідкісними або зникли.

Вчені критично переглянули список видів (підвидів) фауни України, визначили рідкісні, зникаючі та інші категорії, занесли їх до Червоної книги незалежно від місця виду у природі та його господарського значення, керуючись основним принципом – збереження видової різноманітності диких тварин у природі та цілісності біоценозів, у сукупності яких вони існують.

Друге, нинішнє, видання Червоної книги підготовлено у двох томах: „Тваринний світ” і „Рослинний світ”.

Том „Червона книга України. Тваринний світ” складається з 11 розділів, що включають статті про 382 види тварин: гідродні поліпи (2 види), черви круглі (2) та черви кільчасті (7), ракоподібні (26), павукоподібні (2) та багатоніжки (3), комахи (173), молюски (12), круглороті (2) та риби (32), земноводні (5), плазуни (8), птахи (67), ссавці (41). Матеріал про кожний вид (підвид) тварин, розміщено у систематичному порядку за загальноприйнятою класифікацією і викладено за такою схемою: назва тварини (українська з найвідомішими синонімами та латинська), ряд, родина, таксономічна характеристика (унікальність таксону, близькі види, підвиди), статус, прийнятий з урахуванням категорій Червоної книги МСОП і Європейського Червоного списку, поширення (враховано відомі знахідки та спеціальні спостереження) в Україні та за її межами (ареал), місця перебування, чисельність у природі (на основі цього вирішується питання про категорійність виду), її зміни, особливості біології, відомості про розмноження або розведення у неволі, заходи охорони (здійснені, рекомендовані, необхідні для врятування виду), джерела інформації. Кожна стаття супроводжується ілюстрацією

(фотографія чи малюнок) та картосхемою поширення виду (підвиду) в Україні.

Залежно від стану та ступеня загрози для популяції видів тварин, занесених до Червоної книги України, вони поділяються на такі категорії: зниклі (0), зникаючі (I), вразливі (II), рідкісні (III), невизначені (IV), недостатньо відомі (V), відновлені (VI). Характеристика кожної категорії міститься в Положенні про Червону книгу України.

„Червона книга України. Тваринний світ” – результат праці великого колективу авторів з Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН, України, Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України та його Одеського відділення, Київського, Донецького, Запорізького, Одеського, Чернівецького та Ужгородського університетів, Українського педагогічного університету (Київ), Криворізького, Луганського, Мелітопольського та Ніжинського педагогічних інститутів, Харківського сільськогосподарського інституту, Українського лісотехнічного університету (Львів) та Львівської академії ветеринарної медицини, Сімферопольського медичного інституту, орнітологічних станцій Інституту зоології НАН України та Мелітопольського педінституту, Львівського природничого музею НАН України, заповідників.

Пропозиції щодо занесення тварин до Червоної книги України одержано від 26 установ, у т. ч. академічних, відомчих інститутів, вузів, від Головного управління мисливського господарства Міністерства лісового господарства України, Українського товариства мисливців і рибалок, від заповідників, природничих музеїв, окремих зоологів.

Списки відібраних для включення до Червоної книги тварин було розповсюджено серед відповідних установ і фахівців, зауваження узагальнювалися Міжвідомчою комісією з питань підготовки Червоної книги України (з 1992 р. – Національна комісія з питань Червоної книги України). Рішення про занесення видів

тварин до Червоної книги України прийнято Міністерством охорони навколишнього природного середовища України.

Рідкісні й такі, що перебувають під загрозою зникнення у природних умовах на території країни види тварин і рослин підлягають особливій охороні і заносяться до Червоної книги України.

Червона книга України – це офіційний державний документ, який містить перелік рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів тваринного і рослинного світу у межах території України, континентального шельфу та виключної (морської) економічної зони, а також узагальнені відомості про сучасний стан цих видів та заходи щодо їх збереження і відтворення.

Червона книга містить сім категорій видів тваринного і рослинного світу, а їх диференціація залежить від небезпеки зникнення того чи іншого виду. Це категорії: зниклі, зниклі в природі, зникаючі, вразливі, рідкісні, неоцінені та недостатньо відомі.

ДОДАТОК Е **Зелена книга України**

1. Положення про Зелену книгу України (витяг)

*Затверджено наказом Мінекобезпеки України
від 19 лютого 1997 р., № 17*

1. Положення про Зелену книгу України встановлює порядок ведення Зеленої книги України, визначає категорії рідкісних, зникаючих і типових природних рослинних угруповань, що потребують охорони та внесення до Зеленої книги України, а також шляхи здійснення охорони природних рослинних угруповань, внесених до Зеленої книги України.

2. Зелена книга України є державним документом, в якому зведені відомості про сучасний стан рідкісних, зникаючих і

типових природних рослинних угруповань України, що потребують охорони і мають важливе значення як складова частина біологічного різноманіття.

3. Зелена книга України є підставою для розробки заходів щодо охорони та невиснажливого використання природних рослинних угруповань.

4. До Зеленої книги України заносяться цінні, з наукової точки зору, природні рослинні угруповання, насамперед ті, в яких домінують та співдомінують рідкісні, реліктові, ендемічні види, що знаходяться на території України на межі свого ареалу; а також зональні, найбільш типові для України угруповання.

5. Зелена книга України складається з окремих аркушів, які містять інформацію про кожне рослинне угруповання, занесене до неї (назва, мотиви та категорія, поширення в світі та в Україні, екологічні умови, будова та склад, причини скорочення поширення, забезпеченість охороною та необхідні заходи охорони, джерела інформації), а також карту поширення цього угруповання в Україні.

6. Визначається п'ять категорій природних рослинних угруповань, що потребують охорони та внесення до Зеленої книги України:

а. Корінні рослинні угруповання, в складі яких домінують види рослин, внесені до Червоної книги України, а також реліктові та ендемічні види рослин.

б. Корінні рослинні угруповання, склад яких визначається типовими видами рослин, що зростають на межі свого ареалу чи висотного поширення та мають тенденцію до зниження свого життєвого потенціалу.

в. Рослинні угруповання, що не пов'язані з природною зональністю (болота, луки, водні об'єкти тощо), які потребують охорони з ботаніко-географічних міркувань.

г. Рослинні угруповання, взаємопов'язані зі зникаючими видами представників тваринного світу.

д. Рослинні угруповання, утворені поширеними в минулому видами рослин, але які стали рідкісними під впливом антропогенних чи стихійних чинників.

2. Історія Зеленої книги України

Зелена книга України (ЗКУ) – державний документ, у якому зведено відомості про сучасний стан рідкісних, зникаючих і типових природних рослинних угруповань України, що потребують охорони. Ідея створення Зеленої книги належить українським вченим. У 1983 році на 7 з'їзді Всесоюзного ботанічного товариства Ю.Р. Шеляг-Сосонко та Т.Л. Андрієнко представили проект Зеленої книги Української РСР, яку було видано в 1987 році у вигляді наукової монографії. До неї було занесено 127 рідкісних, зникаючих і типових фітоценозів. У 1997 було офіційно затверджено Положення про ЗКУ. В 2002 воно було доопрацьоване і затверджене постановою КМ України.

Угруповання, занесені до ЗКУ, підлягають особливій охороні на всій території України. У цих фітоценозах забороняється будь-яка діяльність, що негативно впливає на їхній стан і загрожує збереженню їх або порушує місцезростання. Ведення ЗКУ фінансується з Державного бюджету України. Офіційне видання та розповсюдження забезпечує Міністерство екології та природних ресурсів України.

ДОДАТОК Ж

Екологічні нормативи та стандарти якості навколишнього середовища

Система екологічних нормативів включає: нормативи екологічної безпеки (гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин у навколишньому середовищі, гранично допустимі рівні акустичного, електромагнітного, радіаційного та іншого шкідливого впливу на навколишнє середовище, гранично допустимий вміст шкідливих речовин у продуктах харчування), гранично допустимі викиди та скиди у навколишнє середовище забруднювальних хімічних речовин, рівні шкідливого впливу фізичних та біологічних факторів.

Екологічні нормативи повинні відповідати вимогам охорони навколишнього середовища та здоров'я людей від негативного впливу його забруднення.

Нормативи гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин у навколишньому середовищі та рівні шкідливих фізичних впливів на нього є єдиними для всієї території України. У разі необхідності для курортних, лікувально-оздоровчих, рекреаційних та інших окремих районів можуть встановлюватися більш жорсткі нормативи гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин та інших шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Екологічні нормативи розробляють і вводять у дію державні природоохоронні органи, органи охорони здоров'я та інші уповноважені на те державні органи.

Найпоширенішою серед них є гранично допустима концентрація (ГДК) – така маса шкідливої речовини в одиниці об'єму (в мг на 1 м³ повітря, 1 л рідини чи 1 кг твердої речовини) окремих компонентів біосфери, періодичний чи постійний, цілодобовий вплив якої на організм людини, тварин і рослин не викликає відхилень у нормальному їх функціонуванні протягом

усього життя нинішнього та майбутніх поколінь. Концентрацію наявних у повітрі, воді чи ґрунті шкідливих домішок на певний час на певній території називають фоновою концентрацією.

Контроль за якістю біосфери здійснюється зіставленням фонової концентрації з гранично допустимою:

$$C_{\phi} : ГДК \leq 1,$$

де C_{ϕ} – фонова концентрація речовини;

ГДК – гранично допустима концентрація цієї речовини.

За щорічного масового використання близько тисячі нових хімічних речовин загальна їх кількість, що надходить у середовище проживання людини, перевищила 4 млн. найменувань. Із них понад 40 тис. мають шкідливі для людини властивості. Нормативи ГДК, що затверджуються Міністерством охорони здоров'я України, встановлені для 600 речовин у повітряному середовищі, 200 – у водному та 100 – у ґрунті.

Усі шкідливі речовини за ступенем небезпечної дії на людину поділяються на чотири класи:

I – надзвичайно небезпечні (нікель, ртуть);

II – високо небезпечні (сульфогідроген, оксид Нітрогену (IV));

III – помірно небезпечні (сажа, цемент);

IV – мало небезпечні (бензин, фенол).

Чим вища шкідливість речовини, тим складніше здійснити захист атмосферного повітря і тим нижчий його ГДК. Для кожної речовини встановлюються два нормативи: максимальна разова і середньодобова концентрація.

Максимальна разова ГДК встановлюється для відвернення рефлекторних реакцій у людини через подразнення органів дихання за короткочасного впливу (до 20 хв.) атмосферних забруднень. Оскільки концентрація забруднень в атмосферному повітрі не є постійною в часі та змінюється залежно від метеорологічних умов, рельєфу місцевості, характеру викиду, разові проби повітря слід відбирати кілька разів на добу впродовж

20–30 хв. Найвище значення забруднювальних речовин у повітрі, отримане завдяки аналізу багаторазово відібраних проб, називають максимальною разовою концентрацією.

Середньодобова ГДК встановлюється для запобігання негативного впливу на людський організм протягом цілодобового використання повітря. Середньодобова концентрація визначається як середньо-арифметичне значення разових концентрацій у пробах атмосферного повітря впродовж 24 годин безперервно або з рівними інтервалами між відборами.

Для недопущення викиду в атмосферу понаднормативних об'ємів шкідливих твердих речовин розроблено нормативи гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у атмосфері населених пунктів.

ЗВЕРНІТЬ УВАГУ

Використовуються два типи ГДК: у повітрі робочої зони (ГДК р.з.) і населеного пункту (ГДК н.п.). ГДК р.з. – це концентрація, яка за щоденного 8-годинного перебування (крім вихідних днів) на роботі (не більш як 41 година на тиждень) протягом усього робочого стану не може спричинити захворювань чи відхилень у стані здоров'я людей для нинішнього та наступного поколінь. ГДК н.п. враховує перебування людей цілодобово. Всі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони порівнюються з максимальними разовими (протягом 30 хв.), а в повітрі населеного пункту – із середньодобовими за 24 години.

Нормування викидів забруднювальних речовин у навколишнє середовище виконується шляхом встановлення гранично допустимих викидів цих речовин в атмосферу (ГДВ). ГДВ – це маса викидів шкідливих речовин за одиницю часу від одного або сукупності джерел забруднення атмосфери міста чи іншого населеного пункту з урахуванням перспективи розвитку промислових підприємств і розсіювання

шкідливих речовин в атмосфері, що створює приземну концентрацію, яка не перевищує гранично допустимі їх концентрації для населення, рослинного і тваринного світу, якщо немає більш жорстких екологічних вимог і обмежень.

Регламентування викидів шкідливих речовин в атмосферу через ті чи інші джерела здійснюється на основі таких екологічних нормативів, як гранично допустимий викид (ГДВ). ГДВ – це маса викидів шкідливих речовин за одиницю часу від одного або сукупності джерел забруднення атмосфери міста чи іншого населеного пункту з урахуванням перспективи розвитку промислових підприємств і розсіювання шкідливих речовин в атмосфері, що створює приземну концентрацію, яка не перевищує гранично допустимі концентрації їх для населення, рослинного і тваринного світу, якщо немає більш жорстких екологічних вимог і обмежень.

Одиниця виміру ГДВ грам на секунду (1 г/с) встановлюється для кожного джерела забруднення атмосфери за умови, що викиди шкідливих речовин від цього джерела і від сукупності інших джерел з урахуванням розсіювання їх в атмосфері не створять приземної концентрації шкідливих речовин, яка перевищить ГДК.

Різні токсичні речовини можуть чинити подібний несприятливий вплив на організм. У таких випадках відбувається ефект сумачії, або синергізму. Його мають фенол і ацетон, валеріанова і капронова кислоти, озон, діоксид азоту і формальдегід та ін. Наприклад, фонові концентрації ацетону і фенолу – відповідно 0,345 і 0,009 мг/м³, тоді як ГДК ацетону – 0,35, а ГДК фенолу – 0,01 мг/м³, тобто обидві речовини наявні в концентраціях менших, ніж установлені для них ГДК. Однак цим речовинам властивий ефект сумачії, тобто їхня сумарна концентрація (0,345 + 0,009 = 0,354) вища, ніж будь-яка з ГДК, установлена для кожної речовини окремо. А це означає, що забруднення повітря перевищує допустимі норми.

За наявністю в середовищі домішок, щодо яких визначено необхідність урахування сумісної шкідливої дії, як критерії для встановлення ГДК використовуються вимоги про виконання співвідношення ефекту сумачії:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \frac{C_3}{ГДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1$$

Нормування скидів забруднювальних речовин у навколишнє середовище виконується шляхом встановлення гранично допустимих скидів речовин із стічними водами у водні об'єкти (ГДС).

ГДС – це маса речовин у стічних водах, максимально допустима до відведення з установленим режимом у даному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення норм якості води у контрольованому пункті. ГДС встановлюється з урахуванням ГДК в місцях водоспоживання, асиміляційних властивостей водного об'єкта і оптимального розподілу маси речовин, що скидаються, між водокористувачами, які скидають стічні води. Гранично допустима концентрація домішок у воді водного об'єкта – це такий нормативний показник, який включає несприятливий вплив на організм людини і можливість обмеження чи порушення нормальних умов господарсько-питного, побутового та інших видів водокористування.

Як і для атмосферного повітря, встановлено окреме нормування якості води, хоча принцип тут інший і пов'язаний із категорією водокористування:

3. – господарсько-питного водопостачання населення і підприємств харчової промисловості;
4. – культурно-побутового призначення (для купання, спорту, відпочинку населення);
5. – рибогосподарського призначення – для збереження і відтворення цінних видів риб, які мають високу чутливість до кисню;
6. – рибогосподарського призначення для інших видів риб.

Для кожної з цих категорій встановлено нормативи на якість води у місцях водокористування.

Важливими заходами щодо збереження ґрунтів є гігієнічне регламентування їхнього забруднення. Розроблено методичні рекомендації щодо встановлення ГДК хімічних речовин у ґрунтах. Гранично допустима кількість (ГДК) речовин, що забруднюють ґрунти, означає частку хімічної речовини,

що забруднює ґрунти, і не справляє прямої або опосередкованої дії, включаючи віддалені наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людини.

Нормативи викидів і скидів для підприємства встановлюються в сукупності значень ГДВ (ГДС) для окремих діючих і тих джерел забруднення, що проектується чи підлягають реконструкції. Для останніх нормативи визначаються на різних стадіях проектування об'єктів. Для тих об'єктів, що вводяться в дію, нормативи ГДВ і ГДС повинні бути забезпечені на момент прийняття їх в експлуатацію.

При викидах (скидах) у навколишнє середовище речовин, для яких не встановлено ГДК, органи охорони природи мають право прийняти рішення про зупинення роботи підприємств або їхніх окремих виробництв. Введення в експлуатацію нових виробництв, у викидах (скидах) яких містяться речовини без встановлених ГДК, заборонено.

ГДВ встановлюються для кожного джерела забруднення атмосфери на діючому підприємстві за умови, що викиди шкідливих речовин від одного або сукупності джерел населеного пункту з урахуванням перспективи промислового розвитку і розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері не створять приземну концентрацію, що перевищує ГДК. У разі, коли значення ГДВ з об'єктивних причин на підприємстві не можуть бути забезпечені, виконується поетапне скорочення викидів забруднювальних речовин до значень, які забезпечують додержання ГДВ.

Для неорганізованих викидів і сукупності дрібних джерел (вентиляційні викиди з одного виробничого приміщення) встановлюють сумарні значення ГДВ. При визначенні ГДВ для джерела забруднення атмосфери враховують одержані розрахунковим або експериментальним методом значення фонових концентрацій забруднювальних речовин у повітрі від інших джерел (у тому числі і від автотранспорту) міста або іншого населеного пункту.

ДОДАТОК 3

Адреси сайтів в INTERNET за екологічною тематикою

1. <http://www.menr.gov.ua> – Офіційний сайт Міністерства екології і природних ресурсів України.
2. <http://www.unep.org>. – Програма ООН з навколишнього середовища.
3. <http://www.ri.lviv.ua> – Зелена енергетика (журнал).
4. http://www.europa.eu.int/comm/dgs/environment/index_en.htm – Веб-сторінка Екологічної програми Європейської комісії.
5. <http://www.informeco.ru> – ІНФОРМ-ЕКОЛОГІЯ. Інформаційно – аналітичне агентство.
6. <http://www.waterandecology.ru> – Журнал „Вода і екологія: проблеми і рішення”.
7. <http://www.forest.report.ru> – Екологія лісу.
8. <http://www.grida.no> – Global Resource Information Database (Глобальний ресурсний інформаційний банк даних).
9. <http://www.wmo.ch> – Global Atmosphere Watch (Глобальна служба атмосфери).
10. <http://www.wwf.org> – Лісова програма WWF (World Wildlife Fund – Всесвітній фонд дикої природи).
11. <http://www.lesis.ru> – ООО „ЛесИС” (Лісові інформаційні системи).
12. <http://www.seu.ru> – Союз „За хімічну безпеку”.

Навчальне видання

**Соломенко Людмила Іванівна
Боголюбов Володимир Миколайович
Волох Анатолій Михайлович**

ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Підручник

Третє видання, виправлене і доповнене

Українською мовою

Верстка – Н.М. Ковальчук

Підписано до друку 02.10.2019 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Гарнітура Droid. Цифровий друк.
Умовно-друк. арк. 20,11. Тираж 300. Замовлення № 1909п-67.
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво і друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
E-mail: oldi-ks@i.ua
Свід. ДК No 6532 від 13.12.2018 р.