

НАВЧАЛЬНІ ВИДАННЯ

Бондарь В.І., Ракоїд О.О., Клепко А.В.

ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Бондарь В.І., Ракоїд О.О., Клепко А.В.

ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Київ
2026

УДК 504:168.522 (0.75.8)

Б 81

Рекомендовано до видання рішенням вченої ради Національного університету біоресурсів і природокористування України (Протокол № 3 від 30 вересня 2026 року)

Рецензенти:

Барабаш О.В., завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету, доктор технічних наук, професор.

Стасик О.О., заступник директора з наукової роботи Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, член-кореспондент НАН України, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник.

Боголюбов В.М., професор кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності, доктор педагогічних наук, професор.

Б 81 Екологія: Навчальний посібник / В.І. Бондарь, О.О. Ракоїд, А.В. Клепко. К.: НУБіП України, 2026. 166 с.

ISBN

Зміст навчального посібника відповідає навчальній програмі дисципліни «Екологія» для студентів ОС Бакалавр за спеціальністю G2 «Технології захисту навколишнього середовища». Обсяг теоретичного, представлений у навчальному посібнику, має забезпечити студентам достатні знання про концептуальні основи сучасної екології та охорони довкілля, необхідні для підтримки екологічно безпечних рішень у майбутній професійній діяльності. Навчальний посібник містить також методичні вказівки щодо виконання практичних робіт та питання для контролю та самоперевірки.

УДК 504:168.522 (0.75.8)

©,Бондарь В.І., Ракоїд О.О., Клепко А.В.,2026
© НУБіП України

ISBN

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ



Бондарь Валерія Іванівна

Кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування. Викладає дисципліни «Загальна екологія», «Безпека праці та життєдіяльності». Наукові інтереси пов'язані з оцінюванням стану природних і агроекосистем, якості рослинної продукції та екотоксикологією. Автор понад 20 наукових праць, з яких 4 монографії, 4 підручники, 5 навчальних посібників і 1 патент.

Електронна адреса: v_bondar@nubip.edu.ua



Ракоїд Олена Олександрівна

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування. Викладає дисципліни «Моніторинг довкілля», «Соціальна екологія», «Загальна екологія». Наукові інтереси пов'язані з проблемами сталого природокористування та екологічним оцінюванням стану екосистем. Автор понад 20 наукових праць, з яких 2 аналітичні звіти, 5 підручників, 6 навчальних посібників.

Електронна адреса: orakoid@nubip.edu.ua



Клепко Алла Володимирівна

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності Національного університету біоресурсів і природокористування. Викладає дисципліни «Соціальна екологія», «Загальна екологія», «Радіобіологія та радіоекологія». Наукові інтереси пов'язані з біобезпекою, радіоекологією та радіобіологією. Автор 23 наукових праць, з яких 2 підручники, 2 навчальні посібники, 4 монографії, 5 патентів.

Електронна адреса: klepko@nubip.edu.ua

ЗМІСТ

Стор.

ПЕРЕДМОВА…….. 6

МОДУЛЬ 1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АУТЕКОЛОГІЇ

Тема 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЇ ЯК НАУКИ…… 7

Тема 2. ПОНЯТТЯ ПРО СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ……. 16

Тема 3. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ……. 28

Практична робота 1……. 46

Практична робота 2……. 47

Практична робота 3…….. 48

Практична робота 4…….. 49

Практична робота 5…….. 50

Питання для обговорення та самоперевірки……..... 51

МОДУЛЬ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЕМЕКОЛОГІЇ

Тема 4. ПОНЯТТЯ ПОПУЛЯЦІЇ В ЕКОЛОГІЇ……... 53

Тема 5. ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ…… 59

Тема 6. СТАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ……... 70

Практична робота 6…….. 78

Практична робота 7…….. 80

Питання для обговорення та самоперевірки……..... 81

МОДУЛЬ 3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИНЕКОЛОГІЇ

Тема 7. ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХ МІСЦЕ В ОРГАНІЗАЦІЇ БІОСФЕРИ…….. 82

Тема 8. ТРОФІЧНІ ЗВ'ЯЗКИ В ЕКОСИСТЕМАХ……. 90

Тема 9. БІОПРОДУКЦІЙНИЙ ПРОЦЕС В ЕКОСИСТЕМІ……. 100

Практична робота 8…….. 115

Практична робота 9…….. 117

Практична робота 10…… 118

Питання для обговорення та самоперевірки……..... 120

МОДУЛЬ 4. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОСФЕРОЛОГІЇ

Тема 10. ВЧЕННЯ ПРО БІОСФЕРУ…….. 121

Тема 11. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ……... 123

Тема 12. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДОВКІЛЛЯ…… 147

Практична робота 11…… 160

Практична робота 12…… 161

Питання для обговорення та самоперевірки……..... 162

Список використаної літератури……..…….. 164

Інформаційні джерела……... 166

ПЕРЕДМОВА

Пошук найбільш оптимальних шляхів і засобів підготовки висококваліфікованих фахівців у будь-якій галузі діяльності є одним із головних завдань сучасної системи освіти. У навчальному процесі важливо донести до студентів думку про те, що реальне вирішення екологічних проблем вимагає, насамперед, екологізації свідомості всіх членів суспільства, розвитку екологічної культури та формування екологічно орієнтованих потреб і мотивів у подальшій професійній діяльності.

Екологічна освіта та виховання є одним із головних чинників і шляхів стабілізації та поліпшення екологічного стану природно-територіальних комплексів України, а також найважливішим засобом зменшення негативного впливу забруднення на здоров'я населення. Знання з екології та природничих наук допомагають учням усвідомити механізми впливу людської діяльності на природне середовище, а також зрозуміти необхідність охорони природи та раціонального природокористування на всій території України. Системний підхід також дозволяє розглядати проблеми економії ресурсів та енергії в комплексі.

Екологія як наукова дисципліна – це комплекс різноманітних наукових знань про взаємодію та взаємний вплив у надскладній системі «живі організми–навколишнє середовище», зокрема про можливі наслідки неконтрольованого впливу людини на навколишнє середовище. На нашу думку, такі знання сьогодні повинен здобувати майбутній фахівець будь-якого профілю, особливо фахівець з технологій захисту навколишнього середовища.

Пропонований навчальний посібник розроблено з метою надання практичної допомоги студентам ОС Бакалавр за спеціальністю G2 «Технології захисту навколишнього середовища» у вивченні курсу «Екологія». Вони містять тематичний план, складений відповідно до тематики лекцій та практичних занять, а також питання для самоперевірки. Лекційний матеріал розраховано на 30 годин, матеріал практичних занять – на 30 годин.

Автори: Національний університет біоресурсів і природокористування України, кафедра загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності: Бондар В.І., кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с. (розділи 1, 10-12), Ракоїд О.О., кандидат сільськогосподарських наук (передмова; розділи 2, 4, 5, 7-9), Клепко А.В., доктор біологічних наук, професор (розділи 3, 6).

МОДУЛЬ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АУТЕКОЛОГІЇ

Тема 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЇ ЯК НАУКИ

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

Термін ***«екологія»*** походить від грецьких слів *oikos* (помешкання, дім, місцеперебування, притулок) та *logos* (вчення). Його запропонував відомий німецький природодослідник Ернст Геккель у 1866 (1869) р. для позначення необхідної, на його думку, науки про взаємодію і взаємовплив живих істот та їхнього оточення.

За Е. Геккелем, ***екологія*** *– це наука про закономірності формування, розвитку та стійкого функціонування біологічних систем різного рангу у їх взаємовідносинах між собою та з умовами середовища.*

Поступове розширення об’єктів зацікавленості та предмета дослідження екології призвело до появи інших, нових її визначень.

Екологічний енциклопедичний словник (1990 р.) наводить таке тлумачення: ***екологія*** – це наука про різні аспекти взаємодії організмів між собою та з навколишнім середовищем; наука про сумісний розвиток людини, спільнот людей у цілому і навколишнього середовища (включаючи всі організми), що вивчає біотичні механізми регуляції і стабілізації навколишнього середовища, механізми, що забезпечують сталість життя.

Дедалі частіше екологію визначають як систему знань про взаємодію природи і суспільства. Найбільш повно і водночас стисло відповідає сучасному розумінню екології таке визначення: **це міждисциплінарна область знань (синтез наук) про структуру і функціонування природних та суспільних систем у їх взаємозв’язку** (Ю. Одум, 1986 р.).

У сучасному тлумаченні екологія – це, по-перше, комплексна наука, по-друге, загальнонауковий метод і підхід до вирішення комплексних проблем, по-третє, світогляд. Таке широке трактування визначається предметом дослідження екології, яка вивчає специфічні взаємозв’язки між суспільством, природою, людиною та її життєвим середовищем з метою збереження та удосконалення середовища мешкання людини.

Етапи розвитку екології як науки

В історії розвитку науки екології умовно виділяють три етапи, кожному з яких притаманні свої характерні риси та визначні події. Під характерними рисами слід розуміти, по-перше, об'єкт і предмет досліджень тих часів; по-друге, методи дослідження, які переважно застосовувалися; по-третє, те нове,

що з'явилося завдяки екологічним дослідженням протягом цього етапу розвитку науки.

І. Перший етап

Був найбільш тривалим: розпочався ще від стародавніх часів і продовжувався до другої половини XIX ст. Найхарактернішими рисами цього етапу можна вважати такі:

1. Об'єктом дослідження науки, яка пізніше отримала назву «екологія», була окрема особина. А предметом дослідження – вплив фізичних (температура, освітлення, тиск тощо) і хімічних (склад води, повітря та ін.) чинників довкілля на життєдіяльність цієї особини. Саме це відрізняло екологію від біології, частиною котрої вона довго була. Отже, лідером першого етапу розвитку екології стала *галузь, яка вивчає екологію особини, – аутекологія.*

2. Саме на цьому етапі вчені почали застосовувати науковий метод дослідження, тобто до простих натурних спостережень додавати порівняно точні досліди з вартими довіри результатами (наприклад, про вплив мінеральних добрив на ріст рослин та кінцевий урожай).

3. Найважливішим з усього нового на цьому етапі були перші спроби захистити природу – створити заповідники і національні парки для порятунку тих рослин і тварин, яким загрожувало знищення. З'явилися також перші закони і правила щодо заборони і певних обмежень рибальства та полювання.

Значна тривалість першого етапу розвитку екології зумовила насиченість його визначними подіями. Дослідження екологічного спрямування, тобто із акцентом на вивченні взаємозв'язків біологічних об'єктів між собою та неживою природою, почали проводитися із стародавніх часів.

Отже, початковий період становлення екології, який був найбільш тривалим і вважався підготовчим (його навіть називають періодом «наївної екології»), закінчився (умовно) у 1866 р. (за іншими даними – 1869 р.), коли німецький зоолог **Ернст Геккель** у передмові до своєї праці «Загальна морфологія організмів» науку про організми та навколишнє для них середовище назвав *екологією*.

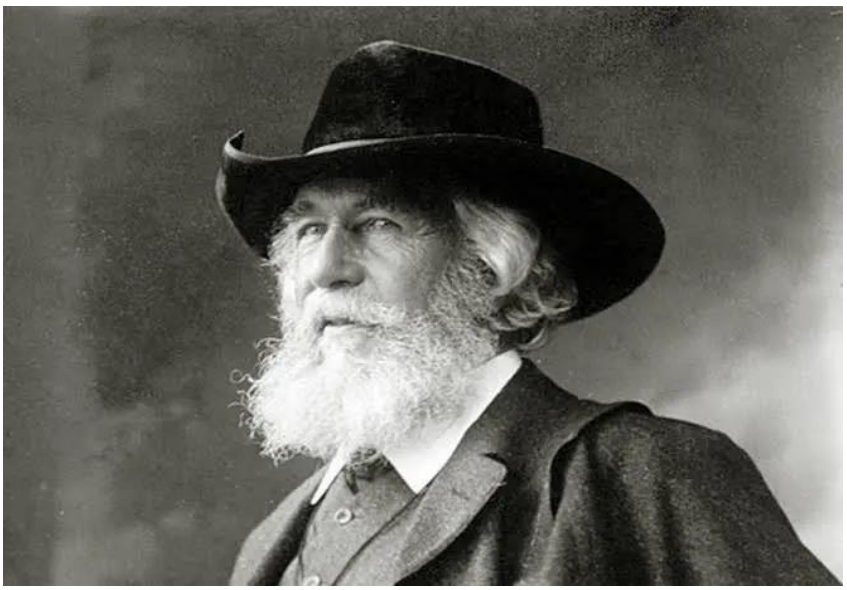


Рис. 1.1. Ернст Геккель (1834–1919 рр.)

Е. Геккель тоді писав, що «екологія – це пізнання економіки природи, одночасне дослідження

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

ІІ. Другий етап

Був порівняно короткочасним і тривав із другої половини XIX ст. до середини 30-х років XX ст. Йому притаманні такі характерні риси:

1. Об'єктом дослідження була вже не окрема особина, а великі групи організмів (популяції та їх об'єднання). Предметом – взаємодія популяцій різних видів істот між собою (наприклад, взаємовплив хижаків та їхньої здобичі).

Це сприяло подальшому розвитку і розгалуженню екології як науки. Результатом стало офіційне розділення на ІІІ Ботанічному конгресі у Брюсселі (1910) екології рослин на два напрями: аутекологію (екологію особин) і синекологію (екологію угруповань, або спільнот). А пізніше, у 1927 р. після опублікування праці англійського вченого **Чарлза Елтона** «Екологія тварин», було започатковано розвиток популяційної екології – *демекології, яка стала лідером другого етапу.*

2. Використовувані методи дослідження вже були досить різноманітними. Але велика заслуга цього етапу полягав у залученні до екологічних досліджень методів вищої математики (насамперед диференційних рівнянь). Це дало змогу екологам вперше виконувати теоретичне моделювання різноманітних взаємодій у навколишньому середовищі, робити передбачення, хоча вони можуть видатися надто спрощеними і не дуже точними як на сучасний погляд.

Однак, незважаючи на усі досягнення, на цьому етапі екологічні дослідження все ж майже не виходили за межі біоекологічних, оскільки проблем самої людини, а також її впливу на середовище існування вони практично не торкалися.

ІІІ. Третій етап розвитку екології

Третій етап розвитку екології сучасний. Його початком вважається публікація у 1935 р. статті англійського ботаніка **Артура Тенслі** «Правильне та неправильне використання концепцій і термінів в екології рослин», де вперше було запропоновано термін «екосистема». Тенслі вважав, що екосистема – це єдиний комплекс живих істот і абіотичних умов на певній території. Ця робота Тенслі ознаменувала перехід на новий ступінь розвитку екології завдяки використанню принципів комплексності та системності.



Рис. 1.2. Артур Тенслі (1871–1955 рр.)

Цим було започатковано формування нового розділу екології, який за кордоном одержав назву «вчення про екосистеми», а в східноєвропейській літературі, завдяки академіку **В.М. Сукачову**, – «біогеоценологія».

Характерними рисами цього етапу розвитку науки є:

1. Об’єкти дослідження екології розширюються – ними стає практично все, що існує у навколишньому природному середовищі. Предметом, відповідно, взаємозв'язки між цим всім і середовищем існування. Домінуючим стає уявлення (воно домінує і зараз) про «пов’язаність усього з усім», тобто про те, що усі види живої природи взаємодіють між собою та з довкіллям. Лідером сучасного етапу стає *глобальна екологія – вчення про всіх і про все*.

2. До екологічних досліджень залучаються методи усіх наук: природничих, точних, соціальних.

3. За умов, коли на сучасному етапі розвитку екології постійно з’являється та відкривається щось нове, цей етап відрізняється від усіх попередніх, тим що виникають і стрімко розвиваються десятки галузей, розділів і підрозділів сучасної екології. Поділ вже вужчих частин екології відбувається безперервно.



Рис. 1.3. Рейчел Карсон (1907–1964 рр.)

У 1962 році вийшла друком книга **Рейчел Карсон** «Мовчазна весна», яка посіла 91 місце в рейтингу «100 найкращих книг усіх часів і народів» журналу «Newsweek».

Рейчел Карсон – американська письменниця та морський біолог, яка входить у список 25 найвпливовіших жінок XX століття за версією TIME. Дослідниця здобула популярність після виходу книги «Мовчазна весна» (Silent Spring), де вона зібрала людські історії та факти згубного впливу пестицидів і закликала науковців, що працювали в галузі сільського господарства, та урядовців відмовитися від отруєння планети дустом (ДДТ), а громадськість – змінити ставлення до ролі людини в природі.

22 квітня 1970 року 20 мільйонів американців – на той час 10% від загальної чисельності населення Сполучених Штатів – вийшли на вулиці, в парки і аудиторії, протестуючи проти погіршення стану навколишнього середовища. З того часу щороку 22 квітня у світі святкують **День Землі**, який ознаменував початок сучасного екологічного руху.

У багатьох країнах відкривалися нові установи з проблем довкілля і проводиться робота щодо перебудови існуючих департаментів і міністерств.

У 1971 році створюється **міжурядова програма ЮНЕСКО «Людина і біосфера».**

Навесні 1972 р. Римський клуб випускає першу доповідь **«Межі зростання»**. Ця найбільш відома і «революційна» доповідь Римського клубу присвячена моделюванню довгострокових наслідків глобальних проблем, пов'язаних з експоненціальним зростанням населення планети, зростанням споживання природних ресурсів й забруднення довкілля. Ця доповідь мала величезний резонанс у світі й, можна стверджувати, дала поштовх формуванню сучасної концепції сталого розвитку.

Під час ситуаційного моделювання і аналізу результатів науковці послуговувалися системним підходом і методом математичного комп'ютерного моделювання.

Стокгольмська конференція з проблем навколишнього середовища (5–16 червня 1972 р.) вперше звела разом як промислово розвинені країни, так і країни, що розвиваються, для визначення прав людини на життєздатне і продуктивне довкілля, підняла питання про регулювання використання природних ресурсів, ідентифікацію та контроль за найважливішими видами забруднень, започаткувала міжнародне співробітництво з проблем навколишнього середовища.

Найважливішим підсумком Конференції була пропозиція про визнання в якості основного правового принципу права людини на сприятливе навколишнє середовище. Перший принцип Стокгольмської декларації говорить: «Людина має основне право на свободу, рівність і адекватні умови життя в навколишньому природному середовищі, якість якого дозволяє жити у гідності і благополуччі».



Рис. 1.4. Відкриття Конференції ООН з питань навколишнього середовища в Стокгольмі, 5 червня 1972 р.

Далі Декларація урочисто проголошувала обов'язок урядів зберігати і покращувати навколишнє середовище для нинішнього і майбутніх поколінь. Після Стокгольмської конференції кілька держав визнали в своїх конституціях або законах право на адекватне навколишнє середовище і зобов'язання держави зберігати це середовище.

На Стокгольмській конференції вперше прозвучав термін «екорозвиток», сформульований генеральним секретарем конференції, відомим дипломатом та екологом Морісом Стронґом: «екорозвиток – це екологічно зорієнтований

соціально-економічний розвиток, при якому зростання добробуту людей не супроводжується погіршенням середовища їх існування і деградацією природних систем».

Ще однією важливою подією було розроблення «**Всесвітньої стратегії охорони природи»** (1980 р.), підготовленої Міжнародною спілкою охорони природи і в якій було проголошено положення: збереження природи нерозривно пов'язане з питаннями розвитку суспільства, а останній має відбуватися за умов збереження природи. В стратегії говорилося, що необхідно змінити ставлення людини до довкілля шляхом формування нової екологічної етики і екологічної свідомості, щоб люди могли жити в гармонії з природою, від стану якої залежить не тільки їх добробут але й можливості виживання.

Як ми бачимо, небезпека глобальної екологічної кризи (у вигляді неминучого загально планетарного неблагополуччя) стала очевидною ще на початку 70-х років.



Рис. 1.5. Ріо 92 стало місцем народження конференцій, конвенцій та декларацій: принципів щодо лісів; заходів з боротьби з опустелюванням; конвенцій про біологічне різноманіття; «Порядку денного на XXI століття»; а також глобальних кліматичних ініціатив, спрямованих на сприяння сталому розвитку

Але політичним лідерам світу треба було ще цілих два десятиліття (до 1992 року, коли під час **Всесвітньої конференції з навколишнього середовища і розвитку** в Ріо-де-Жанейро на рівні глав держав більшості (172) країн світу було офіційно задекларовано принцип сталого розвитку (Sustainable Development), який стверджував неприпустимість необмеженого і безконтрольного використання ресурсів і забруднення біосфери, щоб усвідомити, що мова йде не про вимисли вчених, а про деякий природний процес, що загрожує безпеці не окремих країн, а світовому співтовариству в цілому.

Відмічалося зокрема, що головна проблема полягає в тому, що «…саме політики повинні приймати і приймають рішення, від яких залежить доля цивілізації, але більшість з них не розуміють, що вони в першу чергу (а не вчені), несуть відповідальність за майбутнє загальпланетарного співтовариства. ... Більше того, на сучасному етапі суспільство, а отже і політики, ще просто не доросли до усвідомлення глобальності екологічних проблем».

Екологічні рівні організації

Отже, екологія як наука пройшла довгий шлях становлення. При цьому вона вивчала природу спочатку на рівні окремих організмів (I етап), потім - на популяційному рівні (II етап) і врешті-решт - на екосистемному.

Зараз увага екологів дедалі більше приділяється вивченню природних закономірностей на біосферному рівні, а також проблемам взаємовідносин людини і природи (соціальна екологія; екологія людини).

Деякі підсумки щодо структури екології, яка вималювалася до кінця минулого століття, відображено у вигляді узагальненої ієрархічної структури на рисунку (рівні організації матерії – від атомів до всесвіту) та ієрархії екологічних рівнів організації (рис.1.6).

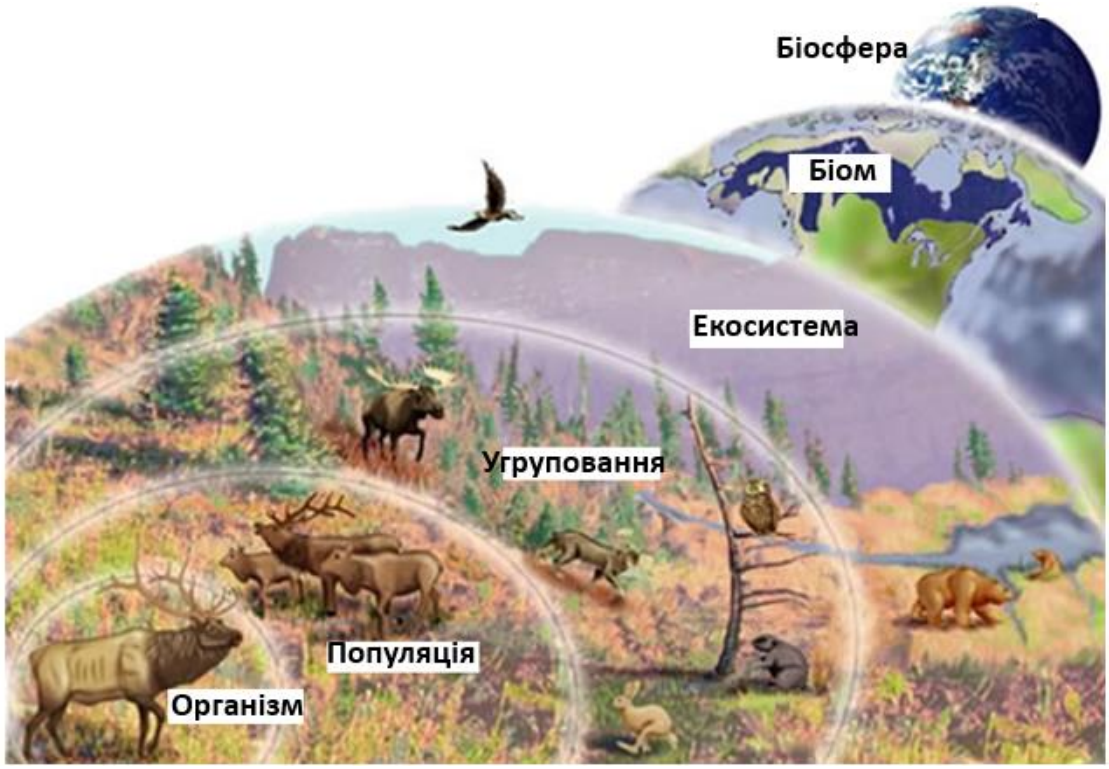


Рис. 1.6. Екологічні рівні організації

В основі екологічної ієрархії лежать **організми** різних видів, які належать до їх головних груп: рослин, тварин, грибів, бактерій з архебактеріями і вірусів.

Взаємодії організмів одного виду між собою формують нову структуру по вертикалі − **популяції**, а взаємодії між популяціями різних видів формують нову структуру по вертикалі – **угруповання** (біоценоз).

Вище − **екосистемний** рівень, виникає як результат взаємодії угруповання з неживими тілами, які разом знаходяться на певній території.

Ще вище у ієрархії – **біом** (історично сформований комплекс живих організмів та середовища їх існування певної ландшафтно-географічної зони), і нарешті – **біосфера** - оболонка Землі, в якій існує життя.

Таким чином, ці типи біологічних систем є основними об’єктами екології.

Предметом же вивчення цих об'єктів можуть бути їх структура, механізми функціонування та підтримання стійкості (адаптації) за дії широкого спектра факторів навколишнього середовища, від локального типу (діють на організми) до глобального (діють на великі екосистеми та біосферу).

Структура сучасної екології

Сучасна екологія включає п'ять основних розділів. Розділи екології склалися з неоднаковою повнотою, за об'ємом вони дуже різноманітні. Виникають все нові її галузі. Деякі автори налічують аж до 50 галузей екології:

1. Біоекологія, або загальна екологія – «класична» екологія, що сформувалася в рамках біології. Вона вивчає взаємодії організмів і надорганізмених систем усіх рівнів між собою та з навколишнім середовищем.

У біоекології виділяють чотири розділи: **аутекологія** (екологія організмів), **демекологія** (екологія популяцій), **синекологія** (екологія біоценозів, біогеоценозів, екосистем), **глобальна екологія** (біосферологія, вчення про біосферу).

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

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

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

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

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

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

4. Екологія людини. Екологія людини − це комплекс дисциплін, які вивчають взаємодію людини як індивіда (біологічної особини) та особистості (соціального суб'єкта) з навколишнім середовищем. Важлива особливість екології людини − соціобіологічний підхід, тобто, оптимальне поєднання біологічних і соціальних аспектів.

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

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

- за видами діяльності (промислова екологія, сільськогосподарська екологія, екологія міста, радіоекологія тощо);
- за типами екосистем (екологія суходолу, екологія лісу, екологія прісних вод, екологія океану тощо);
- за об'єктами дослідження (екологія рослин, екологія тварин, екологія мікроорганізмів тощо);
- за методами вивчення (хімічна екологія, географічна екологія, фізіологічна екологія, математична екологія тощо).

Тематика екології тісно пов'язана зі змістом інших галузей біології (фізіології, біохімії, біофізики, ботаніки, мікробіології, генетики, цитології, токсикології, теорії еволюції).

Екологія як наука переплітається також із небіологічними науками (фізикою, хімією, математикою, геологією, географією, палеонтологією тощо).

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

Основні завдання екології на сучасному етапі

• 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 основних 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.

Отже, нині екологія як наука найбільш загально сприймається *як система знань про взаємодію природи і суспільства, як міждисциплінарний синтез наук про структуру та функціонування природних і суспільних систем у їх взаємозв'язку*.

Тільки на сучасному етапі розвитку прийшло розуміння, що «все пов'язане з усім», і лідером стає глобальна екологія – вчення про всіх і про все.

Тема 2. ПОНЯТТЯ ПРО СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ

Поняття про середовище

З точки зору системного підходу кожна система має своє середовище, що являє собою сукупність об'єктів та умов, які не входять до самої системи, але зміна їх параметрів впливає на систему, а зміни в системі впливають на властивості цих об'єктів та умов. Таким чином, будь яка система не може існувати без свого середовища. Навіть само поняття «система» з'являється тоді, коли можна умовно провести межу між сукупністю елементів та їх навколишнім середовищем.

Для біосистем визначають навколишнє середовище, або довкілля – це частина Всесвіту, яка оточує біосистеми, з якою вони безпосередньо взаємодіють. Результати такої взаємодії утворюють системні зв'язки, завдяки яким формується вищий рівень системи – екосистема. Для живого організму **навколишнє середовище** (англ. environment) – це сукупність зовнішніх об'єктів та умов, що разом впливають на його життєдіяльність.

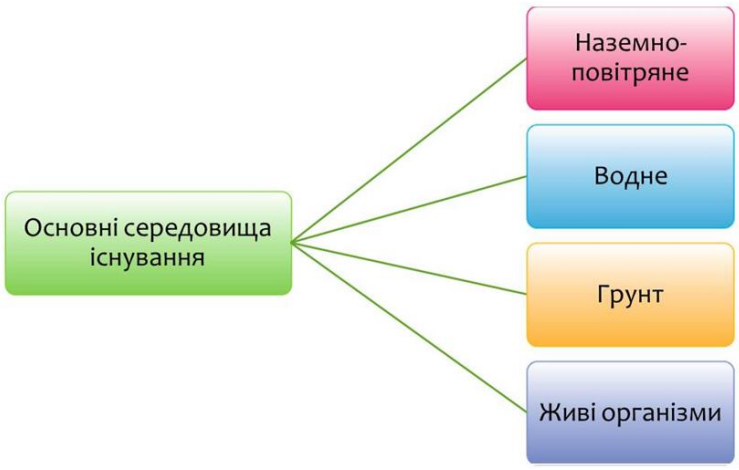


Рис. 2.1. Середовища існування живих організмів

Навколишнє середовище охоплює сукупність абіотичних та біотичних факторів окремого організму чи їх угруповань в цілому, тобто все те, серед чого вони живуть. Живі організми нашої планети населяють чотири основні середовища існування: водне, наземно-повітряне, ґрунти, а також організми інших істот.

Повітряне середовище існування

Повітряне середовище існування – атмосфера – це газоподібна оболонка Землі, що складається із суміші різних газів, водяної пари та пилу і утримується навколо нашої планети завдяки земному тяжінню. Атмосфера обертається разом із Землею як єдине ціле.

Газовий склад повітря. Хімічний склад атмосферного повітря (в об'ємних відсотках) такий (табл. 2.1 нижче):

- нітроген – 78,1%;
- оксиген – 20,85%;
- аргон – 0,93%;

- двооксид карбону – 0,033%;
- неон, гелій, криптон, ксенон, озон, гідроген тощо – 0,087%;
- водяна пара – 0,01-4%.

Таблиця 2.1

Газовий склад приземного шару атмосфери

Газ	**Молекулярна маса**	**Відносний вміст у сухому повітрі, %**	
		за об'ємом	**за масою**
Азот *(N_2)*	28,02	78,08	75,53
Кисень *(O_2)*	32,0	20,95	23,14
Аргон *(Ar)*	39,94	0,93	1,28
Carbon dioxide *(CO_2)*	44,01	0,033	0,05
Неон *(Ne)*	20,18	0,0018	0,001
Гелій *(He)*	4,0	0,0005	0,00007
Криптон *(Kr)*	16,05	0,00015	0,00008
Ксенон *(Xe)*	83,7	0,0001	0,00003
Геміоксид азоту (N_2O)	44,02	0,00005	0,00008
Водень (H_2)	2,02	0,00005	0,000003
Озон (O_3)	48,0	0,00004	0,00007

Для абсолютної більшості живих організмів кисень (оксиген) є життєво необхідним. У безкисневому середовищі можуть існувати лише анаеробні бактерії. Оксигенний фотосинтез здійснюють рослини, водорості та ціанобактерії. Продуцентом вільного молекулярного кисню на суші є зелені рослини, які утворюють його в процесі фотосинтезу. Доросле дерево за добу виділяє до 180 л кисню. Людина ж вдихає впродовж дня до 180 л, а при інтенсивній роботі – до 900 л. Реактивний лайнер на переліт з Європи до Америки витрачає 35 т кисню. З цього прикладу видно, наскільки актуальна проблема збереження лісів, які можна назвати «легенями» планети.

Атмосферу поділяють на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу та екзосферу.

Тропосфера – це нижній шар атмосфери (до 8-10 км над полюсами, 10-12 км над помірними широтами та 16-18 км - над екватором), де вміщується 90% усієї маси атмосферного повітря (включаючи водяну пару) та відбуваються основні метеорологічні процеси. У тропосфері зосереджене все наземне життя планети.

Характеризуючи атмосферу, виділяють два основних аспекти:

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

Глобальні захисні функції атмосфери:

- вона пропускає тільки частку сонячної радіації (функція розсіювання);
- утримує тепло в приземних шарах (функція терморегуляції);
- через атмосферу не проникає згубне для всього живого ультракоротке випромінювання завдяки озоновому екрану, та не так часто досягають поверхні Землі метеорити, тому що згорають у середніх шарах атмосфери (захисна функція).

Повітря як середовище існування малопридатне 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 лише для пересування, а птахи та деякі комахи пристосувались до пересування в повітрі найдосконаліше.

Разом з тим повітряне середовище є необхідною складовою навколишнього середовища і має певні фізико-хімічні параметри.

Пристосування живих організмів до умов наземно-повітряного середовища.

Світло. Є важливим фактором, інтенсивність якого змінюється по сезонах року і протягом доби. Із загального потоку світла, яке досягло земної поверхні і від якого залежать умови існування організмів

- видиме світло становить близько 45%,
- інфрачервоне випромінювання – 45%,
- ультрафіолетове – 8-10%.

Завдяки видимим променям зелені рослини здатні до фотосинтезу. Необхідне воно і тваринам, без нього вони не можуть орієнтуватися у просторі за допомогою органів зору. Інфрачервоне випромінювання – джерело теплової енергії. Воно поглинається тканинами організмів і зумовлює їх нагрівання. Від цього залежить інтенсивність фізіологічних процесів у рослин і пойкілотермних тварин. Ультрафіолетове випромінювання згубно діє на живу матерію (короткохвильове), його майже повністю поглинає озоновий шар. Проте у невеликих кількостях сприяє синтезу вітаміну D в організмі тварин, виявляє бактерицидну дію.

Адаптації рослин до світла. У рослин залежно від тривалості світлового дня формуються гормони, що впливають на їх цвітіння, утворення бульб, цибулин, коренеплодів.

За вимогою до освітлення розрізняють:

- рослини короткого дня (фотоперіод 8-10 год)
- рослини довгого дня (не менше 12 год.);
- нейтральні – на них тривалість дня істотно не впливає.

На рис. 2.2 нижче показано, що рослина короткого дня зацвіте лише тоді, коли тривалість безперервної темряви перевищить критичну тривалість ночі. І навпаки, рослина довгого дня зацвіте лише тоді, коли тривалість безперервної темряви буде меншою за критичну тривалість ночі.

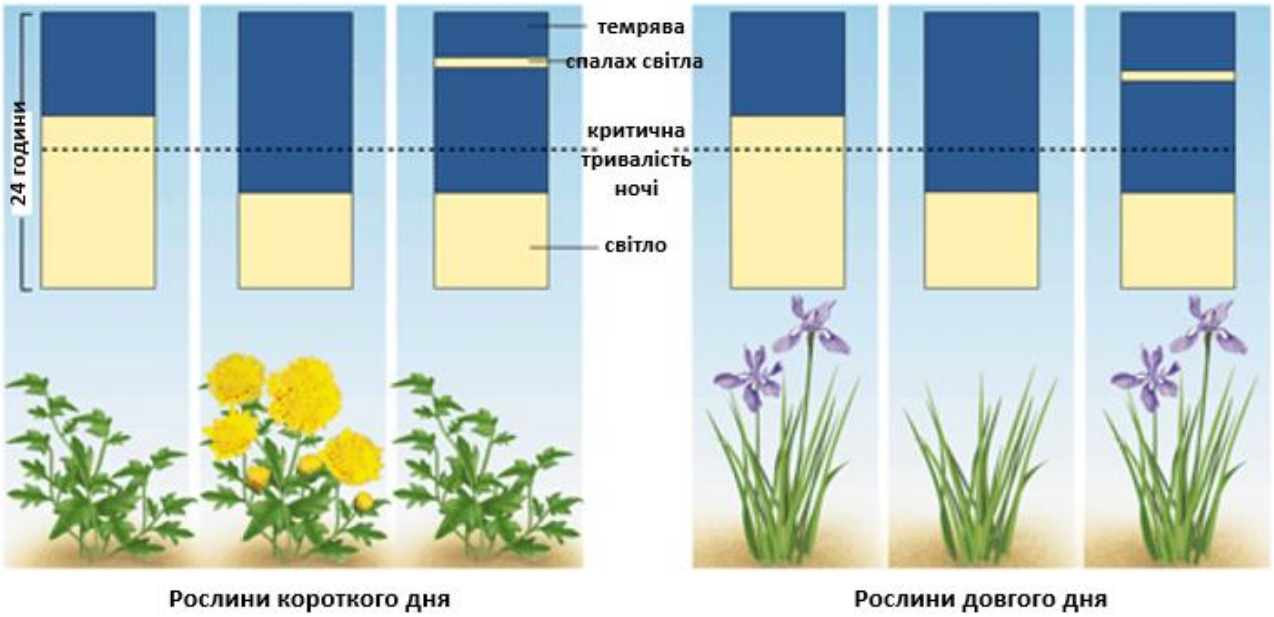


Рис. 2.2. Спалах світла вночі може «обдурити» рослину, змусивши її реагувати так, ніби це був довгий день

Фотоперіодизм – це спадково закріплена, генетично зумовлена властивість. Але слід зазначити, що хоча періодизм зустрічається у всіх великих систематичних групах, він властивий далеко не всім. У природі існує багато видів, які мають нейтральну фотоперіодичну реакцію, а їх фізіологічні перебудови не залежать від тривалості дня.

Використання явища фотоперіодизму в сільськогосподарській практиці має велике значення у цілорічному забезпеченні людей необхідною продукцією (вирощування овочів, плодів, ягід у теплицях, підвищення несучості курей за рахунок подовження світлового дня штучним освітленням).

Відома й інша класифікація:

- світлолюбні – ростуть на відкритих, добре освітлених місцевостях (степи, луки, верхній ярус лісу);
- тіньолюбні – рослини нижніх ярусів тінистих лісів, печер та глибоководні;
- тіньовитривалі – можуть витримувати тривале затінення, проте добре ростуть і на світлі.

Адаптації тварин до освітлення. Фотоперіодизм спостерігається також у тварин, що визначає особливості життєвих циклів (настання і припинення періоду парування, плодючість, зимова сплячка, міграція).Розмноження більшості жуйних тварин починається в період з коротким світловим днем, а дрібних хижаків, лисиць, різних гризунів – коли день стає довшим. Птахи навесні, коли подовжується світловий день, починають будувати гнізда. Фотоперіодизм поряд із температурою, вологістю є причиною діапаузи – тимчасового функціонального спокою у розвитку багатьох тварин.

По відношенню до світла тварин поділяють на 3 групи:

- нічна (активні вночі);

- денна (активні в світлу частину доби);
- живуть у постійній темряві.

Представники «денної» групи мають, як правило, добре розвинений зір, здатні розрізняти кольори, мають яскраве забарвлення.

У представників «нічної» групи, навпаки, кольоровий зір не розвинений (вовчі, котячі), а очі мають великі розміри (сови, лемури).

За умов відсутності світла у деяких тварин органи зору редуковані (кріт, сліпак) або зовсім втрачені (дощовий черв'як).

Температура. Один з найважливіших фізичних компонентів середовища. Від температури залежать усі життєво необхідні процеси, що відбуваються в організмі: обмін речовин, ріст, розвиток, температура тіла живих організмів. На земній поверхні температура мінлива і залежить від географічної широти, висоти місцевості над рівнем моря, пори року, сезону, часу доби.

Життя і розмноження кожного виду живих організмів можливі лише в певних межах температури: мінімальна – оптимальна – максимальна. Різка зміна критичних для організму значень температури може спричинити сповільнення або прискорення фізіологічних процесів і навіть його загибель.

З кожним підвищенням температури на 10 градусів, швидкість більшості хімічних реакцій в організмі збільшиться у 2-3 рази. Наприклад, оптимальною для життєдіяльності лучного метелика є температура 25-32 градуси, при 35 градусах особини гинуть, а при 10 розвиток їх припиняється.

Для більшості видів температурний інтервал існування становить 0 – +50 градусів. Проте є організми, які активно існують при температурі, що виходить далеко за ці межі. Наприклад, бактерії гарячих джерел витримують температуру до +90 – +100 градусів, синьо-зелені водорості – +80 градусів, верблюжа колючка +70. А в стані *анабіозу* живі організми здатні витримувати значно ширший діапазон (від -200 до +100 градусів).

Температурний оптимум для більшості мешканців помірної зони становить від -20 до +25.

Пристосування рослин і тварин до сезонного ритму зовнішніх умов.

Зміна пір року в помірному поясі спричиняє значні зміни в житті природи, пов'язані, в першу чергу, із змінами температури. Навесні життя активно пробуджується від зимового сну. Розквітають первоцвіти й запилювані вітром дерева: вільха, верба, ліщина; з'являються листки на деревах. Прокидаються комахи. Прилітають перелітні птахи. Починається період розмноження у багатьох видів риб, земноводних, ссавців, птахів, дедалі більшає квітучих рослин, комах.

У середині літа ріст багатьох видів рослин припиняється, зменшується число квітучих рослин, закінчується розмноження птахів. Починається дозрівання насіння та плодів; стає помітнішою підготовка до зими. У рослин нагромаджуються запасні поживні речовини у відповідних органах: коренях, кореневищах, цибулинах, бульбах. У комах у спеціальних органах – жирових тілах – нагромаджується жир. У підшкірній жировій клітковині багатьох

ссавців також нагромаджується жир. Восени у птахів і ссавців відбувається линяння. Опадає листя з дерев і кущів (рис.2.3).



Рис. 2.3. Приклад реакції організму на сезонні зміни в помірному кліматичному поясі

Багато видів організмів набули здатності переживати несприятливі умови (високу або дуже низьку температуру, зниження вологості, відсутність їжі та інше) у стані глибокого спокою, який характеризується зниженням фізіологічних процесів, уповільненням газообміну, припиненням живлення і нерухомістю у тварин.

- У різних видів рослин стан зимового спокою переживають різні органи. У цибулинних рослин - цибулини, у папоротей та деяких інших – кореневище, у запашного горошку – підземні бульби, у будяка – притиснені до землі розетки листків, у більшості ж рослин – насіння.
- Безхребетні тварини можуть перезимовувати на різних стадіях розвитку. Так, звичайний малярійний комар – на стадії дорослої комахи, джерельний – на стадії личинки, дупляний – на стадії яйця, а метелик білана капустяного – на стадії лялечки.
- Упродовж осені й зими у рослин і комах збільшується звикання до холоду, підсилюється стійкість до низьких температур. Це отримало назву загартовування.
- Особливою стійкістю до несприятливих умов характеризуються організми в стані анабіозу. При анабіозі життєві процеси тимчасово припинені або настільки знижені, що видимі прояви життя відсутні. У квіткових рослин стан анабіозу входить у нормальний цикл життя. Насіння у висушеному стані зберігає схожість багато років. У деяких безхребетних (найпростіші, нижчі

ракоподібні, коловертки) анабіоз настає при висиханні калюж і боліт, в яких вони живуть. Інші безхребетні впадають в анабіоз при заморожуванні.

Доведено, що повернення до активного життя із стану анабіозу можливе лише тоді, коли тканинна рідина не утворює кристалів, а залишається в переохолодженому стані. Це пов'язано з тим, що в тканинах утворюється гліцерин, що перешкоджає промерзанню.

- Зниження інтенсивності обміну речовин, що зустрічається у ссавців, проявляється у формі сплячки. Причинами її виникнення служать зниження температури, а також відсутність їжі як взимку, так і влітку, коли рослинність у степу й пустелі вигорає від спеки. Хом'яки, бурундуки, їжаки, кажани, деякі види ховрахів впадають у зимову сплячку. У інших видів ховрахів спостерігається літня сплячка, зазвичай в засушливу половину літа. Під час сплячки знижується активна терморегуляція, температура тіла падає майже до температури навколишнього середовища, уповільнюються всі функції. Частота серцевих скорочень у кажанів, наприклад, падає від 420 до 16 за хвилину.
- У деяких ссавців – ведмедя, борсука, єнотоподібного собаки – настає зимовий сон, при якому також значно знижується обмін речовин, але немає зниження температури тіла.
- Для завершення життєвого циклу деяким рослинам, комахам і ряду інших організмів необхідні охолодження й проходження зимових стадій спокою. У цей час здійснюються певні фізіологічні процеси, які готують організм до нового етапу активної життєдіяльності.
- 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.

Водне середовище

Вода – основа усього живого, його середовище. В більшості клітин вода становить 70-80% їхнього складу, вона - основне середовище для багатьох реакцій у процесі обміну речовин. Усі процеси на рівні клітини, тканини, організму неможливі без достатнього водозабезпечення.

Гідросфера включає в себе всі водні ресурси як поверхневих так і підземних вод. У світі вода знаходиться в океанах і морях, озерах і водосховищах, річках і струмках, льодовиках і снігових шапках в полярних регіонах, на додаток до підземних води нижче поверхні землі. Розподіл води серед цих ресурсів:

- Океани і моря: 96-97%;
- Льодовики і льодові полярні шапки: 2-3%;
- Прісна вода: <1%.

Вода в океанах і морях, занадто солона і не може бути використана безпосередньо для споживання людиною, для домашнього господарства, сільського господарства і промислових цілей. Лише менше 1% водних ресурсів доступні для експлуатації людиною (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Розподіл світових водних ресурсів

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.

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 поперечному 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 (рис. 2.5 нижче):

- *оліготрофні* (небагаті на корм) – глибоководні озера з низькою температурою в нижніх шарах водяної товщі, багатої на кисень. У цій воді добре розвиваються лососеві, форель (озера – Пісочне на Поліссі, Синевир у Карпатах). Тут повільніше розкладається органічний відпад і вода в них голуба і прозора;

- *еутрофні* (багаті на корм) – неглибокі, придонні води мають більшу температуру, ніж оліготрофні. Тут добре розвиваються різноманітні організми, а також добре перебігають процеси їх відпаду 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).

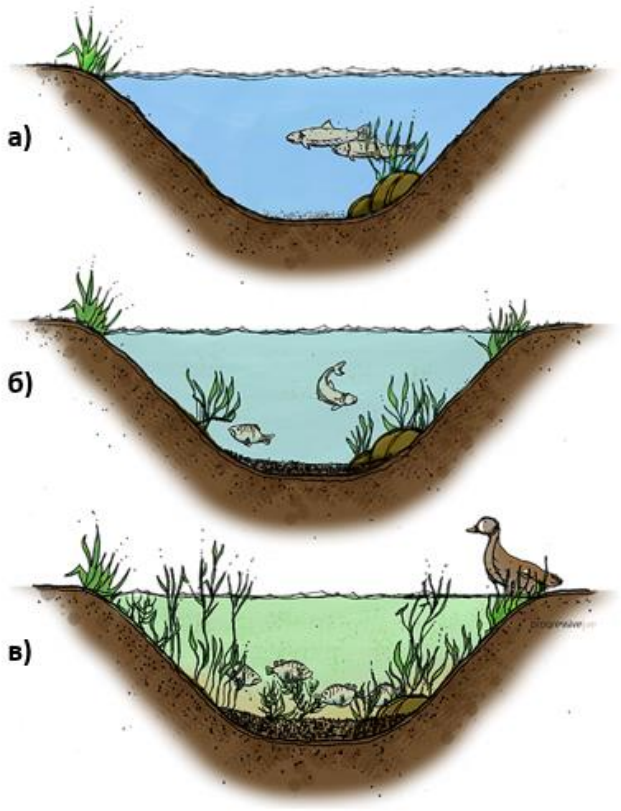


Рис. 2.5. Три основні групи водойм за вмістом поживних речовин, розподілом кисню та чисельністю біологічних організмів: а) оліготрофні, б) мезотрофні, в) еутрофні

У прісній і особливо морській воді значно більша кількість вуглекислого газу. Наприклад, у морській воді його міститься від 40-50 $см^3$/л (у вільній або зв'язаній формі, що в 150 разів перевищує його концентрацію в атмосферному повітрі). Вуглекислий газ відіграє значну роль у забезпеченні процесу фотосинтезу водяних зелених рослин, а також формуванні вапняних утворень (раковин, панцирів) безхребетних.

Пристосування до водного середовища.

Оскільки вода є середовищем існування для багатьох організмів, важливими є такі її властивості як густина, вміст розчинених газів, прозорість, кислотність тощо. Вміст розчиненого у воді кисню може бути обмежувальним фактором і він залежить від ряду факторів, зокрема температури, тиску, течії тощо.

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

• *гідратофіти,* які живуть тільки у воді, вони цілком або майже повністю занурені у воду. Без води вони швидко гинуть;

• *гідрофіти,* тобто наземно-водні рослини, які можуть бути частково занурені у воду, наприклад, ростуть на берегах водойм, болотах, тощо;

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

• *мезофіти,* які 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.

Тварини також чутливі до кількості води, яка знаходиться в їх організмі. В організм тварин вода надходить під час пиття, з їжею і внаслідок обмінних процесів, зокрема внаслідок окислення жирів. У разі, коли води в організм тварин надходить менше, ніж витрачається, він відчуває водний дефіцит. Зневоднення організму може бути причиною його загибелі.

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 молюск наутілус), а також утворюючи різні відростки.

Ґрунтове середовище існування.

Ґрунти виникли в результаті взаємодії гірських порід, живих та мертвих організмів (тваринних, рослинних та мікроорганізмів) під впливом сонячного випромінювання та атмосферних опадів. Це зовсім окреме і особливе природне утворення, якому властиві своя будова, склад та властивості.

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.

Найціннішою властивістю ґрунту є родючість, що забезпечує ріст та розвиток рослин.

Найважливіша біосферна функція ґрунтового покриву – *забезпечення життя на Землі*. Вона полягає у концентруванні в ґрунті необхідних для всіх організмів біофільних елементів (насамперед вуглецю, азоту, кисню) в доступних для них формах хімічних сполук.

Ґрунтовий покрив *регулює склад атмосфери й гідросфери* завдяки своїй високій пористості і щільному заселенню організмами (мікроорганізми, корені рослин, тварини). При цьому відбувається постійний газообмін між ґрунтом і приземною атмосферою.

Ґрунт *регулює й інтенсивність біосферних процесів* через регулювання щільності і продуктивності організмів на земній поверхні.

Ґрунтовий покрив виконує також *захисну функцію* стосовно літосфери нашої планети, оберігаючи її від інтенсивної дії екзогенних факторів, а отже, від руйнування. Він є ніби буферною зоною між атмосферою та літосферою.

Ще одна з важливих екологічних функцій ґрунту полягає в тому, що для рослин і мікроорганізмів він *є головним джерелом елементів живлення*. Ґрунтовий покрив має у своєму складі відповідний резерв елементів живлення,

енергії та вологи, тобто є своєрідним їхнім депо. Наявність цього важливого резерву життєдіяльності забезпечує існування організмів, незважаючи на можливі періодичні перерви в надходженні у ґрунт вологи, свіжої органічної речовини та інших поживних речовин.

Можна також говорити про *інформаційну функцію ґрунту*, адже він регулює кількісний склад та структуру біоценозів, володіє здатністю сигналізувати про початок сезонних біологічних процесів. Так, в умовах помірного клімату України температура ґрунту є важливим фактором весняного включення процесів сезонної активації і вегетації рослин. Крім того, температурні умови ґрунту не лише сигналізують про початок і закінчення сезонних циклів життєдіяльності організмів, а й визначають хід обміну речовин.

Специфічна функція ґрунтового покриву щодо людини. Для людини ґрунт є *найважливішим природним ресурсом*, головним засобом сільськогосподарського виробництва і фізичним місцем проживання. Завдяки живим організмам він забезпечує матеріальну основу нашого існування (продукти харчування, одяг, будівельні матеріали, сировина для багатьох видів промисловості тощо).

Тема 3. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Класифікація екологічних факторів.

Крім поняття навколишнє середовище виділяють також поняття «**умови існування**» як сукупність життєво необхідних факторів середовища, без яких живі організми не можуть існувати. Щодо організмів ці фактори середовища виступають як **екологічні фактори** – абіотичні, біотичні та антропічні (антропогенні).

Взагалі поняття «фактор» трактується як рушійна сила процесів або умова, яка на ці процеси впливає.

Екологічними факторами називають певні зовнішні та внутрішні сили, які визначають спрямованість і швидкість усіх процесів в екосистемах. Іншими словами, екологічні фактори – це всі складники природного середовища, що впливають на існування та розвиток організмів і на які живі істоти реагують реакціями пристосування (за межами здатності до пристосування настає смерть).

У зв'язку з надзвичайною кількістю складових навколишнього середовища, з метою оцінки їх різноманіття та впливу на біосистеми, застосовують різноманітні принципи класифікації. Найпоширенішими класифікаціями екологічних факторів є система за природою походження:

Абіотичні, біотичні та антропічні (антропогенні) фактори, які в останні роки виділяють у самостійну групу факторів у зв'язку з їхнім великим значенням. Це фактори прямого (безпосередній вплив людини як біологічного виду – антропічні, наприклад, полювання, вирубування) або опосередкованого впливу людини та її господарської діяльності на живі організми та середовище – антропогенні (тобто, породжені людиною).

Фактори неживої природи, або абіотичні (абіогенні):

- фізичні (фізичні поля: тяжіння, електричне, магнітне; іонізуюче випромінювання; рух середовищ: акустичні коливання, хвилі, вітер, течії, припливи тощо);
- хімічні (газовий склад повітря, сольовий склад води тощо);
- кліматичні (світло, тепло, повітря, волога);
- орографічні (рельєф, експозиція схилів, розчленування території);
- едафічні (грунтові) (гранулометричний та хімічний склад, вологоємність, вологопроникність, pH, елементні домішки тощо).

Фактори живої природи, або біотичні (біогенні). Біотичні фактори – це сукупність взаємних впливів одних живих істот на інші та на середовище мешкання:

- Фітогенні фактори – взаємний вплив рослин (як прямий, так і опосередкований).
- Зоогенні фактори – різноманітний вплив тварин (поїдання, витоптування, запилення, розповсюдження насіння тощо).

- Мікробогенні фактори – вплив мікроорганізмів і грибів. Вплив грибів іноді виділяють в окрему підгрупу мікогенних факторів.

За витратністю (наявністю зворотного зв'язку) екологічні фактори поділяються на:

Ресурси – елементи середовища, які організм споживає, в результаті чого їхні обсяги та доступність зменшуються.

Умови – елементи середовища, які можуть споживатися організмом, проте у звичайних умовах є невитратними для нього (температура, тривалість світлового дня, вітер, кислотність ґрунту, конкуренція).

За динамічними параметрами у просторі або часі (рис. 3.1):

Векторизовані – елементи середовища, що змінюють свої властивості у певному напрямку – збільшення або зменшення.

Циклічні – характеризуються чергуванням періодів посилення та послаблення дії. Найчастіше мають космогенну природу, наприклад: добові, сезонні, річні та багаторічні зміни кліматичних факторів.

Флуктуаційні – зміни інтенсивності дії факторів не виходять за межі діапазону багаторічної динаміки і описуються стохастичними (ймовірнісними) закономірностями (коливання температури протягом доби, середньорічна сума опадів).

Імпульсні – надзвичайні випадкові зміни інтенсивності впливу окремих екологічних чинників або поява нових екологічних факторів.

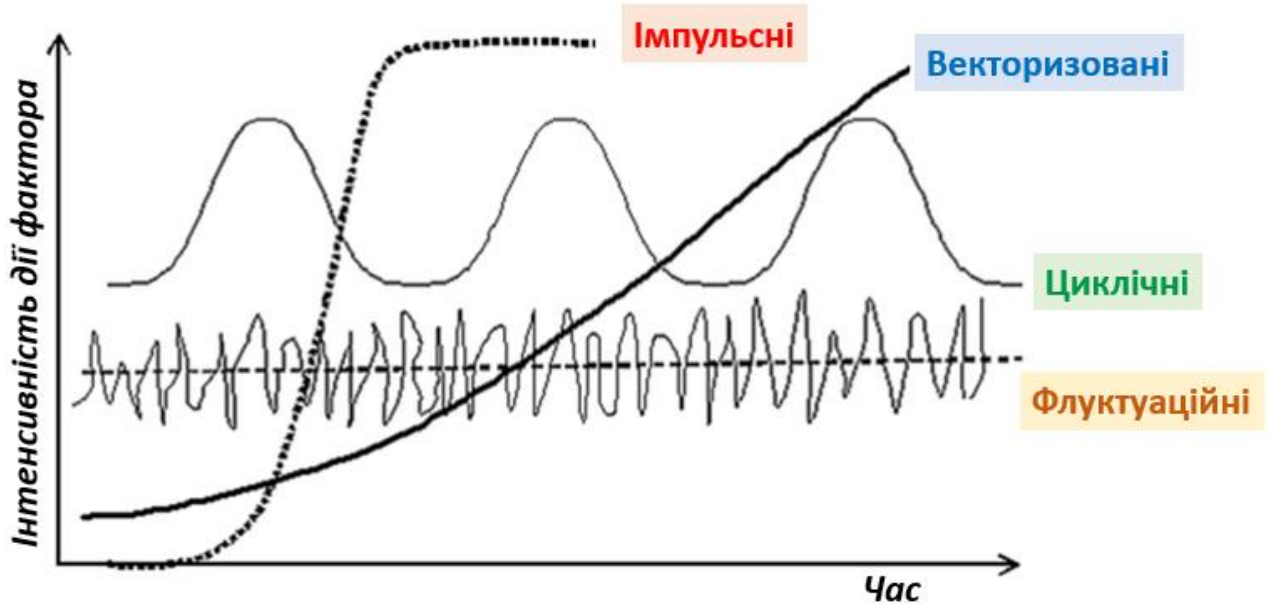


Рис. 3.1. Класифікація екологічних факторів за їхніми динамічними параметрами

Всі екологічні фактори можна поділити на *головні фактори*, або фактори сильної дії, та *другорядні фактори*, або фактори слабкої дії. У англомовній

літературі для таких факторів сильної дії використовують термін лімітуючі екологічні фактори (limiting factors).

Слід пам'ятати, що такий поділ є умовним і завжди можна знайти екосистему, в якій головними факторами будуть виступати рідкісні чинники. В цілому у біосфері головними абіотичними факторами виступають: температура; світло; вода; доступність поживних речовин; вільна територія. Серед біотичних факторів головними є: конкуренція; мутуалізм; хижацтво; паразитизм.

Антропогенні фактори

Вплив людини як екологічного фактора надзвичайно сильний та різнобічний. Жодна екосистема на планеті не уникнула цього впливу, а багато екосистем були повністю знищені. Навіть цілі біоми, наприклад степи, майже повністю зникли з лиця землі.

Антропогенні фактори (АФ) виникли лише з появою людини у період стародавнього етапу її взаємодії з природою, але тоді вони були ще дуже обмеженими за своїми масштабами.

Першим істотним АФ став вплив на природу за допомогою вогню; значно поширився набір АФ з розвитком тваринництва, рослинництва, появою великих поселень. Особливе значення для організмів біосфери мали такі АФ, аналогів яких не було у природі раніше, оскільки в ході еволюції ці організми не змогли виробити певних пристосувань до них.

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

Антропогенними факторами можна називати лише ті вироблені людиною тіла, речовини, процеси та явища, які не існували у природі до появи людини.

Є багато класифікацій АФ за різними ознаками. За природою АФ поділяють на:

- механічні – тиск колесами автомобілів, вирубка лісів, перешкоди на шляху руху організмів тощо;

- фізичні – тепло, світло, електричне поле, колір, зміни вологості тощо;

- хімічні – дія різних хімічних елементів та їх сполук;

- біологічні – вплив інтродукованих організмів, розведення рослин і тварин, лісопосадки тощо.

- ландшафтні – штучні ріки та озера, пляжі, ліси, луки та ін.

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

- безперервно діючі – забруднення атмосфери, води та ґрунту викидами промислових підприємств та вилучення з надр корисних копалин;

- періодичні фактори – орання ґрунту, вирощування та збір сільськогосподарських культур, випас домашніх тварин тощо.

Ці фактори прямо діють на природу лише у певні години, тому вони пов’язані із сезонною і добовою періодичністю дії АФ;

- спорадичні фактори – аварії транспортних засобів, що призводять до забруднення природного середовища, вибухи ядерних і термоядерних пристроїв, лісові пожежі та ін.

Вони діють у будь-який час, хоча у деяких випадках можуть бути прив’язані до певного сезону.

У процесі соціального обміну речовин (тобто обміну речовин у процесі природокористування) у навколишньому середовищі з’являються речовини та енергія, створені за допомогою технологічних процесів (антропогенних факторів). Деякі з них вже давно мають назву **«забруднення».** Забрудненнями слід вважати ті АФ, які негативно впливають на цінні для людини організми та ресурси неживої природи.

Іншими словами, забруднення – це все те, що з’являється в навколишньому середовищі не у тім місці, не у той час і не у тих кількостях, які звичайно притаманні природі, і що виводить її зі стану рівноваги.

Одна з можливих класифікацій забруднення показана на рис. 3.2.



Рис. 3.2 Класифікація забруднення

АФ різняться за тими наслідками у природному середовищі, до яких призводить або може призводити їхня дія.

Тому за характером післядії впливу АФ виділяють такі можливі групи наслідків у природі:

- руйнування або повне знищення окремих елементів природи;
- зміна властивостей цих елементів (наприклад, різке зменшення надходження сонячних промінів на Землю внаслідок запиленості атмосфери, що призводить до змін клімату та погіршує умови здійснення фотосинтезу рослинами);
- збільшення тих, що вже є, та створення нових елементів природи (наприклад, збільшення і створення нових лісосмуг, створення водосховищ тощо);
- переміщення у просторі (з транспортними засобами переміщується багато видів рослин і тварин, у тому числі хвороботворних організмів). На рис. 3.3 позначено регіони по всьому світу, які найбільше перебувають під загрозою з боку інвазійних видів.

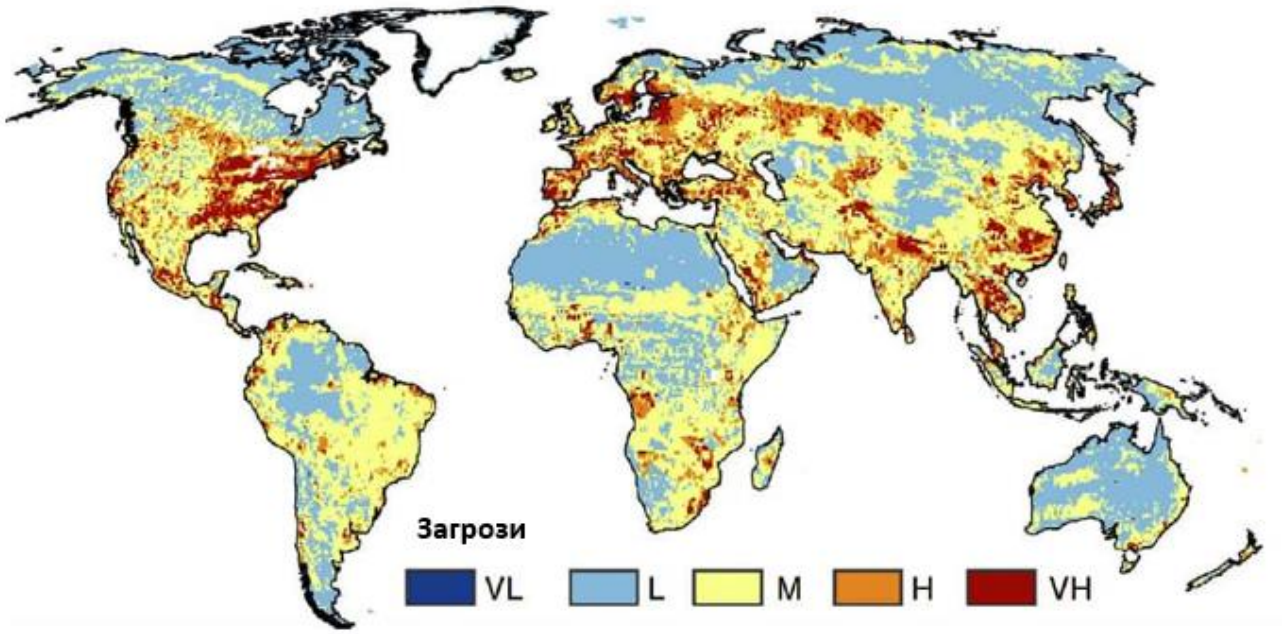


Рис. 3.3. Регіони світу, що найбільше перебувають під загрозою з боку інвазійних видів

Підсумовуючи, слід підкреслити, що на будь-який вплив природних абіотичних і біотичних факторів у живих організмів вироблені у процесі еволюції певні пристосувальні (адаптивні) властивості, тоді як на більшість антропогенних факторів, які діють переважно раптово (непередбачуваний вплив), подібних пристосувань у живих організмів немає.

Саме про цю особливість дії антропогенних факторів на природу люди мають постійно пам’ятати та враховувати її у будь-якій діяльності, пов’язаній з природним середовищем.

Поняття лімітуючого фактору

Багато організмів співіснують у навколишньому середовищі. Середовище включає фізичні, хімічні та біологічні компоненти. Коли компонент, що оточує організм, впливає на життя організму, він стає фактором. Всі такі фактори в сукупності називаються екологічними факторами.

Ці фактори можна класифікувати на живі (біотичні), неживі (абіотичні), та антропогенні.

Одні й ті самі екологічні фактори неоднаково впливають на різні види організмів – для одних вони є сприятливими, для інших – не дуже. Важливою при цьому є реакція організму на силу впливу екологічного фактора, оскільки негативні наслідки можуть виникнути як у разі надлишку, так і у разі недостатньої дози цього фактора.

Кожний екологічний фактор характеризується певними кількісними показниками (рис. 3.4), зокрема такими, як сприятлива доза фактора, яку називають **оптимумом**, та несприятлива доза фактора, коли організми почуваються пригнічено, яку, відповідно, називають **песимумом**.

Тоді увесь інтервал значень екологічного фактора від мінімального до максимального, за яких можливі зростання та розвиток організму, називається його **діапазоном стійкості**, а межі цього діапазону – **межами стійкості**.

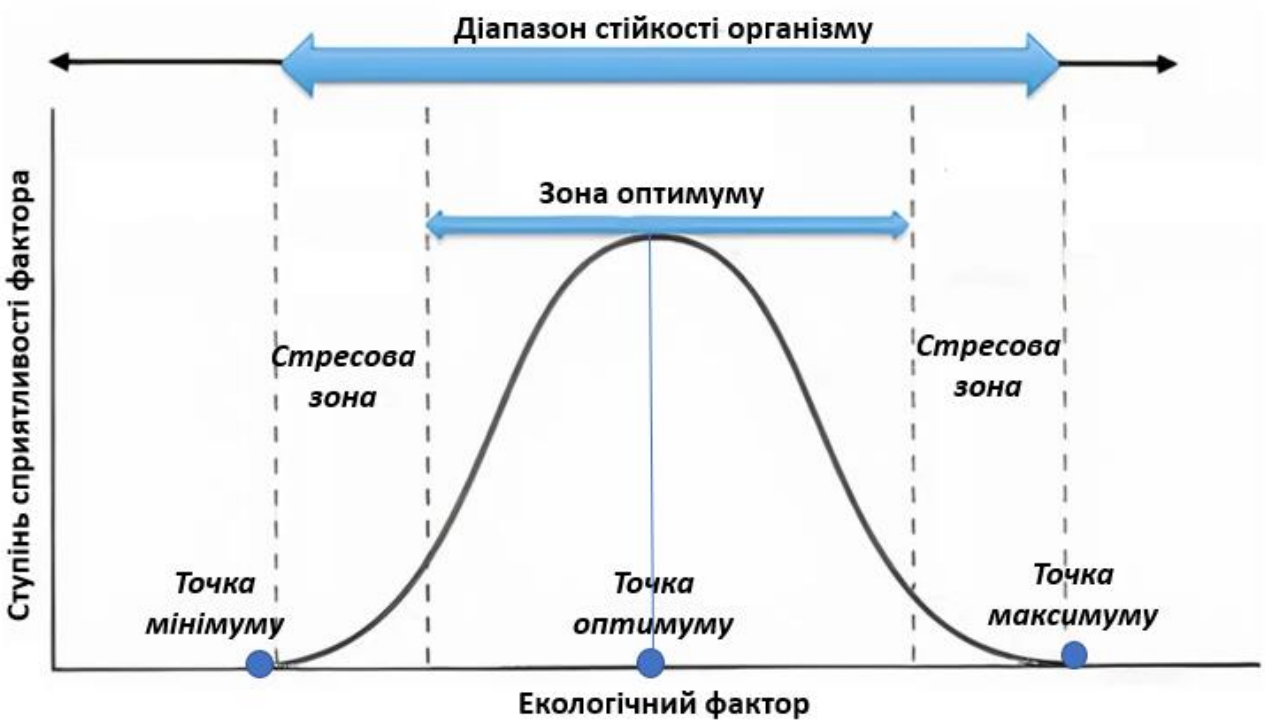


Рис. 3.4. Кількісні показники екологічного фактора

Від зони оптимуму у напрямі наближення до меж стійкості організм поступово починає відчувати пригнічення і збільшення стресу, тому цей «відрізок» називають **стресовою зоною в межах діапазону стійкості**.

Для кожного виду організмів є оптимум, стресові зони та межі стійкості для кожного фактора середовища.

У випадку, якщо дія якогось фактора виходить за межі стійкості (мінімальну або максимальну), організми гинуть. Таке згубне значення фактора називають **критичною точкою, або порогом**.

Зона оптимуму, як правило, розташовується в умовах середньої сили впливи фактора. Реакцію видів та окремих організмів на оптимальну зону дії екологічного фактора називають **законом оптимуму**.

Цей закон має важливе практичне значення. Немає цілком позитивних або цілком негативних факторів; усе залежить від їхньої інтенсивності.

Отже, всі форми впливу середовища на живі організми мають суто кількісне вираження. Це дає можливість управляти життєдіяльністю видів, не допускаючи перетину тими чи іншими екологічними факторами їхніх критичних значень з метою створення постійної зони оптимуму. При цьому слід враховувати, що оптимальні «дозування» факторів є різними для різних видів.

Слід зазначити, що в природі різні екологічні фактори діють комплексно і одночасно. Ступінь наявності або відсутності кожного з них істотно відображається на життєздатності організмів, але по-різному у різних видів. Тобто одні фактори є провідними (головними), інші – фоновими (супутніми, другорядними).

Провідними вважаються ті, які найбільш необхідні організмам; вони різні для різних організмів, навіть якщо ці організми мешкають на спільній території. Провідними факторами на різних етапах життя організму можуть бути то одні, то інші елементи середовища.

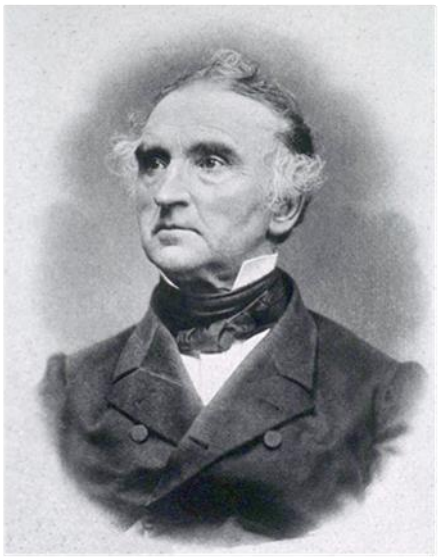


Рис. 3.5. Юстас Лібіх (1803–1873 рр.)

Навіть один екологічний фактор, вийшовши за межі зони оптимуму, призводить до стресового стану організму – лімітуючий фактор.

Лімітуючий фактор – це фактор, який за межами свого оптимуму призводить до стресового стану організму. Обмежувальна дія фактора буде виявлятися і у тому випадку, коли інші фактори середовища є сприятливими і навіть оптимальними. Лімітуючими можуть бути як провідні, так і фонові екологічні фактори.

Ідея про те, що витривалість організму визначається найслабшою ланкою у ланцюзі його екологічних потреб, вперше була

висловлена німецьким хіміком ***Юстасом Лібіхом***. Лібіх у своїй книзі *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie* (1840 р.) спробував обгрунтувати з позиції тодішніх знань хімії процеси формування продукції рослин. Вилучення хімічних елементів з ґрунту при зборі рослинної продукції потребує необхідності їх повернення задля збереження врожайності.

Він виявив, що врожайність (тобто оптимальне зростання) сільськогосподарських культур часто обмежується (лімітується) не тими елементами живлення, яких рослина потребує у великих кількостях, а тими, яких потрібно мало і у ґрунті їх міститься теж дуже мало. Або, іншими словами, ріст рослин обмежується кількістю поживної речовини, що знаходиться у найменшій концентрації.

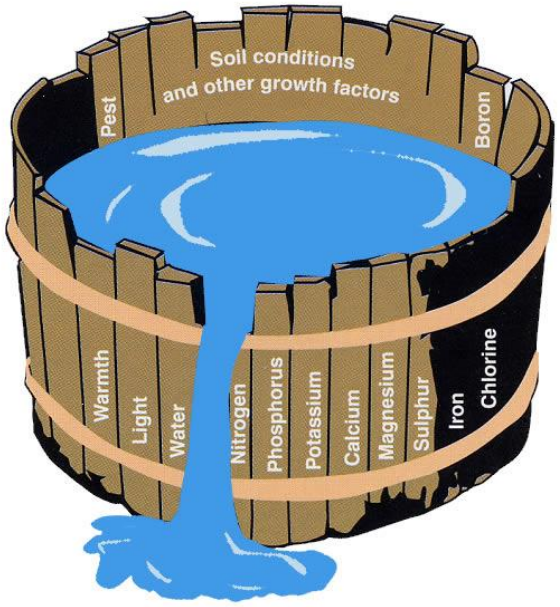


Рис. 3.6. Лібіх використовував бочку для ілюстрації закону мінімуму (т. зв. «бочка Лібіха»). Так само, як об'єм бочки, виготовленої з нерівних дощечок, обмежений найнижчою дощечкою, так і ріст рослини обмежений поживною речовиною, що є присутня в найменшій кількості

Закон мінімуму (закон Лібіха) звучить так: ріст рослини залежить від того елемента живлення, який наявний у мінімальній кількості; успішність росту та врожайності сільськогосподарських культур залежить від речовини, що є в мінімумі, порівняно з іншими необхідними речовинами.

Закон мінімуму Лібіха, що коректніше називати Законом обмежуючого фактора, узагальнено можна сформулювати так: обмежуючим (лімітуючим) фактором є такий, мінімальна відносна зміна якого викликає максимальну зміну функції відгуку системи.

Отже, у природі обмежуючий, або лімітуючий фактор – той екологічний фактор, значення якого близькі до межі витривалості організму, а тому обмежують подальший ріст чисельності, біомаси або зайнятої території.

Пізніше, у 1909 р. англійський учений, фізіолог рослин, **Фредерік Блекман** розширив цей закон і сформулював **закон лімітуючих факторів**: фактори середовища, які мають у конкретних умовах найгірше значення, найбільше обмежують можливість існування виду в цих умовах, незважаючи на оптимальне співвідношення інших умов.

Відповідно до цього закону, коли процес залежить від ряду факторів, його швидкість обмежується темпом найповільнішого чинника. Закон

обмежувальних факторів Блекмана визначає швидкість фотосинтезу, як показано на рис. 3.7.

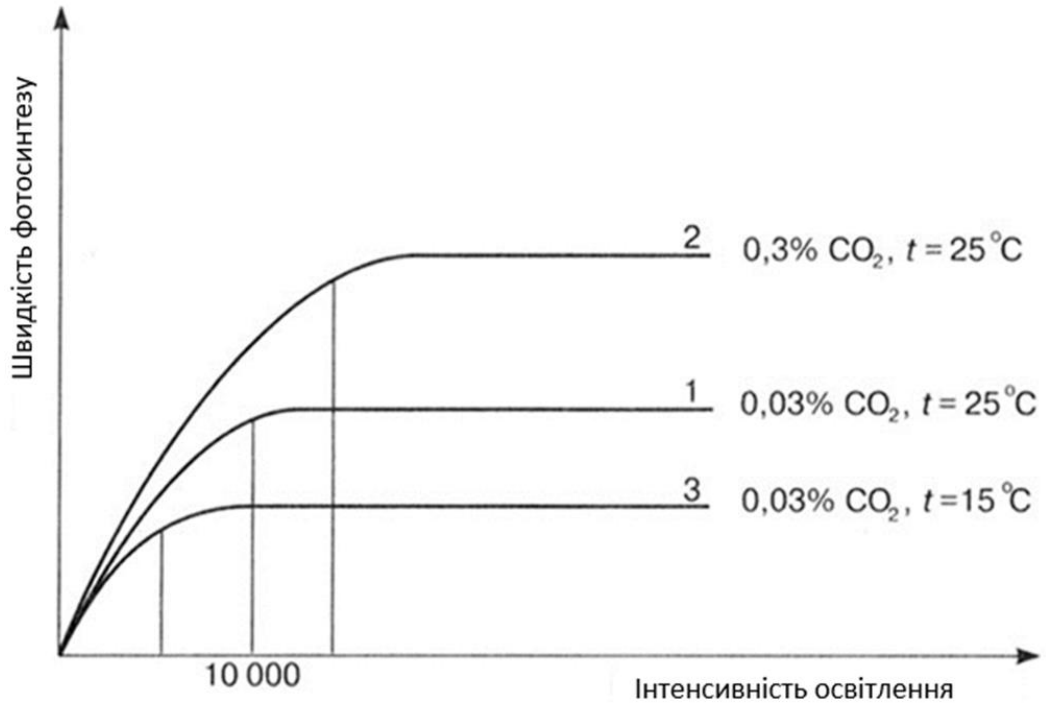


Рис. 3.7. Графічна ілюстрація закону обмежувальних (лімітуючих) факторів Блекмана

Згодом закон мінімуму був доповнений двома допоміжними принципами:

1) ***обмежувальним*** – він полягає у тому, що закон Лібіха може бути застосований лише в умовах стаціонарного стану, тобто тоді, коли приплив і відплив речовин та енергії є чітко збалансованими;

2) ***принципом взаємодії факторів***, який полягає у тому, що висока концентрація одного фактора може змінювати швидкість споживання організмами того елемента живлення, який є у мінімальній кількості. Іноді організм стає здатним замінювати дефіцитний елемент іншим, хімічно близьким.

Величина діапазону оптимуму, так само, як і величина всього діапазону стійкості (усієї зони дії фактора), дозволяють говорити про **толерантність** (від лат. *Tolerantia* – терпіння), тобто **межі витривалості організму щодо дії певного фактора середовища**.

Лімітуючим фактором може бути не тільки нестача, а й надмір певних факторів, таких, наприклад, як тепло, світло чи вода. Тобто всі організми характеризуються екологічним мінімумом та екологічним максимумом.

Поняття лімітуючого впливу максимуму ввів Віктор Ернст Шелфорд у 1913 р., сформувавши **закон толерантності (закон Шелфорда)**: лімітуючим фактором процвітання організму може бути як мінімум, так і максимум впливу, діапазон між якими визначає ступінь витривалості (толерантності) організму до

цього фактора.Згідно з цим законом, будь-який надлишок речовини чи енергії в екосистемі стає для неї шкідливим.

Діапазон між мінімумом і максимумом становить **межі толерантності**, в котрих організм нормально функціонує і реагує на вплив середовища (рис. 3.8).

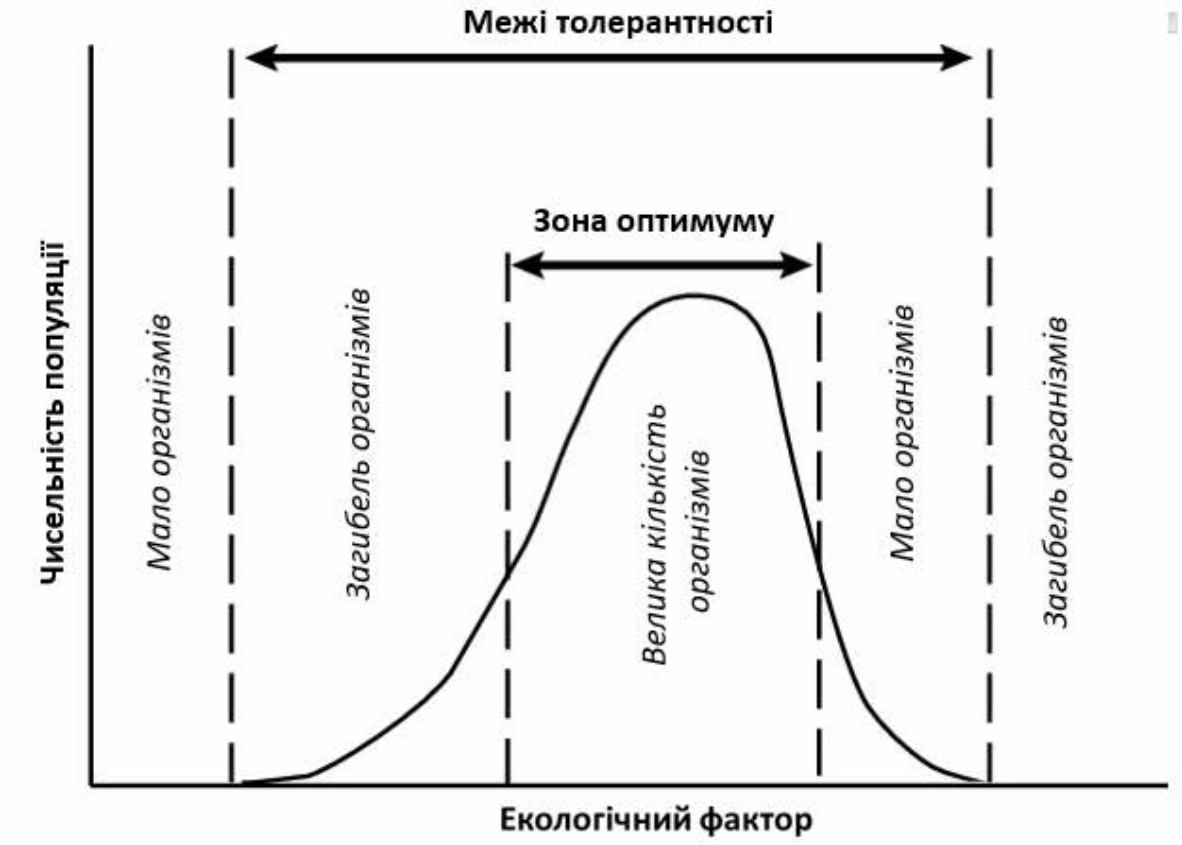


Рис. 3.8. Графічне зображення закону толерантності Шелфорда

Можна сформулювати ряд допоміжних принципів, які доповнюють закон толерантності:

- організми можуть мати широкий діапазон толерантності щодо одного фактора та вузький щодо іншого;
- організми з широким діапазоном толерантності до усіх факторів є найбільш поширеними;
- якщо умови щодо одного екологічного фактора не є оптимальними для певного виду, то може звузитися також його діапазон толерантності до інших екологічних факторів (наприклад, за лімітуючого вмісту азоту знижується посухостійкість злаків, тобто їм стає потрібно більше води);
- у природі організми часто опиняються в умовах, які не відповідають оптимальному діапазону факторів, що пов’язано з міжвидовими та внутрішньовидовими взаємовідносинами (конкуренцією, хижацтвом, паразитизмом);
- період розмноження звичайно є критичним; у цей період багато факторів стають лімітуючими, межі толерантності звужуються.

Цінність концепції лімітуючих факторів полягає у тому, що вона дає відправну точку при дослідженні багатьох складних ситуацій. Стає можливим виділення ймовірно слабких ланок середовища, які можуть бути критичними або лімітуючими.

Живі організми не завжди повністю залежні від різних умов середовища; вони пристосовуються самі, а також змінюють ці умови так, щоб послабити лімітуючий вплив екологічних факторів (температури, світла, вологості тощо).

Подібна здатність організмів має назву **компенсації факторів**. Види, дуже поширені у природі (екотипи), майже всюди утворюють популяції, добре адаптовані до місцевих умов. У тварин компенсація факторів можлива шляхом адаптивної поведінки.

Екологічна валентність

Діапазон оптимуму і песимуму щодо кожного фактора середовища для різних видів є критерієм визначення здатності організмів пристосовуватися (адаптуватися) до змін умов середовища. У зв'язку з цим розрізняють високовитривалі види, здатні існувати в умовах широкого діапазону стійкості, та види, здатні виживати лише в умовах майже незмінної дії того чи іншого фактора.

Ця здатність організмів пристосовуватися до змін умов середовища, іншими словами, межі витривалості між критичними точками у різних діапазонах дії факторів, називається **екологічною валентністю, або екологічною індивідуальністю виду**.

Тому за екологічною валентністю організми поділяють на дві великі групи (рис. 3.9):



Рис. 3.9. Поділ організмів за екологічною валентністю

1. Стенобіонти (від лат. *Stenos* – вузький) – організми з невеликою здатністю до пристосовування до змін умов середовища, тобто ті, які мешкають у вузькому діапазоні значень фактора.

Види з вузьким діапазоном стійкості, як правило, мешкають у таких умовах, де провідні фактори варіюють дуже слабо.

2. Еврибіонти (від лат. *Euris* – широкий) – організми з великою пристосованістю до різних змін, тобто до широкого варіювання значень факторів середовища.

Вплив біотичних факторів

Кожен живий організм постійно відчуває на собі прямий або опосередкований вплив інших істот. Хоча абіотичні фактори визначають, де певний вид здатний жити, біотичні фактори часто визначають успіх виду.

Прямий **фітогенний** вплив передбачає механічні контакти між рослинами, симбіоз, паразитизм, фізіологічний і хімічний вплив.

Прямим впливом слід вважати й вплив рослин шляхом виділення різних фізіологічно активних речовин; ця форма впливу називається **алелопатією** (від грец. *Allelon* – взаємний, *pathos* – страждання).

Серед подібних речовин розрізняють ті, які виділяють вищі рослини, – фітонциди і ті, які виділяють мікроорганізми, – антибіотики.

Тварини як **зоогенний фактор** також сильно впливають на середовище мешкання, внаслідок чого у ньому відбуваються значні зміни.

Найпростішим прикладом є роль дощових черв'яків у ґрунтотворних процесах. Комахи-запилювачі у пошуках їжі сідають на квітку, пилок чіпляється до їхнього тіла, вони перелітають на інші квітки та здійснюють таким чином перехресне запилення – у цьому випадку їжа як екологічний фактор здійснює корисний взаємовплив між організмами.

Значним зоогенним фактором у природі є копитні, що впливають на інших організмів як прямо (з'їдання, витоптування), так і опосередковано: ущільнюють ґрунт, вносять у вигляді екскрементів органічні та мінеральні сполуки. Таким чином копитні істотно впливають на увесь процес ґрунтоутворення, а також на водний режим та аерацію підземних органів рослин, на ріст і розвиток наземних їх частин.

Усі біотичні фактори зумовлені внутрішньовидовими (внутрішньопопуляційними) та міжвидовими (міжпопуляційними) взаємодіями.

Внутрішньовидові фактори – це контакти між членами родини, групи, стада, популяції одного виду, тобто співвідношення статей, розмноження, догляд за потомством, взаємодопомога та захист або, навпаки, виникнення внутрішньовидової конкуренції, відносин домінування та підпорядкування, ієрархії у стаді.

Міжвидові фактори – це контакти між особинами та популяціями різних видів, різноманітні харчові зв'язки, поїдання одних організмів іншими, відносини симбіозу і «співробітництва»Я, або хижака та жертви, міжвидова конкуренція, паразитизм тощо.

Якщо за головний критерій безпосередньої міжвидової взаємодії прийняти вплив чисельності організмів одного виду на чисельність організмів іншого виду, то виявиться, що у природі представлені всі можливі комбінації таких взаємодій (див. табл. 3.1 нижче).

Взаємовідносини між організмами можуть бути різними – від взаємокорисних до взаємошкідливих. Е. Хаскель (1947) запропонував позначати позицію того чи іншого виду при різних формах міжвидових взаємодій, користуючись умовними знаками «+», «-» та «0».

Знак «+» означає, що один з організмів у цій взаємодії отримує користь; знак «-» свідчить, що організм відчуває пригнічення або потерпає в результаті взаємовідносин з іншим організмом; знак «0» означає, що ці взаємовідносини є однаково байдужими (нейтральними) для обох організмів, які взаємодіють між собою.

Таблиця 3.1

Класифікація міжвидових взаємовідносин залежно від впливу чисельності одного виду на чисельність іншого (нехарчові типи взаємовідносин організмів)

Вплив першого виду на другий	Вплив другого виду на перший	Тип взаємодії	Приклади
0	0	Нейтралізм	Вовк і капуста; білка і лось
-	0	Аменсалізм	Ціанобактерії і зоогідробіонти; гриби – продуценти антибіотиків і бактерії
+	0	Коменсалізм	Лев і грифи-падальники; акула і риби-прилипали; дуплясті дерева і птахи
-	-	Конкуренція	Вівця і кролик; песець і полярна сова; мешканці пташиних базарів
+	-	Ресурс – експлуататор	Капуста і коза; антилопа і лев; тварина-хазяїн і глист-паразит
+	+	Мутуалізм	Лишайник (гриб + водорість); мікоризи дерев; корова і мікрофлора рубця

Примітка: (0) – відсутність впливу; (-) – негативний вплив, пригнічення; (+) – позитивний вплив, сприяння.

Взаємовідносини між різними видами організмів в екосистемах є:

- взаємокорисними, або позитивними для обох (++);

Мутуалізм (++) – це такий тип взаємодії видів, коли обидва «партнери» отримують від неї вигоду.

- корисно-шкідливими, або позитивними для одного і негативними для іншого виду (+-): Ресурс – експлуататор, у тому числі, **паразитизм і хижацтво;**

Паразитизм (+-) – це взаємовідносини двох організмів, за яких один з партнерів (паразит) використовує іншого (хазяїна) як середовище проживання або джерело їжі.

Хижацтво (+-) – трапляється практично серед усіх типів тварин, від найпростіших і до хордових, а також серед грибів та комахоїдних рослин.

Це негативний тип взаємин, коли один вид (хижак) задовольняє потреби у певному ресурсі за рахунок іншого виду (жертва) в результаті його умертвіння і

поїдання. Хижак, як правило, за розмірами є більше жертви. По суті до цього типу взаємин можна віднести всі варіанти харчових зв'язків консументів. Коли жертвою виступають рослини, традиційно використовують термін фітофагія або рослиноїдність (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Типове хижацтво (леви та жук-сонечко) та рослиноїдність

- корисно-нейтральними, або позитивними для одного і нейтральними для іншого виду (+0);

Коменсалізм (+0) – тип взаємозв'язку, коли один вид має суттєву вигоду від взаємодії, а для іншого зв'язок є нейтральним, або коли один з них – коменсал – отримує від другого їжу чи іншу користь, не завдаючи шкоди, але й не надаючи ніяких переваг.



Рис. 3.11. Приклади коменсалізму: лев і гієни; орхідея, що росте на рослині-господарі

- взаємонейтральними (00);

Нейтралізм (00) – тип взаємовідносин, коли обидва види існують незалежно, не впливаючи істотно один на одного.

Нейтралізм – це така форма біотичних відносин, за якої співжиття двох видів на одній території не має для них ні позитивних, ні негативних наслідків.

- шкідливо-нейтральними, або нейтральними для одного та негативними для іншого виду (0-).

Аменсалізм (- 0) – тип взаємозв'язку, коли один вид безкорисливо шкодить іншому, не маючи з цього безпосередньої вигоди та не відчуваючи суттєвої негативної зворотної реакції.

Аменсалізм є достатньо рідкісним явищем, оскільки являє собою випадок «негативного середовищеутворення» – тобто модифікації параметрів середовища певним видом, що унеможливлює існування іншого. Зазвичай аменсальні відносини не можуть тривати довго і вид, що пригнічується, зникне з угруповання.

- взаємошкідливими, або негативними для обох (--);

Конкуренція (--) – дуже поширений тип міжвидових взаємовідносин.

Конкуренція за ресурс (- -) – це двостороннє негативний тип взаємин, який виникає між видами, що використовують один ресурс, що знаходиться у дефіциті. В цьому випадку чисельність обох популяцій знижується внаслідок загибелі особин через нестачу ресурсу. Але в екосистемі залишиться той вид, який більш ефективно та раціонально споживає ресурс (або швидкість споживання вище, або його витрати економніші). Було відмічено, що споріднені види з близькими потребами в ресурсах, як правило, не існують разом.

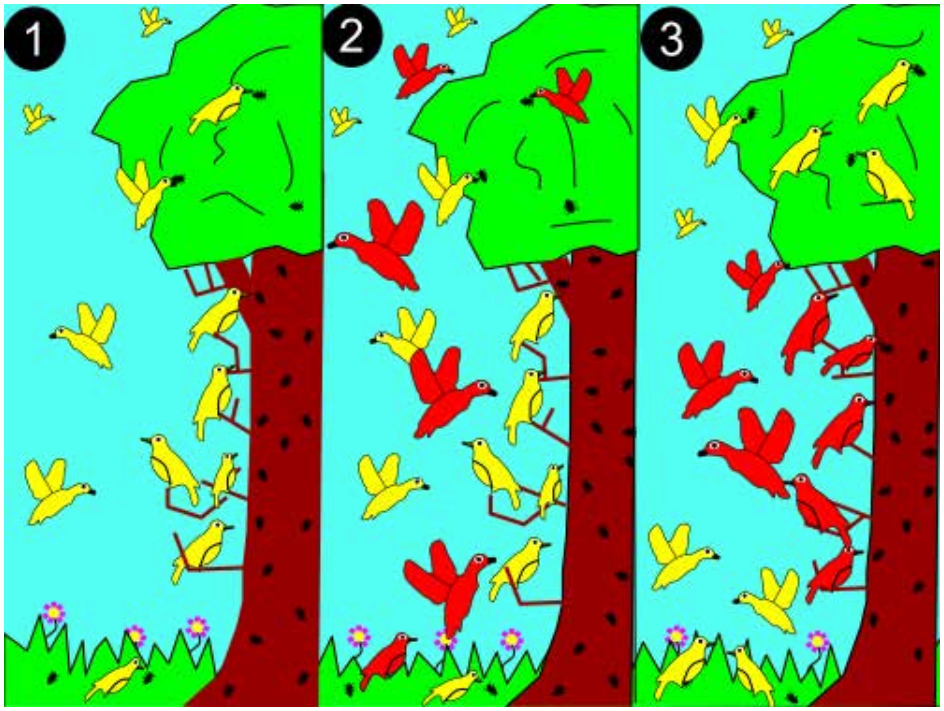


Рис. 3.12. Принцип конкурентного виключення Гаузе: 1) Менший (жовтий) вид птахів шукає їжу по всьому дереву; 2) Більший (червоний) вид конкурує за ресурси; 3) Червоний вид домінує в середній частині дерева, де ресурсів більше. Жовтий вид пристосовується до нової ніші, обмежуючись верхньою та нижньою частинами дерева й уникаючи конкуренції.

Пояснення цього екологічного поділу стало можливим в 1932 р. після його експериментального підтвердження класичними дослідженнями

Г.Ф. Гаузе, що покладено в основу «**принципу конкурентного виключення**», або «принципу Гаузе» (рис. 3.12 вище).

Конкуренція, або прямий антагонізм (- -) – це двостороннє негативний тип взаємин, який виникає між видами з подібними потребами до умов та ресурсів. В цьому випадку спільне існування негативно позначається на чисельності обох популяцій. Проте, основним механізмом тут виступає не ефективність споживання ресурсу, а спеціальні механізми пригнічення або навіть знищення одного виду іншим.



Рис. 3.13. Приклади міжвидової конкуренції: велика біла чапля та бразильський баклан змагаються за територію; дятел вступає в сутичку з рудою білкою через горіхи

Слід відрізняти прямий антагонізм від хижацтва, оскільки у даному випадку один вид не слугує для іншого ресурсом (самці оленів можуть вбити один одного у змаганнях за самку та територію, але не використовують м’ясо як трофічний ресурс).

Поняття екологічної ніші

Конкуренція може бути зведена до мінімуму, якщо кожний конкуруючий вид займе свою **екологічну нішу.** Її розуміють як сукупність усіх факторів середовища, в межах яких можливе існування виду в природі.

Місце, яке займає вид в угрупованні, його зв’язки з місцем проживання, його їжа, партнери та вороги – все це і є його екологічною нішею.

Кожна з екологічних ніш містить різні за видовим складом групи організмів, які при цьому майже не конкурують між собою.

За висловом Ч. Елтона, екологічна ніша – місце у живому оточенні, відношення виду до їжі і ворогів. Отже, місце, яке займає вид в угрупованні, його зв’язки з місцем проживання, його їжа, партнери та вороги – все це і є його екологічною нішею.

Екологічна ніша – досить містке поняття, оскільки включає не тільки фізичний (територіальний) простір, а й функціональну роль того чи іншого організму у спільноті, його положення відносно умов існування: вологості, температури тощо. На думку американського вченого Ю. Одума (1986), екологічна ніша – це «професія» виду, тобто його «спеціалізація» на певній їжі

та способі її добування, добовій і сезонній активності, характері розміщення свого потомства тощо (рис. 3.14).

Поняття «екологічна ніша» відображає функціонально-територіальну участь популяції того чи іншого виду у системі біотичних зв'язків.



Рис. 3.14. Екологічні ніші птахів мілководдя

Фактично екологічна ніша за окремим екологічним чинником відповідає поняттю зони толерантності виду.

Як і у випадку екологічної валентності, екологічні ніші різних видів можуть характеризуватися відмінною шириною. Тому для *еврибіонтів* часто кажуть про наявність широкої екологічної ніші за певним екологічним фактором. *Стенобіонти*, навпаки, характеризуються вузькою екологічною нішею.

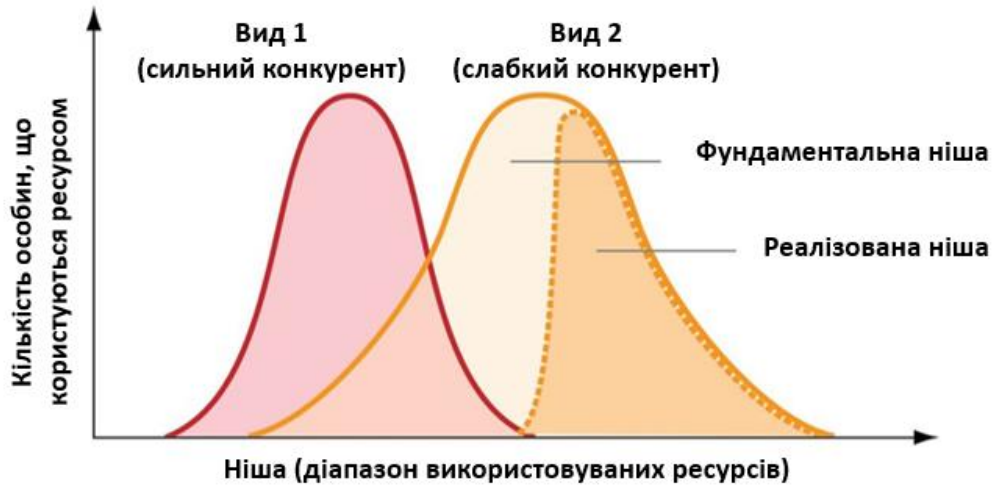


Рис. 3.15. Фундаментальна та реалізована екологічні ніші

Як і у випадку з еври- або стенобіонтністю, про ширину екологічної ніші можна казати лише у порівняльному аспекті, коли порівнюють властивості окремих видів в умовах визначених біоценозах.

Дж. Евелін Хатчінсон висунув поняття фундаментальної та реалізованої екологічної ніші. Під *фундаментальною нішею* розуміють весь набір умов, при яких вид може успішно існувати і розмножуватися. У природних біоценозах, однак, види освоюють далеко не всі придатні для них ресурси внаслідок, перш за все, конкурентних відносин.

Реалізована екологічна ніша – це положення виду в конкретній спільноті, де його обмежують складні біоценотичні відносини.

Іншими словами, як показано на рис. 3.15 вище, фундаментальна екологічна ніша характеризує потенційні можливості виду, а реалізована – ту їх частину, яка може здійснитися в даних умовах, при даній доступності ресурсу. Таким чином, реалізована ніша завжди буде меншою, ніж фундаментальна.

Поділ спільно проживаючими видами екологічних ніш з частковим їх перекриванням – це один з механізмів стійкості природних біоценозів. Якщо який-небудь вид різко знижує свою чисельність або випадає зі складу угруповання, його роль беруть на себе інші. Чим більше видів в складі біоценозу, тим нижче чисельність кожного з них, тим сильніше виражена їх екологічна спеціалізація.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЮ 1

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1

Мета: сформувати уявлення про екологію як комплексну міждисциплінарну науку, її місце в системі природничих наук, коротку історію виникнення.

Завдання

1. Розташуйте об’єкти дослідження екології в порядку зростання їхньої складності: *екосистема, популяція, біосфера, біологічний вид, угруповання, біом.*

2. Складіть схему взаємозв’язків між екологією та іншими природничими науками.

3. Складіть календар становлення екології як науки, заповнивши таблицю 1.1. Бажано відобразити внесок українських вчених у розвиток сучасної екології.

Таблиця 1.1

Календар становлення екології як науки

Вчений	Роки життя	Екологічна інформація
Антоні ван Левенгук	1632-1723	Перший, хто розробив концепцію харчових ланцюгів
…		
…		
…		

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

Мета: Розглянути системний підхід в екології як особливий напрям досліджень, орієнтований на вивчення специфічних характеристик складних об’єктів з різноманіттям зв’язків між їхніми елементами, екологічні закони та їх практичне застосування.

Завдання

1. Користуючись теоретичним матеріалом (тема 2) та додатковою літературою, підготувати відповіді на такі питання:

1. Поняття про систему та її властивості.

Розглядаємо систему як множину елементів, які знаходяться у відношеннях і зв’язках між собою. Основні положення та принципи функціонування системи. Суть системного підходу в екології.

2. Методологічна основа екології.

Методологічною засадою екологічних досліджень є системний підхід. Методи екологічних досліджень можна поділити на три основні групи: збір інформації; обробка, згортання, стиснення та узагальнення її; інтерпретація отриманих фактичних матеріалів.

3. Суть екологічних законів та їх практичне застосування.

Закон – це внутрішній, всебічний та історичний зв’язок предметів і явищ об’єктивної дійсності. Закони екології належать до природничих, які не можна змінити чи відмінити.

2. Заповніть таблицю 2.1, у якій наведено закони відомого американського еколога Баррі Коммонера та закономірності, відображені в них. Наведіть свої власні приклади, що ілюструють ці закони.

Таблиця 2.1

Закони Коммонера

Формулювання закону	Закономірності, відображені в законі	Приклади того, як діє закон
1. Все пов’язане з усім		
2. Все повинно кудись подітися		
3. Природа знає краще		
4. Ніщо не виникає з нічого		

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

Мета: Визначити зміст поняття «середовище» та шляхи пристосувань живих організмів до умов різних типів середовищ.

Завдання

1. Описати фізико-хімічні показники водного середовища, 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 риб.

2. Описати фізико-хімічні показники грунтового середовища, які сприяли виникненню наступних пристосувань у живих організмів:

а. Наземні організми мігрують у товщу ґрунту й там переживають в активному чи неактивному стані період посух, низьких або підвищених температур.

б. Уникнути пошкоджень у ґрунті мурашкам і деяким жукам допомагають міцні покриви тіла, а різноманітним черв'якам - слиз, яким вкрите тіло тварини.

в. У дощового черв'яка і личинки хруща покриви тіла зволожені.

г. 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.

д. Ящірки та змії зимують у тріщинах ґрунту і ходах, зроблених кротами. 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.

3. Описати фізико-хімічні показники наземно-повітряного середовища, які сприяли виникненню наступних пристосувань у живих організмів:

а. Восени у птахів і ссавців відбувається линяння. Опадає листя з дерев і кущів.

б. Хом'яки, бурундуки, їжаки, кажани, деякі види ховрахів впадають у зимову сплячку.

в. У вовчих та котячих не розвинений кольоровий зір, а сови та лемури мають великі розміри очей.

4. Зробити висновки про основні особливості типів середовищ існування живих організмів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4

Мета: Визначити зміст поняття «екологічний фактор» та реакцію живих організмів на різні види екологічних факторів.

Завдання

1. 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;

г. . --------- – фактори, пов’язані з господарською діяльністю людини.

2. 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.

3. Навести приклади практичного застосування законів принципу лімітуючих факторів.

4. Навести приклади антропогенного впливу на довкілля (прямого та опосередкованого).

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

Мета: Визначити зміст понять «біотичні взаємовідносини» та реакцію живих організмів на різні види біотичних факторів.

Завдання

1. Визначити типи біотичних взаємодій серед живих організмів, які розглядаються нижче і пояснити свій вибір за допомогою схеми взаємодії двох видів:

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. Яблуня 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 п’ять 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 2 хв. до 8 діб.

ж. Комахи, птахи і летючі миші здатні запилювати квіткові рослини.

2. Пояснити яким чином алелопатичні взаємовідносини живих організмів може використати людина у своїй практиці. Навести приклади.

3. Зробити висновок: зміст понять «біотичні взаємовідносини» та реакція живих організмів на різні види біотичних факторів.

Питання для обговорення та самоперевірки

1. Дайте визначення терміну «екологія».
2. Хто і коли ввів термін «екологія» у науковий вжиток?
3. Чим характеризувався перший етап розвитку екології як науки?
4. Кого називають «батьком» екології? Чому?
5. Термін «біосфера» у науковий вжиток ввів В.І. Вернадський (так чи ні).
6. Яким був посил книги Рейчел Карсон «Мовчазна весна»?
7. Коли вперше відмічався «День Землі»?
8. Основні підсумки Конференції ООН з проблем навколишнього середовища (1972).
9. Назвіть екологічні рівні організації у висхідному порядку (від меншого до більшого).
10. Галузь екології, яка вивчає взаємозв'язок представників виду з навколишнім середовищем, називається … (вставте пропущене слово).
9. Що є об'єктом вивчення в синекології?
10. Назвіть кілька галузей прикладної екології.
11. Яке із основних завдань сучасної екології пов'язане з проблемами гармонізації відносин людини і природи?
12. Дайте визначення поняттю навколишнього середовища.
13. В чому полягає захисна функція атмосфери?
14. Яку роль виконує озоновий шар?
15. Яка кількість водних ресурсів Землі доступна для безпосереднього споживання людиною?
16. Яким чином ґрунт регулює інтенсивність біосферних процесів?
17. Класифікація екологічних факторів за походженням.
18. Що належить до фітогенних екологічних факторів?
19. Назвіть основні абіотичні екологічні чинники (фактори).
20. Які екологічні фактори належать до антропогенних?
21. Що таке забруднення?
22. Як поділяються за періодичністю антропогенні фактори?
23. Для кожного виду організмів є оптимум, стресові зони та межі стійкості для кожного фактора середовища (так чи ні).
24. Назвіть основні кількісні характеристики екологічних факторів.
25. Закон мінімуму був встановлений В. Шелфордом (так чи ні).
26. Який закон формулюється так: «Фактори середовища, які мають у конкретних умовах найгірше значення, найбільше обмежують можливість існування виду в цих умовах, незважаючи на оптимальне співвідношення інших умов»?
27. Як називають тип взаємодії популяцій двох видів, коли жодна популяція не впливає на іншу?
28. Як називають тип взаємодії видів, коли обидва "партнери" отримують від неї вигоду?

29. Які типи взаємодій відносять до корисно-шкідливих біотичних зв’язків?

30. Здатність організму витримувати певну амплітуду коливання екологічного фактора називають … (вставте пропущені слова).

31. Конкуренція може бути зведена до мінімуму, якщо кожний конкуруючий вид займе свою … (вставте пропущені слова).

32. Весь набір умов, при яких вид може успішно існувати і розмножуватися, це − фундаментальна екологічна ніша (так чи ні).

МОДУЛЬ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЕМЕКОЛОГІЇ

Тема 4. ПОНЯТТЯ ПОПУЛЯЦІЇ В ЕКОЛОГІЇ

Популяційний рівень організації живої матерії

В природі особини одного виду існують не ізольовано одна від одної, а у вигляді певної сукупності або групи особин. Зрозуміло, що один організм існувати не може, тому, що для розмноження (в переважній більшості), необхідно мінімум дві особини. Навіть за умов нестатевого розмноження формується група одновікових с особин (генерація).

Для сукупностей особин, як надорганізменних систем, характерні емерджентні властивості, відсутні в окремих особин. Розділ екології який вивчає такі емерджентні властивості сукупностей особин, процеси їх формування, структуру і динаміку називається **популяційною екологією** або **демекологією**.

Популяція включає всі організми, що належать до одного виду, які живуть на певній території і можуть взаємодіяти, розмножуватися та мати потомство.

Популяційна екологія – один з найбільш розвинених розділів екології, як за своїм теоретичним і прикладним значенням, так і за станом розвитку його концептуального апарату. Це обумовлено значною практичною спрямованістю популяційних досліджень.

Адже прогнозування вилову риби, добування мисливських видів, раціональне лісове господарство, прогнозування спалахів чисельності шкідників та безліч інших проблем тісно пов'язані з питанням динаміки чисельності популяцій та характеру міжпопуляційних взаємин.

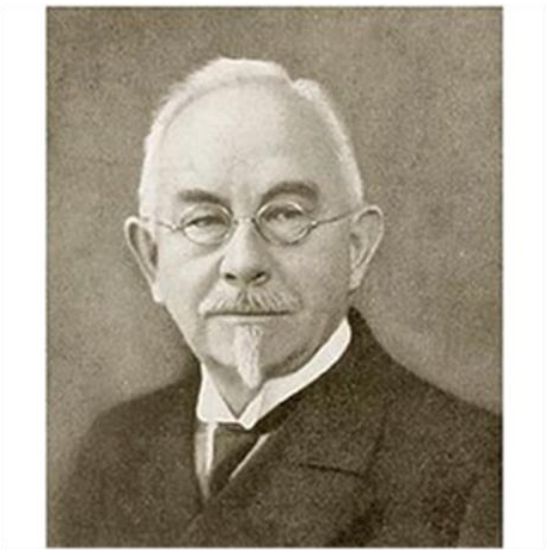


Рис. 4.1. Вільгельм Людвіг Йогансен (1858–1927 рр.)

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 рр.) бачимо роздуми про рівновагу в природі, основою якої є народжуваність і смертність організмів. Ідею ролі перенаселення, яке може стати причиною катастрофічної смертності організмів, висунув Ж. Бюффон (1749 р.), а згодом її розвинув Дж. 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 *populus* – народ, населення, і спочатку використовувався для окреслення груп людей, які населяють певну місцевість. Цей термін в екологію ввів данський біолог і генетик Вільгельм Людвіг Йогансен у 1903 році для позначення «природної суміші особин одного виду, неоднорідної в генетичному відношенні». Терміну популяція він протиставляв термін чиста лінія – сукупність генетично ідентичних особин.

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, як показано на рис. 4.2 нижче:

а) територіальні;

б) репродуктивні.

У першому випадку межами між популяціями виступають певні бар'єри: гірський хребет, річка тощо. У другому випадку ізоляцією є неможливість схрещування між особинами різних популяцій.

Для зручності *екологічну популяцію* ми будемо визначати як населення організмів одного виду на даній території.

Між особинами популяцій складаються різноманітні відносини. На кожну 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 внутрішньовидові взаємозв’язки – це відносини між особинами різної статі, між батьківськими та дочірніми поколіннями по відтворенню самої популяції.



Рис. 4.2. Механізми ізоляції окремих популяцій

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. Ідеальний випадок на острові чи наявності диз’юнктивного (розірваного) ареалу.

Напівзалежні популяції. Вони можуть існувати тільки при розмноженні власних особин при низькій їх чисельності. Надходження особин ззовні виразно впливає на поліпшення стану популяцій, зокрема, генетичної структури. Як наслідок, незважаючи на певну ізоляцію груп особин одна від

одної, всі популяції характеризуються спільним видоспецифічним набором генетичної інформації та морфо-фізіологічними особливостями, що визначають видову приналежність.

Тобто, напівзалежні популяції можуть існувати при розмноженні своїх малочисельних особин та часткового надходження особин із суміжних популяцій. Такими є більшість існуючих популяцій.

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

Фактично, така популяція стає частиною сусідньої. Проте, імміграція особин може мати імпульсний характер, і у випадку організмів зі значною тривалістю життя може складатися враження існування незалежної популяції.

До таких популяцій можна віднести угруповання линів (*Tinca tinca*) у забрудненій річці, де їх розмноження неможливе, в яку можуть потрапляти нові особини цього виду з приток і ставків з чистою водою. Залежні популяції в англомовній літературі традиційно називають метапопуляціями.

Псевдопопуляції. Вони поширенні там, де група особин не має змоги розмножуватися у даному місці, проте можливе збереження життєздатних особин. Такі популяції утворюються завдяки вселення особин з сусідніх угруповань і можуть існувати досить довго, беручи участь у біоценотичних процесах, однак без можливості поширення. Наприклад, популяції білого товстолоба (*Hypophthalmichthys molitrix*) або російського осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*) у дніпровських водосховищах існують лише за рахунок випуску молоді риб, вирощеної у штучних умовах. Розмноження цих видів в умовах водосховищ практично не відбувається. Часто такий тип популяції зустрічається на краю ареалу виду.

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.

Геміпопуляції (напівпопуляції). 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).

Наприклад, личинки комарів



Рис. 4.3. Приклад геміпопуляції: Бабки розпочинають своє життя як водяні личинки, що харчуються, зокрема, личинками комарів, а потім виходять з води, щоб перетворитися на дорослих особин

мешкають у водоймах, тоді як дорослі особини – на суходолі. При цьому особини різних фаз життєвого циклу займають різні екологічні ніші (виконують різні функції): личинки комарів – фільтратори або збирачі детриту; дорослі комарі – гематофаги, фітофаги або взагалі не живляться.

Таким чином, під геміпопуляціями слід розуміти частини однієї й тієї самої популяції, просторово й екологічно роз'єднані через їхню різну екологічну спеціалізацію.

Іноді виділяють, крім зазначених, також такі категорії популяцій як періодична популяція – група особин, яка час від часу з'являється за межами видового ареалу у випадку сезонного створення сприятливих умов для існування. В залежності від тривалості життя виду та стабільності кліматичних умов можливе існування такої популяції протягом кількох місяців або навіть кількох років. Наприклад, можна спостерігати щорічне розселення великого метелика сатурнії грушевої (нічне павичеве око *Saturnia pyri*), яке сягає Київщини. Проте успішна зимівля метелика можлива лише в умовах півдня України та Криму.

На практиці дослідники рідко коли мають справу зі справжніми популяціями. Часто визначення їх меж є складним дослідженням. Тому, найчастіше у природі ми маємо справу з сукупностями особин різного ступеню згуртованості та чисельності.

На підставі критеріїв чисельності, генетичної спорідненості та часу існування визначають наступні *популяційні сукупності*:

Агрегація – тимчасово просторово відокремлена група особин. Наприклад, зграя мігруючої сарани *Locusta migratoria*, що пересувається, або вужі, що зібралися в купу на зимівлю.

Дем (генетична або локальна популяція) – відносно невелика частково відокремлена від інших груп особин певного виду, які переважно схрещуються між собою. Завдяки цьому окремі деми характеризуються специфічними частотами алелів. Зазвичай великі популяції, що займають широкий ареал, є гетерогенними сукупностями, оскільки міграція особин ускладнена. В результаті вони поділяються на окремі тимчасові групи особин. Часто такі групи можуть бути нащадками кількох особин. За умов незмінності довкілля дем може існувати багато поколінь.

Простір, на якому популяція або вид загалом зустрічається протягом усієї своєї життєдіяльності, називається **ареалом** – областю поширення. Ареали за своєю формою можуть бути суцільними та переривистим (диз'юнктивним), що в свою чергу, поділяються на мозаїчні та мереживні, або стрічкові.

Суцільний – якщо особини виду зустрічаються у всіх придатних для їхнього життя місцезростаннях у межах ареалу.

Диз'юнктивний ареал характеризується тим, що простір, який займає вид, розпадається на декілька відокремлених територій, настільки віддалених, що обмін насінням, спорами та рухомими організмами повністю неможливий.

Приклади суцільного та дизюнктивного ареалів представлено на рис. 4.4 нижче.

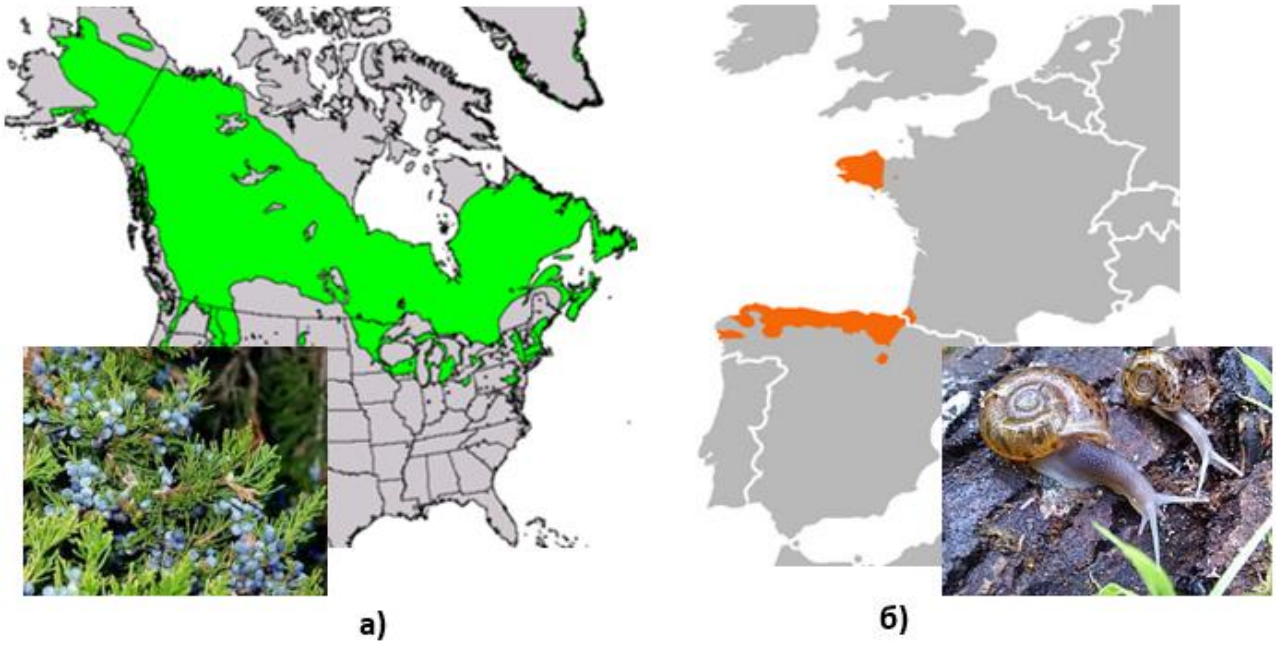


Рис. 4.4. Приклади: а) суцільного ареалу Ялівцю звичайного *Juniperus communis* та б) диз'юнктивного ареалу Елони кемперської *Elona quimperiana*

Мозаїчний ареал складається з невеличких територій, що за своїми умовами сприятливі для життя організмів. Мереживний ареал, навпаки, включає в себе території, що не заселені організмами через несприятливі умови.

Склад популяцій 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.

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 еколого-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.

Тема 5. ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ

Харастеристика основних динамічних показників популяції

Як зазначалося, усі характеристики популяцій можуть бути умовно поділені на динамічні та статичні, як показано на рис. 5.1.

Динамічні		Статичні
Чисельність	Nt	Вікова структура
Щільність	Nt /s,v	Статева структура
Народжуваність	B	Просторова структура
Смертність	D	Етологічна структура
Міграції	M	
Еміграції	E	
Імміграції	I	

Рис. 5.1. Основні 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 $м^3$ води, 20 кг лося на 1 $км^2$ угідь або 200 г планктону на 1 $м^3$ 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 відрізнятися 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.

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 км^2 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.

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.

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 омолоджування 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 невільного 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:

$$D = Nd / (t_1 – t_2)$$

де D – смертність,

N_d – 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 популяції. 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.

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***.

У зарубіжній науковій літературі використовують поняття «кривих виживання» як графічного зображення кількості особин у популяції, які, як очікується, доживуть до певного віку.

Виділяють три основні типи кривих (рис. 5.2). Крива типу I, проілюстрована великими ссавцями, відстежує організми, які мають тенденцію

до довгого життя (низький рівень смертності і високий рівень виживання); до кінця їхньої тривалості життя, однак, спостерігається різке збільшення рівня смертності.

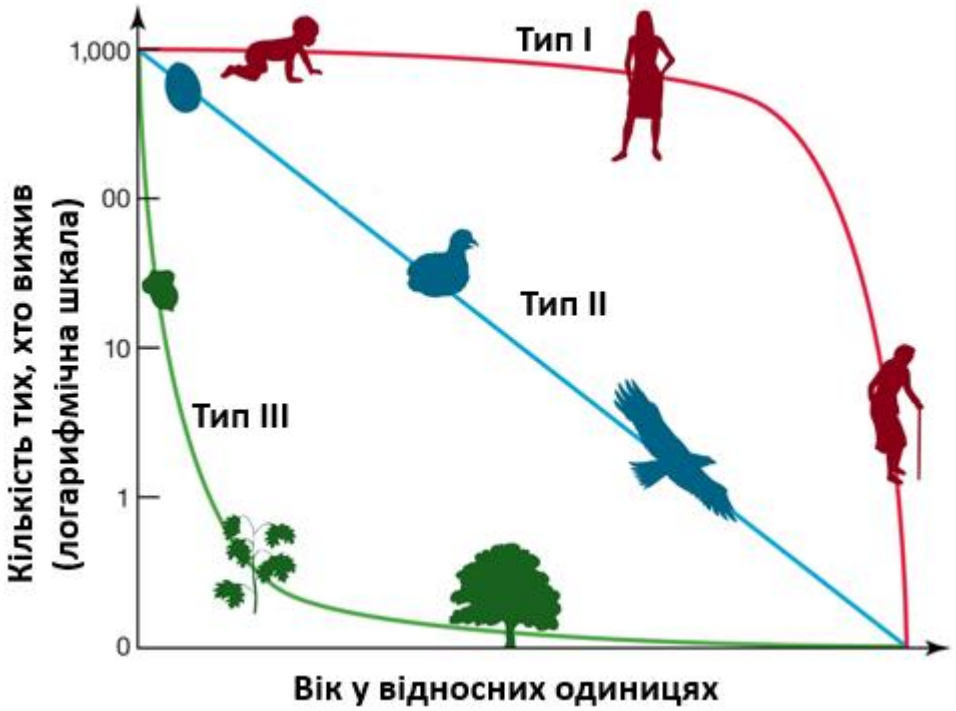


Рис. 5.2. Типи кривих виживання популяцій

Крива типу III, характерна для дрібних ссавців, риб і безхребетних, є протилежною: вона описує організми з високим рівнем смертності (або низьким рівнем виживання) відразу після народження.

На противагу цьому, крива типу II розглядає птахів, мишей та інші організми, що характеризуються відносно постійним рівнем смертності або виживання протягом усього життя.

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 переміщень, 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.

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.

Коли ми говоримо про популяцію, то зазвичай маємо на увазі, що така сукупність особин має не лише чіткі межі у просторі, але й існує як цілісність у часі. Наприклад, якщо чисельність популяції є постійною, то сталість цього параметра є результатом деякої динамічної рівноваги процесів надходження-вибуття.

Очевидно, що «надходження» нових особин до популяції може відбуватися як за рахунок розмноження організмів, так і за рахунок їх вселення (імміграції) з інших популяцій. «Вибуття» особин відбувається внаслідок загибелі або виселення (еміграції) їх в інші області. У загальному вигляді співвідношення процесів, що визначають ***динаміку чисельності популяцій***, можна записати як:

$$\textbf{Приріст популяції} = \Delta N = N_{t1} - N_{t2} = \begin{pmatrix} \text{народження особин} \\ + \\ \text{імміграція особин} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{смертність особин} \\ + \\ \text{еміграція особин} \end{pmatrix}$$

Часто під приростом популяції невірно розуміють різницю між величиною народжуваності та смертності.

Отже, приріст популяції – це різниця між чисельністю популяції на початку (Nt_1) та наприкінці певного періоду часу (Nt_2).

Таким чином, приріст може характеризуватися позитивним значенням, якщо чисельність за цей час виросла, або негативним, якщо чисельність популяції зменшилася.

Для стабільного існування популяції не важливо, особина загинула, чи просто втекла за межі ареалу. У будь якому випадку, внесок цієї особини у

підтримання чисельності популяції є відсутнім. Це важливо пам'ятати при аналізі демографічної ситуації в людських популяціях.

Поняття ємності середовища

Будь яка популяція кожного виду має здатність до необмеженого росту чисельності. Навіть вид, що характеризується надзвичайно повільним розмноженням, за короткий час здатний відтворити таку кількість особин, що для них не вистачить місця на Землі.

Однак далеко не завжди популяція реалізує всі можливості щодо свого відтворення. Важливий вплив на репродуктивні показники мають умови навколишнього середовища.

Крім того, різні види (і навіть окремі популяції одного виду) характеризуються різною здатністю до розмноження. Для кожного виду можна розрахувати максимально можливий приріст популяції (наприклад, у лабораторних оптимальних умовах), коли дія обмежуючих чинників, особливо пов'язаних з щільністю популяції, є відсутньою.

При цьому ріст популяції буде відбуватися за експоненційною кривою. Рівняння експоненційної кривої можна записати як:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

де N_t – чисельність популяції на момент часу t,

N_o – початкова чисельність популяції,

e – основа натурального логарифму,

r – коефіцієнт швидкості росту кривої.

Отже, швидкість росту чисельності популяції буде найбільше залежати **від величини коефіцієнту *r*** (рис. 5.3).

Ця величина отримала назву **біотичний або репродуктивний потенціал виду**, що характеризує біологічну властивість виду щодо здатності до збільшення чисельності. Ця величина виражається у кількості особин приросту популяції за одиницю часу у розрахунку на одну особину.

Фактично, ця велична відповідає загальному коефіцієнту народжуваності за період часу $\Delta t \to 0$. Біотичний потенціал *r* є зручним параметром для порівняння окремих видів, які характеризуються різними періодами розмноження (розмножуються періодично або спорадично).

Отже, характер росту чисельності популяції будь якого виду без впливу

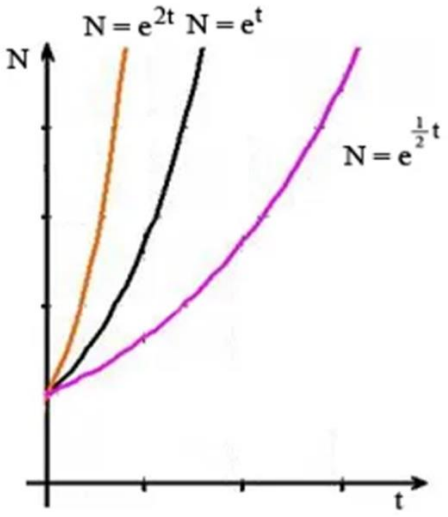


Рис. 5.3. Залежність швидкості росту експоненційної кривої від величини коефіцієнту *r*

обмежуючих чинників довкілля буде описуватися експоненційною кривою (рис. 5.4). Такий тип росту чисельності часто є характерним для популяцій при заселенні організмами вільного субстрату (бактерії на поживному середовищі, бур'яни на перелозі), або при виникненні сприятливих кліматичних умов (тепла волога погода, що сприяє розвитку борошнистої роси або фітофтори).

У популяційній екології цей тип росту чисельності популяції отримав назву J-подібний ріст. При цьому швидкість росту буде постійною, а її величина – пропорційною величині біотичного потенціалу r.

J-подібний ріст характерний для видів, ріст чисельності яких не залежить від щільності популяції. Тобто для них відсутні обмежуючі чинники, сила яких проявляється зі збільшенням щільності особин у просторі. Відповідно, в таких популяціях відсутній механізм зворотного зв'язку, який забезпечує саморегуляцію чисельності популяції.

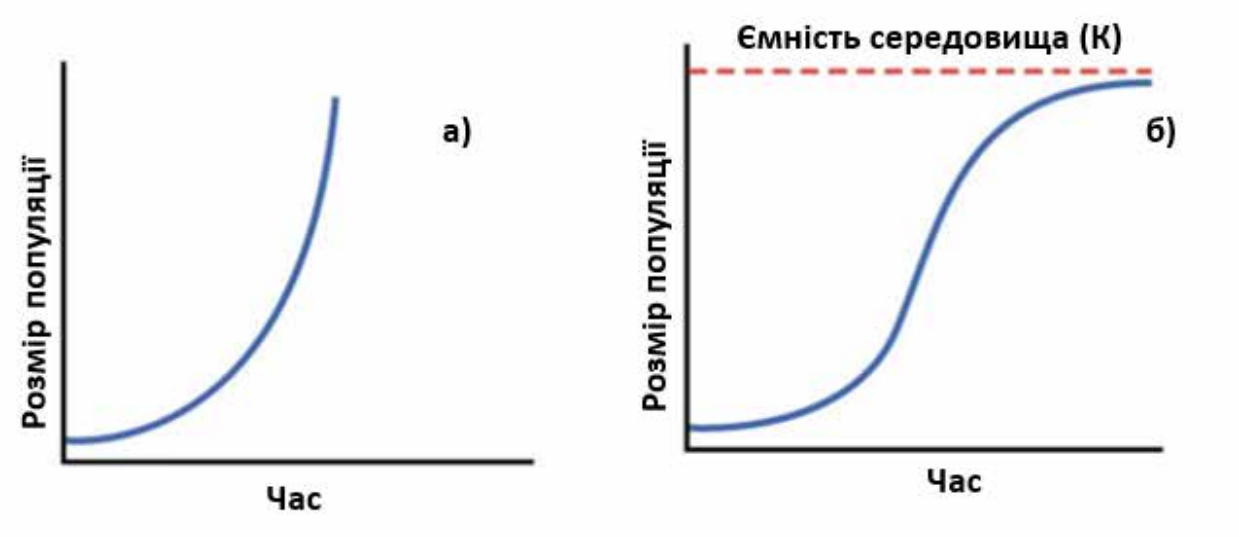


Рис. 5.4. Характер росту чисельності популяції: а) експоненційний (J-подібний); б) логістичний (S-подібний)

Проте жодна природна популяція не може збільшувати свою чисельність нескінченно. У певний момент відбудеться насичення простору особинами, або умови середовища зміняться на несприятливі. Це призведе до обмеження швидкості розмноження, інтенсифікує процеси еміграції особин.

Найчастіше у природі при зростанні чисельності організмів включаються специфічні механізми зворотного зв'язку, які починають поступово пригнічувати народжуваність.

Такими механізмами можуть бути зменшення трофічних ресурсів, накопичення токсичних метаболітів у середовищі, інформаційні механізми пригнічення розмноження при груповому способі існування. В результаті на певному етапі швидкість росту чисельності популяції знижується. При цьому чисельність популяції стабілізується на певній величині, що відповідає максимально можливій.

Ця величина отримала назву **ємності середовища** – максимальна можлива чисельність популяції, потреби якої можуть бути задоволені ресурсами даної екосистеми. Така крива росту чисельності характеризується S-подібною формою (див. рис. 5.4 вище).

На підставі типів кривих росту Ерік Піанка (1981 р.) виділив дві стратегії росту популяцій.

Перша стратегія – це так звана ***опортуністична популяція*** (від лат. *opportunus* – зручний, вигідний). Її ріст супроводжується вибухоподібним експоненційним ростом чисельності **(«популяційний вибух»**). Завдяки такому швидкому росту та відсутності зворотних механізмів саморегуляції чисельності, популяція не може зупинитися вчасно, досягнувши ємкості середовища. Тому її чисельність найчастіше «проскакує» цей поріг, після чого спостерігається швидка загибелі більшої частини особин (крах), як це показано на рис. 5.5.

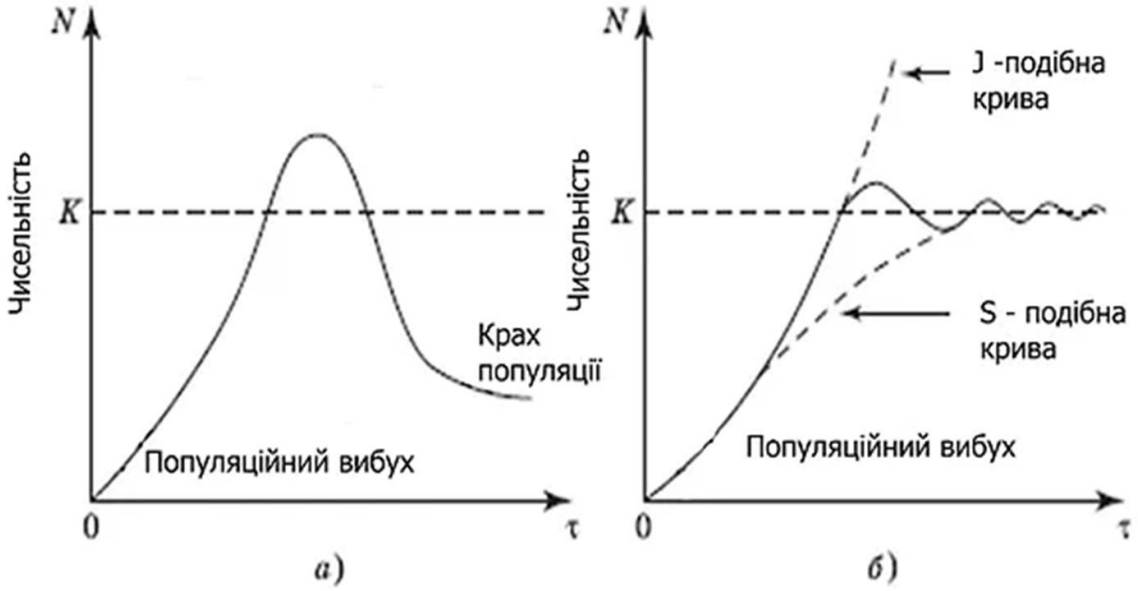


Рис. 5.5. Характер росту чисельності а) опортуністичної популяції та б) рівноважної популяції

Але, популяція не зникає! Залишається невелика кількість особин, що переживає несприятливі умови. Завдяки ним відбувається відновлення популяції за настання оптимальних умов середовища. Зазвичай, для таких організмів є характерними висока плодючість та короткий життєвий цикл, які дозволяють швидко відновити чисельність.

Такими є, наприклад, популяції однорічних рослин – типових бур'янів, які швидко ростуть навесні і влітку на свіже виораному полі. Або комахи – сільськогосподарські шкідники (сарана, сосновий та непарний шовкопряди). Після спалаху чисельності, протягом кількох років можна не зустріти жодної особини цих шкідників. Проте, за сприятливих умов вони знову з'являються у величезній кількості.

Друга стратегія – ***рівноважні популяції***, які характеризуються S-подібною кривою росту. Чисельність в такій популяції зупиняється на певному рівні. Час від часу вона може виходити за цю межу. Але завдяки існуванню зворотного зв'язку за законом Ле Шательє-Брауна, запускаються механізми, які повертають її до рівноважного значення. Такий тип популяції характерний для багатьох великих хребетних, дерев з тривалим життєвим циклом.

За загальнонауковим законом Ле Шательє-Брауна, відхилення параметрів системи від їх рівноважного стану запускає механізми, які прагнуть повернути стан системи до вихідного.

Типи життєвих стратегій популяцій

Отже, різні популяції значно відрізняються за параметрами народжуваності та смертності, характером росту чисельності та кривими виживання. Не можна чітко встановити, що такий чи інший варіант відображає більшу чи меншу пристосованість популяції до умов довкілля. Різні варіанти динамічних параметрів популяції мають певні переваги за особливих обставин. Такі варіанти отримали назву «***життєві стратегії популяцій***».

Аналізуючи динаміку чисельності популяцій, Р.Макартур та Е.Вілсон у 1967 році виділили дві протилежні стратегії існування популяцій, які отримали умовні назви *r*- та *K*- стратегії (рис. 5.6).

Параметри	*r* - стратегія	*K* - стратегія
Чисельність	Дуже мінлива, може бути більше *K*	Близька до *K*
Смертність	Катастрофічна	Невелика
Розмір популяції	Мінлива у часі	Відносно постійна
Конкуренція	Слабка	Гостра
Онтогенетичні особливості	Швидкий розвиток, невеликі розміри, моноциклічність, велика плодючість, короткий термін існування	Повільний розвиток, пізнє розмноження, великі розміри, поліциклічність, незначна кількість нащадків, довгоіснуючі
Здатність до розселення	Пристосування до швидкого поширення	Повільне розселення

Рис. 5.6. Типи життєвих стратегій популяцій

Назви цих стратегій походять від коефіцієнту *r* логістичного рівняння – швидкості росту чисельності популяції або біотичного потенціалу; та *K* – ємкості середовища.

За цією теорією *r*-стратеги характеризуються бурхливим темпом розмноження, швидким досягненням статевої зрілості, коротким життєвим циклом, здатністю до швидкого поширення в нових біотопах, а також здатністю

до переживання несприятливих періодів у стані спокою. Ця стратегія характерна для більшості комах та однорічних рослин.

К- стратеги мають низький темп розмноження, але характеризуються тривалим терміном життя. Їм властива підвищена захищеність від хижаків, різні форми турботи про нащадків. Дана стратегія характерна для великих ссавців, деревних рослин. Якщо, проаналізувати основні популяційні параметри *r*- та *К* життєвих стратегій, то можна побачити кардинальні відмінності.

В жодному разі не можна казати про переваги однієї стратегії над іншою, оскільки в різних екосистемах перевагу мають організми з різними стратегіями. При швидких змінах параметрів навколишнього середовища, порушенні його стабільності – більшу перевагу отримують *r*- стратеги. В стабільних умовах краще пристосованими виявляються *К*- стратеги.

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. Густоту на одиницю площі оцінюють за середньою віддаллю.

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 км^2. Для підрахунку дерев, білок чи мурашників можна взяти площу 1 га, тоді як для личинок травневого хруща чи дощового черв'яка – 1 м^2. У водному середовищі або ґрунті поряд з одиницею площі для дрібних і мікроскопічних мешканців беруть одиницю об'єму 1 дм^3 або 1л, 1 см^3 або 1 мл.

Тема 6. СТАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ 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 популяцій.

Вікова структура – статичний популяційний параметр, який характеризує співвідношення різних вікових груп організмів у популяції.

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.

Зручним методом візуалізації вікової структури популяції є «вікові піраміди». Для двостатевих організмів вікову піраміду розділяють навпіл для кожної статі, оскільки виживання та тривалість життя їх може значно відрізнятися (найчастіше самки живуть довше).

За шведським демографом А.Г. Сундбергом (1894 р.) розрізняють три типи вікових пірамід: прогресивний, стаціонарний та регресивний (рис. 6.1).

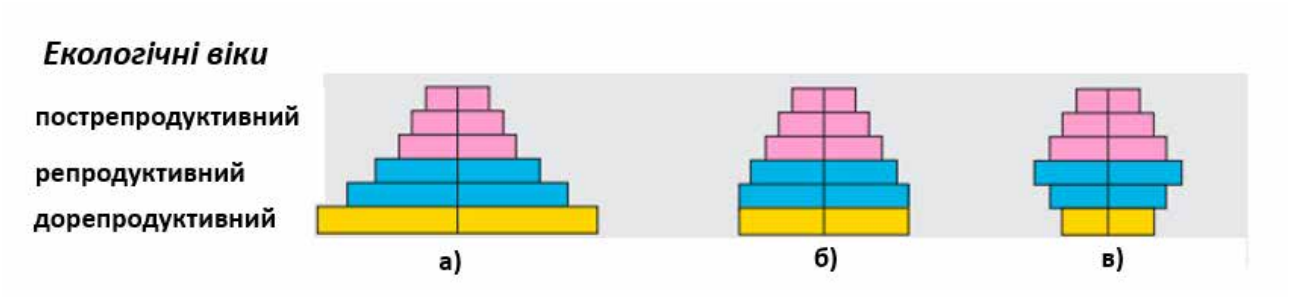


Рис. 6.1. Три типи вікових пірамід: а) прогресивний, б) стаціонарний та в) регресивний

Прогресивний тип характеризується значною часткою в популяції молодих особин і низькою представленістю особин старших поколінь і за формою нагадує трикутник. Такий тип вікової піраміди може характеризувати як позитивні процеси у популяції, коли популяція швидко збільшує свою чисельність, і тому основну частину її складають особини репродуктивного віку та їх нащадки. Проте, подібний тип піраміди буде характеризувати популяції, в яких спостерігається швидке відмирання старших вікових груп.

Стаціонарний тип характеризується врівноваженим співвідношенням особин, які складають запас популяції та їх нащадків. Форма піраміди більша

нагадує дзвін. Для таких популяцій характерно коли у пари особин в середньому народжується не більше 3-х нащадків.

Регресивний тип характеризується переважанням особин старших вікових груп над частою молодих. Форма нагадує кубок. Такий тип не обов'язково відповідає популяціям, що вимирають.

Наприклад для організмів, зі високою плодючістю та значною тривалістю життя регресивний тип вікової піраміди є звичайним явищем. Або, у зрілій діброві більшість дерев будуть являти собою старші вікові групи. Молоді дуби будуть зустрічатися як виключення на галявинах, що залишилися після відмирання окремих старих дерев.

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.

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.

Популяції господарсько цінних видів, які характеризуються значною часткою особин щорічного поповнення, можуть витримувати доволі значні обсяги вилучення (до 50%) при збереженні можливості відтворення

чисельності. У той же час, популяції видів зі складною віковою структурою, які мають незначну частку особин щорічного поповнення, можуть бути легко знищеними навіть при невеликих обсягах вилучення.

Характеристики статевої структури популяцій

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 в 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.

Існування певної статевої 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 (рис. 6.2):



Рис. 6.2. Системи шлюбних відносин у популяціях

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 малоймовірний і, можливо, не існує. Частково до нього наближені деякі види багатощетинкових червів та морські лілії, які випускають свої гамети просто в море, або наземні вітрозапильні 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 статей».

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 популяцій

Етологічна структура популяцій – це система взаємовідносин між її особинами. Особинам різних видів притаманний поодинокий або груповий спосіб життя.

Поодинокий спосіб життя, за якого особини у популяції незалежні і відокремлені одна від одної, характерний для багатьох видів. Але абсолютно поодинокого існування організмів у природі не зустрічається, тому що при цьому було б неможливим здійснення їх основної життєвої функції –

розмноження. Такий спосіб існування вважають властивим для багатьох комах (сонечко, жуки-туруни). У цьому випадку особини популяції більш-менш відокремлені просторово і збираються групами лише на період розмноження (скорпіони, більшість видів павуків, тетеруки, качка-крижень тощо).

Подальше ускладнення відносин всередині популяції призводить до утворення груп. Груповий спосіб життя пов'язаний з утворенням постійних родин, колоній, табунів, зграй тощо (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Види групового способу життя

Родинний спосіб життя пов'язаний з підсиленням зв'язків між батьками та нащадками (наприклад, у тигрів молоді особини тримаються біля матері до 2-3 років). Родина – це 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 проявлятись у вигляді ієрархії серед особин.

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 групах тварин краще відбуваються процеси навчання, утворення умовних рефлексів.

В міру ускладнення групових відносин виникає злагоджена складна поведінкова організація, де кожна особина має свій ранг. Ранг кожної особини у стаді визначається багатьма чинниками. Мають значення вік, фізична сила, досвід і спадкові якості тварини. Більш сильні і досвідчені, зі стійким типом нервової системи, як правило, домінують над більш слабкими. Домінування

проявляється в перевазі при споживанні їжі, праві на розмноження, порядку пересування в групі тощо.

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.

Найпростішим варіантом є *лінійна ієрархія* в ряду рангів А-В-С тощо. Особини, що належать до кожного рангу, підпорядковані попереднім, але панують над нижчими. Останні в такому ряду тварини – найбільш безправні в групі. Наприклад, така структура притаманна куроподібним птахам.

Даний тип ієрархії є простим і чітко структурованим (як в армії). Проте не завжди лінійна ієрархія виглядає дійсно як пряма. Зокрема за умов багаторівневої лінійної ієрархії утворюється достатньо складана система взаємовідносин у групі. Головною ознакою такої системи є слабкість горизонтальних зв’язків між особинами одного рангу. Всі взаємодії відбувають за участі особин вищих рангів. Таким чином групуючий об’єднуючий ефект забезпечується особинами вищих рангів (самець оленів суворо слідкує за самками і не дозволяє покидати стадо).

У більшості випадків ієрархія в групах є складнішою. Наприклад, можуть виникати паралельні ряди підпорядкування: один серед самців, інший – серед самок, як, наприклад, у деяких мавп. Створюються складні горизонтальні зв’язки між особинами одного рангу.

У чому ж полягає екологічний сенс ієрархічної системи домінування-підпорядкування? Він полягає у створенні узгодженої поведінки групи, вигідної для всіх її членів. Після «розстановки сил» тварини не витрачають зайвої енергії на індивідуальні конфлікти. У виключній більшості випадків стосунки між окремими особинами встановлюються за рахунок сигнальних або ритуальних поведінкових актів. Наприклад, у більшості сучасних людських соціумів лідерство визначається шляхом конкурсного відбору.

Група в цілому отримує переваги, підкоряючись найбільш сильним і досвідченим індивідуумам. Узгодженість поведінки має велике значення в забезпеченні захисту від хижаків, попередженні небезпеки, вирощуванні молодняку, міграції тощо. У складних умовах, наприклад при голодуваннях, гинуть в першу чергу більш слабкі, підлеглі особини, але під захистом групи вони все ж мають більше шансів вижити, ніж поодинці.

Ієрархія в групових відносинах адаптивна перш за все тому, що вона динамічна. У житті стада йде безперервна перевірка відповідності його структури мінливим умовам. Склад групи також не залишається постійним: дорослішає молодняк, з’являються нові прибульці, старі тварини втрачають сили, частина особин гине. Ці зміни супроводжуються перебудовою рангів. Переходу особини в новий ранг зазвичай передують прямі або ритуальні сутички і демонстрації, «перегляд сил», після чого закріплюється нове положення. На роль ватажка-домінанта завжди претендують більше молоді, що набирають силу і досвід тварини. Вони займають його місце після першої ж прояви ватажком нездатності відстояти свої права.

В результаті групового типу існування відбувається оптимізація фізіологічних процесів, що призводить до більш економних витрат енергетичних запасів організму, його більшої психологічної стійкості. Наприклад, у складі стада вівці втрачають на 50% менше енергії, ніж при поодинокому існуванні. У них зменшується частота дихання та частота серцевих скорочень. Така оптимізація отримала назву «**ефект групи**».

Просторова структура

Щодо просторового розподілу, то можна виділити три основні типи: *випадковий, рівномірний і груповий* (рис. 6.4).

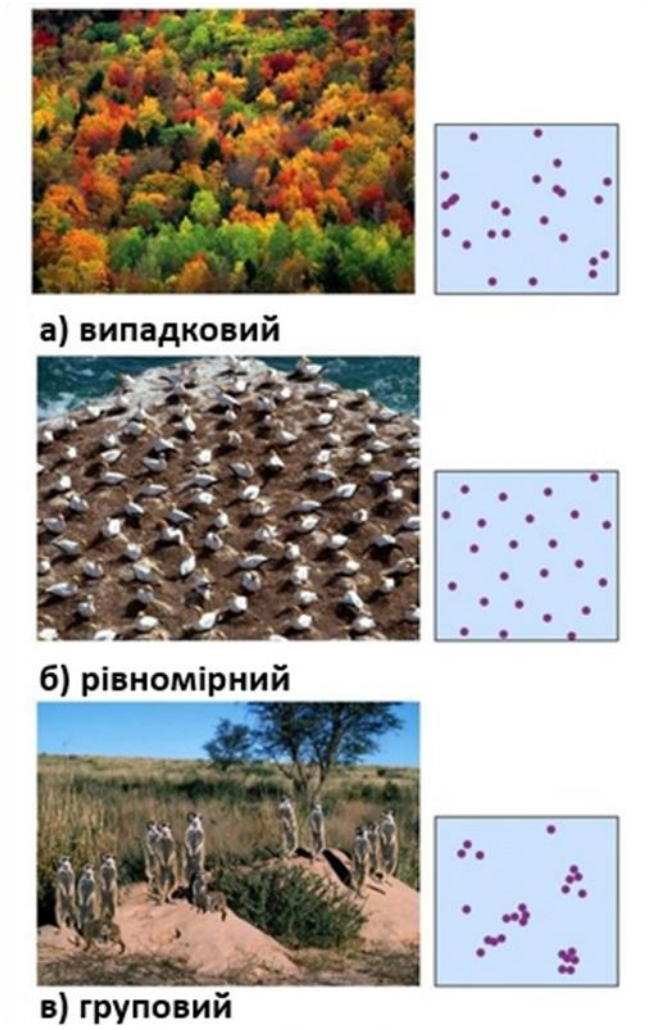


Рис. 6.4. Основні типи просторового розподілу популяцій

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 може існувати при виконанні трьох умов:

-ресурс розподілено рівномірно;

- умови середовища однорідні;

- у особин відсутня територіальна поведінка.

Наприклад, випадковий розподіл характерний, для павуків, які живуть у лісі, чи дощових червів в лісовій підстилці, або личинок хрущаків у мішку з борошном. При незначних масштабах досліджень випадковий розподіл може траплятися достатньо часто. В переважній більшості в природних екосистемах при збільшенні масштабу проявляється гетерогенність розподілу ресурсу та умов, що у свою чергу призводить до нерівномірності розміщення особин у просторі.

Рівномірний розподіл спостерігається коли:

- організми характеризуються чіткою територіальною поведінкою;
- існує гостра конкуренція або антагонізм між особинами;
- щільність популяції досягла максимального значення

Як і попередній варіант розподілу, рівномірний розподіл у природі зустріти важко. Зазвичай як ілюстрацію такого типу розподілу наводять розміщення дерев у лісі, де конкуренція за світло настільки висока, що вони ростуть один від одного на максимально можливій відстані.

Регулярний розподіл найчастіше можна спостерігати в штучно створених людиною сільськогосподарських системах, коли простір використовується з максимальною ефективністю. Іншим прикладом ефективного використання простору є процес займання пасажирами місць у порожньому вагоні метро. Якщо люди є незнайомими, вони спочатку розміщуються на максимальній відстані один від одного, намагаючись тримати індивідуальний простір. По мірі заповнення вагону простір ущільнюється. Але навіть при максимальному завантаженні, відстань між пасажирами буде приблизно однаковою.

Найчастіше у природі спостерігається утворення різного роду скупчень (*груповий розподіл*). Причинами цього можуть бути:

- просторова нерівномірність розподілу ресурсу або умов;
- розмноження малорухливих організмів, коли нащадки нездатні дистанціюватися один від одного або від батьківських особин;
- складні внутрішньовидові взаємовідносини (соціальність).

Тип розподілу особин у просторі може не бути сталою біологічною характеристикою виду. Цей популяційний параметр міняється при зміні умов середовища. Наприклад, хижі тварини (тигри або рисі) утворюють пару лише на період спарювання.

Однак якщо особини в популяції мають тенденцію утворювати групи визначеної величини (наприклад, пари у тварин або вегетативні клони в рослин), то розподіл самих груп може виявитися більш близьким до випадкового або навіть рівномірного.

Розміщення рослин у просторі визначається нерухомістю останніх. У рослинних угрупованнях просторова структура популяцій виявляється через характерне розміщення особин даного виду. Вони можуть знаходитися поодинці, 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.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЮ 2

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

Мета: Вивчити популяційний рівень організації живої матерії, основні динамічні показники популяції живих організмів та їх практичне застосування в екологічних дослідженнях.

Завдання

1. Розглянути поділ популяції на певні категорії за здатністю до самовідтворення та навести приклади до кожної категорії.

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 популяцій.

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

Псевдопопуляції. Вони поширенні 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.

Геміопопуляції. 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).

2. Розглянути і описати типи динамічних змін чисельності популяції:

1. 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.

2. 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.

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

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

На графіку залежності чисельності популяції від часу (рис. 6.1) позначити ділянки, що відповідають різним типам її динамічних змін.

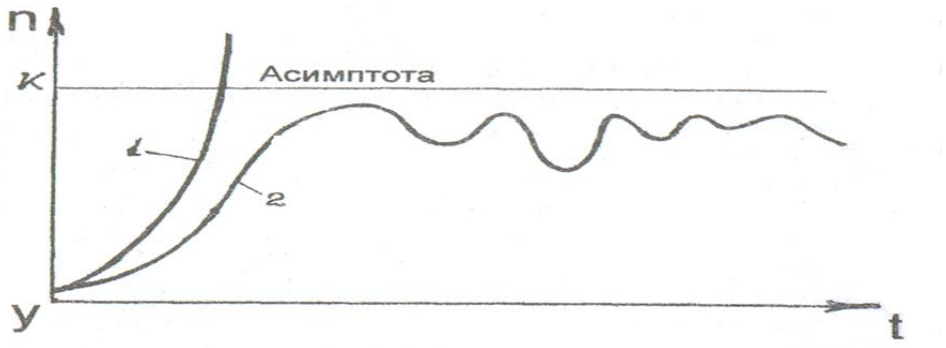


Рис. 6.1. Графік залежності чисельності популяцій від часу: 1 – потенційна крива росту; 2 – логістична крива росту

3. На конкретному прикладі пояснити ці зміни і визначити ті фактори, від яких залежить динаміка чисельності популяції.

4. Зробити висновок: основні динамічні показники популяції живих організмів та їх практичне застосування в екологічних дослідженнях.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7

Мета: Вивчити основні характеристики структур популяції живих організмів та їх практичне застосування в екологічних дослідженнях.

Завдання

1. Уважно розгляньте кожен тип кривої виживання (рис.7.1), замалюйте.

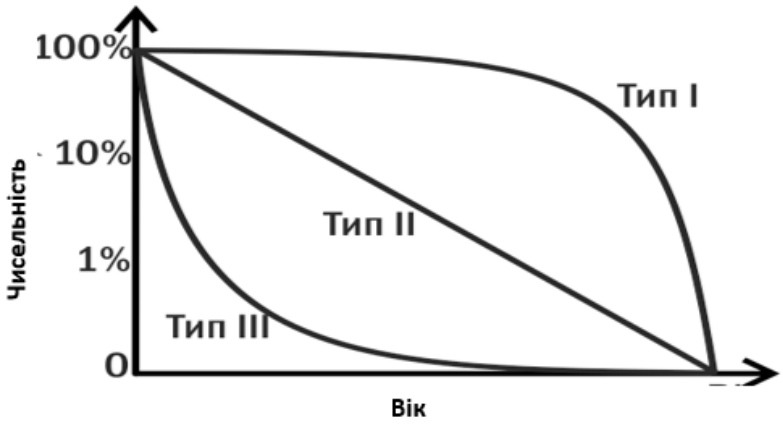


Рис. 7.1. Типи кривих виживання як спосіб графічного представлення залежності частки особин, що лишилися в живих, від їх віку

Наведіть приклади практичного застосування кривих виживання різних організмів.

2. Уважно розгляньте, замалюйте та опишіть типи розподілу особин у популяції (рис. 7.2).

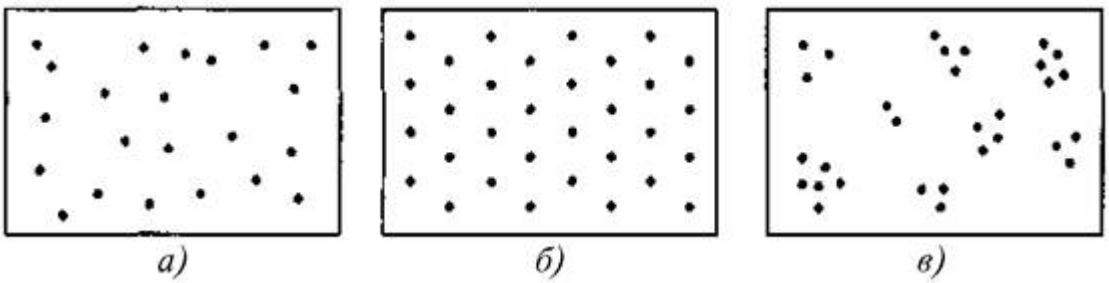


Рис. 7.2. Три основних типи розподілу особин, пар і груп особин у популяції: а – випадкове, б – рівномірне, в – групове нерівномірне

На конкретному прикладі поясніть вплив екологічних факторів на розподіл особин у популяції.

3. Пояснити практичне значення показника статевої структури «співвідношення статей» на конкретному прикладі (у свійських тварин, антилоп, курей).

4. Зробити висновок: основні характеристики структур популяції живих організмів та їх практичне застосування в екологічних дослідженнях.

Питання для обговорення та самоперевірки

1. Що в екології прийнято називати популяцією?
2. Назвіть механізми ізоляції окремих популяцій.
3. Які показники належать до динамічних показників популяції?
4. Як розраховується динаміка чисельності популяції? Чи завжди приріст популяції є позитивним?
5. Опишіть характер росту чисельності популяції за наявності та відсутності обмежувальних чинників.
6. Як називають підтримання оптимальної (відносно існуючих умов життя) чисельності популяції?
7. Що означає екологічна або реалізована народжуваність?
8. Екологічна щільність – число особин (або біомаси) на одиницю … простору (вставте пропущене слово).
9. Дайте визначення поняття «ємність середовища».
10. Структура популяції. За якими параметрами може визначатися структура групи?
11. Груповий спосіб життя пов'язаний з утворенням постійних … (вставте пропущені слова).
12. Чи етологічна структура популяцій – це співвідношення особин різної статі?
13. Назвіть системи шлюбних відносин у популяції.
14. Як називають такий просторовий розподіл популяцій, коли у особин відсутня територіальна поведінка?

МОДУЛЬ 3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИНЕКОЛОГІЇ

Тема 7. ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХ МІСЦЕ В ОРГАНІЗАЦІЇ БІОСФЕРИ

Поняття про екосистеми. Ступені організації екосистем

Екосистеми є функціональними одиницями біосфери подібно до того, як клітини є функціональними одиницями організму.

Термін «екосистема» (від грец. *oikos* – місце проживання, дім та *system* – ціле, складене з частин, поєднання) запропонував у 1935 р. англійський ботанік Артур Джордж Тенслі (1871-1955).

За А. Тенслі, екосистема – це одиниця природи на земній поверхні, яка охоплює сукупність організмів з комплексом факторів середовища. Тобто кожна екосистема є цілісною стійкою системою живих та неживих компонентів, а самі екосистеми є основними природними одиницями.

Найзагальнішим сучасним визначенням можна вважати таке: **екосистема** – це сукупність різних видів рослин, тварин та мікроорганізмів, які взаємодіють між собою та довкіллям таким чином, що вся ця сукупність може зберігатися невизначено тривалий час.

Ще А. Тенслі відзначав, що до складу всіх екосистем входять дві групи компонентів – біотоп і біоценоз (рис.7.1).

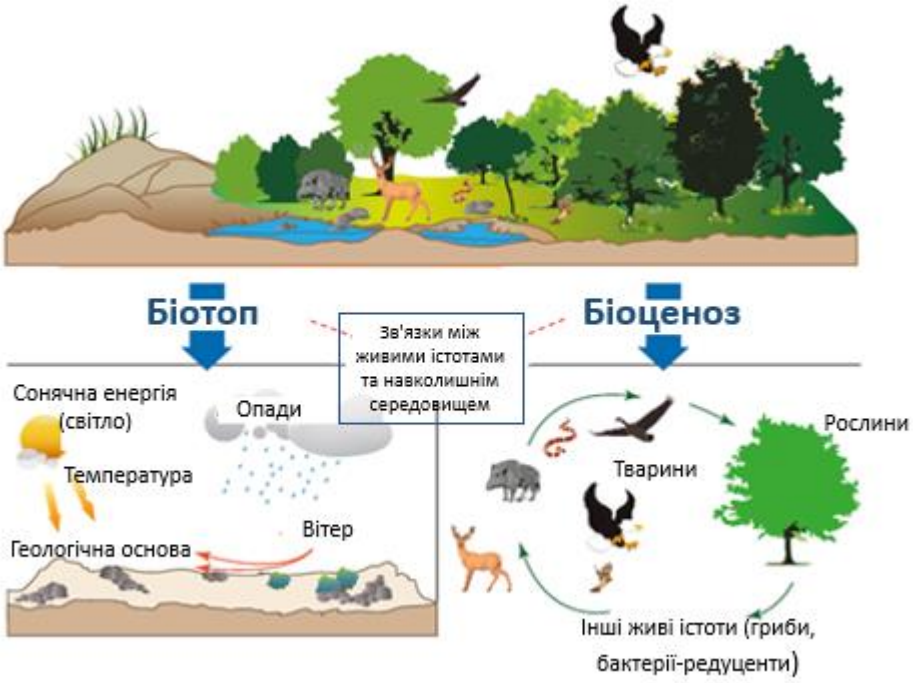


Рис. 7.1. Основні складові екосистеми

Біотоп (від грец. *bios* – життя і *topos* – місце) – це абіотичні (неживі) компоненти, тобто однорідна ділянка, що є місцем мешкання того чи іншого виду організмів.

Біоценоз (від грец. *bios* – життя і *koinos* – спільний) – це біотичні (живі) компоненти, тобто спільнота організмів, що населяють біотоп. Біоценоз є продуктом природного добору, стійкою системою існуючих на певній ділянці суші або водойми популяцій організмів.

Жоден біоценоз не може існувати сам по собі, незалежно від середовища – біотоп і біоценоз впливають один на одного шляхом безперервного обміну речовинами та енергією як між ними, так і всередині кожного з них, тому їх об'єднують під спільною назвою **біогеоценоз**. Отже, біотоп + біоценоз = біогеоценоз.

Поняття про біогеоценоз увів академік Володимир Миколайович Сукачов у 1942 р.

Терміни «біогеоценоз» та «екосистема» дуже близькі за змістом, їх можна вважати синонімами, відмінності між ними полягають у різних підходах до їх вивчення.

Біогеоценоз – поняття, яке включає лише природні екосистеми значних розмірів, чітко відмежовані від аналогічних утворів кліматичними, геологічними, едафічними, гідрологічними, біоценотичними, геохімічними та енергетичними границями (природний ліс, гірська долина, велике озеро). Поняття «екосистема» більш широке і застосовується також для штучних та модельних систем.

На сьогодні термін «біогеоценоз» не використовується в англомовній літературі, але продовжує застосовуватися у наукових публікаціях на кирилиці. Основною проблемою для обґрунтування існування біогеоценозу є складність визначення меж – де ж закінчується один біогеоценоз, і починається інший? Крім того залишається відкритим розуміння «природності» таких систем. Найчастіше використовують більш широкий термін «екосистема».

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

Екологи вивчають структурні та функціональні взаємозв'язки компонентів екосистеми, щоб мати можливість передбачити, як система реагуватиме на природні зміни та порушення людини. Екосистеми розглядають екологами як основні одиниці біосфери, так само, як клітини вважаються біологами основними одиницями організму.

Масштаби екосистеми можуть бути надзвичайно широкими – від краплі води, від калюжі або окремого дерева, і закінчуючи екосистемою Світового океану або біосфери.

Розрізняють такі основні ступені організації екосистем:

- *консорційні екосистеми* – найменші екологічні системи, центральним організатором котрих є автотрофний або гетеротрофний організм, з яким функціонально пов'язані інші живі істоти й абіотичне середовище. Сучасні погляди полягають у тому, що детермінантом консорції можуть бути як гетеротрофні, так і автотрофні організми. Консорції можна розділити на дві групи: гетеротрофно детерміновані та автотрофно детерміновані.

Наприклад, автотрофно детермінована консоорція смереки у ялиновому лісі, яка, займаючи домінантне положення, визначає співіснування цілого комплексу рослин і тварин, тісно з нею пов’язаних: птахів, грибів, білок, короїдів тощо. Усі вони адаптувалися до співіснування з смерекою, тобто на ній вони знаходять їжу, будують гнізда, ховаються від ворогів та несприятливої погоди.

Саме таке угруповання різних організмів, тісно об’єднаних навколо одного виду у спільноті, і називають консорцією. Отже, консорцію слід трактувати як елементарну екосистему, яка має свої просторові та функціональні параметри (рис.7.2).

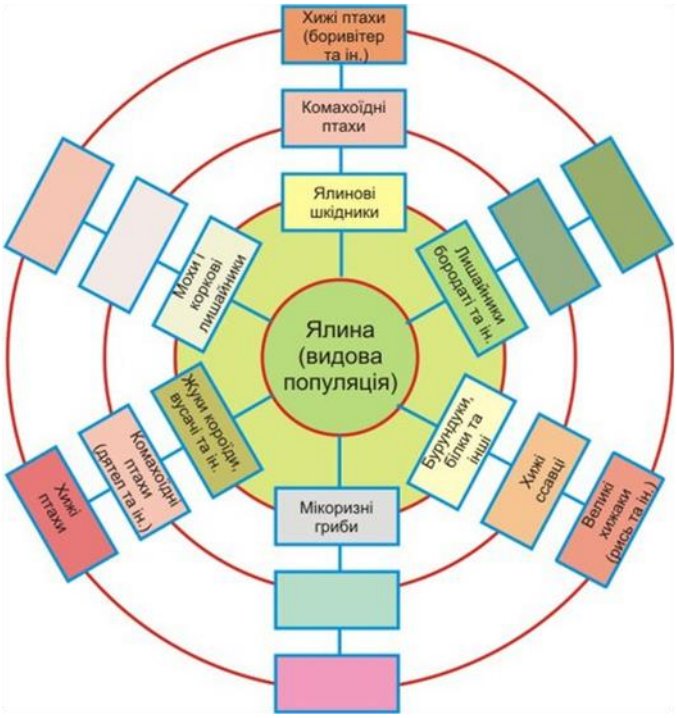


Рис. 7.2. Консорція ялини

- *парцелярні екосистеми* – структурні частини біогеоценозу, які виділяються за складом і будовою деревного, чагарникового, трав'яного і мохового ярусів, будовою ґрунтових горизонтів та специфікою матеріально-енергетичного метаболізму;

- *біогеоценози* – екосистеми в межах фітоценозів;

- *ландшафтні екосистеми* – сукупність біогеоценозів на певній спорідненій території, між якими існують генетичні, історичні чи функціональні зв'язки. Наприклад, екосистеми невеликих річкових басейнів або частин басейнів великих рік, гірських хребтів або гірських схилів, фізико-географічних або геоботанічних районів тощо;

- *провінційні екосистеми* – це територіальне поєднання ландшафтних екосистем, яке за своїми межами збігається з геоботанічними провінціями;

- *біомні екосистеми* – територіальне поєднання провінційних екосистем, яке збігається з геоботанічними областями або навіть наближається до меж фізико-географічних зон;

- *субстратні екосистеми* (материкові чи океанічні);

- *загальнопланетна екосистема* біосфера.

Біомна екосистема за територіальними межами відповідає фізико-географічній зоні і зумовлена інтенсивністю надходження сонячної радіації до земної поверхні та макрокліматичними чинниками, а також характеризується певним постійним типом рослинності (деревним, чагарниковим, трав'яним тощо).

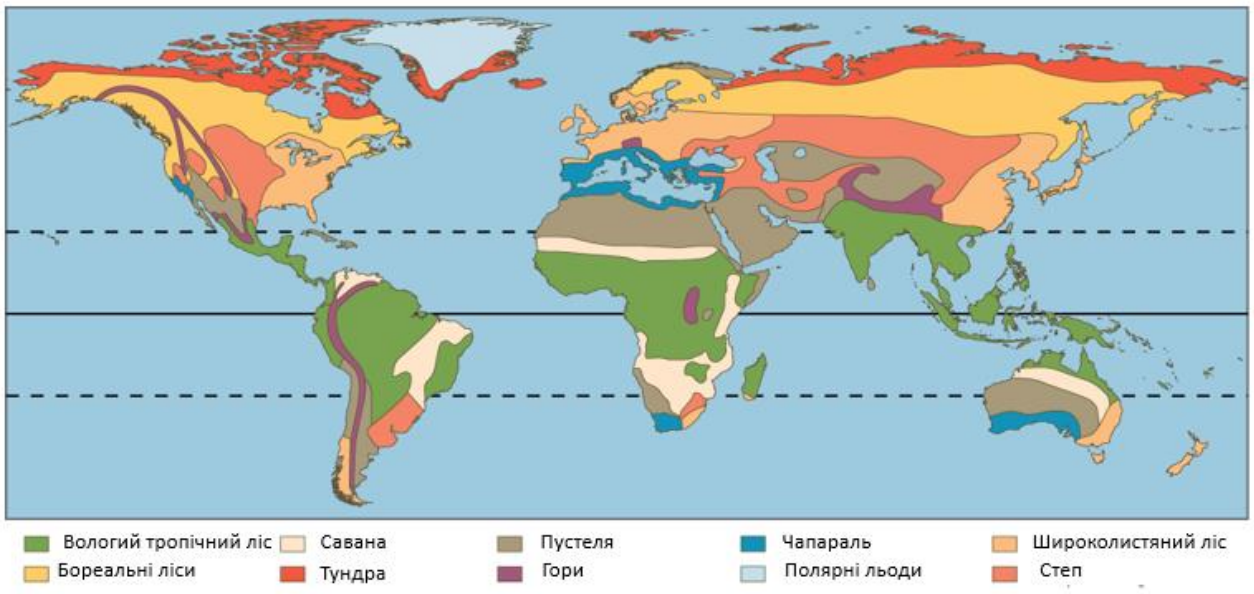


Рис. 7.3. Основні наземні біоми

Поняття «біом» було уведене в науковий вжиток у 1916 р. Ф. Клементсом. Ю. Одум (1986) трактує біом як велику регіональну або субконтинентальну біосистему, що характеризується будь-яким основним типом рослинності чи іншою специфічною рисою ландшафту (рис. 7.3).

Біомна диференціація біогеоценотичного покриву Землі і біосфери зумовлена сферичною формою планети та її розташуванням відносно Сонця, що супроводжується різним кутом потрапляння сонячних променів на земну поверхню та різною інтенсивністю сонячної радіації на різних географічних широтах.

На території України згідно з міжнародною класифікацією біомів (зокрема, за найпоширенішою системою Всесвітнього фонду природи (WWF)), виділяють 3 великі наземні біоми: помірні широколистяні та мішані ліси; помірні хвойні ліси (Карпатські гірські хвойні ліси) та біом помірних степів, саван та чагарників.

Трофічна структура екосистеми

Структура є найважливішою властивістю будь-якої екосистеми. Структуру розуміють як внутрішню будову системи і певні зв'язки між її складниками. Загалом в екології розрізняють просторову і функціональну структуру екосистем.

Просторова, або морфологічна, структура відображає склад, структурні співвідношення та просторове розташування структурних елементів чи блоків екосистеми, які визначають особливості її функціонування в певних умовах середовища.

Функціональна структура відображає особливості функціонування структурних компонентів екосистеми. Вона характеризує темпи, обсяги та

наслідки речовинно-енергетичного обміну, стійкість і стабільність, продуктивність та інші важливі функції екосистем (рис. 7.4).

Найважливішим типом біотичних взаємодій окремих членів біотичного угруповання в екосистемі є трофічні зв'язки, оскільки вони створюють системотворчі енергетичні, речовинні та інформаційні зв'язки у біоценозі.

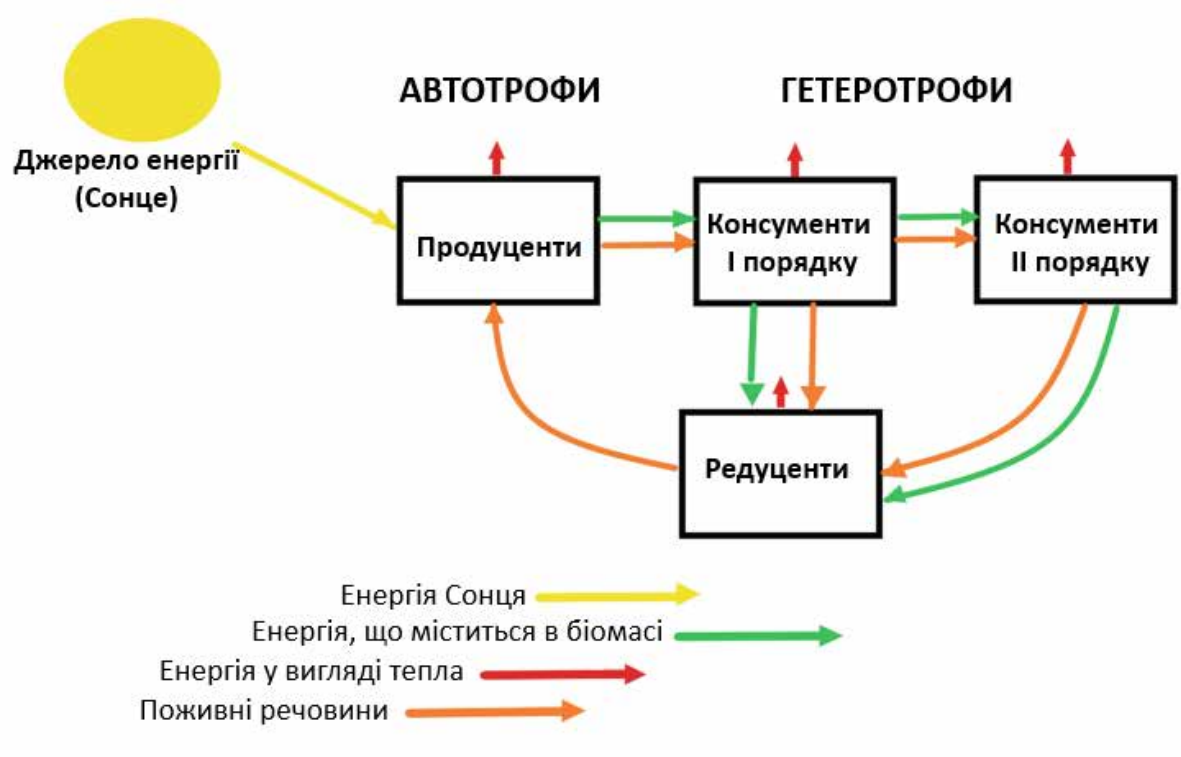


Рис. 7.4. Переміщення речовини та енергії в екосистемі

Незважаючи на велику різноманітність екосистем, їм усім властива приблизно однакова біотична структура, оскільки вони містять одні й ті самі категорії організмів: продуценти, консументи, детритофаги та редуценти.

Продуценти – це живі організми в екосистемі, які беруть енергію від сонячного світла і використовують її для перетворення вуглекислого газу і кисню в цукри.

Консументи – це живі організми в екосистемі, які отримують свою енергію, споживаючи інші організми.

Детритофаги – організми, які спеціалізуються на харчуванні мертвою органічною речовиною – детритом – і при цьому виконують функцію очищення екосистеми. Значна частина детриту гниє та розкладається у процесі живлення грибів та бактерій, тому гриби та бактерії об'єднують в особливу підгрупу детритофагів – редуцентів. Саме вони завершують деструктивну роботу, доводячи розкладання органіки до її повної мінералізації та повертаючи у середовище екосистеми останні «порції» двоокису вуглецю, води і мінеральних елементів.

Основним джерелом енергії у біосфері є енергія сонячного випромінювання, яка надходить до земної поверхні (суходолу або акваторії).

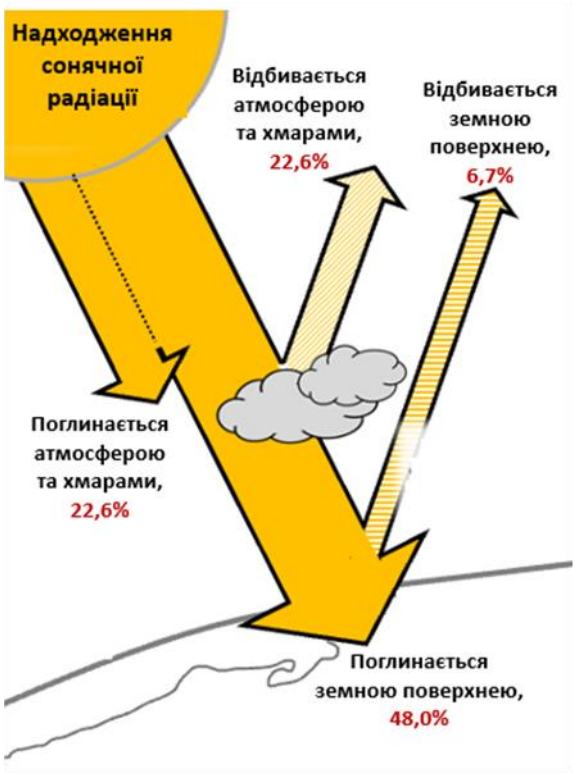


Рис. 7.5. Розподіл сонячної енергії, що надходить на Землю, між геосистемами

Близько 70% енергії випромінювання поглинається гідросферою та літосферою і перетворюється в теплову енергію. Решта 30% енергії випромінювання відбивається безпосередньо назад у космос (рис. 7.5). Невелика частина променевої енергії, всього 0,023%, поглинається безпосередньо живими організмами в процесі, що називається фотосинтезом.

Кількість сонячної енергії в конкретному регіоні залежить від кута падіння променів, відбивання від поверхні (альбедо), прозорості атмосфери.

Багато організмів здатні перетворювати світлову енергію в хімічну енергію. Це перетворення енергії є одним з найбільш важливих хімічних процесів. Без нього, більшість життя на Землі не було б.

Продуценти (або автотрофи – ті, які живляться самі) – організми, які виробляють органічну речовину з неорганічних сполук. Продуценти є найважливішою частиною біоценозу, тому що решта організмів прямо чи опосередковано залежить від запасів енергії та речовини, що були сформовані продуцентами.

До категорії продуцентів належать здебільшого зелені рослини, що здійснюють **фотосинтез**, тобто процес перетворення води та вуглекислого газу на великі біомолекули (білки, жири, вуглеводи) з виділенням кисню як побічного продукту. Узагальнене рівняння фотосинтезу має такий вигляд:

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

У наземних екосистемах основними продуцентами є зелені рослини. Зелений колір походить від хімічної речовини, хлорофілу, яка вловлює світлову енергію. У прісноводних та морських екосистемах основними продуцентами є водорості та рослини біля берегових ліній. У відкритих водоймах домінуючими виробниками є фітопланктон – переважно мікроскопічні організми, які плавають або дрейфують у воді.

Для того, щоб накопичена енергія була доступна для використання, рослина виконує додаткову реакцію під назвою клітинне дихання. Клітинне дихання являє собою хімічний процес, в якому енергія вивільняється з їжі.

У цьому процесі цукор і кисень перегруповуються, утворюючи вуглекислий газ і воду. В процесі цієї реакції виділяється енергія. Рослина в змозі використовувати цю вивільнену енергію для будь-якої діяльності, здійснюваної її клітинами. На відміну від фотосинтезу, клітинне дихання відбувається безперервно.

Є два типи клітинного дихання: аеробне та анаеробне. *Аеробне* дихання може відбуватися тільки в присутності кисню. *Анаеробне* дихання, яке також називається ферментація (бродіння), може відбуватися без кисню.

Також до продуцентів, крім розглянутих фототрофів, належить частина найпростіших, які вміють уловлювати енергію джерел хімічних сполук на Землі, тобто здійснюють хемосинтез. Хемосинтез спостерігається у деяких хемоавтотрофних бактерій, які використовують процес окиснення водню, сірки, сірководню, аміаку, заліза як джерело енергії. Хемоавтотрофи у природних екосистемах відіграють відносно невелику роль, винятком є дуже важливі нітрифікуючі бактерії.

Автотрофи (продуценти) становлять основну масу всіх живих істот й утворюють усю нову органічну речовину в будь-якій екосистемі, тобто вони є виробниками первинної продукції – продуцентами екосистем.

Консументи (або гетеротрофи – ті, які живляться іншими) – організми, які споживають готову органічну речовину інших організмів та продуктів їхньої життєдіяльності. До цієї категорії належить переважна більшість видів тварин, а також найрізноманітніші організми від мікроскопічних бактерій до величезних синіх китів та людини.

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

- Первинні консументи, або консументи першого порядку, – це тварини, які живляться безпосередньо продуцентами. Первинними консументами є рослиноїдні тварини, або фітофаги (тля, коник, гусак, олень, вівця, слон тощо).

- Вторинні консументи, або консументи другого порядку, живляться первинними. Наприклад, кролик є первинним, а лисиця – вторинним консументом. До цієї підгрупи належать також консументи третього та вищих порядків. Консументи другого та вищих порядків є м’ясоїдними (або зоофагами). Види, які вживають як рослини, так і тварин, є всеїдними (рис. 7.6).



Рис. 7.6. Підгрупи консументів: фітофаги (панда), зоофаги (лев), всеїдні (горила)

Кожна трофічна група біоценозу внаслідок життєдіяльності утворює значну кількість органічних речовин – неперетравлені рештки, продукти виділення, відмерлі частини організмів та самі організми, що об'єднується терміном детрит.

Ці органічні рештки розкладають деструктори, або **редуценти** – організми, які забезпечують їх мінералізацію (руйнування або розкладання шляхом спрощення будови речовини). Деструкторами у пасовищних трофічних ланцюгах переважно виступають мікроорганізми (бактерії, дріжджі, гриби) та дрібні тварини (нематоди, кільчасті черви, комахи). Завдяки їхній діяльності відбувається повернення до мінеральної форми елементів, які містяться в органічних речовинах. Це забезпечує можливість їх повторного засвоєння продуцентами.

Таким чином, незважаючи на наявне різноманіття, всі екосистеми мають структурну схожість. Кожна екосистема має власне матеріально-енергетичне забезпечення і певну функціональну структуру.

Усі названі вище категорії організмів у будь-якій екосистемі тісно взаємодіють між собою, узгоджуючи потоки речовини та енергії. Їх сумісне функціонування не лише підтримує структуру і цілісність біоценозу, а й має значний вплив на абіотичні компоненти біотопу, зумовлюючи при цьому самоочищення екосистеми та її середовища.

Тема 8. ТРОФІЧНІ ЗВ’ЯЗКИ В ЕКОСИСТЕМАХ

Харчові взаємовідносини в екосистемах

При вивченні біотичної структури екосистем стає очевидним, що одними з найважливіших взаємовідносин між організмами є харчові, або трофічні, зв'язки.

Класичну трофічну структуру екосистеми зображують у вигляді трофічного ланцюгу (рис. 8.1), який складається з умовних трофічних рівнів – груп організмів, які використовують однакові джерела речовини та енергії.

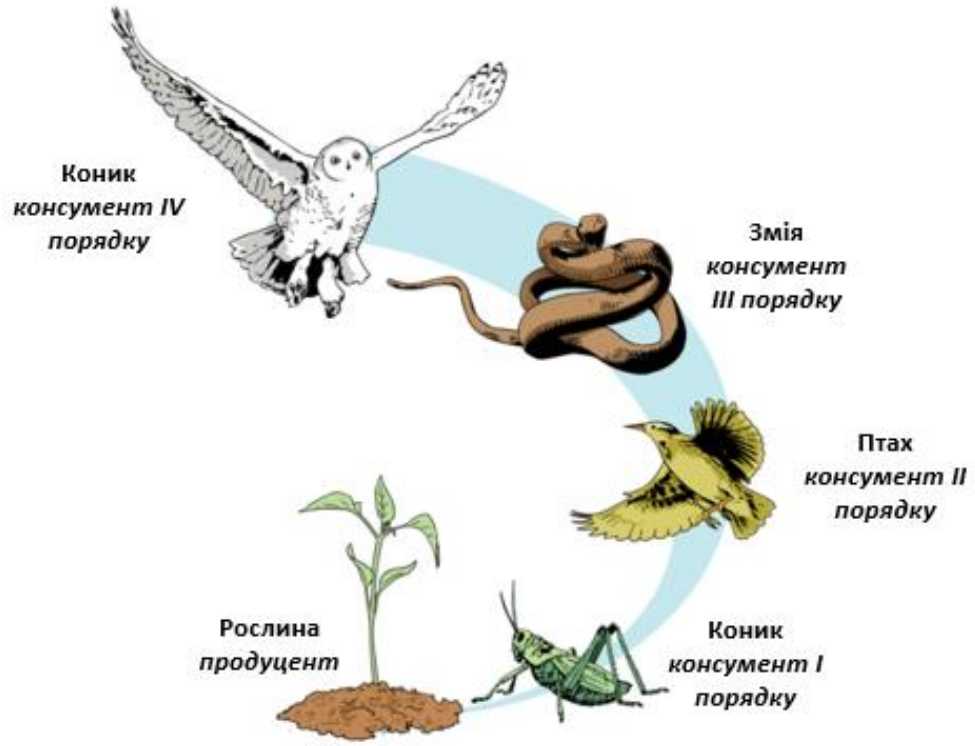


Рис. 8.1. Харчовий ланцюг із п’ятьма трофічними рівнями

Термін «ланцюг живлення» запропонував Ч. Елтон у 1934 р. ***Ланцюги живлення, або трофічні ланцюги, – це шляхи перенесення енергії їжі від її джерела (зеленої рослини) через ряд організмів на більш високі трофічні рівні.***

Трофічний рівень – це сукупність усіх живих організмів, які належать до однієї ланки харчового ланцюга.

До першого трофічного рівня належать всі продуценти – утворювачі органічної речовини; до другого – усі первинні консументи (рослиноїдні, або фітофаги); до третього – ті плотоїдні, що живляться первинними консументами (хижаки); до четвертого – ті, що споживають інших плотоїдних, і т. д.

Зазвичай у екосистемах нараховують не більше 3-4 трофічних рівнів (рис. 8.2 нижче).



Рис. 8.2. Трофічні рівні в екосистемах

Розрізняють декілька *типів трофічних ланцюгів*:

о Пасовищний тип трофічного ланцюгу (ланцюг виїдання або ланцюг експлуататорів), є найважливішим у біосфері, оскільки забезпечує засвоювання енергії Сонця та її трансформацію в екосистемах.

Для таких ланцюгів при переході з одного трофічного рівня на інший характерне збільшення розмірів особин при одночасному зменшенні щільності популяцій, швидкості розкладання і продуктивності біомаси, наприклад, ланцюг «трава - полівка – лисиця» або «трава - коник - жаба - змія – шуліка».

о Детритний тип трофічного ланцюгу (ланцюг розкладання) – починається від неживої органічної речовини (детриту). Детритні ланцюги, які включають тільки редуцентів, (наприклад, «опале листя - плісневі гриби - бактерії») схожі на ланцюг паразитів, але, якщо вони включають і детритофагів (черв'яків, личинок комах), то частково переходять у ланцюги експлуататорів і паразитів.

о Ланцюги паразитів (наприклад, «яблуня - щитівка - наїздець» або «корова - ґедзь – бактерії»). Вони ідуть від великих організмів до менших, без прямого вбивства, як у випадку з хижаками.

Пасовищний та детритні трофічні ланцюги в екосистемах найчастіше представлені одночасно, але майже завжди за масштабами потоків речовини та енергії домінує детритний ланцюг.

Слід зазначити, що у масштабах всієї біосфери понад 90% речовини включено до кругообігу детритних ланцюгів. Наприклад, фітофаги споживають лише <4% біомаси продуцентів в умовах європейських широколистяних лісів, 96% біомаси розкладаються редуцентами.

Наведені приклади трофічних ланцюгів є значно спрощеною моделлю реально існуючих процесів в екосистемах. Оскільки більшість тварин всеїдні (живляться як рослинами, так і тваринами), вони одночасно одержують речовину та енергію з різних трофічних рівнів. Вважають, що такі організми входять відразу до декількох трофічних рівнів, а їхня участь в кожному рівні пропорційна складу вживаної ними їжі. Тому у природі вся сукупність трофічних ланцюгів об'єднується у **трофічну мережу** (рис. 8.3).

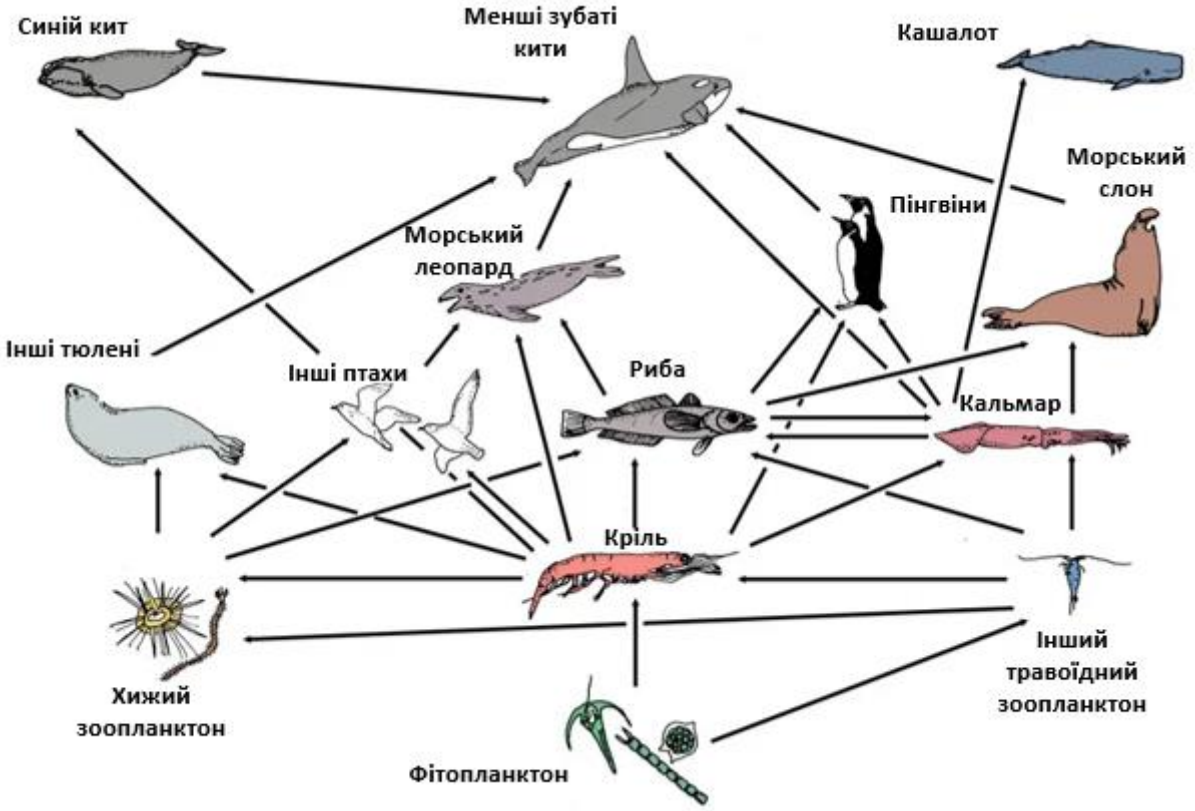


Рис. 8.3. Харчова (трофічна) мережа Антарктичного океану

Велика кількість взаємодій має тенденцію до зниження уразливості якогось одного виду до втрати чи зниження чисельності інших видів. З цієї причини, складні харчові (трофічні) мережі, як вважають, є більш стабільними, ніж прості харчові ланцюги.

Наприклад, лучний вовк-койот може харчуватися близько 14 тис. видами тварин і рослин. Можливо, таку саму кількість видів можуть споживати і ті організми, які беруть участь у поїданні, розкладанні та деструкції речовин трупу цього вовка.

Екологічні піраміди. Перетворення енергії в екосистемах

Трофічні рівні відображають трофічну структуру екосистеми. Співвідношення між числами, масою та енергією окремих трофічних структур або трофічних рівнів в екосистемі зображають у вигляді **екологічних пірамід**.

Їх суть розкривають за допомогою числових та графічних зображень, відповідно до чого розрізняють такі різновиди екологічних пірамід: *піраміди чисел, біомас та енергії*.

Піраміди чисел відображають чисельність організмів на кожному з трофічних рівнів харчового ланцюга. Наприклад, піраміда чисел Ч. Елтона відображає співвідношення між чисельністю організмів на послідовних трофічних рівнях.

Дослідженнями встановлено, що у будь-якому середовищі рослин більше, ніж тварин; травоїдних більше, ніж плотоїдних; комах більше, ніж птахів тощо.

Для піраміди чисел діє таке правило: при переході з одного трофічного рівня на інший чисельність особин зменшується, а їхні розміри збільшуються. Але це правило не поширюється на детритні трофічні ланцюги та ланцюги паразитів.

Слід зазначити, що у будові різних пірамід чисел спостерігається помітне різноманіття (рис. 8.4). Іноді вони можуть бути «перевернутими». Так, у лісі росте значно менше дерев (тобто первинних продуцентів), ніж комах (тобто рослиноїдних).

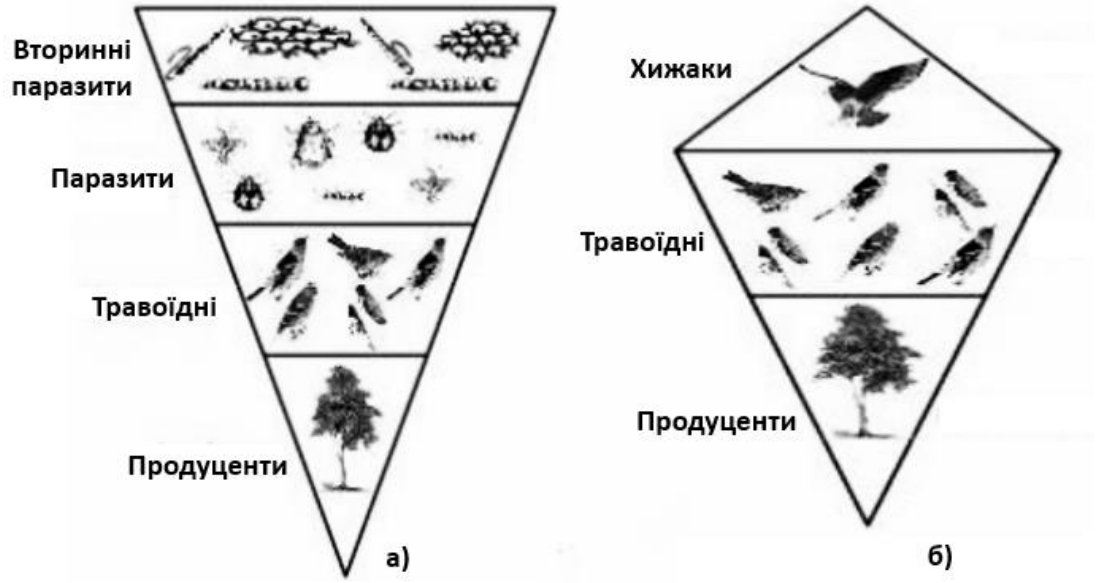


Рис. 8.4. Піраміди чисел: а) перевернута; б) веретеноподібна

Біомаса – це сумарна жива вага організмів в екосистемі, або кількість живої органічної речовини в екосистемі, накопиченої всією сукупністю рослинних, тваринних, грибних і бактеріальних організмів, виражена в одиницях маси або енергії на одиницю площі чи об'єму.

Піраміди біомас відображають величину мас органічної речовини (біомаси) на різних трофічних рівнях. Вони більш повно розкривають харчові взаємовідносини в екосистемі, оскільки показують біомасу на кожному трофічному рівні у певний момент.

Для піраміди біомас правило таке: загальна біомаса на кожному наступному трофічному рівні зменшується.

Форма піраміди біомас зазвичай схожа на форму піраміди чисел, але є й винятки: у прісноводному середовищі первинна продуктивність забезпечується мікроскопічними організмами з високою швидкістю обміну речовин (біомаса мала, а продуктивність велика), як показано на рис. 8.5.

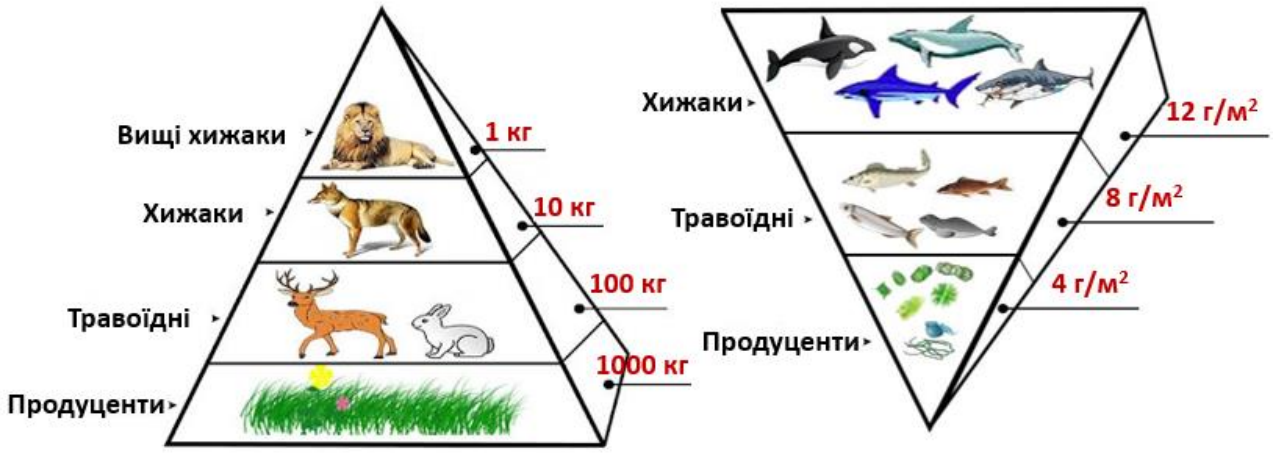


Рис. 8.5. Піраміди біомас для наземних та водних екосистем

Недолік піраміди біомас полягає у тому, що в ній не розділяються компоненти, які мають різний хімічний склад та різну енергетичну значимість.

Загальну біомасу організмів на кожному трофічному рівні можна визначити шляхом збирання або відлову та подальшого зважування відповідних вибірок тварин та рослин.

На кожному трофічному рівні біомаса на 90-99 % нижча, ніж на попередньому. Якщо припустити, що біомаса продуцентів на певній площі лучної екосистеми становить 1 тонну, то біомаса фітофагів на тій самій площі буде не більше 100 кг, а плотоїдних видів на наступному трофічному рівні - не більше 10 кг. Тобто, існування більшої кількості трофічних рівнів неможливе через швидке наближення біомаси до нуля.

Піраміди енергії відображають кількість енергії, накопиченої в біомасі або чистій продукції на різних трофічних рівнях будь-якої екосистеми.

В основі пірамід завжди лежать показники першого трофічного рівня – продуцентів, над яким розташовують показники наступних трофічних рівнів.

Піраміди енергії характеризують ефективність перетворення енергії і продуктивність харчових ланцюгів.

Для піраміди енергії правило таке: при переході з одного трофічного рівня на інший енергія витрачається у процесі життєдіяльності організмів у вигляді тепла та механічної роботи.

Піраміди енергії будуються шляхом підраховування кількості енергії, яка акумульована одиницею поверхні за одиницю часу і використовується організмами на кожному трофічному рівні. Наскрізний потік енергії, проходячи трофічним ланцюгом екосистеми, поступово згасає, оскільки на всіх ланках цього ланцюга відбувається втрата енергії здебільшого у вигляді тепла, як показано на рис. 8.6.



Рис. 8.6. Ефективність потоку енергії в екосистемах

Американський дослідник Р.Л. Ліндеман у 1942 році сформулював правило, яке називають законом піраміди енергії Ліндемана, або правилом «десяти відсотків»: **з одного трофічного рівня екологічної піраміди може переходити на вищий рівень у середньому не більше 10 % енергії, яка надійшла на попередній рівень.**

На сьогодні вже підраховано, що у природі від одного трофічного рівня «населенню» наступного рівня передається доступної енергії у середньому не більше, а значно менше 10 %, і чим довший харчовий ланцюг, тим більше енергії втрачається. Цей закон дає змогу обчислювати, наприклад, необхідні земельні площі для забезпечення населення продуктами харчування та робити інші підрахунки.

Крім цього, щодо трофічних взаємодій в екосистемах діє закон єдиної спрямованості потоку енергії, що формулюється так: **енергія, яку отримує екосистема та засвоюють продуценти, розсіюється або разом з біомасою продуцентів передається консументам першого, другого та вищих**

порядків, а потім – редуцентам; потік енергії згасає на кожному трофічному рівні внаслідок дихання.

Речовина, у тому числі, необхідні для життя біогенні елементи (вуглець, азот, фосфор та ін.), а також вода багатократно використовуються усередині самої екосистеми, а енергія, що потрапляє у екосистему ззовні у вигляді сонячного випромінювання, незворотно перетворюється на тепло.

Отже, енергія в екосистемі може накопичуватися у вигляді хімічних зв'язків органічних речовин, а потім знов вивільнюватися чи передаватися ланцюгами живлення; але при цьому вона ніколи не використовується повторно.

Особливості передачі ксенобіотиків по трофічним ланцюгам

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

Інша доля притаманна окремим хімічним речовинам, зокрема так званим ксенобіотикам – речовинам, що в природі спочатку були відсутні, а потім синтезовані людиною. Такі речовини проходять через трофічні ланцюги незмінними.

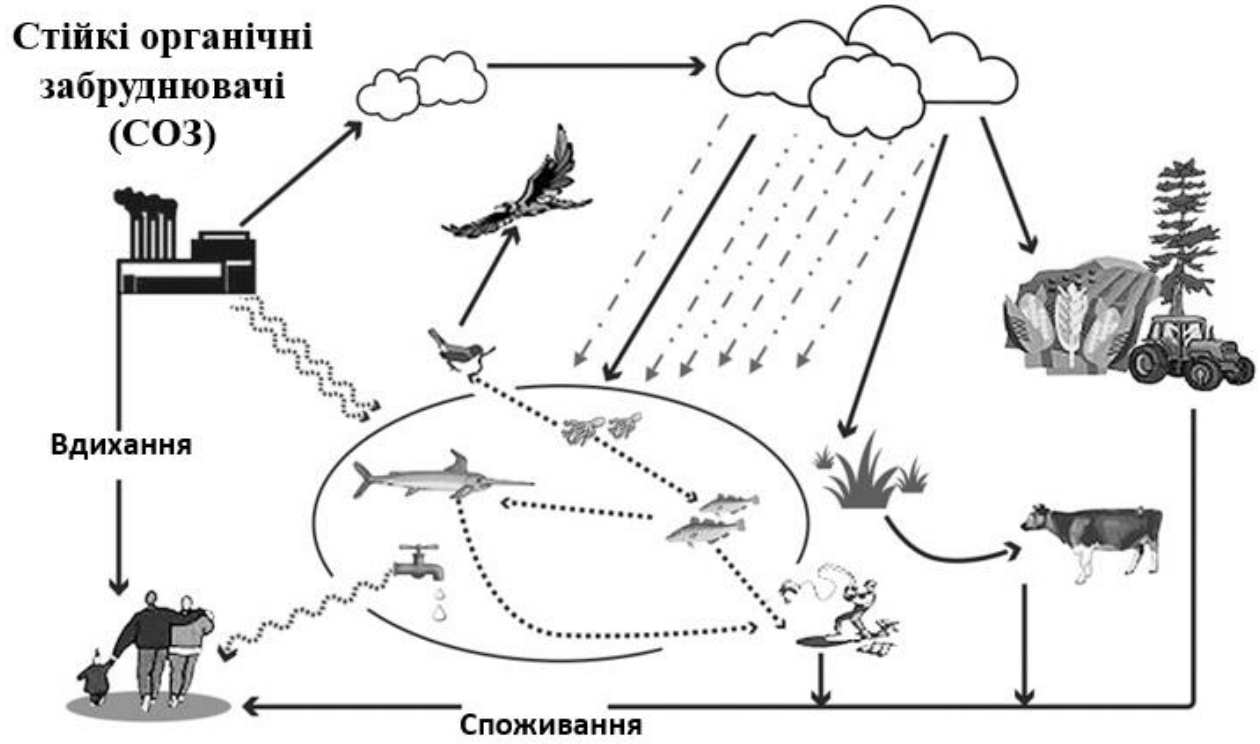


Рис. 8.7. Шляхи потрапляння і переміщення СОЗ в екосистемах

У силу того, що розмір біомаси в екологічних пірамідах закономірно знижується при переході на кожний новий трофічний рівень, концентрація ксенобіотиків у розрахунку на одиницю біомаси стає більшою. Цей ефект називається **законом концентрування речовин у трофічних ланцюгах.**

Стійкі забруднювачі, які не можуть бути розкладені редуцентами, не тільки переміщаються по різним трофічним рівням, а й залишаються на даному трофічному рівні протягом дуже тривалого часу.

Хлоровані вуглеводні, такі як ДДТ (дихлордіфенілтріхлоретан), ендосульфан, хлороформ, тетрахлорид вуглецю та ін. є найбільш шкідливими нерозкладаними забруднювачами, які є довготривалими. Ці сполуки належать до так званих стійких органічних забруднювачів (СОЗ).

Рух цих забруднювачів включає два основні процеси: біоакумуляцію та біомагніфікацію (рис. 8.8).

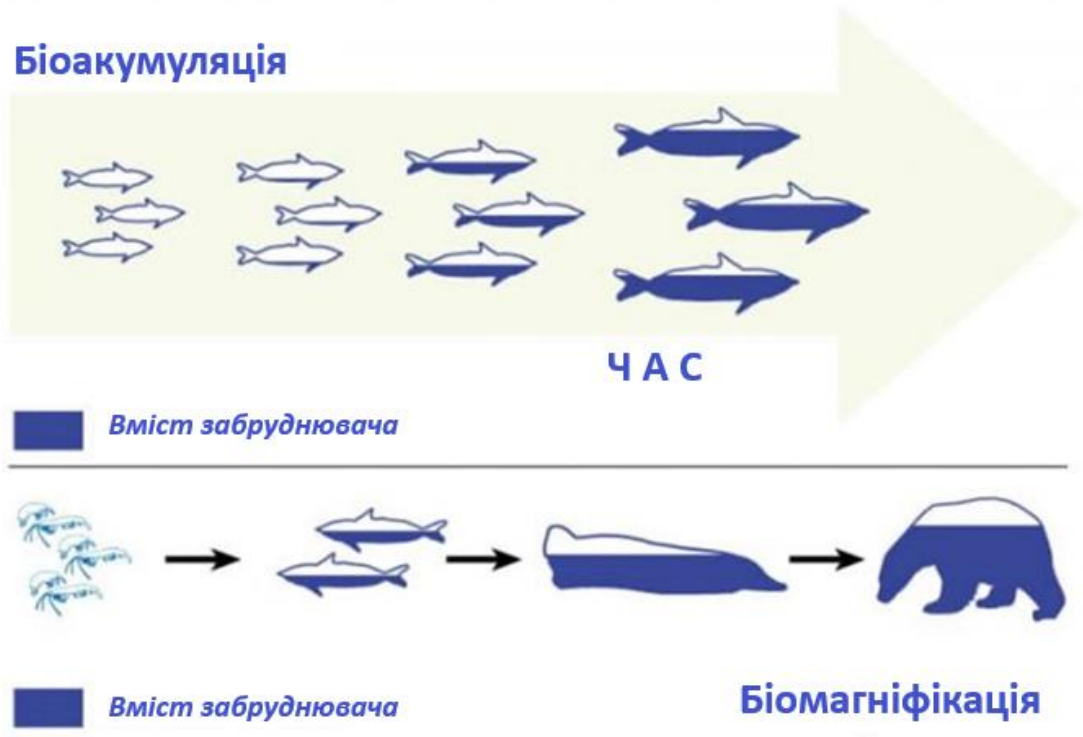


Рис. 8.8. Механізми дії процесів біоакумуляції та біомагніфікації

Біоакумуляція – це поступове накопичення токсичних речовин у живих організмах.

Біоакумуляція відбувається, коли швидкість втрати речовини з тіла організму через катаболізм (розпад складних молекул в живих організмах) або виведення менше швидкості накопичення речовини. Оскільки стійкі органічні забруднювачі, такі як ДДТ, діють тривалий час, ризик біоакумуляції високий, навіть якщо рівень забруднювача в навколишньому середовищу невеликий.

Біоакумуляцію слід відрізняти від поняття «біомагніфікація». ***Біомагніфікація*** – це збільшення концентрації токсичної речовини з плином

часу при переході від нижчого рівня до більш високого рівня в харчовому ланцюзі.

Для того, щоб відбувалася біомагніфікація, забруднювач повинен мати тривалий біологічний період напіввиведення (довгожитель), не повинен бути розчинним у воді, але повинен бути розчинним у жирах, як наприклад ДДТ. Якщо забруднювач розчинний у воді, він буде виводитися організмом. Іншими речовинами, що біомагніфікують, є поліхлоровані біфеніли (ПХБ) та важкі метали, такі як ртуть, свинець та кадмій.

Наприклад, органічна ртуть, у першу чергу метилртуть, є біодоступною і може накопичуватися в трофічній мережі. Наслідки біоакумуляції та біомагніфікації метилртуті найбільш чітко проявилися через катастрофічні події в затоці Мінамата, Японія.

В середині 1950-х років домашні кішки в Мінамати, Японія, таємничим чином почали битися в конвульсіях і падати в затоку. Незабаром після цього у жителів Мінамати з'явилися схожі симптоми, вони втратили здатність говорити, рухатися і думати.Виявилося, що японська хімічна компанія Chisso Corporation викинула в бухту понад 600 тонн ртуті між 1932 і 1968 роками зі стічними води. Протягом наступних кількох десятиліть 1784 людини, які мешкали біля берега, померли від спільних дивних симптомів, тоді як лікарі намагалися розкрити причину.

Хвороба Мінамата характеризує довгострокові порушення центральної нервової системи внаслідок отруєння метилртуттю.

Метилртуть рухається по харчовому ланцюгу від фітопланктону та зоопланктону до риб та людей на вершині харчового ланцюга.

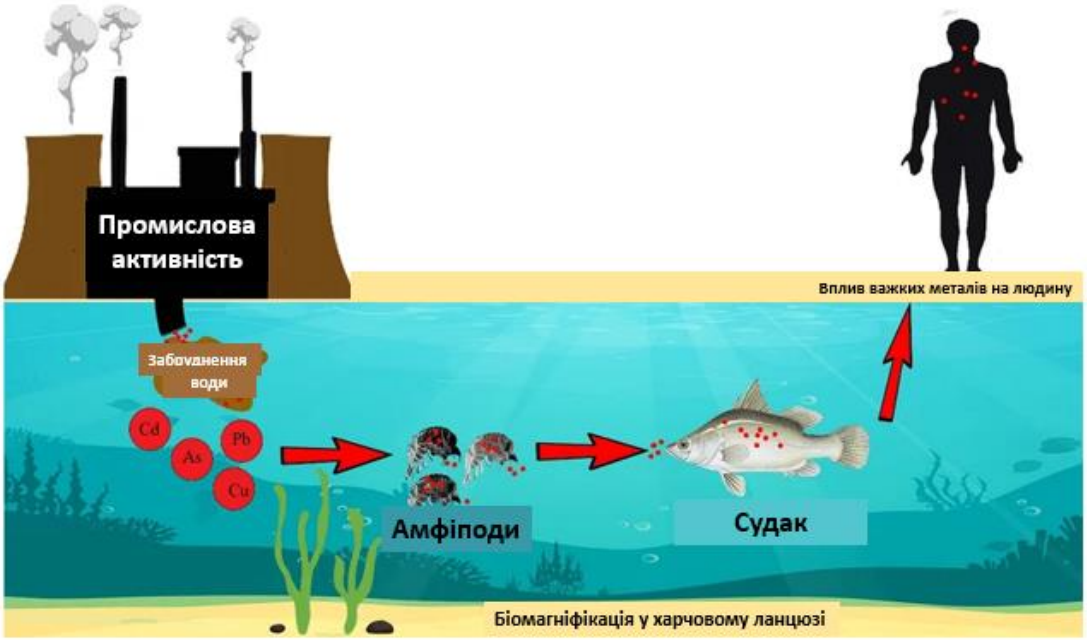


Рис. 8.9. Схематична модель біоакумуляції важких металів у водних харчових ланцюгах

Це найчастіше найвищий трофічний рівень у харчовому ланцюзі, який є найбільш сприйнятливим до змін у навколишньому середовищі. Вершина харчового ланцюга завжди вразлива до наслідків змін, що відбуваються далі по ланцюгу.

Вищі хижаки часто мають обмежений раціон харчування, тому зміни в їх харчовій здобичі чинять негативний вплив. Чисельність їх популяцій низька через падіння ефективності однієї тільки ланки харчового ланцюга, тому їх здатність протистояти негативним впливам більш обмежена, ніж у видів, що знаходяться нижче в харчовому ланцюгу і мають більші популяції.

Діяльність людини різко змінила природні концентрації багатьох речовин у навколишньому середовищі та додала численні нові хімічні речовини.

Забруднення, яке вважається незначним при оцінці кількості забруднювача в навколишньому середовищі, стає катастрофічно небезпечним при дії закону концентрування та небезпечним, перш за все, для самої людини, яка знаходиться на вершині усіх трофічних ланцюгів пасовищного типу.

Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі (2001 р.) – це глобальний договір про захист здоров'я людини та навколишнього середовища від хімічних речовин, які залишаються недоторканими в навколишньому середовищі протягом тривалого часу. Метою Конвенції є ліквідація стійких органічних хімічних речовин у всьому світі, або забороняючи їх виробництво та використання, або поступово зменшуючи їх.

Мінаматська конвенція про ртуть (2013 р.) є першою глобальною угодою, спеціально розробленою для вирішення проблем забруднення важкими металами. Положення конвенції спрямовані на захист здоров’я людини та навколишнього середовища від антропогенних викидів ртуті та її сполук. Зокрема, на поступову заборону виробництва деяких приладів із вмістом ртуті, а також обов’язкове припинення її видобування.

Насамперед, це стосується заборони використання ртутних та люмінесцентних ламп та заміни їх на лампи нового покоління – світлодіодні (LED), неелектронних вимірювальних приладів (в тому числі термометри та барометри), деяких медичних препаратів. Для окремих продуктів, які не мають екологічно безпечних аналогів — встановлені винятки. Окремо конвенцією врегульовується питання поводження із небезпечними відходами, а саме запобігання утворенню.

Верховна Рада України прийняла в цілому законопроект про приєднання України до Мінаматської конвенції про ртуть Верховна Рада України 29 травня 2023 р. Коли Україна приєднається до Мінаматської конвенції та встановить чіткі «правила гри» з рідким отруйним металом, це дасть поштовх впровадженню проривних заходів у сфері поводження із небезпечними відходами, а саме ртуттю.

Тема 9. БІОПРОДУКЦІЙНИЙ ПРОЦЕС В ЕКОСИСТЕМІ

Продуктивність та динаміка екологічних систем

Постійне надходження сонячної енергії є основною вимогою для функціонування і підтримки будь-якої екосистеми. Але різні екосистеми використовують сонячну енергію для виробництва та використання біомаси з різною швидкістю.

Усі екологічні системи визначаються присутністю живої речовини. Постійна присутність живої матерії в екосистемах забезпечується безперервним процесом оновлення живої речовини, її синтезом.

Процес продукування живої речовини, що здійснюється в ході живлення, є центральною екосистемною функцією життя. Її прийнято називати біологічною продуктивністю. У біологічній продуктивності беруть участь усі живі організми, і цим вони роблять свій внесок у підтримку існування біосфери.

Біопродуктивність – це швидкість виробництва біомаси на певній площі за одиницю часу. Вона може бути кількох видів:

- валова первинна продуктивність (продуктивність продуцентів, ВПП) – швидкість накопичення органічної речовини автотрофами у процесі фотосинтезу за одиницю часу на одиниці площі, включаючи й ту органічну речовину, яка на період визначення була витрачена на дихання (рис. 9.1);

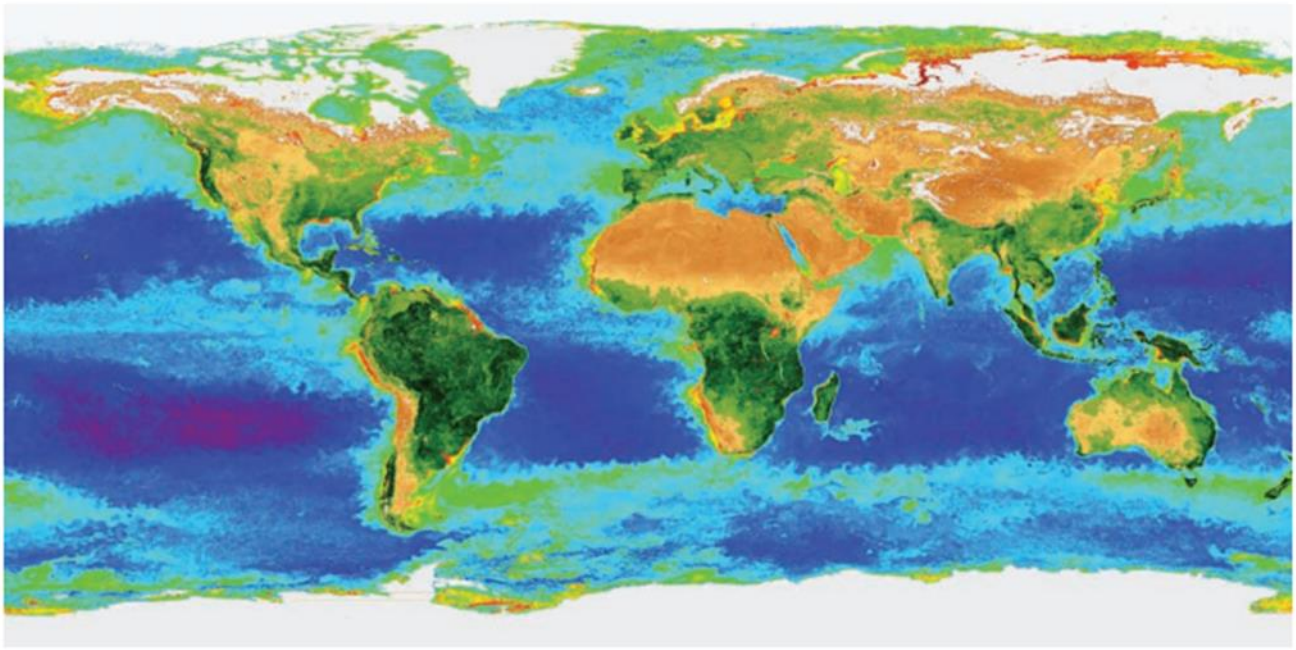


Рис. 9.1. Продуктивність наземних екосистем (валова первинна продуктивність, супутникові дані)

- ***чиста первинна продуктивність*** (ЧПП), тобто швидкість накопичення органічної речовини в рослинних тканинах, яка використовується на забезпечення росту і розвитку, тобто без тієї кількості речовини, що була витрачена на дихання (Д) (рис. 9.1);

- ***вторинна продуктивність*** (біомаса, яку виробляють консументи та організми, що розкладаються) – швидкість накопичення органічної речовини консументами на одиницю площі за одиницю часу.

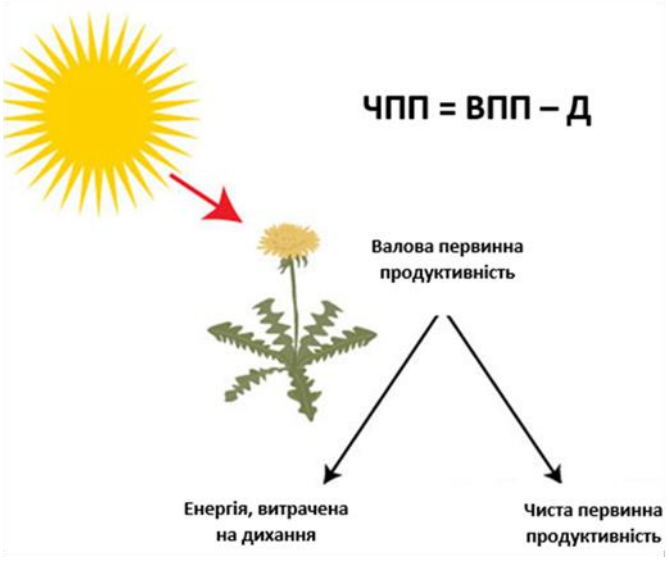


Рис. 9.2. Чиста первинна продуктивність

Первинна продуктивність залежить від видів рослин, що населяють певну територію. Це також залежить від різноманітних факторів навколишнього середовища, наявності поживних речовин та фотосинтетичної здатності рослин. Продуктивність в наземних екосистемах зазвичай підвищується із температурою приблизно до 30°C, після чого вона знижується і позитивно корелює з вологою.

Таким чином, первинна продуктивність на суші найвища у теплих, вологих зонах тропіків, де знаходяться тропічні лісові біоми. На відміну від цього, екосистеми пустинних чагарників мають найнижчу продуктивність, оскільки їх клімат надзвичайно жаркий і сухий.

В океанах світло і поживні речовини є важливими факторами, контролюючими продуктивність. Світло проникає тільки на самий верхній рівень океанів, тому фотосинтез відбувається в поверхневих і приповерхневих водах.

Морська первинна продуктивність висока поблизу берегової лінії і в інших місцях, де апвелінг виносить поживні речовини на поверхню, сприяючи розквіту планктону. Стоки з суші також є джерелом поживних речовин в естуаріях і на континентальному шельфі.

Серед водних екосистем водоростеві зарості і коралові рифи мають найвищу чисту первинну продукцію, в той час як найнижчі показники спостерігаються на відкритій місцевості через нестачу поживних речовин в освітлених поверхневих шарах (рис. 9.3 нижче).

У сільськогосподарських системах метою є збільшення чистої первинної продуктивності (ЧПП) і біомаси окремих культурних рослин шляхом додавання води (зрошення) і поживних речовин (в основному нітратів і фосфатів в

добривах). Незважаючи на такі вкладення, ЧПП сільськогосподарських земель не дуже висока в порівнянні з іншими наземними екосистемами.

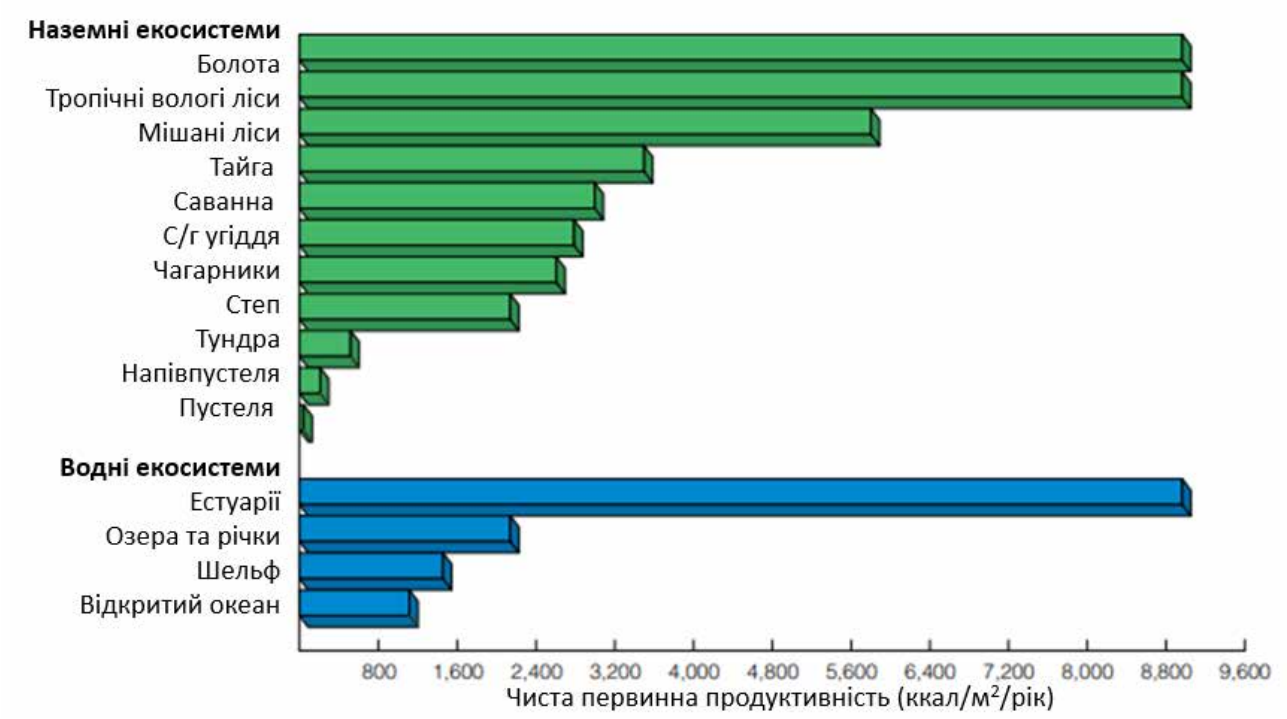


Рис. 9.3. Первинна продуктивність наземних та водних екосистем

Загалом наземні екосистеми Землі протягом року продукують близько 170 млрд т (у сухій вазі) органічної речовини, третина якої припадає на вологі тропічні ліси. Річна чиста первинна продукція скелястих, піщаних і льодовикових пустель, площа яких дорівнює 16 % площі суші, становить лише 0,07 млрд т, тобто їх продуктивність є найнижчою (близько 3 г/м^2 за рік).

Середня річна чиста первинна продуктивність Світового океану майже в 1,2 рази менша від продуктивності суші, а за рік у ньому виробляється всього 55 млрд т рослинної маси (що у два рази менше, ніж на суші). Таким чином, відкритий океан, який займає 65% площі земної кулі (332 млн км^2), можна вважати екологічною пустелею.

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

Продуценти є джерелом всієї їжі в екосистемі. Тільки біомаса, представлена ЧПП, доступна в якості їжі для консументів, і вони використовують тільки її частину. Таким чином, ЧПП планети в кінцевому підсумку обмежує кількість споживачів (включаючи людину), які можуть вижити на Землі. Це важливий урок природи.

Люди використовують, розтрачують або знищують значну кількість світової біомаси швидше, ніж продуценти можуть її зробити. За оцінками екологів, в даний час люди використовують, витрачають або знищують близько

27% загального потенційного ЧПП Землі і 10-55% ЧПП наземних екосистем планети.

Вчені стверджують, що це основна причина того, що ми витісняємо або знищуємо місця проживання і запаси їжі все більшої кількості інших видів. Що може статися з нами і іншими видами-консументами, якщо в найближчі 40-50 років людська популяція подвоїться і різко зросте споживання на душу населення таких ресурсів, як їжа, деревина та пасовища? Це дуже важливе питання!

Енергія тече в екосистемах направлено, вступаючи у вигляді сонячного світла (або неорганічних молекул для хемоавтотрофів) і йдучи у вигляді тепла в процесі перетворення енергії між трофічними рівнями. Замість того щоб текти через екосистему, матерія, з якої складаються організми, зберігається і переробляється.

Біогеохімічні цикли

Всі організми пов'язані між собою величезними глобальними системами рециркуляції, що складаються з кругообігів поживних речовин, або біогеохімічних циклів (дослівно – круговорот життя-земля-хімія).

Біогеохімічний цикл – це періодично повторюваний процес взаємопов'язаного перетворення і переміщення речовин у природі, що відбувається за участю живих організмів.

Рушійними силами біогеохімічних циклів є енергія Сонця і діяльність живих організмів. В результаті їх впливу переміщуються величезні маси хімічних елементів, відбувається концентрація і перерозподіл енергії, акумульованої в процесі фотосинтезу.

Автотрофи (зелені рослини), використовуючи неорганічні речовини і енергію Сонця утворюють органічні речовини, які, у свою чергу, руйнуються іншими живими істотами – гетеротрофами. Продукти цього руйнування можуть бути використані рослинами для нових органічних синтезів (рис. 9.4).

Завдяки кругообігу речовин, навіть при обмеженій кількості доступних хімічних елементів існує можливість тривалого існування і розвитку життя. Термін «біогеохімічний цикл» був уведений у 1910 роках В.І. Вернадським.

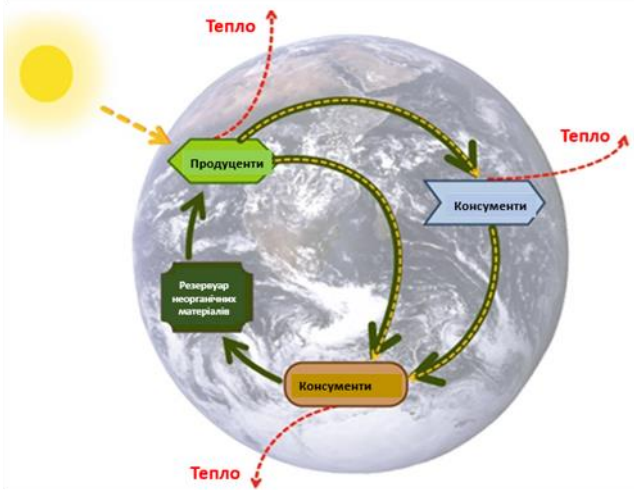


Рис. 9.4. Всі організми пов'язані між собою величезними глобальними системами рециркуляції, що складаються з кругообігів поживних речовин, або біогеохімічних циклів

Шість найпоширеніших елементів, пов’язаних з органічними молекулами - ***вуглецем, азотом, воднем, киснем, фосфором і сіркою*** - мають різні хімічні форми і можуть тривалий час існувати в атмосфері, на землі, у воді або під поверхнею Землі. ЦІ шість елементів використовуються організмами різними способами.

Водень і кисень знаходяться у воді та органічних молекулах, обидва з яких мають важливе значення для життя. Вуглець присутній у всіх органічних молекулах, а азот є важливим компонентом нуклеїнових кислот та білків. Фосфор використовується для створення нуклеїнових кислот та фосфоліпідів, які містять біологічні мембрани. Нарешті, сірка критична для тривимірної форми білків.

Кругообіг цих елементів взаємопов’язаний. Наприклад, рух води є критичним для вилуговування сірки та фосфору у річки, озера та океани. Мінерали циркулюють через біосферу між біотичними та абіотичними компонентами і від одного організму до іншого.

Найчастіше **вуглецевий цикл** вивчається як два взаємозалежні підцикли, як показано на рис. 9.5: один з них має швидкий обмін вуглецю серед живих організмів, а інший – довгострокове циклічне навантаження вуглецю через геологічні процеси.

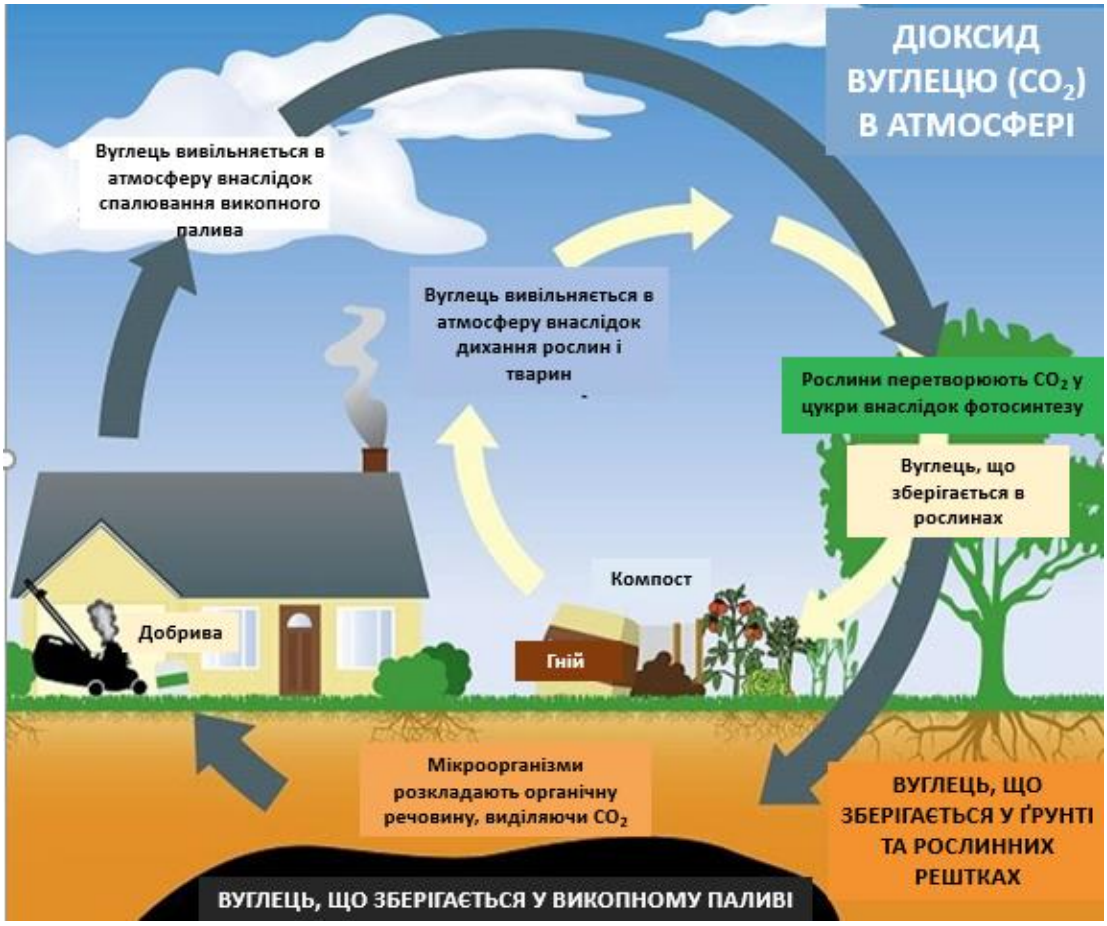


Рис. 9.5. Біогеохімічний цикл вуглецю

1. Вуглець надходить у живий світ у вигляді вуглекислого газу через процес фотосинтезу як вуглеводи. Ці органічні сполуки (їжа) потім переходять від продуцентів до консументів (травоїдних та м'ясоїдних). Цей вуглець, нарешті, повертається в навколишнє середовище або в результаті процесу дихання або розкладання рослин і тварин редуцентами.

2. Геологічний шлях вуглецевого циклу займає набагато більше часу, ніж біологічний шлях. Вуглець може зберігатися протягом тривалого періоду часу в атмосфері, водоймах – переважно океанах – океанічний осад, ґрунті, гірських породах, викопному паливі та в надрах Землі.

На суші вуглець зберігається в ґрунті як органічний вуглець в результаті розкладу живих організмів або як неорганічний вуглець від вивітрювання наземних порід і мінералів. Більш глибоко під землею знаходиться викопне паливо, такі як нафта, вугілля та природний газ, які є залишками рослин, що свого часу розклалися під анаеробними умовами без кисню. Викопне паливо формувалося мільйони років. Коли люди спалюють його, вуглець викидається в атмосферу у вигляді вуглекислого газу.

Азот, компонент білків і нуклеїнових кислот, має важливе значення для життя на Землі. Атмосфера складається на 78% з елементарного азоту (N_2) і є невичерпним резервуаром цього найважливішого елемента. Молекула N_2 є дуже стабільною, так що розкладання її на атоми, які можуть бути включені в неорганічні і органічні хімічні форми азоту є лімітуючим етапом у циклі азоту.

Газоподібний азот повинен бути змінений на форму, яка називається нітрати, які рослини можуть поглинати через коріння.

Процес перетворення газоподібного азоту у нітрати називається *фіксація азоту***.** Це здійснюється азотфіксуючими бактеріями. Бактерії живуть у ґрунті і на корінні бобових, таких як горох.

Коли рослини та інші організми відмирають, редуценти розкладають їх рештки. У цьому процесі вони вивільняють азот у формі іонів амонію. Цей процес називається *амоніфікація*.

Нітрифікуючі бактерії перетворюють іони амонію в нітрити та нітрати. Деякі з нітратів використовуються рослинами. Процес перетворення іонів амонію у нітрити або нітрати називається *нітрифікація*.

Однак інші бактерії, які називаються денітрифікуючими бактеріями, перетворюють деякі з нітратів у ґрунті назад у газоподібний азот в процесі, який називається *денітрифікація*. Цей процес є протилежністю фіксації азоту. Денітрифікація повертає газоподібний азот назад в атмосферу, де він може продовжити цикл азоту, як це показано на рис. 9.6 нижче.

З усього викладеного вище можна зробити висновок, що кожна **екосистема є динамічною структурою із сотень і навіть тисяч продуцентів, консументів, редуцентів та детритофагів, пов'язаних між собою трофічними ланцюгами та нехарчовими взаємовідносинами.**

Екосистеми підтримують свою рівновагу та існування за рахунок кругообігу біогенів та постійного притоку сонячної енергії.

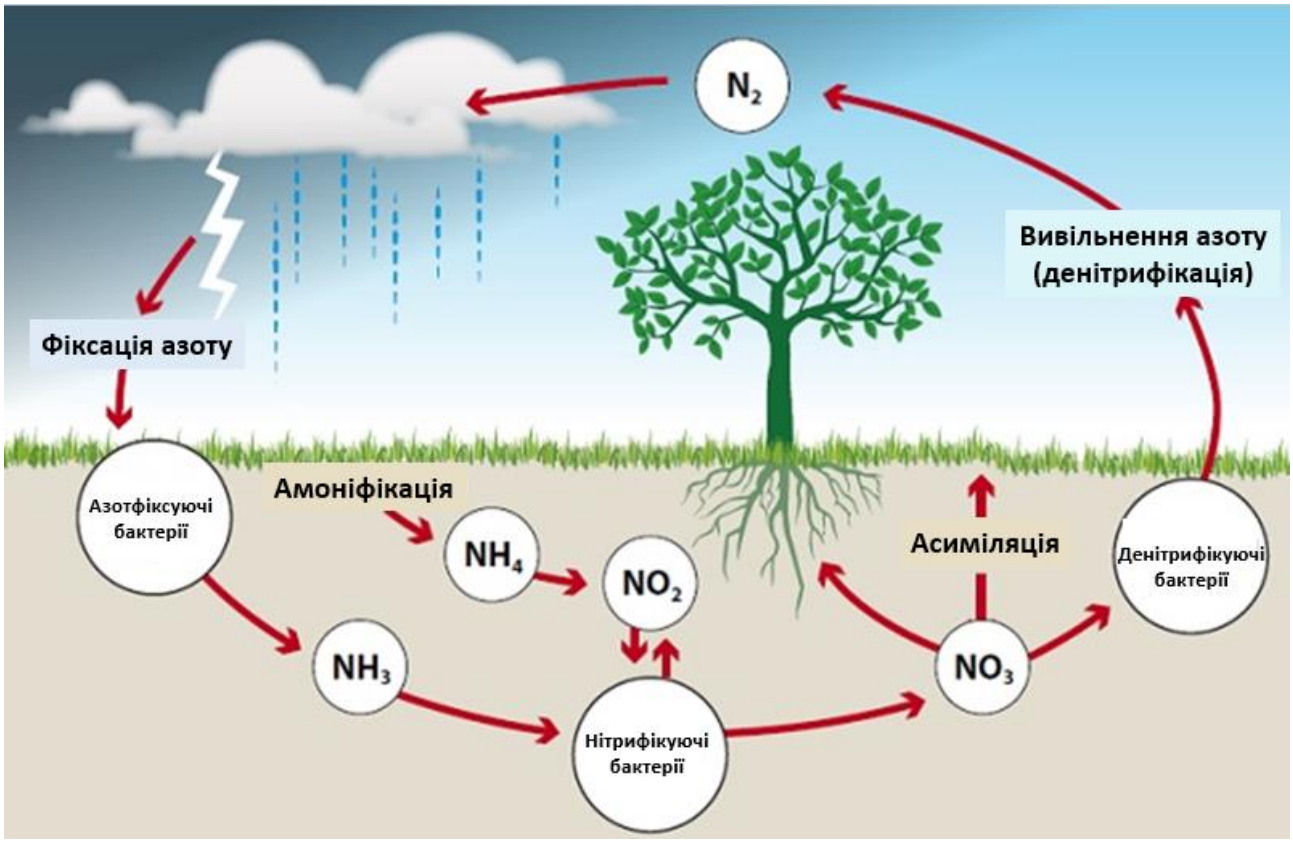


Рис. 9.6. Біогеохімічний цикл азоту

Одна з причин того, що екосистема тривалий час зберігає постійний видовий склад, полягає в тому, що відносини між усіма її компонентами перебувають **у динамічній рівновазі.**

Кожен вид у складі екосистеми представлений популяцією, тобто групою особин, які схрещуються між собою. Стабільність популяцій передбачає, що народжуваність у ній урівноважена смертністю. Динамічна рівновага (або стабілізуюча динаміка) є основою розвитку екосистем.

Розглянемо простий приклад – полювання рисі на зайця (рис. 9.7 нижче). Рівновага у системі «хижак-жертва» досягається за рахунок взаємодії хижака та його жертви.

Коли чисельність зайців невисока, кожен з них може знайти достатньо їжі та схованок для себе та свого потомства. Рівень опору середовища для популяції зайців відносно низький, тому чисельність зайців зростає, незважаючи на присутність хижака - рисі, але при цьому поступово починає зменшуватися кількість доступної їжі та схованок. Велика кількість зайців полегшує рисі полювання та годівлю свого потомства, внаслідок чого її чисельність теж зростає. Незабаром популяція зайців починає відчувати посилення опору середовища у вигляді нестачі їжі, схованок та інтенсивного хижацтва, і тому її величина починає зменшуватись. Відповідно кількість їжі та доступних схованок знов зростає. До того ж, виживають найсильніші зайці. Полювати рисі стає дедалі важче, вона відчуває нестачу їжі, і її чисельність падає, що відповідно, зумовлює збільшення популяції зайців. Потім увесь цикл

повторюється. Ця модель пояснює періодичні коливання чисельності хижаків та їх жертв навколо середнього рівня.

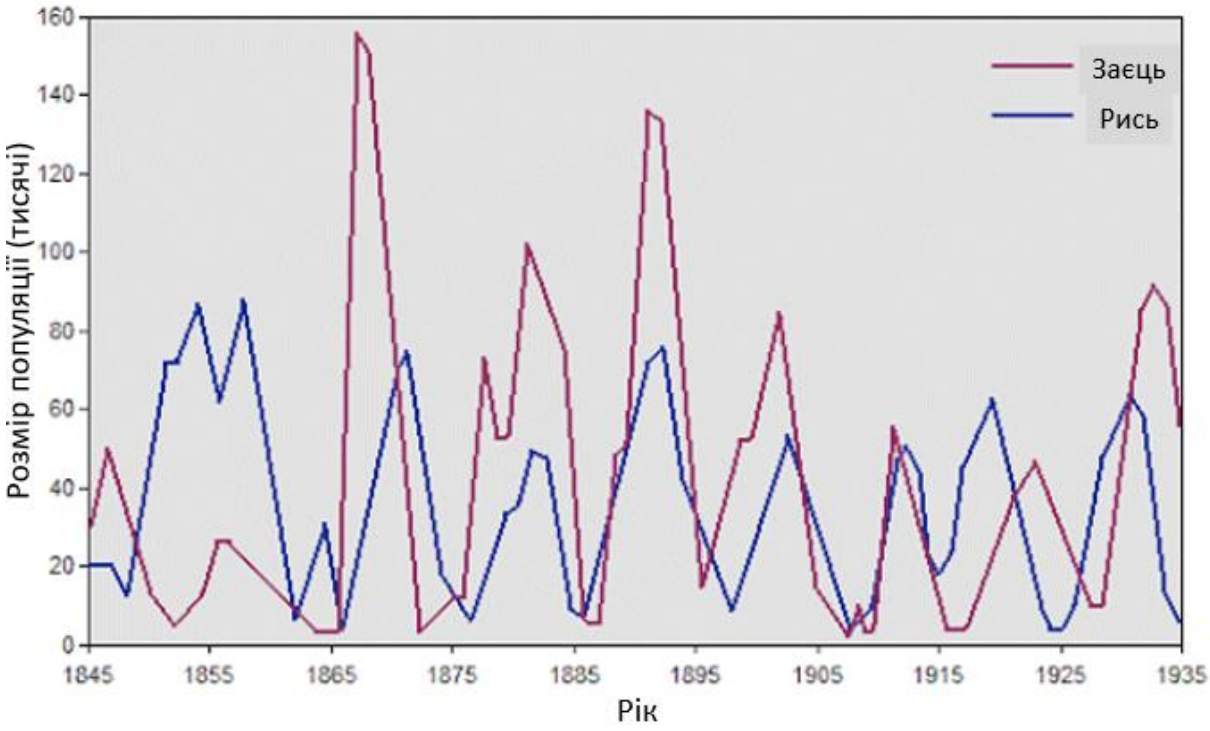


Рис. 9.7. Модель рівноваги системи хижак-жертва

Стабільність екосистем забезпечується їх видовим різноманіттям. Рівновага у системах «хижак – жертва» або «паразит – хазяїн» виникає не автоматично, а встановлюється протягом багатьох тисяч і навіть мільйонів років. За цей час види адаптуються один до одного і до середовища свого мешкання так, що природні вороги ніколи не знищують повністю популяцію своєї жертви.

Отже, **під стабільністю екосистеми** слід розуміти закладену в її генетичній пам'яті здатність протягом усього періоду існування, незважаючи на ті чи інші зовнішні збурення, неухильно реалізовувати свою життєву програму, тобто весь час бути стійкою до впливу зовнішніх чинників.

А **стійкість екосистеми** – це її здатність за допомогою внутрішніх механізмів саморегуляції протистояти зовнішнім впливам, захищатися від них, адаптуватися без істотних змін структурно-функціональних параметрів або швидко повертатися до нормального (стійкого) стану, якщо цей вплив зумовив тимчасове відхилення екосистеми від заданої програми.

Стійкість екосистеми можна визначати за її відношенням до будь-якого одного або кількох конкретних факторів, наприклад, посухи, вітровалу, загазованості повітря, ущільнення ґрунту, грибкових захворювань тощо.

Висока стійкість екосистеми до будь-якого фактора ще не означає, що вона є стабільною. Стабільною екосистема є лише у тому випадку, коли

зберігає стійкість до різноманітних екологічних збурень протягом усього свого «життя» (рис. 9.8).

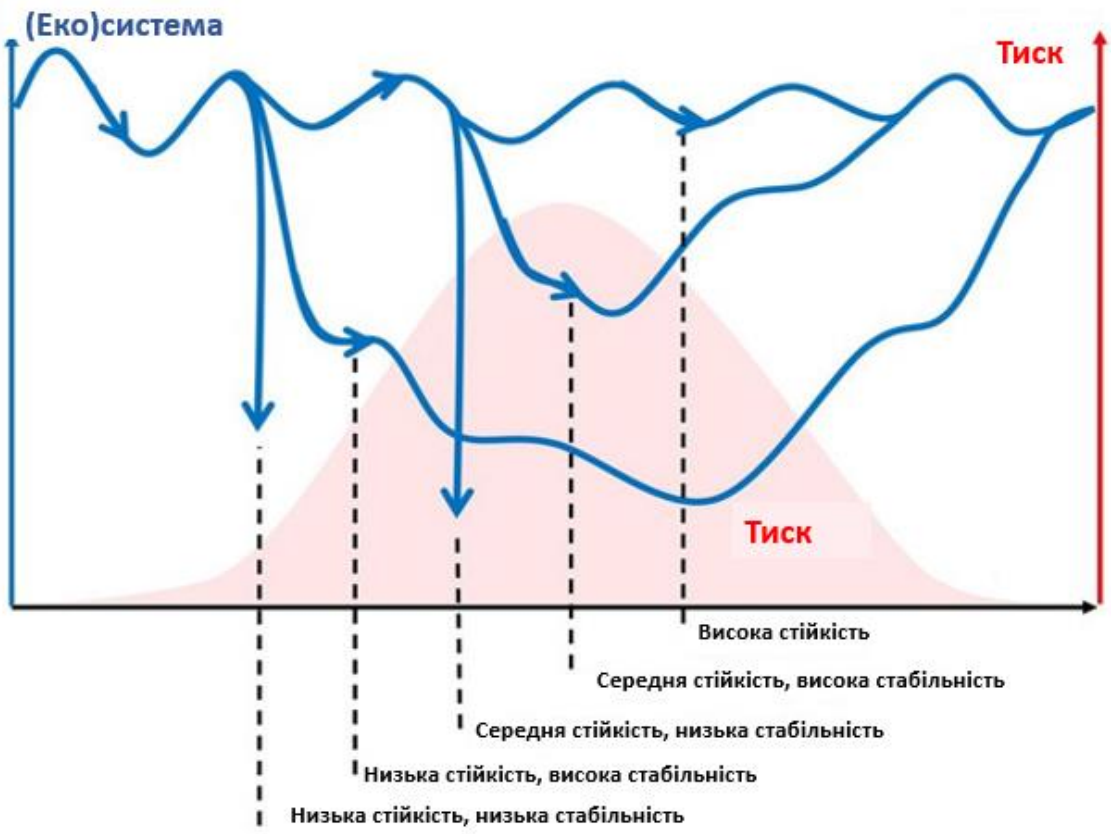


Рис. 9.8. Схематичний графік відгуку (еко)системи на тимчасову зміну умов середовища, що чинить тиск (червоний колір) на систему

Таким чином стабільність і стійкість – це два різні, але тісно пов'язані між собою поняття. Стабільність характеризує структурно-функціональну поведінку екосистеми протягом усього часу її існування, а стійкість – цю саму поведінку протягом невеликого відрізка часу, переважно зумовленого тривалістю дії зовнішнього чинника.

У вивченні стабільності екосистем провідним є історико-генетичний (ретроспективний і прогностичний) структурно-функціональний аналіз. Дослідження ж стійкості більшою мірою пов'язані з оцінюванням короткотривалих структурно-функціональних змін в екосистемах.

Причинами ***змін в екосистемах*** можуть бути дуже різноманітні чинники:

- зовнішні абіотичні і біотичні – коли зміни в малих екосистемах (консорціях, біогеоценозах) зумовлені змінами в екосистемах більших розмірів (ландшафтних) або інтродукцією в екосистему агресивного біотичного компонента (консумента, хижака тощо);

- внутрішні біотичні – зумовлені віковими, статевими або кількісними змінами біотичних компонентів;

- зовнішні циклічні або ритмічні зміни умов освітлення, зволоження, температурного та радіаційного режимів;

- антропогенні – пов’язані з господарською діяльністю людини.

Усі зміни, які є зворотними, кількісними, тобто не виводять екосистему за межі її пружної стійкості та стабільного розвитку, не супроводжуються перебудовою її кібернетичної пам'яті (норм реакцій біотичних компонентів на фактори зовнішнього середовища), зараховуються до категорії **динаміки екосистем, або до їх динамічних змін**.

Динамічність є однією з фундаментальних властивостей природних екосистем, що відображає їх залежність від впливу цілого комплексу факторів того чи іншого регіону планети.

Стан рухомо-стабільної (динамічної) рівноваги екосистеми називають **гомеостазом**.

Гомеостатичність є найважливішою умовою існування будь-якої екосистеми. Іншими словами, ***гомеостаз – це здатність екосистеми протистояти зовнішнім та внутрішнім змінам і зберігати при цьому динамічну рівновагу своїх складу і властивостей, тобто підтримувати стійкий стан системи.*** Він підтримується за рахунок видового складу і чисельності особин у екосистемі.

Як правило, екосистеми існують у певних умовах зовнішнього середовища, яке не є стабільним, а підтримка гомеостазу потребує постійного збереження стійкості. Екосистема з добре вираженим гомеостазом може існувати як стабільна досить довго, доти, доки не буде порушений її гомеостаз. Ступінь досягнення стійкості у різних екосистемах різний; він залежить, від «жорсткості» навколишнього середовища і від ефективності внутрішніх механізмів самої системи.

Екологічна сукцесія

Якщо спостерігати за якоюсь екосистемою протягом декількох років, то можна помітити, що у ній постійно змінюються умови, з’являються нові види, що відображається на взаємовідносинах організмів і в результаті – на структурі екосистеми. Можна простежити спрямований характер змін.

При цьому зміни можуть бути нетривалими, і угруповання легко відновлює свою стабільність, а можуть приводити до істотних змін загальної структури екосистеми та заміни домінантних видів. Внаслідок цих спрямованих змін екосистема стає якісно відмінною від первинної, з новим типом кругообігу речовин, потоком енергії, новим складом видів та іншою продуктивністю.

Зміни зовнішніх умов впливають на деякі види несприятливо – вони зменшують чисельність або і зовсім призводять до зникнення їх з екосистеми. Інші види, навпаки, можуть внаслідок цього отримати переваги, і тоді чисельність їх зросте. Буває й таке, що зміна умов дозволяє включитися до екосистеми новим видам.

Цей процес витіснення одних видів іншими називається **сукцесією** (від лат. *succession* – наступництво, спадкоємство).

Сукцесія – це реакція біоти на зміну природного середовища, а також на форму та інтенсивність антропогенного впливу. Це явище природне, хоча

дедалі частіше сукцесії бувають спричинені діяльністю людини. Як правило, цей процес відбувається у декілька стадій, що нарешті приводить до досягнення кінцевої популяційної рівноваги.

Таким чином, **екологічна сукцесія – це послідовні зміни у структурі та функціонуванні екосистеми або її окремих блоків (у межах динаміки екосистеми) на одній і тій самій ділянці** (наприклад, в процесі заростання оголеної території, відновлення після вітровалу, суцільного вирубування лісу, повені тощо). Сукцесії відбуваються постійно і повсюди, але з різною швидкістю і з різних причин.

Сукцесія проходить через ряд послідовних стадій, які мають назву серійних стадій розвитку. За характером протікання розрізняють первинні, вторинні й еволюційні сукцесії.

Первинна сукцесія – це процес зміни та розвитку екосистем на оголених (позбавлених життя), незаселених ділянках. Він починається з колонізації цих ділянок та піонерної стадії формування фітоценозу (рис. 9.9).



Рис. 9.9. Первинна сукцесія відбувається, коли біоценози формуються на абсолютно новій території, де ще не утворився ґрунт

Це можуть бути оголені скелі, відвали порожньої відпрацьованої породи (терикони), висохлі озера, піщані дюни, застигла лава після виверження вулкану тощо. У первинних сукцесіях вирішальну роль відіграє, як правило, процес ґрунтоутворення.

Вторинна сукцесія – це відновлення екосистем, які вже колись існували на певній території. Це ті сукцесії, що відбуваються після часткового знищення або пошкодження якогось компонента екосистеми.

Прикладом може бути перетворення занедбаних полів у ліси (рис. 9.10 нижче). Якщо поле на місці вирубаного лісу перестати обробляти, за декілька стадій тут знов сформується лісова екосистема. Спочатку оселяються трави, потім їх витісняють вищі види різнотрав’я. Далі у трав’яний покрив укорінюються молоді сосни; під їх пологом новим сходам сосни вже не вистачає світла, тому починає формуватися підріст широколистяних порід.

Нарешті, коли сосни відімруть (40-100 років), вони заміняються листопадним лісом. Для вторинної сукцесії дуже важливим є початкова наявність родючого шару ґрунту; якщо він знищений, сукцесія може відбуватися аналогічно до первинної.

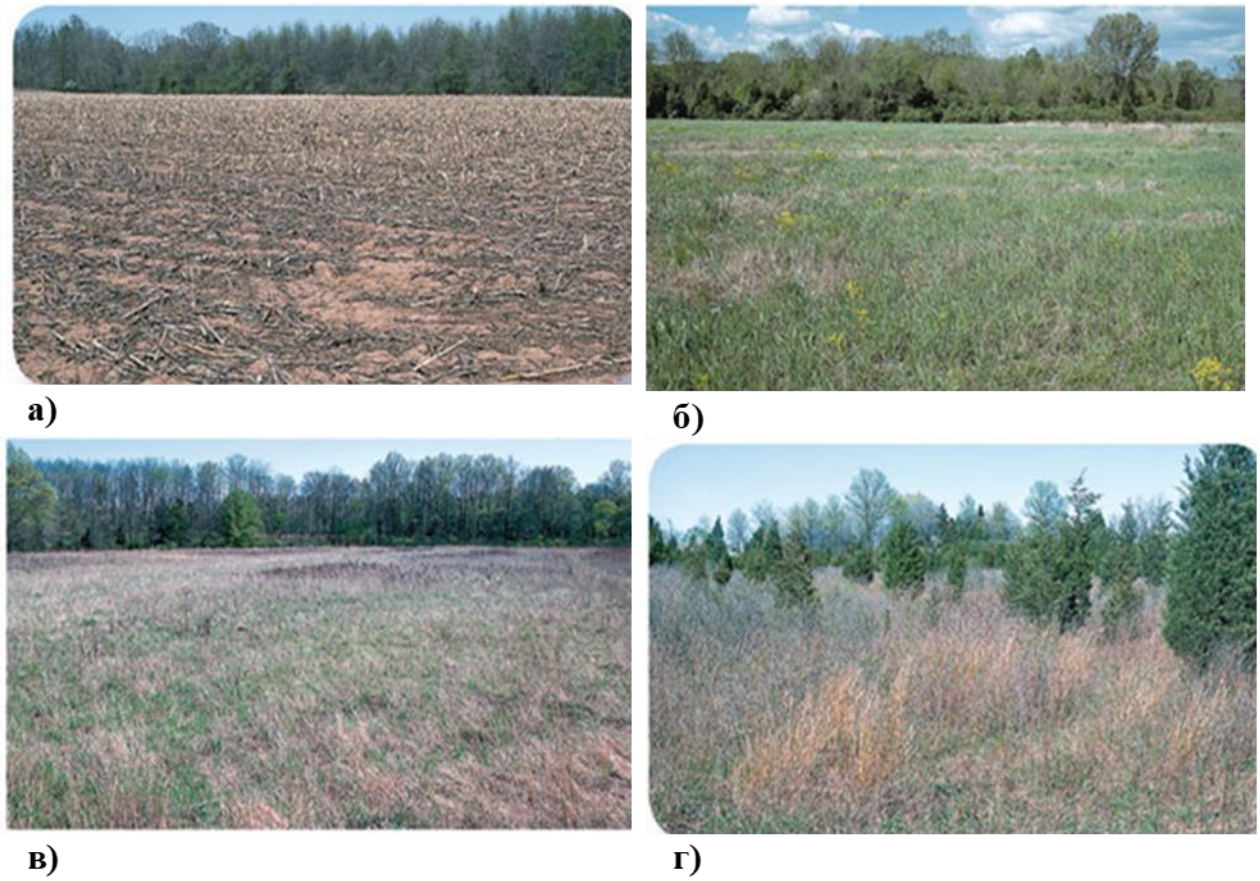


Рис. 9.10. Етапи вторинної сукцесії: а) у перший рік можна побачити лише залишки культурних рослин, б) на другий рік ця територія вже була заросла бур'янами, в) до п'ятого року спостерігаються багаторічні трави, г) через двадцять років крім кущів ожини тут ростуть уже берези та клени

У випадку, якщо одні види вимирають, а ті, що вижили, розмножуються, адаптуються та змінюються під впливом природного відбору, має місце еволюційна сукцесія.

Еволюційні сукцесії (вікові зміни екосистем) – це фундаментальні великомасштабні зміни екосистем, які тривають протягом багатьох століть і навіть тисячоліть. Дослідження свідчать, що екосистеми перебувають у постійному розвитку, змінюються навіть стійкі корінні спільноти, хоча й дуже повільно. Ці зміни зумовлені еволюційними змінами самих видів, тобто супроводжуються зникненням одних та появою інших видів, більш пристосованих до змінених умов мешкання.

Подібні зміни починаються не із заселення позбавлених життя ділянок, а з перебудови внутрішніх зв'язків уже в сформованих екосистемах. Такі перебудови відображають історію розвитку всієї біосфери.

Незворотні зміни, тобто ті, що відображають поступальні якісно нові структурно-функціональні перебудови в екосистемі, належать до еволюційних змін та характеризують еволюцію екосистем.

Якщо динамічні зміни екосистем є зворотними, то це означає, що в усіх випадках, незважаючи на складність і тривалість сукцесії, змінена тим чи іншим фактором екосистема повертається до свого первинного стану.

Таким чином, до категорії динаміки екосистем зараховуються всі ті сукцесійні перетворення, які відбуваються від моменту заселення організмами ґрунтотворної породи, свіжих лавових чи алювіальних полів або оголеної території до виникнення і подальшого існування на цьому місці клімаксової екосистеми.

Отже, сукцесія завершується стадією, коли всі види екосистеми розмножуються і при цьому зберігають відносно постійну чисельність, тому подальших змін її складу не відбувається. Такий рівноважний стан називають **клімаксом**, а екосистему – клімаксовою (від грец. *klimax* – найвища точка, кульмінація).

Коли екосистема наближається до стану клімаксу, у ній спостерігається уповільнення всіх процесів розвитку. Це відповідає закону сукцесійного уповільнення: процеси, які відбуваються в зрілих рівноважних екосистемах, як правило, виявляють тенденцію до зниження темпів.

Як правило, сукцесійні зміни в екосистемах відбуваються поступово, але можливі й різкі зміни, які викликають популяційний вибух деяких видів за рахунок загибелі інших.

У таких випадках говорять не про сукцесію, а про **екологічне порушення**. У більшості випадків вони викликані антропогенним втручанням, наприклад, у результаті скидання теплих стічних вод у природні водойми, що викликає бурхливий зріст деяких водоростей.

Зміни можуть бути такими різкими, що практично жоден компонент екосистеми не зберігається, тобто настає її загибель. Діяльність людини, не враховуючи землетрусів, виверження вулканів та інших природних катастроф, може призвести до порушень та загибелі екосистем.

Ось деякі види антропогенної діяльності, які призводять до зникнення багатьох видів живих істот:

- знищення лісів задля вирощування сільськогосподарської продукції, будівництва житла, заради отримання палива тощо;
- будівництво каналів і гребель на річках, що призводить до осушення одних та затоплення інших територій;
- забруднення води та повітря різноманітними відходами;
- навмисна або випадкова інтродукція нових видів у екосистеми;
- надмірний випас худоби;
- надмірно інтенсивне полювання, рибальство, навмисне знищення хижаків;
- використання пестицидів та отрутохімікатів у сільському господарстві.

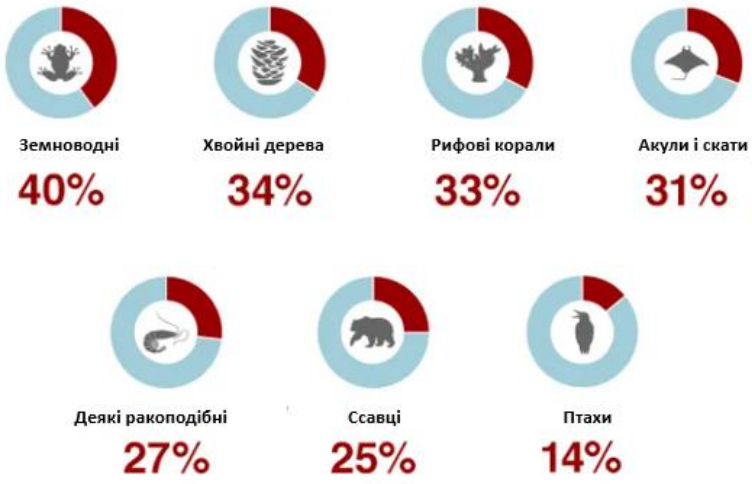


Рис. 9.11. Види, що перебувають під загрозою зникнення згідно з Червоним списком IUCH (Міжнародний союз охорони природи)

Все це та багато іншого призводить до скорочення популяцій та вимирання видів (рис. 9.11), а тим самим – до зниження різноманітності біосфери.

При зміні будь-якого фактора (наприклад, стійкого похолодання) вид, який погано пристосований до нових умов, може розвиватися одним з трьох шляхів:

- *міграція* – пошук місця проживання з відповідними умовами існування;
- *адаптація* – пристосування до виживання в нових умовах. Відповідно до так званої «аксіоми Дарвіна», кожен вид адаптований до чітко визначеної, специфічної для нього сукупності умов існування – екологічної ніші;
- *вимирання* – жодна особина популяції не може мігрувати та адаптуватися; її генофонд зникає.

Кожна жива істота споживає з навколишнього середовища речовини, а також виділяє в нього продукти своєї життєдіяльності. Крім того, ця істота народжується, живе та відмирає. Екосистеми переробляють відходи за принципом: якщо речовина є продуктом життєдіяльності одного організму, то в екосистемі обов'язково знайдеться інший, здатний її утилізувати.

Коли організми послідовно живляться один одним, то утворюються умови для кругообігу речовин, без якого не можливе життя. Зважаючи на це, визначають такі головні принципи функціонування екосистем:

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

Отже, найголовнішими функціональними ознаками екосистем є засвоєння і трансформація енергії; продукування органічної маси; переміщення речовинно-енергетичних ресурсів уздовж трофічних ланцюгів; деструкція

мертвої органіки і біотичний кругообіг; постійна динаміка, розвиток та еволюція; а також саморегуляція, стійкість і стабільність.

Незважаючи на різноманітність, усі екосистеми мають структурну схожість. Усі категорії організмів (продуценти, консументи, редуценти, детритофаги) у будь-якій екосистемі тісно взаємодіють між собою, узгоджуючи потоки речовини та енергії. їх сумісне функціонування не лише підтримує структуру і цілісність біоценозу, а й істотно впливає на абіотичні компоненти біотопу, зумовлюючи при цьому самоочищення екосистеми та її середовища.

Різноманітні типи взаємовідносин між різними видами організмів – мутуалізм, паразитизм, конкуренція тощо – є базою для складної біологічної системи, що функціонує як єдине ціле.

При цьому чим різноманітніші та міцніші зв’язки, що підтримують спільне існування видів і популяцій, тим більш стійкою є екосистема.

Найважливіша функція екосистем – безперервний обмін речовинами, енергією та інформацією між усіма живими компонентами та середовищем їхнього існування – здійснюється завдяки взаємодії організмів різних трофічних груп між собою та навколишнім середовищем.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЮ 3

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8

Мета: Вивчити екосистемний рівень організації живої матерії, концепцію лімітуючих факторів та їх практичне застосування в екологічних дослідженнях.

Завдання

1. За даними таблиці 8.1 побудуйте чотири графіка впливу температури на життєдіяльність даних організмів. На графіках виділіть зони оптимуму, нормальної життєдіяльності, пригнічення (песимуму), вкажіть верхню і нижню межі витривалості.

Підберіть термін для вираження відносного ступеня толерантності цих видів по відношенню до температури.

Таблиця 8.1

Виживання особин різних видів при коливанні температури

(за Одумом, 1986 р.)

Вид	Процент особин, що вижили, при різних значеннях температури																				
	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Голець (ікра) 	0	0	10	30	60	30	20	7	5	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Леопардова жаба 	-	0	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	50	20	10	5	0	0	0
Антарктична риба 	0	40	80	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Карпозуб 	-	-	-	-	-	-	0	5	20	30	40	60	90	70	60	40	30	20	10	5	0

2. 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.

3. Навести приклади практичного застосування законів принципу лімітуючих факторів

4. Навести приклади антропогенного впливу на довкілля (прямого та опосередкованого).

ПРАКТИЧНА РОБОТА 9

Мета: Ознайомитися з елементами трофічної структури екосистеми. Визначити мережу трофічних зв'язків на прикладі біогеоценозу лісу.

Завдання

1. Провести дослідження трофічних зв'язків (можна в межах консорції – одного великого дерева, наприклад дуба, або невеликої групи з двох-трьох дерев). Встановити і накреслити основні трофічні ланцюги, пов'язані з цією консорцією.. У разі дослідження дуба визначити біоценотичні зв'язки з іншими видами:

- Які тварини споживають його листя, жолуді, листовий опад; які паразитують на листі, стовбурі?
- Які птахи прилітають, щоб живитися жолудями чи комахами – шкідниками?
- Які тварини використовують дерево як домівку (гнізда, дупла, нірки)?
- Які хижаки відомі у регіоні, зустрічаються на цій ділянці дубового лісу?

Закінчивни дослідження, складіть повну схему трофічної мережі дослідної ділянки.

Замалюйте складену трофічну мережу.

2. Використовуючи правило екологічної піраміди, зробити відповідні розрахунки: видове різноманіття лісової екосистеми: трава; заєць; вовк; ягідний кущ; рослинна комаха; павук; синиця; яструб; бактерії-сапрофіти. Скласти ланцюг живлення пасовищного типу.

Визначити біомасу ягідних кущів, яка необхідна для того, щоб біомаса яструбів в даній екосистемі лісу становила 200 кг.

3. Зробити висновок щодо співвідношення понять «біогеоценоз» та «екосистема».

ПРАКТИЧНА РОБОТА 10

Мета: З’ясувати практичне застосування правила екологічної піраміди та закону концентрування.

Завдання

1. Опрацювати алгоритм розв’язку екологічних задач:

- Визначити тип ланцюга живлення, необхідного для розв’язку задачі.
- Розмістити організми даної екосистеми по трофічних рівнях, пам’ятаючи про явище поліфагії.
- Побудувати екологічні піраміди біомас для всіх необхідних ланцюгів живлення.
- Застосовуючи правило екологічної піраміди, розрахувати біомасу організмів на кожному трофічному рівні.
- Визначити масу ксенобіотика на кожному трофічному рівні, пам’ятаючи про властивості ксенобіотиків у трофічних ланцюгах.
- Розрахувати концентрацію ксенобіотика на всіх трофічних рівнях і визначити необхідну для розв’язку задачі.

2. На рисунку 10.1 показано передачу ксенобіотика по трофічних рівнях біоценозу.

Складіть схему даного трофічного ланцюга.

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.

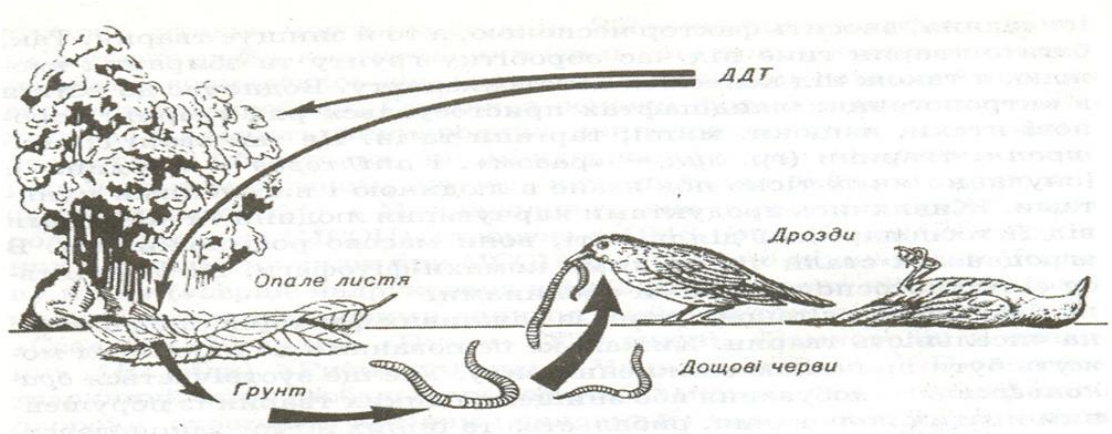


Рис. 10.1. Передача ксенобіотика по ланцюгу живлення

Складіть схему даного трофічного ланцюга.

Розрахуйте можливу концентрацію ДДТ у зеленій біомасі дерев, якщо його концентрація у ґрунті становила 0,07 мг/кг ($ГДК_{ДДТ}$ = 0,100 мг/кг). Маса дрозда – 1,2 кг. Для даної умовної навчальної моделі приймемо, що коефіцієнт біоакумуляції/біомагніфікації становлять 10 %.

Результати розрахунків представити у вигляді таблиці 10.1.

Таблиця 10.1

Розрахунки біомаси організмів та концентрації ксенобіотика

Номер трофічного рівня	Біомаса організмів, кг	Маса ксенобіотика, г	Концентрація ксенобіотика, г/ кг
I			
II			
III			

3. До екосистеми ставу входять такі організми: водорості багатоклітинні; дафнія; жаба; карась; окунь; сапрофітні.

Складіть схему трофічної мережі цієї екосистеми.

Розрахуйте можливу концентрацію свинцю в тілі окуня, якщо його концентрація у біомасі водоростей 0,3 г на кг. Маса водоростей – 700 кг.

4. Видове різноманіття біогеоценозу лісу: трава; заєць; вовк; ягідний кущ; рослинна комаха; павук; синиця; яструб; бактерії-сапрофіти.

Розрахуйте можливу концентрацію свинцю в траві масою 20 тонн цього ж біогеоценозу, якщо концентрація свинцю в тілі яструба становила 7 г на кг біомаси.

5. Зробіть відповідні висновки щодо властивостей ксенобіотиків та закону концентрування ксенобіотиків при переході з одного трофічного рівня на інший.

Питання для обговорення та самоперевірки

1. Що таке екосистема? У чому полягає відмінність між екосистемою та біогеоценозом?

2. Початковим джерелом енергії в екосистемах є … (вставте пропущені слова).

3. З яких компонентів складається біотична структура екосистем?

5. Які організми в екосистемах належать до гетеротрофів?

6. Яка функціональна група організмів належить до першого трофічного рівня?

7. Що таке «ланцюг живлення»? Назвіть основні типи трофічних ланцюгів.

8. Фотосинтезуючими організмами є переважно зелені рослини (так чи ні).

9. Що характеризує піраміда біомаси?

10. Скільки процентів енергії переходить на кожен наступний рівень екологічної піраміди? У чому полягає закон піраміди енергії Ліндемана?

11. Енергія в екосистемі ніколи не використовується повторно (так чи ні).

12. У чому полягає закон концентрування речовин у трофічних ланцюгах?

13. Чому забруднення є катастрофічно небезпечним при дії закону концентрування, перш за все, для самої людини?

14. Від чого залежить первинна біопродуктивність?

15. У чому полягає особливість циклу карбону?

16. Стан рухомо-стабільної (динамічної) рівноваги екосистеми називають … (вставте пропущений термін).

17. Чи є стабільність і стійкість екосистеми тотожними поняттями?

18. Що таке екологічна сукцесія? Назвіть види сукцесії.

19. Назвіть головні принципи функціонування екосистем.

МОДУЛЬ 4. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОСФЕРОЛОГІЇ

Тема 10. ВЧЕННЯ ПРО БІОСФЕРУ

Поняття про біосферу як всеосяжну планетарну екосистему

Вперше термін біосфера використав австрійський вчений – геолог Едуард Зюсс у 1875 р. Термін біосфера походить від двох слів: *біо* – життя і *сфера* – сфера. Таким чином, біосфера – це область існування живої речовини (за Вернадським), оболонка земної кулі, яка включає верхні шари літосфери, гідросферу та нижню частину атмосфери, склад, структура й енергетика якої значною мірою зумовлені минулою або сучасною діяльністю організмів. Це сукупність усіх біогеоценозів Землі, єдина глобальна екосистема вищого рангу.

Жива речовина біосфери (сукупність організмів нашої планети) забезпечує постійний кругообіг речовин і потік енергії, здійснює значні біогеохімічні перетворення геосфер.

Володимир Іванович Вернадський був у числі перших, хто сприймав Землю як єдиний живий організм, в якому зовсім різні, на перший погляд, процеси у трьох зовнішніх сферах Землі – літосфері, гідросфері й атмосфері – тісно пов’язані між собою (рис. 10.1).

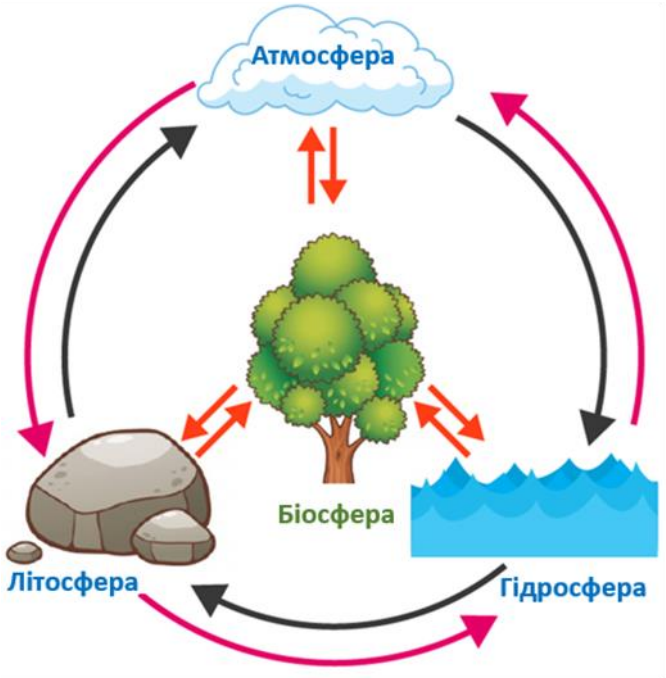


Рис. 10.1. Складові біосфери

В.І. Вернадський одним із перших усвідомив величезний перетворюючий вплив живих організмів на усі три зовнішні оболонки Землі в планетарному масштабі, тісну взаємодію і взаємозалежність усіх форм життя. Це дало йому поштовх до створення всеохоплюючої теорії біосфери, тобто тієї частини зовнішніх оболонок нашої планети, яка безпосередньо пов'язана з існуванням життя на Землі. Він дав таке визначення біосфери: «Біосфера являє собою оболонку життя – область існування живої речовини».

Унікальність біосфери

1) біосфера є унікальною, незамінною і неповторною біотичною системою. Дрібних екосистем типу консорції чи біогеоценозу є безліч, вони – взаємозамінні;

2) біосфера відрізняється від інших екосистем практично безмежною тривалістю існування. Час існування інших екосистем обмежений: для

індивідуальних консорцій він визначається тривалістю від кількох місяців до сотень і кількох тисяч років, для біогеоценозів – від тисяч до мільйонів років, для екосистем вищих ступенів – до десятків мільйонів років;

3) біосфера зберігає безмежно великий запас генетичної інформації, що накопичувався мільярди років, унаслідок чого ця інформація є практично невичерпною.

Запаси інформації підпорядкованих їй екосистем, безперечно, менші хоча б через те, що пам'ять біосфери – це інтегральна пам'ять усіх екосистем Землі;

4) біосфера є найдосконалішою саморегульованою системою з найповнішими механізмами самозахисту від руйнівного впливу зовнішніх космічних і внутрішньопланетних збурень.

У процесі еволюції органічного світу в ній виробився не лише ефективний механізм синтезу органічної речовини за рахунок використання сонячної енергії, а й накопичення в атмосфері вільного кисню, формування озонового екрана як одного з найважливіших засобів захисту живого в біосфері. На відміну від біосфери малі екосистеми існують не в ентропійному абіотичному середовищі, а в організованому біотичному середовищі біосфери і захищені від зовнішніх збурювальних впливів не лише своїми внутрішніми механізмами, а й біосферними;

5) на відміну від малих екосистем біосфера характеризується величезними запасами вільної енергії, не лише тієї, що накопичена в сучасних підпорядкованих їй екосистемах, а й вільної енергії, накопиченої екосистемами минулих епох;

6) біосфера вирізняється величезним різноманіттям життєвих форм, видів, внутрішньовидових структур й екосистем, просторовою і функціональною асиметрією, потужними механізмами самозбереження, прогресивного саморозвитку, постійним зростанням організованості та неентропійності й практично незнищеністю.

Основні типи речовини в біосфері

За В. І. Вернадським виділяють шість головних типів речовини біосфери:

1. Жива речовина, що представлена організмами різних видів.

2. Біогенна речовина, що є продуктом життєдіяльності організмів (наприклад, кам'яне вугілля, торф).

3. Нежива речовина (косна), в утворенні якої живі організми не брали участі.

4. Біокосна речовина, що сформована за рахунок взаємодії живої та косної речовин. Основним видом біокосної речовини є грунт.

5. Радіоактивна речовина.

6. Космічна речовина (наприклад, метеорит).

Все живе в біосфері утворює живу речовину. Жива речовина – це біомаса живих організмів: рослин, тварин і мікроорганізмів. Живі організми відіграють дуже велику роль у геологічних процесах, які формують обличчя Землі. Хімічний склад сучасних атмосфери і гідросфери зумовлений життєдіяльністю

організмів. Велике значення організми мають також для формування літосфери – більшість порід, і не лише осадових, а й метаморфічних, так чи інакше пов'язані своїм походженням з біосферою.

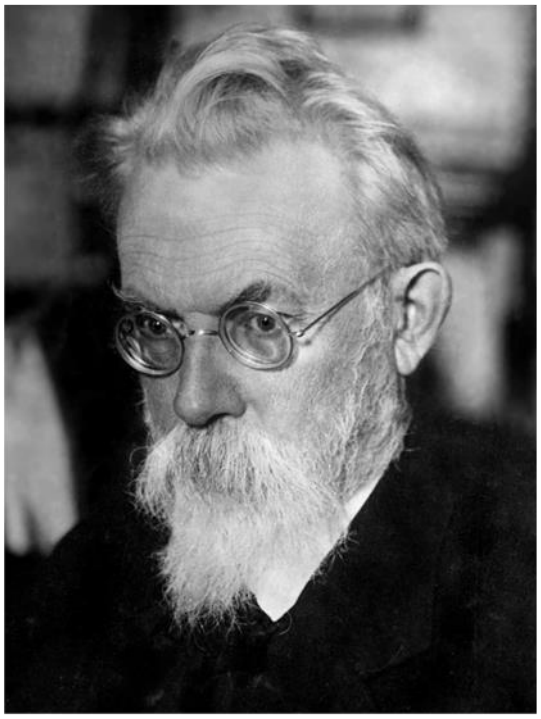


Рис. 10.2. Володимир Іванович Вернадський (1863–1945 рр.)

Мінеральна нежива речовина переробляється життям, перетворюється в нову якість. Живі організми не лише пристосовуються до умов зовнішнього середовища, а й активно їх змінюють. Таким чином, жива та нежива речовини на Землі становлять гармонійне ціле.

Такі властивості живої речовини, як постійне споживання й перетворення енергії, швидкий обмін речовинами між організмами й середовищем, здатність до самовідтворення і організації складних саморегульованих біологічних систем, визначають її основні функції в біосфері. Для живої речовини В.І. Вернадський виділяв такі основні функції: газову, кисневу, окислювальну, відновлювальну, кальцієву, концентраційну, руйнівну, метаболічну і дихальну. Він уперше ввів та обґрунтував поняття плівки життя – тобто суцільного біогеоценотичного покриву Землі.

Уявлення В.І. Вернадського про ноосферу

Антропогенний вплив на природне середовище настільки зріс, що воно часто не може з ним справитися, і стабільна рівновага порушується. Чи зможе людство запобігти руйнації середовища свого існування і запобігти самознищенню?

З цього приводу В.І. Вернадський залишався оптимістом. Він вірив, що людство, не зупиняючи свого руху по шляху прогресу, знайде шляхи збереження рівноваги на планеті, і зазначив цей шлях: біосфера, змінена силою озброєного науковими знаннями людства, неминуче перетвориться в ноосферу – сферу Розуму.

На думку В. І Вернадського, людство повинно взяти на себе відповідальність за подальшу еволюцію біосфери інакше в нього не буде майбутнього. Основна ідея В.І. Вернадського – розум повинен управляти біосферою. Він писав: «Ми повинні ясно розуміти, що людство і далі буде перетворювати біосферу, але це перетворення повинно погоджуватися з потребами людства, що зростає з розвитком суспільства».

Тема 11. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ

Зміна клімату як основна глобальна проблема

Навколишнє середовище відіграє значну роль у житті. Воно забезпечує такі невід'ємні потреби людей, тварин та рослин життя, як вода, їжа, притулок та повітряні ресурси. Тим часом людські повсякденні дії та рішення негативно впливають на навколишнє середовище.

Екологічні проблеми – це суперечності, що виникають у процесі взаємодії суспільства та природи внаслідок неконтрольованого антропогенного впливу.

Екологічні проблеми зумовлені людською діяльністю, в процесі якої людина свідомо чи несвідомо порушувала наявні пропорції та рівновагу. І по мірі збільшення чисельності людського населення стає все більш ясно, що навколишнє середовище змінюється.

Вимірювання змін у глобальному середовищі та відстеження цих змін є важливим першим кроком у підвищенні обізнаності та вирішенні проблемних питань. Поточні екологічні проблеми включають кліматичні зміни, забруднення навколишнього середовища, зміни у землекористуванні, втрату біорізноманіття, відходи, знелісснення та багато інших.

Про ***зміну клімату*** ведуть активні дискусії вже понад півстоліття. Попри початковий скептицизм, нині наукова спільно погодилася, що саме антропогенний чинник впливає на пришвидшення зміни клімату та масштабує багато процесів.

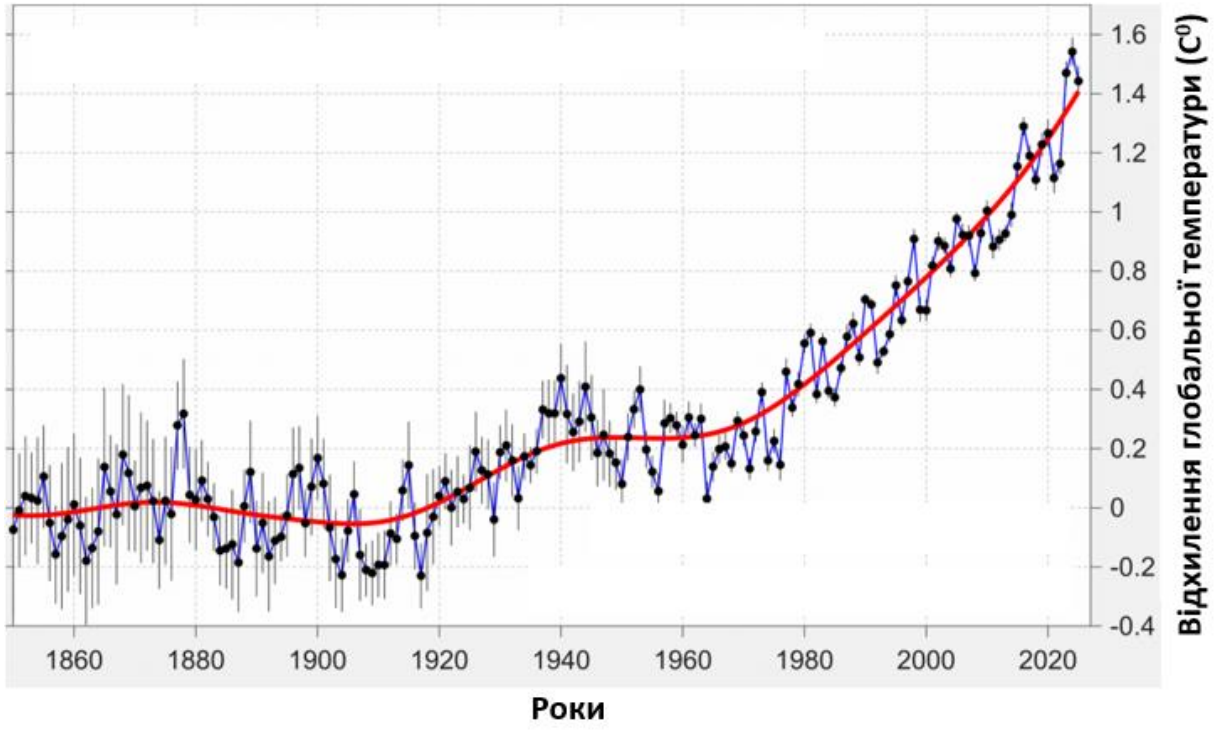


Рис. 11.1 Зміни глобальної температури (1850–2025 рр.). Протягом 2025 року на 9,1 % поверхні Землі було зафіксовано рекордно високе середньорічне значення температури, зокрема на 10,6 % суходолу та 8,3 % океану.

Зміна клімату є однією з найбільших загроз для здоров'я людини і екосистем, і досягнення сталого розвитку. Вона також є каталізатором більшості інших екологічних ризиків.

Розширення масштабів впливів зміни клімату проявляється в таненні льодів, підйомі рівня моря, збільшенні частоти повеней і засух, деградації екосистем, втрати біорізноманіття та функцій ґрунтів, а також у втратах в процесі виробництва продовольства, зміні переносників хвороб і посиленні впливу забруднення на здоров'я людини.

Багато наукових даних свідчать, що клімат Землі змінюється. Варто відзначити, що підвищення глобальної температури – це тільки один елемент спостережуваного глобальної зміни клімату.

Згідно з останньою спеціальною доповіддю МГЕІК (Міжурядової групи експертів зі зміни клімату), «діяльність людини, за оцінками, викликала глобальне потепління приблизно на 1,0°С вище за доіндустріальний рівень, з ймовірним діапазоном від 0,8°С до 1,2°С».

Середня глобальна температура на Землі збільшилася приблизно на 0,8° С з 1880 р. – дві третини потепління сталося з 1975 р. зі швидкістю від 0,15 до 0,20° С за десятиліття (рис. 11.1 вище). За даними ВМО, 20 найтепліших років в історії людства припали на останні 22 роки.

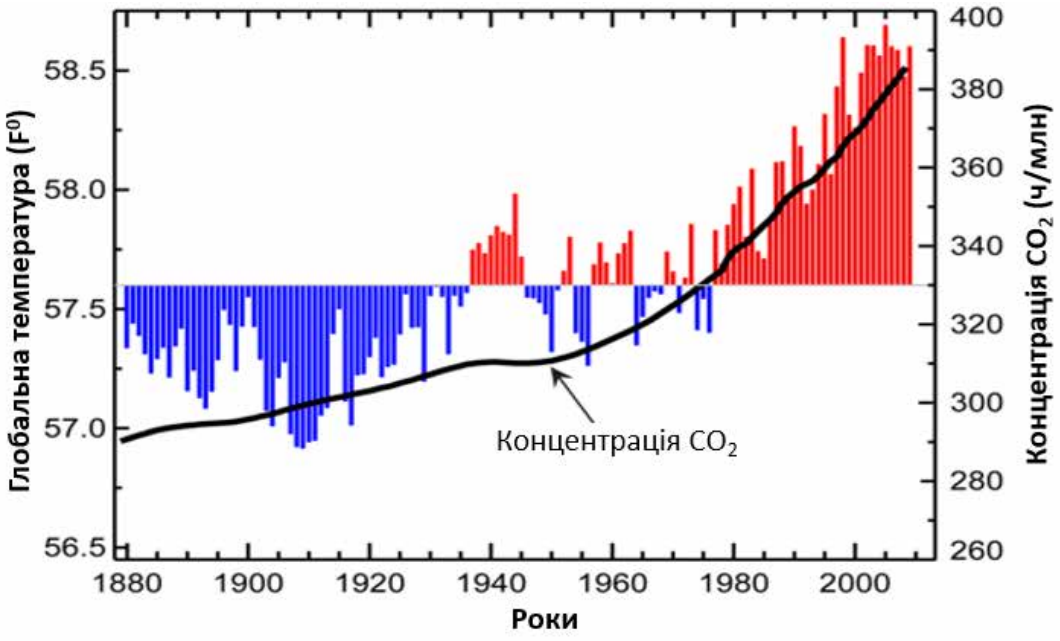


Рис. 11.2. Залежність температури і викидів парникових газів: червоні смуги вказують на температуру вище, а сині смуги – на температуру нижче середньої температури за 1901-2000 роки, чорна лінія показує концентрацію двоокису вуглецю в атмосфері (у частинах на мільйон).

«Якщо глобальна температура збільшиться більш, ніж на два градуси, то будуть безповоротні катастрофічні наслідки. А з теперішніми темпами викидів парникових газів все йде до того, що до кінця століття температура може підвищитися на 4-5 градусів», – зазначають експерти.

Підвищення температури зумовлене збільшенням викидів парникових газів, що найбільш активно викидаються у повітря під час спалення викопних видів палива – нафти, газу та вугілля (рис. 11.2 вище). Наслідки цього вже добре відчутні: 2022 рік став п'ятим найспекотнішим роком за всю історію спостережень. У підтвердження цьому 12 липня 2022 року середній рівень CO_2 в атмосфері Землі становив 417 мільйонних часток. Востаннє настільки високим рівень вуглекислого газу був близько трьох мільйонів років тому, коли рівень моря становив на 30 метрів більше, ніж нині, а сучасної людини ще навіть не існувало.

Підвищення рівня Світового океану: Глобальне потепління призводить до танення багаторічної мерзлоти у Північній та Південній півкулях, що, разом із фізичним явищем розширення води, спричиняє підвищення рівня Світового океану.

За останні 100 років середній глобальний рівень моря підвищувався із середньою швидкістю близько 1,7 мм/рік, що значно перевищує швидкість, усереднену протягом останніх тисяч років. З 1993 року глобальний рівень моря підвищувався з швидкістю, що прискорюється, близько 3 мм/рік (рис. 11.3).

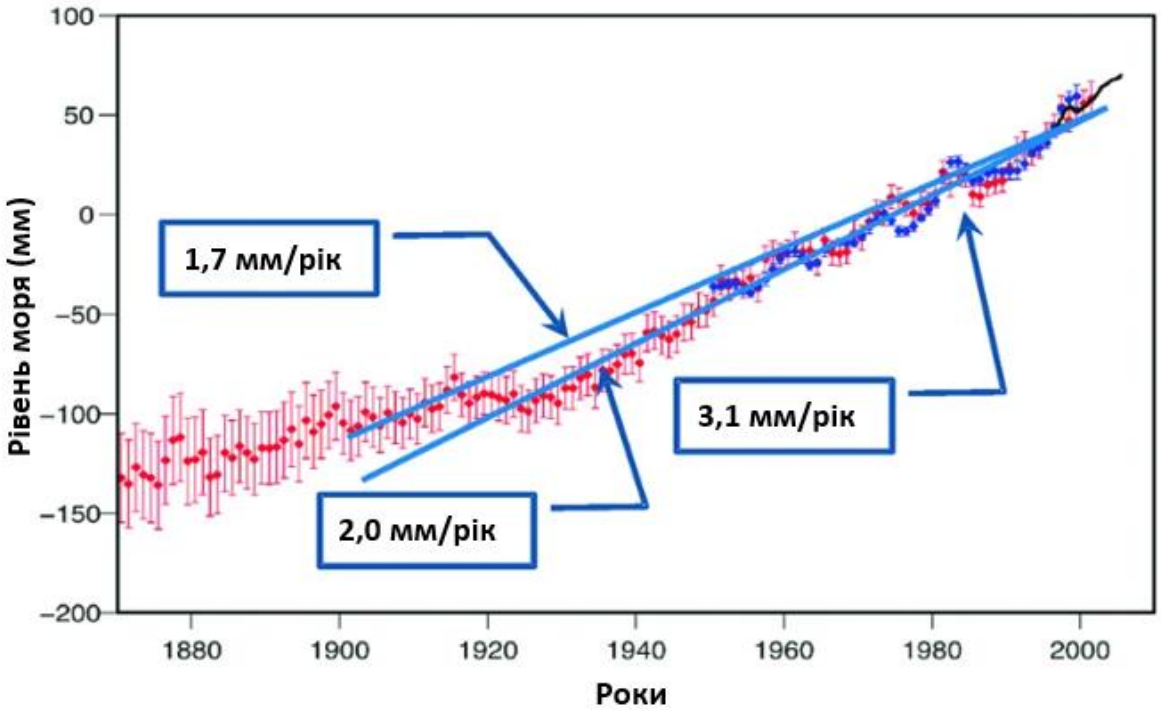


Рис. 11.3. Цей графік відображає підвищення рівня моря з XIX ст. та прискорення цього процесу протягом останніх кількох десятиліть: червоні точки показують реконструйовані дані з 1870 р., сині точки – вимірювання припливних мареографів на узбережжі з 1950 р., а синя крива базується на сучасних даних супутникової альтиметрії

Прискорення темпів танення льодовиків та зростання середньорічної температури робитимуть цей процес ще швидшим. І хоча на перший погляд

цифри здаються незначними (кілька міліметрів на рік), однак дослідження показують, що підвищення рівня моря в цьому столітті може затопити прибережні території, де зараз проживає від 340 до 480 мільйонів людей, спричинивши масштабну хвилю кліматичної міграції. В Україні, за розрахунками ГО «Екодія», може бути затоплено близько 650 тисяч гектарів суходолу, а 75 тисяч людей змушені будуть переселитися.

Закислення океану. Світовий океан поглинає близько 30% вуглекислого газу, який викидається в атмосферу Землі. Виділення двоокису вуглецю є невід'ємним наслідком як антропогенної діяльності, так і багатьох природних процесів, зокрема – лісових пожеж. Навіть найменша зміна в шкалі pH може мати значний вплив на морські екосистеми (рис. 11.4): це спричиняє загибель деяких видів (особливо коралових рифів, адже вони мають низьку толерантність до змін умов середовища), зміну трофічних ланцюжків, руйнування оселищ та, у підсумку, все швидшу втрату біорізноманіття.



Рис. 11.4. Мушля птерапода, розчинена в морській воді з урахуванням зміни хімічного складу океану до 2100 р. згідно з моделлю Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (NOAA)

Середньорічний сніговий покрив Північної півкулі останні десятиліття зменшився. Ця закономірність узгоджується з теплішими глобальними температурами. Найбільше скорочення спостерігається у весняні та літні місяці. Вчені моделюють, як може змінитися клімат Землі у найближчі 100 років, і результати показують, що сніг покриватиме меншу частину планети, особливо над Європою та Азією.

Обсяг льодовиків зменшується. Гляціологи оцінюють стан льодовика, вимірюючи його річний баланс маси, який є сукупним результатом накопичення снігу (приріст маси) та танення (втрата маси) протягом певного року. Баланс маси відображає атмосферні умови протягом (гідрологічного) року, і, якщо його вимірювати протягом тривалого періоду та відображати у сукупному вигляді, тенденції в балансі маси стають показником зміни клімату.

Потепління температури призводить до танення льодовиків та крижаних щитів. Загальний обсяг льодовиків Землі різко скорочується.

Льодовики відступають по всьому світу, принаймні протягом останнього століття; а у останнє десятиліття швидкість відступу збільшилася. На рис. 11.5 показано річний баланс маси еталонних льодовиків, за якими вже понад 30 років проводяться гляціологічні вимірювання. Значення щорічних змін маси на осі Y наведено в одиницях метра водного еквівалента (м в.е.), що відповідає тоннам на квадратний метр (1 000 кг/м²).

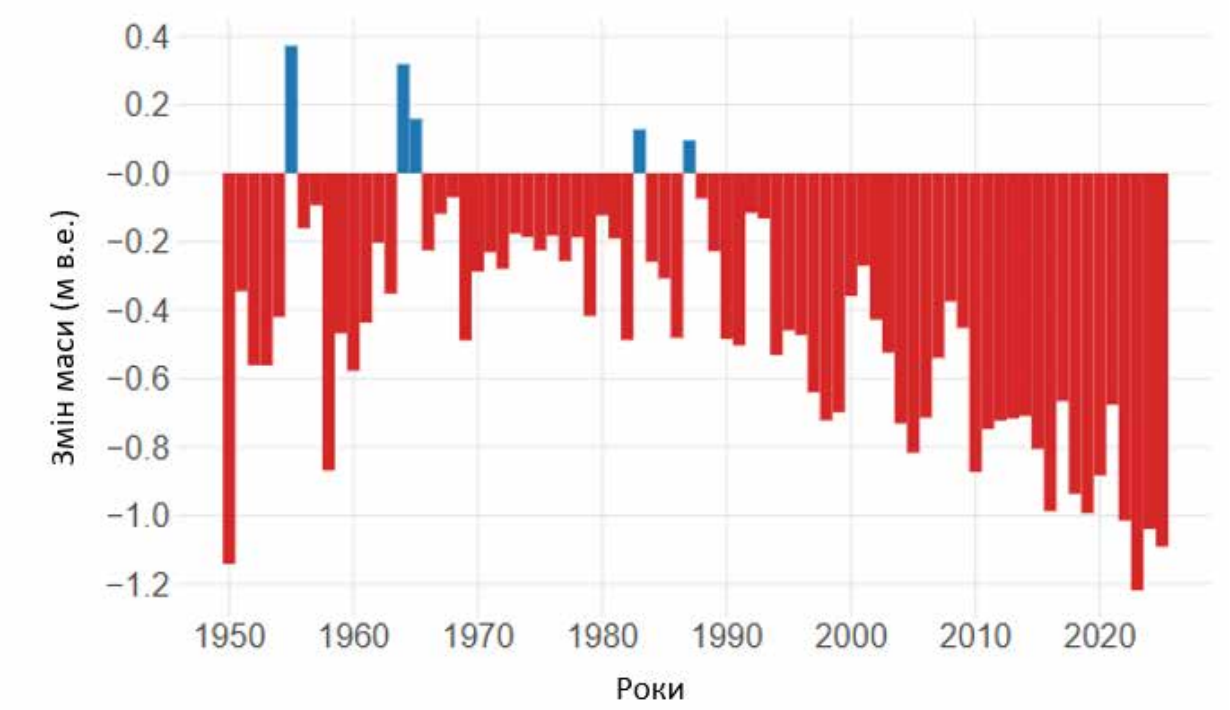


Рис.11.5. Щорічна зміна маси льодовиків за даними Всесвітньої служби моніторингу льодовиків (WGMS)

Поступове зникнення льодовиків має наслідки не тільки для підвищення глобального рівня моря, але й для запасів води в деяких регіонах Азії та Південної Америки. З 1994 року Земля щороку втрачала в середньому 400 мільярдів тонн своїх льодовиків.

Науково доведено, що проникнення до стратосфери штучно створених хімічних речовин, таких, як хлорфторвуглеводні, бромхлорвуглеводні, бромистий метил, чотири хлористий вуглець, знищують **озоновий шар Землі**. Мільйони молекул озону руйнуються кожну хвилину і результатом цього процесу є збільшення кількості ультрафіолетового випромінювання, яке досягає поверхні Землі.

Подолання цієї проблеми можливе лише завдяки скоординованим діям людства на глобальному рівні. Усвідомлюючи це, уряди практично усіх країн світу приєдналися до Монреальського протоколу і, тим самим, взяли на себе зобов’язання із досягнення головної мети – згортання виробництва з використанням озоноруйнівних речовин у різних секторах промисловості.

Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар, було підписано 16 вересня 1987 р. низкою країн, занепокоєних руйнуванням захисного озонового шару Землі і готових вживати конкретні кроки для вирішення цього глобального виклику. Протокол є прикладом ефективної співпраці між розвиненими країнами і країнами, що розвиваються, наочно підтверджуючи той факт, що глобальні проблеми охорони довкілля можуть вирішуватися спільними зусиллями всіх країн, готових втілювати міжнародні угоди.

Без цього протоколу, як показують моделі, відбулося б катастрофічне виснаження озонового шару, що призвело б до того, що всі живі організми на Землі зазнали б впливу величезних і дедалі більших небезпечних доз ультрафіолетового випромінювання. Після досягнення піку на рубежі століть завдяки Монреальському Протоколу озонова діра над Антарктикою поступово скорочується (рис. 11.6).

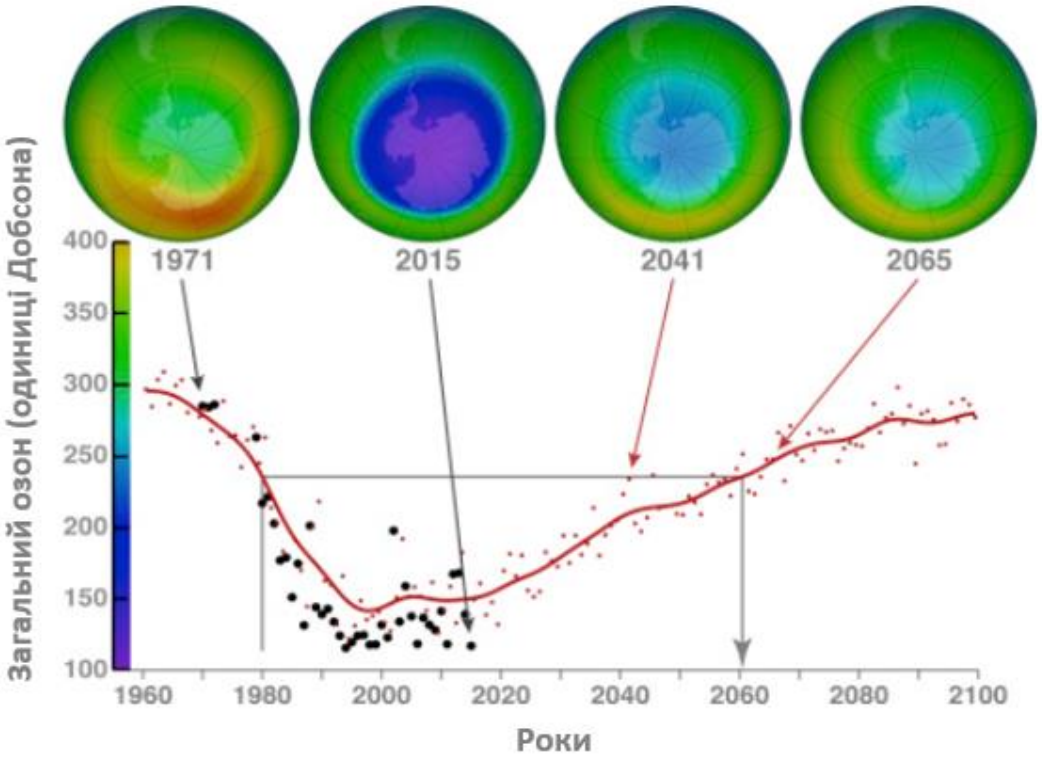


Рис. 11.6. Прогнозоване відновлення озонової діри над Антарктикою. Візуалізація Національного управління з аеронавтики та дослідження космічного простору США (NASA)

Завдяки участі та прихильності майже всіх країн (195 у 2011 році) у, можливо, «єдиній найуспішнішій міжнародній угоді на сьогоднішній день» (Кофі Аннан, колишній Генеральний секретар ООН, щодо Монреальського протоколу), споживання озоноруйнівних речовин зменшилося на 93% з 1992 по 2009 рік і на 98% з моменту заснування Протоколу в 1987 році.

Численні докази підтверджують висновок про те, що людська діяльність є основною рушійною силою нещодавнього потепління!

Глобальні кліматичні моделі ясно показують вплив діяльності людини змін на глобальну температуру (рис. 11.7).

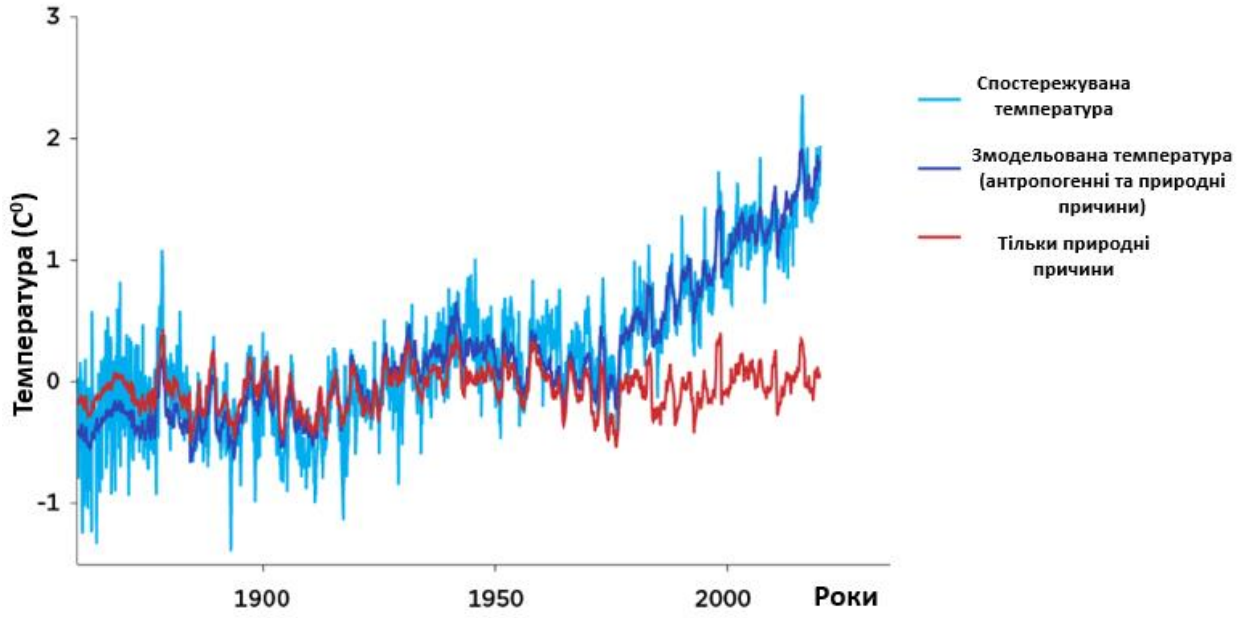


Рис. 11.7. На клімат можуть впливати різні природні чинники, але якщо підсумувати ці впливи, вони не можуть пояснити нещодавнє стрімке підвищення температур. А якщо врахувати людську діяльність, криві збігаються майже ідеально

Викиди вуглекислого газу (CO_2) від спалювання викопного палива є основним фактором зміни клімату. Загалом розвинені країни та основні країни з економікою, що розвивається, лідирують у загальних викидах вуглекислого газу.

За даними Інституту світових ресурсів, на трьох найбільших емітентів (викидачів) парникових газів – Китаю, Європейського Союзу та США – припадає 41,5% від загального обсягу глобальних викидів, у той час як на частку 100 країн з нижньої частини списку припадає лише 3,6%. У сукупності на долю 10 найбільших викидачів припадає понад дві третини глобальних викидів парникових газів.

Все у світі тісно взаємопов’язано, тому з 2022 року *значним чинником зміни клімату стала повномасштабна російсько-українська війна*. Численні пожежі на складах боєприпасів, нафтобазах, й просто в лісах та степах сильно впливають на процеси, що спричиняють зміну клімату у Північній півкулі. Ще не існує точного підрахунку внеску від війни, проте вже зрозумілі механізми впливу на клімат.

За розрахунками вчених, сумарний внесок дії дрібнодисперсної сажі від пожеж на тепловий баланс Землі більший за всі парникові гази, окрім вуглекислого. Механізм впливу попелу на зміну клімату такий: через свій

маленький розмір, часточки сажі можуть переміщуватись на великі відстані та довго не осідати на землю. Особливо сильно це проявляється у сухі періоди року, тоді попіл з повітряними масами може переноситись навіть на території з вічною мерзлотою. У нормі біла та блискуча поверхня льодів відбиває сонячні промені і це не дає атмосфері перегріватися. Але коли мерзлота покривається попелом, природного процесу відбиття сонячної радіації не відбувається – починається процес нагрівання та прискорення танення.

За мирного життя зміни клімату відбуваються через антропогенну діяльність – викиди підприємств, вихлопні гази, сезонні лісові пожежі. В нормі кліматологи враховують це й можуть змоделювати стан клімату через 50-100 років. Проте війна з росією, не керується ні звичаями війни, ні здоровим глуздом, тому внесок такого фактора у зміну клімату зараз порахувати взагалі неможливо.

За даними Міжнародної експертної групи GHG Accounting of War (ініціатива з обліку викидів парникових газів під час війни), повномасштабне вторгнення Росії в Україну призвело до зростання викидів парникових газів (ПГ) на 75 мільйонів тонн еквіваленту CO_2 ($тCO_2e$) на четвертий рік війни, в результаті чого загальний обсяг викидів з 24 лютого 2022 року склав 311 мільйонів $тCO_2e$.

Забруднення атмосфери, гідросфери та порушення літосфери

Якісне повітря, поряд з водою, є найважливішим елементом для життя людини та всіх компонентів біосфери. Забруднення повітря – це забруднення внутрішнього або зовнішнього середовища будь-якими хімічними, фізичними або біологічними агентами, які змінюють природні характеристики атмосфери.

Забруднення повітря включає всі забруднювачі, що містяться в атмосфері. Ці небезпечні речовини можуть бути у вигляді газів або частинок.

Дані Всесвітньої організації охорони здоров’я показують, що від 4,2 до 7 мільйонів людей у всьому світі щороку помирають через забруднене повітря і що 9 із 10 людей дихають повітрям, яке містить високий рівень забруднювальних речовин.

Тверді частки та приземний озон зараз є загальновизнаними двома забруднювачами, які найбільше впливають на здоров’я людини. Довгостроковий та максимальний вплив цих забруднювачів коливається за тяжкістю наслідків – від погіршення стану дихальної системи до передчасної смерті.

Забруднення твердими частками – це суміш твердих речовин і крапель рідини, що плавають у повітрі. Деякі частинки виділяються безпосередньо з конкретного джерела, а інші утворюються в складних хімічних реакціях в атмосфері.

Крупні тверді частки ($ТЧ_{10}$) мають діаметр від 2,5 до 10 мікрометрів. Джерелами є дробильні або шліфувальні роботи та пил, що знімається транспортними засобами на дорогах.



Рис. 11.8. Порівняння розмірів твердих часток

Дрібні частки ($ТЧ_{2.5}$) мають діаметр 2,5 мікрометра або менше, і їх можна побачити лише за допомогою електронного мікроскопа, як видно з рис. 11.8. Дрібні частинки утворюються від усіх видів горіння, включаючи автотранспортні засоби, електростанції, спалювання деревини в будинках, лісові пожежі, спалювання решток у сільському господарстві та деяких промислових процесів.

ТЧ можуть діяти як каталізатор хімічних реакцій на їх поверхні. Таким чином, токсичний ефект ТЧ посилюється вмістом інших забруднюючих речовин у повітрі. Усі ці особливості унеможливлюють чітке визначення «безпечної» концентрації ТЧ у повітрі. Ось чому експерти Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендують значення, які визначають мінімальний ризик для здоров'я населення.

Україна мала найвищу кількість смертей, пов'язаних із забрудненням повітря, на кожні 100 тис. осіб, виходячи з рейтингу 120 країн у 2017 році.

Як показали дослідження за результатами аналізу супутникових знімків Copernicus Sentinel 5p та даних про забруднення повітря з контрольованою якістю Служби моніторингу атмосфери Copernicus, проведені у 2018-2020 роках, концентрація дрібнодисперсних твердих часток ($ТЧ_{2,5}$ та $ТЧ_{10}$) зменшувалася з півдня на північ країни, водночас найвищі концентрації спостерігалися у промисловому регіоні сходу України (рис. 11.9 нижче). Середні концентрації ТЧ у 2,5 перевищували норми ВООЗ у 127 районах з найбільшими значеннями у Донецькій та Дніпропетровській областях, а також у місті Київ.

У верхніх шарах атмосфери озон присутній природньо (озоновий шар), і це – перевага, що захищає землю від небезпечного космічного випромінювання. *Приземний («поганий») озон* є найнебезпечнішим забруднювачем і при високих концентраціях знищує все живе і неживе (автомобільна гума, наприклад, перетворюється в труху). Це один з головних і небезпечних компонентів фотосмога.

Озон утворюється внаслідок хімічної реакції між киснем, оксидом азоту та вуглеводнем під дією сонячної радіації в умовах високої температури, низької вологості повітря та слабкого вітру.

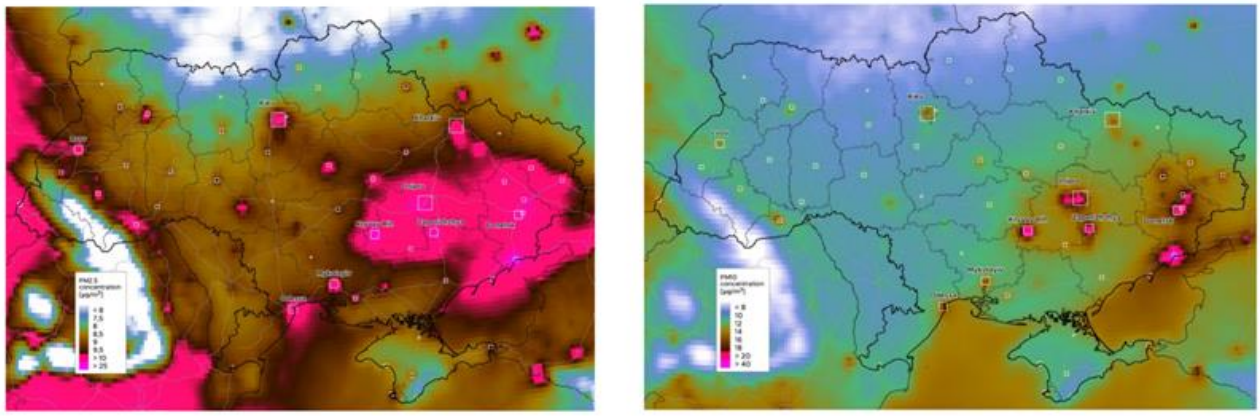


Рис. 11.9. Середні концентрації $ТЧ_{2,5}$ та $ТЧ_{10}$ на території України у період з липня 2017 р. по липень 2020 р.

Сполука нестійка, є дуже сильним окислювачем першого класу небезпеки, отруйною речовиною, яку можна порівняти із синильною кислотою.

Війна в Україні найбільший вплив здійснює саме на атмосферу, адже воєнні дії пов'язані із постійними пожежами та вибухами. Обидві сторони підривають позиції одне одного, склади боєприпасів та техніку. Мільйони тонн викидів потрапляють в атмосферу — дрібнодисперсний пил, оксиди азоту, оксиди сірки, альдегіди, ангідриди тощо. За даними Держекоінспекції, орієнтовні розрахунки збитків від війни, що задані атмосфері, зараз складають понад1000 млрд грн.

Вчені з Українського гідрометеорологічного інституту дослідили вплив повномасштабної війни на якість повітря в Україні та з'ясували, що деякі російські атаки призвели до зростання концентрації забруднюючих речовин більш ніж на 1 000 %, тоді як довгострокові зміни були неоднаковими.

Довгострокові зміни є більш складними, оскільки вони відображають не лише викиди, пов'язані з атаками, а й руйнування промислових об'єктів, збільшення використання генераторів, внутрішнє переміщення населення, що призводить до зменшення викидів від транспорту, перехід на більш забруднювальні види палива та інші фактори.

Вода – дефіцитний і неймовірно цінний ресурс, необхідний для підтримки життя, розвитку сільського господарства та промисловості. Охорона та екологічна реабілітація водних ресурсів є пріоритетом екологічної політики.

Протягом другої половини минулого століття і початку нинішнього постійно зростала кількість невирішених проблем, пов'язаних з водними ресурсами. З кожним роком споживання води збільшується, а зниження її якості істотно впливає на здоров'я людини.

Водні ресурси нашої планети складають близько 1,5 млрд куб. км, – це більше половини поверхні Землі. Води на планеті достатньо. Однак, 98% – це солоні води Світового океану, а з 2% прісної води тільки 0,3% розташовані на поверхні землі, ще близько 30% – під землею, а інші 70% – у льодовиках.

Понад два мільярди людей на планеті не мають на даний момент постійного доступу до чистої питної води. За прогнозами експертів, в майбутньому ситуація з водозабезпеченням погіршиться. Це негативно вплине на світову економіку. Очікується, що до 2050 року 45% світового ВВП та 40% світового виробництва зернових опиниться під загрозою через шкоду, завдану людиною навколишньому середовищу, та брак водних ресурсів (рис. 11.10).

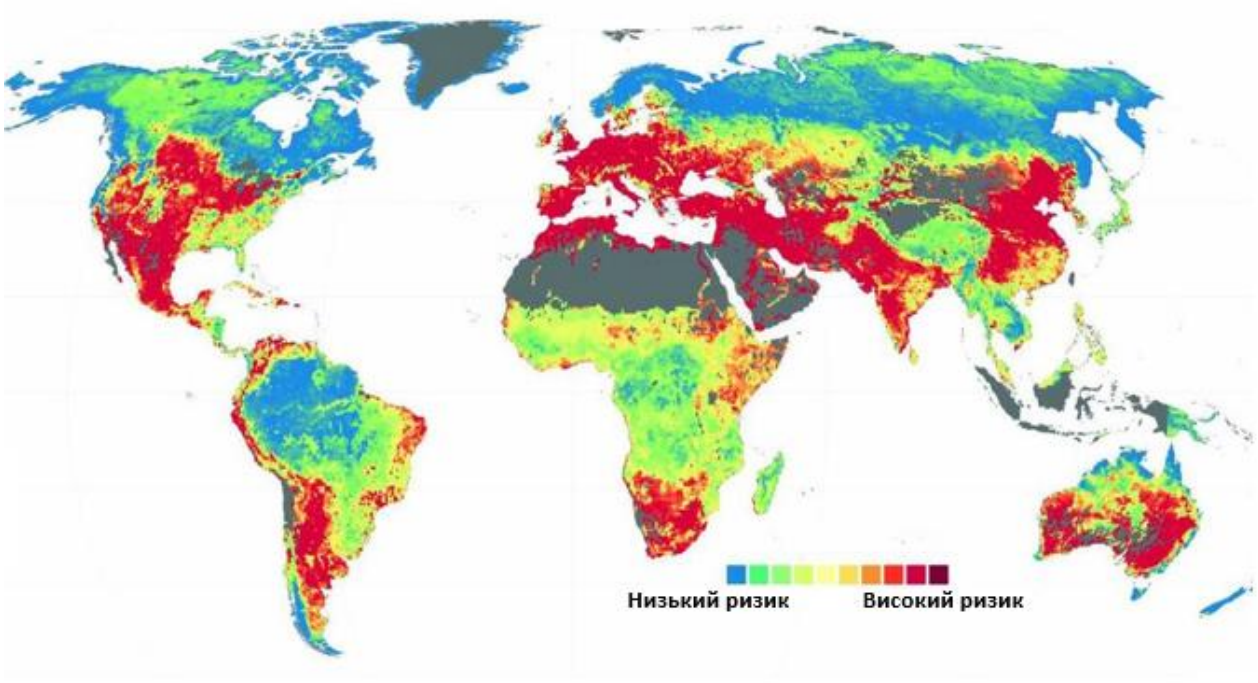


Рис. 11.10. На цій карті показано індекс якості води, що узагальнює глобальні прогнози щодо біологічної потреби в кисні, електропровідності та вмісту азоту за даними Світового банку

Зміна клімату та військова агресія рф призвели до того, що *водна безпека України опинилась під загрозою*. За даними Міндовкілля, усі небезпечні речовини від вибухів і підривів на мінах, а також бойової артилерії потрапляють у річку Дніпро. Крім того, масові поховання просочують і забруднюють підземні води. У деяких регіонах люди не мають доступу до чистої води, оскільки не мають належних фільтрів для води. Усі хімікати, які потрапляють у Дніпро, потім потрапляють у Чорне та Азовське моря. Крім того, військові дії на території Чорного моря призводять до затоплення кораблів і витоку з них нафти. Таким чином забруднення поширюється по морях і досягає сусідніх країн.

Прогнозується, що з 2041 р. можливе значне скорочення місцевого поверхневого стоку у річках в Херсонській, Одеській, Миколаївській, Дніпропетровській та Запорізькій областях. Це може призвести до того, що у найближчі 30 років дефіцит прісної води зростатиме, а після 2050 року Україна може навіть перейти до її імпорту.

Деградація земель визнається як глобальне явище, яке впливає на екосистемні послуги і продуктивність агроекосистем, а також на засоби до існування. Це серйозна загроза для біорізноманіття та стійкості екосистем і їх функцій.

Деградація земель також є серйозною загрозою для продовольчої безпеки, доходів і засобів до існування, сільського населення, особливо в країнах, що розвиваються, і, таким чином, має велике екологічне, соціальне, економічне і культурне значення.

Зміни в землекористуванні призводять до погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунтів, викликаючи тим самим забруднення води і повітря. Розростання міст призводить до втрати орних земель, природних середовищ існування та втрати біорізноманіття.

Деградація земель обумовлена декількома причинами, в тому числі екстремальними погодними умовами, особливо посухами, і діяльністю людини, яка забруднює або погіршує якість ґрунтів і корисність земель, що негативно впливають на виробництво продуктів харчування, засобів до існування, а також виробництво і надання інших екосистемних товарів і послуг.

Протягом 20-го століття деградація земель прискорилася у зв'язку зі збільшеним і комбінованим тиском сільськогосподарського та тваринницького виробництва (надмірний обробіток, надмірний випас худоби, вирубка лісів), урбанізації, знезлісення і екстремальних погодних явищ, таких як посухи і прибережних хвилі, які засолюють землю (рис. 11.11).

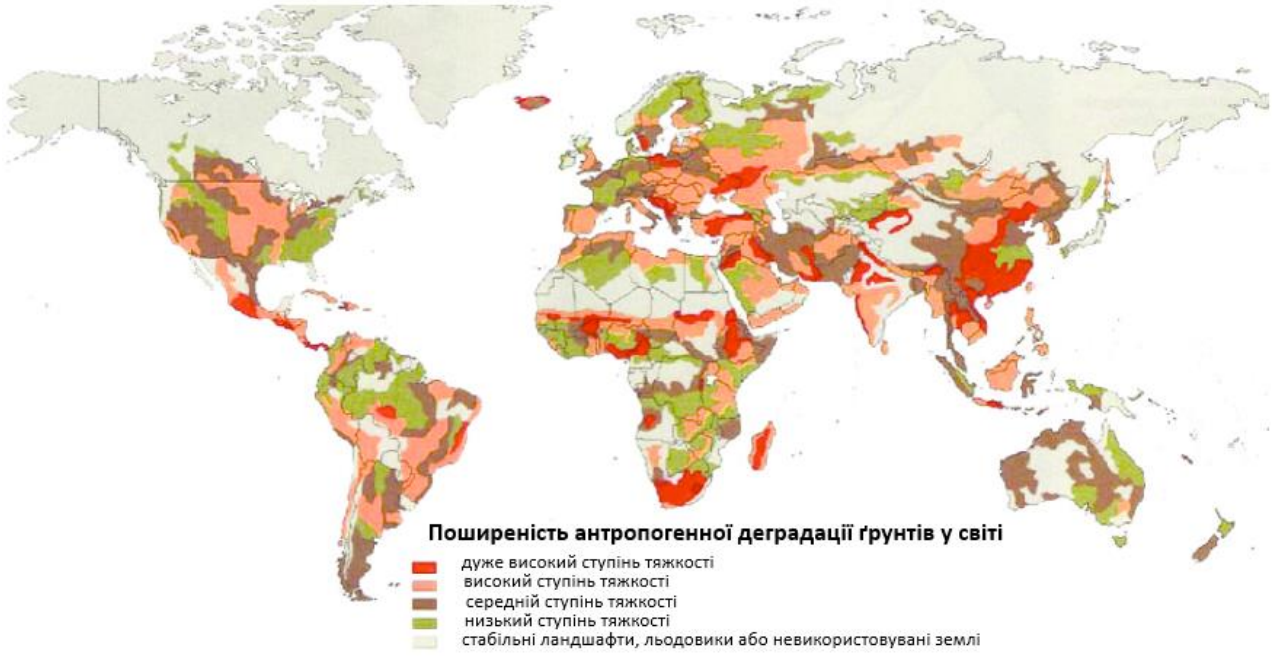


Рис. 11.11. Деградація ґрунтів, спричинена діяльністю людини

За даними Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням (КБО ООН), деградація земель зачіпає 1,5 млрд людей по всьому світу. 2,6 мільярда людей

безпосередньо залежать від сільського господарства, але 52% землі, що використовується для сільського господарства помірно або сильно страждає від деградації ґрунтів.

Опустелювання є формою деградації земель, внаслідок чого родюча земля стає пустелею. Через посуху і опустелювання щороку втрачається 12 мільйонів гектарів (23 га/хв!), де можна було б отримувати 20 мільйонів тонн зерна (КБО ООН, 2017 р.). Опустелювання є глобальною проблемою з серйозними наслідками у всьому світі для біорізноманіття, еко-безпеки, подолання бідності, соціально-економічної стабільності та сталого розвитку.

Зважаючи на глобальні тенденції, такі, як динаміка населення і збільшенням попиту на енергоносії, продукти харчування та воду, як очікується, різко зросте тиск на землю. До 2030 року – і в порівнянні з нинішнім рівнем – попит на продукти харчування, енергію і воду зросте як мінімум на 50%, 45% і 30% відповідно.

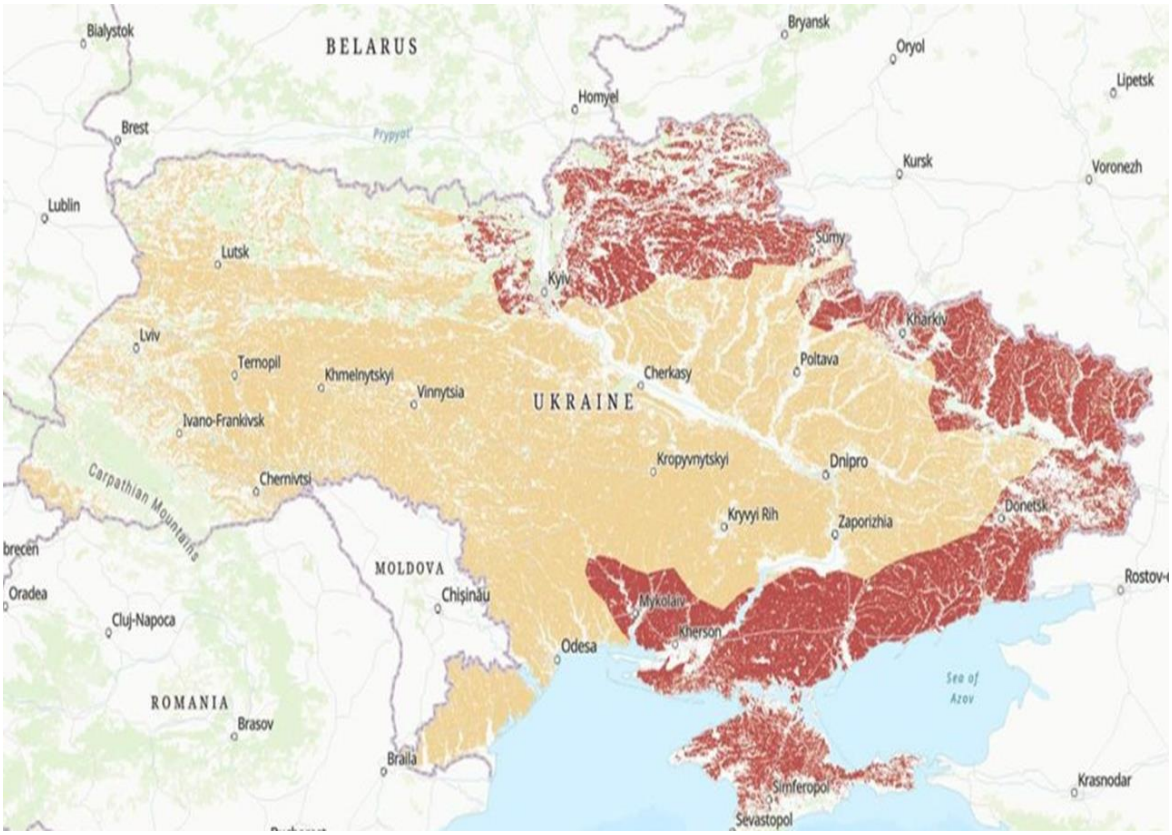


Рис. 11.12. Карта сільськогосподарських ландшафтів України в контексті російської військової агресії (джерело: Українська природоохоронна група), де темнішим кольором позначено сільськогосподарські ландшафти України, що розташовані в зоні ризикованого землеробства

Задоволення цих запитів потребують 175 млн до 220 млн га додаткової орних земель. Ці потреби не будуть задоволені, якщо ми не збережемо нашу землю.

Сучасне використання земельних ресурсів України не відповідає вимогам раціонального природокористування. Стан земельних ресурсів України близький до критичного.

На сьогодні, враховуючи, що більшість воєнних дій, відбувалися в зоні поширення найродючіших ґрунтів України і Європи, можна передбачити, що вплив забруднення й наслідки від ерозії на сільське господарство буде дуже значним і вірогідно, більш значущим, ніж вплив на дику природу. Унаслідок ведення бойових дій, розташування військових і допоміжних підрозділів, мінного забруднення було пошкоджено сотні гектарів сільськогосподарських угідь, які для повернення в обіг потребуватимуть спеціальної рекультивації (рис. 11.12 вище).

Втрата біорізноманіття

Виснаження природних ресурсів продовжується різними способами та у багатьох частинах світу. Вода, земля та біорізноманіття майже скрізь перебувають під великим тиском.

Від викопного палива до чистої води – суспільство використовує дуже багато природних ресурсів. Деякі природні ресурси, такі як сонячне світло або вітер, є відновлюваними, в той час як інші, такі як природний газ або дерева, необхідно берегти, оскільки їх неможливо замінити так само швидко, як вони використовуються.

З 1970 року населення світу подвоїлося, глобальна економіка зросла в чотири рази, а міжнародна торгівля збільшилася в 10 разів. Аби прогодувати, одягнути й дати енергію цьому світу, що постійно зростає, ліси вирубують неймовірними темпами, особливо в тропічних районах.

Зокрема, щогодини вирубують ліси площею з 300 футбольних полів. Сільське господарство є головною причиною вирубки лісів, земля розчищається для вирощування худоби або харчових рослинних культур. Якщо темпи та підхід до вирубки та відновлення лісів не зміниться, то до 2030 року на планеті може бути лише 10% лісів.

Знеліснення тропічних лісів становить майже 1 відсоток на рік. Знеліснення тропічних лісів є цілком реальною і постійною загрозою для природних ресурсів та навколишнього середовища в цілому.

Біологічна різноманітність – або біорізноманіття – це термін, що позначає різноманітність життя на Землі та утворювані нею природні структури.

Втрату біорізноманіття можна визначити як вимирання видів. Втрата біорізноманіття стає більш серйозною проблемою, ніж ми думали. За оцінками експертів, понад 500 видів наземних тварин знаходяться на межі зникнення і, ймовірно, будуть втрачені протягом наступних 20 років; стільки ж було втрачено за все минуле століття.

Екологічний індикатор Індекс живої планети (ІЖП) відображає стан світового різноманіття і розраховується на основі зібраних даних про популяції хребетних видів і усередненої динаміки їх чисельності. Окремі індекси

розраховуються для 1) наземних, 2) морських і 3) прісноводних видів, і за цими трьома тенденціями в середньому обчислюють агрегований індекс.

Згідно з доповіддю «Жива планета» (2024 р.), середня чисельність понад 35 тис. популяцій, які репрезентують 5495 видів, моніторинг яких здійснювався по всій планеті, знизилася на 73% починаючи з 1970 року (рис. 11.13).

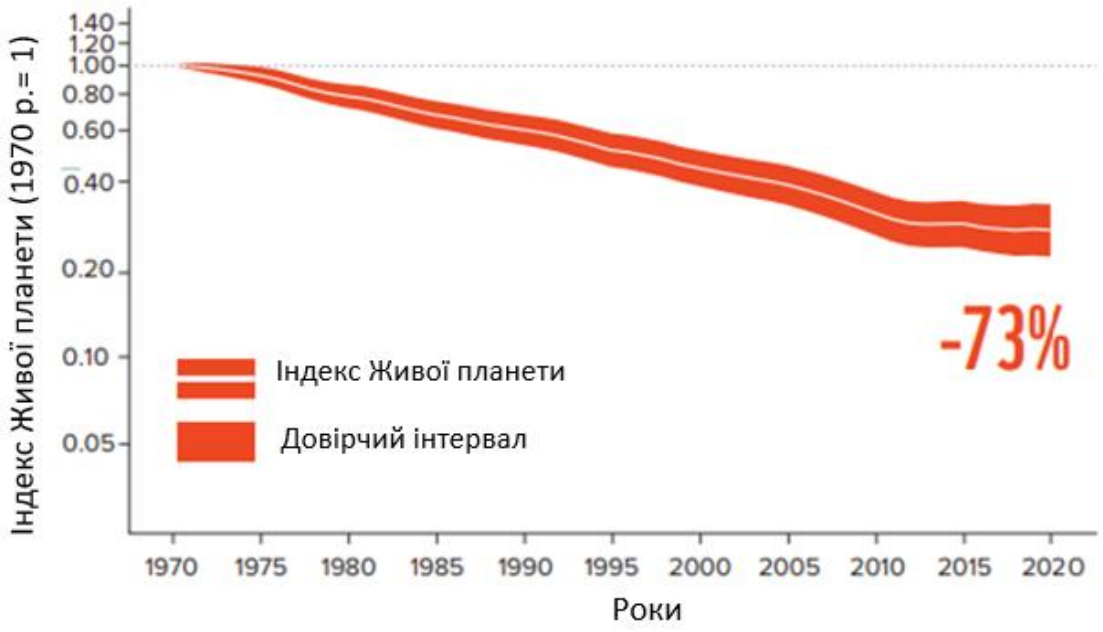


Рис. 11.13. Динаміка зміни біорізноманіття згідно з Глобальним Індексом Живої планети

Згідно з нещодавнім дослідженням, хоча зміна клімату є зростаючою загрозою, основними факторами зниження біорізноманіття залишаються втрата природного середовища існування через використання земель для вирощування продуктів харчування, палива та деревини, а також надмірна експлуатація рослин і тварин людьми шляхом вирубування лісів, полювання і риболовлі.

Про втрату біорізноманіття свідчить також Індекс Червоного списку (Red List Index, RLI) видів, що знаходяться під загрозою зникнення, як це показано на рис. 11.14 нижче.

Майже п’ята частина видів хребетних класифікується як такі, що перебувають під загрозою зникнення – від 13 відсотків птахів до 41 відсотка земноводних. Найбільше хребетних тварин, які перебувають під загрозою зникнення, живе у тропічних регіонах.

В межах цього проекту було оцінено майже 100 000 видів. Із них понад чверті загрожує вимирання, починаючи від лемурів Мадагаскару до земноводних, таких як жаби і саламандри, і рослин, таких як хвойні та орхідеї.

Вчені вважають, що Земля рухається до «масового вимирання» – шостого за останні півмільярда років. Експерти кажуть, що «Зараз є переконливі докази того, що наша планета втрачає види з тривожною швидкістю». Останній раз

подібна ситуація траплялась близько 66 мільйонів років тому, коли на Землю впав астероїд, однак зараз, в усьому винні люди.

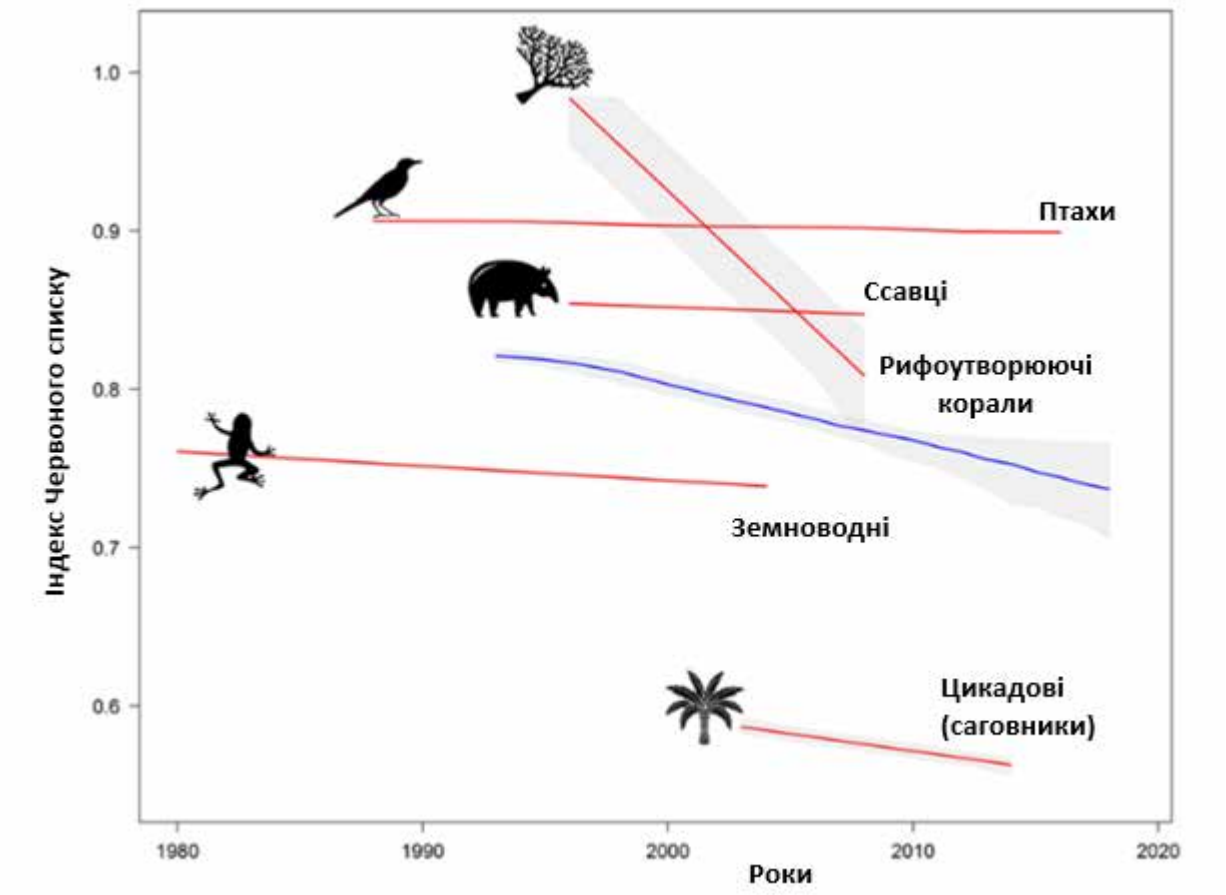


Рис. 11.14. Індекс Червоного списку видів під загрозою, доступний для п’яти таксономічних груп: птахів, ссавців, амфібій, цикадових та тепловодних рифоутворюючих коралів

Поточні показники вимирання приблизно у 1000 разів перевищують ті, що були до появи людини, і очікується, що в майбутньому ці показники будуть приблизно у 10 тисяч разів вищими.

В Україні понад 80 видів тварин знаходяться на межі зникнення і через російську агресію можуть повністю припинити своє існування. Окупанти цілеспрямовано обстрілюють природні парки, зоопарки й притулки та вбили за час війни вже понад 10 000 000 тварин.

Проблеми поводження з відходами

Вплив хімічного забруднення на здоров’я людини і екосистеми: особливе занепокоєння викликають небезпечні хімічні речовини внаслідок їх токсичності, недоліків в управлінні ними і недоліків транскордонного контролю за ними.

До числа інших пріоритетних проблем відносяться ендокринні деструктори, що містяться в споживчих товарах, небезпечні речовини в

електронній та електротехнічній продукції, екологічно стійкі лікарські препарати і наноматеріали.

Під широким терміном «ендокринні руйнівники» (Endocrine Disruptors, ендокринні деструктори) розуміють всілякі хімічні речовини, які при попаданні в організм впливають на нього подібно до гормонів, можуть змінювати функції гормональної системи, руйнують систему внутрішньої регуляції організму - гормональну або ендокринну. Основними джерелами забруднення водних ресурсів ендокринними деструкторами є стічні води з фармацевтичних заводів, хімікати, які використовуються в сільському господарстві, побутова хімія тощо.

Розмір та кількість хімікатів та відходів, що потрапляють в наше середовище, зростають. Згідно зі звітом Світового банку (2018 р.), у світі щорічно утворюється 2,01 млрд. тонн твердих побутових відходів, причому не менше 33% з них не утилізується екологічно безпечним способом.

У цьому звіті прогнозується, що швидка урбанізація, зростання населення та економічний розвиток призведуть до збільшення світового обсягу відходів на 70% протягом наступних 30 років – до приголомшливих 3,40 мільярдів тонн відходів щорічно.

Серйозну проблему створюють відходи пластмаси, з огляду на обмежені можливості для її рециркуляції, відсутність стійких замінників для неї і зростаючу стурбованість з приводу морського сміття.

Пластикові відходи захаращують наш океан і складають 90% морського сміття. Пластикове сміття, що потрапляє в океан, викликає все більше занепокоєння через можливий хімічний вплив. Виробництво пластмас є показником кількості пластикового сміття, яке з часом може знайти шлях до водних шляхів та океану.

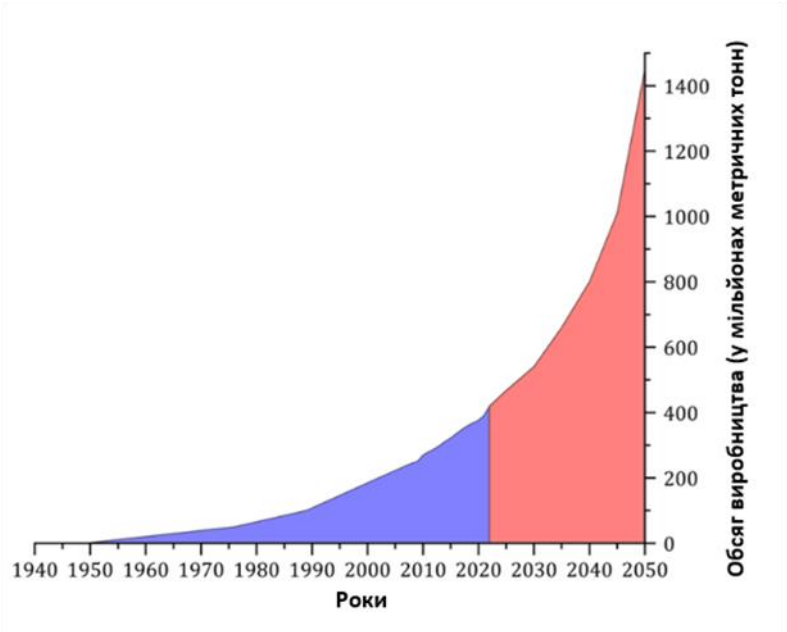


Рис. 11.15. Виробництво та прогноз світового виробництва пластику. Синя область відображає історичні дані за період з 1950 по 2021 рік; червона частина показує прогнозні тенденції до 2050 року.

Кількість пластику, який виробляється у світі щороку, вибухоподібно збільшилася лише за одне людське життя: з 2 мільйонів тонн у 1950 році до 368 мільйонів тонн у 2019 році (рис. 11.15).

Наприклад, пандемія COVID-19 призвела до сплеску забруднення від одноразових продуктів, таких як пластикові маски для обличчя та пляшки з

антисептиком для рук. Кількість пластикових відходів, утворених у всьому світі з моменту спалаху, оцінюється в 1,6 мільйона тонн на добу. За підрахунками вчених, щодня в результаті пандемії COVID-19 у всьому світі викидалося приблизно 3,4 мільярда одноразових масок/щитків для обличчя.

Вирішення цієї та багатьох інших проблем відходів полягає в кращому поводженні з відходами. Погано керовані відходи забруднюють Світовий океан, засмічуючи стоки і викликаючи повені, передаючи хвороби, збільшуючи проблеми з диханням від спалення, завдаючи шкоди тваринам, які несвідомо споживають відходи, та впливаючи на економічний розвиток, наприклад, через туризм.

Величезною проблемою на сьогодні визнається так звана швидка мода (Fast Fashion) та текстильні відходи. Зараз на індустрію моди припадає 10% глобальних викидів вуглецю. Згідно з даними Програми ООН з навколишнього середовища, модна індустрія створює більше викидів парникових газів, ніж авіаційний і судноплавний сектори разом узяті, а також майже 20% глобальних стічних вод, або близько 93 мільярдів кубічних метрів від фарбування текстилю.

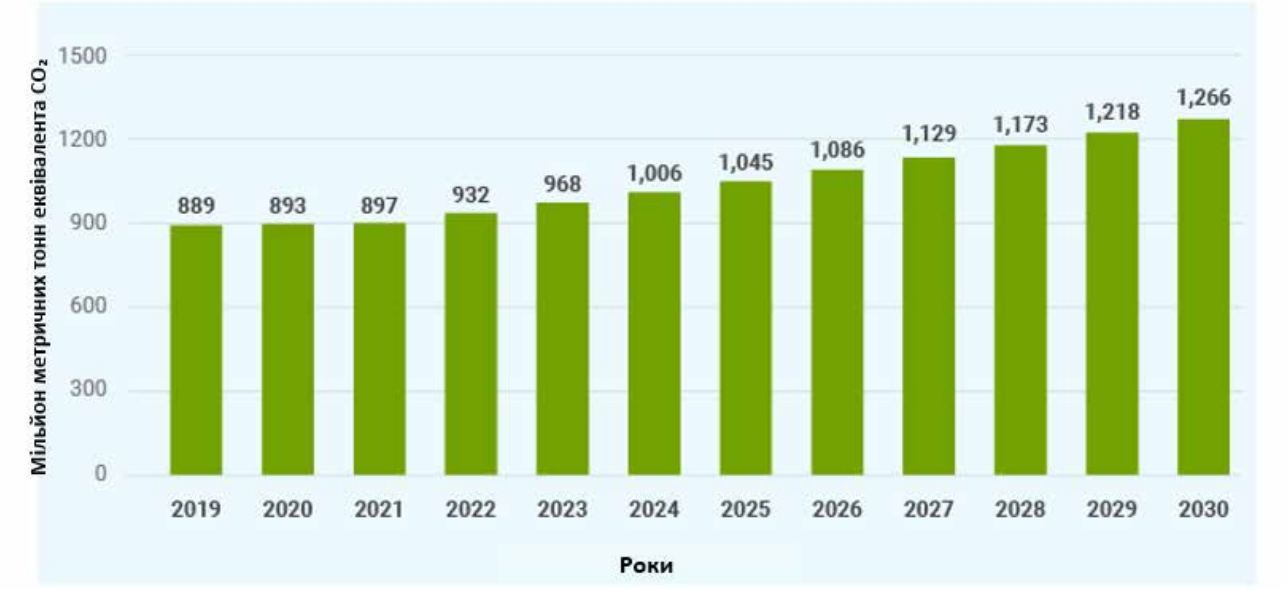


Рис. 11.16. Прогноз зростання викидів парникових газів від індустрії моди у світі (у $CO_{2\text{-екв.}}$)

Окрім того, щороку у світі утворюється щонайменше 92 мільйони тонн текстильних відходів , і очікується, що до 2030 року ця цифра зросте до 134 мільйонів тонн на рік. А ще, світова тенденція швидкої моди сприяє не тільки величезному обсягу виробництва одягу, а й залученню синтетичних матеріалів для його пошиття. Через це під час розкладання текстильних відходів виділяється багато парникових газів та мікропластику.

Як свідчать результати аналізу Національного інституту стратегічних досліджень (2022 р.), широкомасштабна російська збройна агресія проти

України спричинила *різке збільшення обсягів специфічних відходів*, серед яких пошкоджені та покинуті транспортні засоби й обладнання, уламки снарядів, будівельне сміття, побутові та медичні відходи. Деякі з відходів є досить токсичними, особливо уламки снарядів, медичні відходи та будівельне сміття з вмістом азбесту і важких металів. Обсяги таких відходів уже набули масштабів, яких на Європейському континенті не спостерігалося з часів Другої світової війни. На території України лише знищеної російської техніки накопичено понад 325 тис. тонн. Крім того, утворено величезні обсяги відходів руйнації житлової і транспортної інфраструктури, що є новим викликом для нашої країни.

Екосистемні послуги: зв'язок між природою і людиною

Наявні запаси відновлюваних і невідновлюваних природних ресурсів, які підтримують життя людей (наприклад, рослин, тварин, повітря, води, ґрунтів, мінеральних ресурсів), можна охарактеризувати як «природний капітал». Природний капітал забезпечує потік благ для людей як на місцевому, так і на глобальному рівнях. Ці блага часто називають «екосистемними послугами».

Людство завжди залежало від послуг, які забезпечуються біосферою і екосистемами. Більше того, біосфера сама є продуктом життя на Землі. Склад атмосфери і ґрунтів, повітряний і водний кругообіг елементів і багато інших екологічних утворень є результатом процесу життя, і всі вони підтримуються і поновлюються екосистемами.

Незважаючи на те, що людина як біологічний вид відгороджена культурою і технологією від безпосереднього контакту з навколишнім середовищем, у кінцевому рахунку вона повністю залежить від великої кількості екосистемних послуг.

Це пов'язано з тим, що екосистеми забезпечують нас продовольством, прісною водою, чистим повітрям, енергією, лікарською сировиною, культурною спадщиною та можливостями для відпочинку.

Крім того, ми залежимо від благополуччя і різноманітності природних систем, які підтримують кругообіг і якість води і повітря, регулювання клімату, запилення рослин і поширення насіння, а також регулювання чисельності шкідників і чинників захворюваності.

Поняття «екосистемні послуги» з'явилося в 1970-х роках і набуло все більшого визнання в наступні десятиліття.

«Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 р.), один з найважливіших проектів щодо поширення концепції екосистемних послуг, визначає ***екосистемні послуги*** як ***переваги, які отримують люди від екосистем***.

Вони включають забезпечувальні, регулювальні і культурні послуги, які прямо впливають на людей, і підтримувальні послуги, які необхідні для підтримки інших послуг (рис. 11.17 нижче).

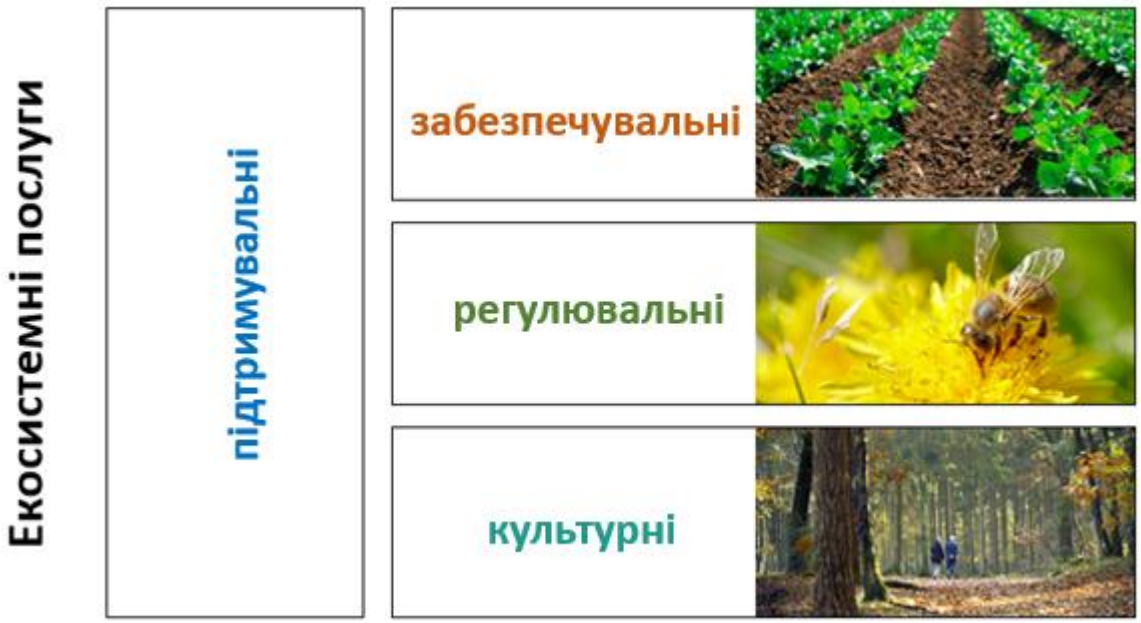


Рис. 11.17. Екосистемні послуги

Забезпечувальні (ресурсні) послуги – продукти, які ми отримуємо від екосистем. Зокрема, це ресурси, отримані безпосередньо з екосистем, такі як чиста вода, їжа, деревина, волокна та лікарська сировина. Регулювальні послуги сприяють підтримці природних процесів і клімату, зокрема поглинанню вуглецю, очищенню води, захисту від стихійних лих, таких як повені та ерозія, а також запиленню рослин. Культурні екосистемні послуги забезпечують нематеріальні вигоди, такі як естетична цінність, можливості для відпочинку, культурна спадщина та духовне благополуччя, що походять від екосистем. Нарешті, підтримувальні послуги охоплюють фундаментальні процеси, що забезпечують надання інших екосистемних послуг, таких як ґрунтоутворення, кругообіг поживних речовин та утворення кисню

Багато послуг дуже взаємопов’язані. Наприклад, первинне виробництво, фотосинтез, кругообіг поживних речовин та водний цикл включають різні аспекти одних і тих же біологічних процесів.

Є багато ознак того, що попит людей на екосистемні послуги зростатиме в наступні десятиліття. За сучасними оцінками, до 2050 року населення світу зросте ще на 3 млрд осіб, а світова економіка збільшиться в 4 рази, що означатиме значне збільшення попиту і споживання біологічних і фізичних ресурсів, так само як і посилення впливів на екосистеми і послуги, які вони забезпечують.

Втручання у функціонування екосистем може збільшувати вигоди для людського суспільства. Однак свідоцтва останніх десятиліть про ескалацію антропогенного впливу на екологічні системи по всьому світу викликає заклопотаність у зв’язку з наростанням просторових і часових екосистемних змін, несприятливих для добробуту людей.

Ми вже зараз стикаємося з проявами виснаження природного капіталу. Очікується, що ці прояви будуть посилюватися з часом, викликаючи загострення проблем в сфері продовольчої і водної безпеки, зростання цін на багато видів сировини, а також посилення конкуренції за земельні і водні ресурси.

У свою чергу, посилення конкуренції за природний капітал буде призводити до загострення конфліктів і посилення міграції, подальшого прискорення зміни клімату та підвищенню уразливості до таких стихійних лих, як посухи і повені.

Ще одним наслідком буде загальне погіршення фізичного і психічного здоров'я і благополуччя людей, що стане додатковим чинником загострення конфліктів і збільшення міграційних потоків.

Здорові екосистеми критично важливі для нашого виживання, добробуту і процвітання. Зростаюче антропогенне навантаження веде до скорочення природного капіталу темпами, що перевищують його здатність до відновлення.

11 лютого 2022 р. Міндовкілля України (нині – Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України) оголосило про початок розробки концепції державної політики та проєкту закону у сфері збереження та відновлення екосистемних послуг. Після повномасштабного вторгнення росії в Україну 24 лютого 2022 р. та ведення активних бойових дій на частині території України йдеться про знищення не лише промислових об'єктів та забруднення довкілля, але й про порушення природних екосистем, а отже, і втрату деяких екосистемних послуг.

Повномасштабні воєнні дії призводять не тільки до погіршення економічного стану держави та соціальних умов життя населення, але й значною мірою загрожують довкіллю України. Це створює серйозні та складні соціально-економічні та екологічні проблеми, які потребують ретельного дослідження.

Екологічні злочини, які вчиняють російські війська з кожним днем завдають непоправної шкоди довкіллю. Природні ресурси страждають від бомбардувань та мінувань територій, будівництва фортифікаційних споруд, пожеж, руйнувань водної інфраструктури та підтоплення територій.

Науковці зазначають, що після повномасштабного вторгнення рф на територію України (з 24 лютого 2022 року), війна стала наймасштабнішим конфліктом у Європі після Другої світової і спричинила негативні наслідки для довкілля у вигляді «екоциду».

Екоцид – це методи ведення воєнних дій, де основною метою є намагання нанесення непоправних збитків наземним і водним екосистемам державі, проти якої здійснюється агресія. Країна-агресор, яка здійснює екоцид, керується метою повного знищення природного капіталу держави, проти якої воює.

Можна стверджувати, що війна руйнує не лише людські долі та життя, а й природний потенціал країни. Стає все очевидним той факт, що стратегія ворога, у зв'язку із неспроможністю фізичного загарбання території України,

фокусується на створенні несприятливих екологічних умов для життя наступних поколінь.

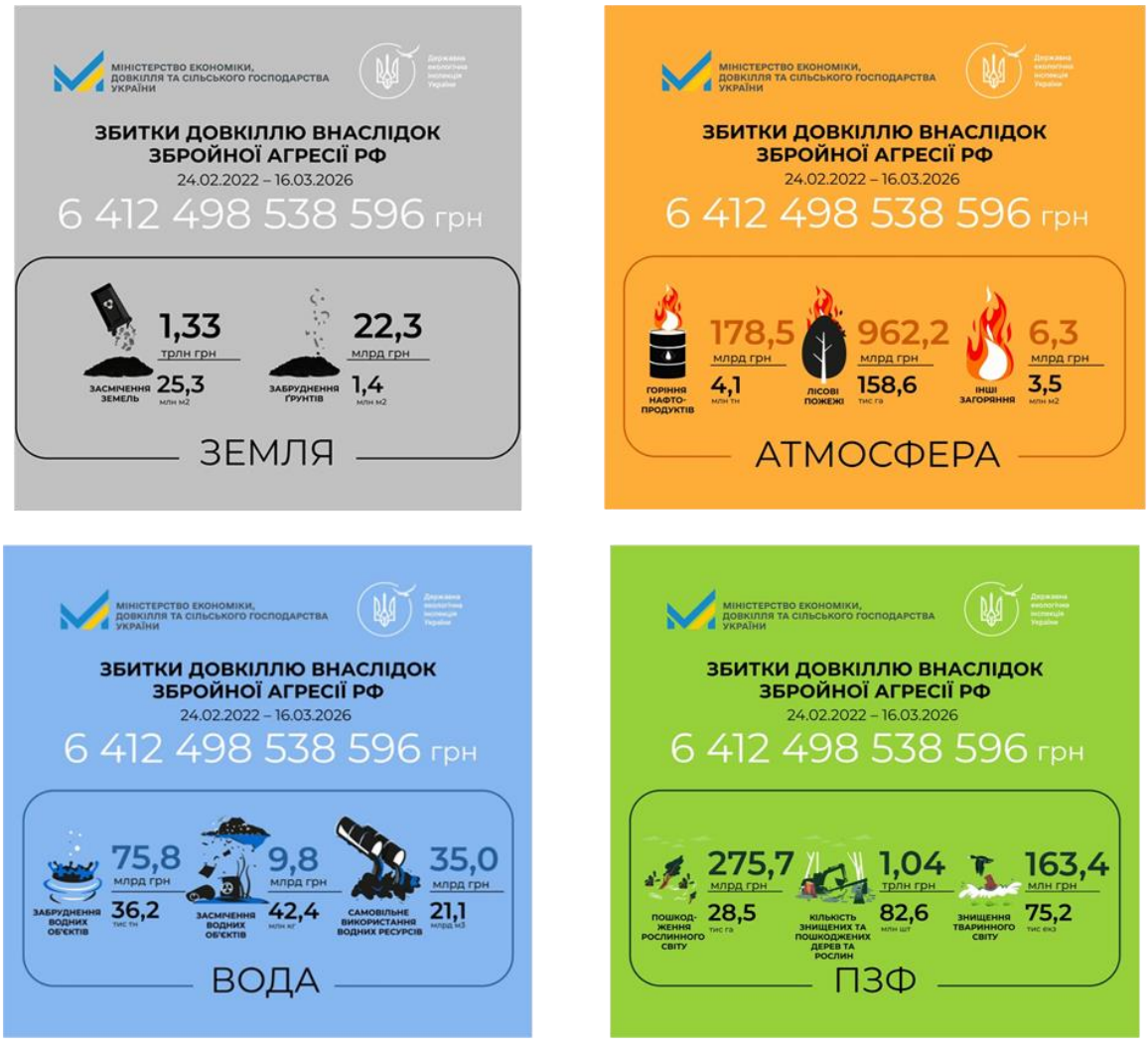


Рис. 11.18. Збитки довкіллю України за офіційними даними Державної екологічної інспекції за період 24.02.2022 -16.03.2026

На конференції високого рівня «United for Justice. United for Nature», що проходила 20-21 жовтня 2023 р., представниками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів були озвучені дані злочинів російської федерації проти довкілля України. За попередніми розрахунками, з початку повномасштабного вторгнення задокументовано понад 2,5 тисяч фактів шкоди довкіллю, у тому числі розслідуються 14 випадків екоциду. Загальну шкоду, заподіяну живій природі фахівці оцінюють в 55,6 млрд. євро (без врахування наслідків шкоди в результаті теракту на Каховській ГЕС).

Нині настав час для здійснення модернізації підходів з оцінювання і проведення розрахунків завданих війною збитків, оновлення методичних рекомендацій щодо технологій відновлення порушених ґрунтів і загалом

втрачених земельних ресурсів, цінних природних видів та угрупувань, які виконують важливі біосферні екосистемні послуги; моделювання стану водних ресурсів та розробки сценаріїв для вирішення питань збереження безпечності води та водозабезпечення різних галузей народного господарства.

Необхідно розробляти і впроваджувати новітні методи з рекультивації техногенно порушених земель та прогнозування стану водних ресурсів, переймати досвід застосування сучасних технологій, практичних рішень у провідних науковців світу й адаптовувати їх під можливості України.

Тема 12. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДОВКІЛЛЯ

Концепція Антропоцену як мірило масштабів людської діяльності

Екосистеми Землі є результатом мільйонів років еволюції. Цей процес призвів до формування складних і різноманітних біологічних співтовариств, що підтримують баланс зі своїм середовищем. Різноманітні екосистеми не тільки представляють цінність самі по собі, але і забезпечують основу для життя і благополуччя людей. Однак масштаби та інтенсивність людської діяльності експоненціально зростають з середини XX століття.

Як наслідок, природа і ті послуги, які вона забезпечує для людства, піддаються все більш серйозним ризикам.

Прагнучи привернути увагу до потенційно небезпечної екологічної ситуації, що склалася, лауреат Нобелівської премії Пауль Крутцен і інші вчені припустили, що на зміну геологічній епосі, яка називається Голоцен, прийшла нова епоха, яку вони назвали «Антропоцен».

Голоцен розпочався близько 10 000 років тому. Це поточний міжльодовиковий період, і він виявився відносно стабільним середовищем Землі. Спостерігалися природні коливання параметрів довкілля під час голоцену, але основні атмосферні та біогеохімічні параметри були відносно стабільними. Ця стійкість та стійкість дозволили сільському господарству розвиватися та розвиватися складним суспільствам.

У 1995 році Пауль Крутцен отримав Нобелівську премію за те, що показав, що хімічні речовини, які широко використовуються, руйнують озоновий шар у верхніх шарах атмосфери Землі з потенційно катастрофічними наслідками для всього живого на Землі. У своїй промові про прийняття Нобелівської премії він сказав, що його дослідження озону переконали його в тому, що баланс сил Землі різко змінився. Тепер «цілком ясно», сказав він, «що діяльність людини зросла настільки, що може конкурувати і заважати природним процесам».



Рис. 12.1. Пауль Крутцен (1933 – 2021 рр.)

Термін «Антропоцен» припускає, що Земля завершила свою природну геологічну епоху – нинішній міжльодовиковий стан, який називається голоценом. Діяльність людини стала настільки всепроникною і глибокою, що вона змагається з великими силами природи і штовхає Землю в планетарний стан *terra incognita*. Земля швидко

переходить у менш біологічно різноманітний, менш лісистий, набагато тепліший і, ймовірно, більш вологий і бурхливий стан.

Епоха Антропоцену, на думку вчених, характеризується швидкою зміною клімату, підкисленням Світового океану і зникненням цілих біомів, причому ці зміни відбуваються за час, менший тривалості людського життя. Сьогодні майбутнє багатьох живих організмів знаходиться під загрозою, і небезпека загрожує не тільки диким рослинам і тваринам – люди самі все більшою мірою стають жертвами деградації навколишнього середовища.

Кліматичні та інші прогнозні моделі дозволяють припустити, що за відсутності рішучих дій в епоху Антропоцену Земля стане набагато менш гостинною для сучасного глобалізованого суспільства.

Враховуючи нашу нинішню траєкторію руху до неприйнятних умов, які прогнозуються для Антропоцену, перед людством постає очевидне завдання навчитися діяти в межах екологічних обмежень нашої планети та підтримувати чи відновлювати стійкість екосистем.

Здатність природи компенсувати впливи, пов’язані з діяльністю людства, завжди була обмежена. Однак у минулому деградація навколишнього середовища, викликана забрудненням та іншими видами впливу, як правило, проявлялася на місцевому рівні.

Але зараз ми напружили межі природної стійкості і на планетарному рівні. Населення світу зросло з приблизно 1,6 мільярда людей у 1900 році до сьогоднішніх 8,2 мільярдів. У цей період технологічні інновації та використання викопної енергії допомогали задовольнити зростаючий попит на ресурси.

Яскравим прикладом є промисловий метод фіксації атмосферного азоту в складі аміаку, розроблений на початку XX століття.

Синтез аміаку з азоту й водню є основним методом технічної фіксації азоту. Відомо, що в природі хімічно дуже інертний атмосферний азот безупинно проходить цикл різноманітних складних перетворень, на шляху яких у рослинах із неорганічних сполук утворюються необхідні й незамінні для живих організмів високомолекулярні азотовмісні органічні речовини – білки.

Швидкість природної фіксації азоту дуже мала, половина необхідного для життєдіяльності азоту повертається через атмосферу приблизно за 100 млн. років. Населення Землі щорічно збільшується, що супроводжується відповідним зростанням потреб у білкових продуктах харчування, оскільки кожна людина повинна щодня одержувати близько 100 г білка, що містить 16–17 г азоту.

Очевидно, що швидкість природного кругообігу азоту в природі не відповідає високим темпам його споживання. Це переконливо свідчить про необхідність штучного синтезу азотовмісних сполук для живлення рослин і забезпечення білками живих організмів.

Аміак відіграє роль «транспортного засобу» для переносу атмосферного азоту через ґрунт рослинами й від них – живим організмам. Таким чином,

природний кругообіг азоту одержав новий додатковий штучно створений шлях «повітря – аміак – азотні добрива – ґрунт».

Сьогодні мінеральні азотні добрива, одержувані промисловим способом, дозволяють забезпечувати продовольством близько половини населення Землі, але одночасно є джерелом забруднення повітря, вод і ґрунтів.

Легкодоступне викопне паливо є джерелом енергії для побутового та промислового використання і створює можливості для масштабної міжнародної торгівлі. Однак платою за це є підвищення концентрації CO_2 в атмосфері, що призводить до глобальної зміни клімату.

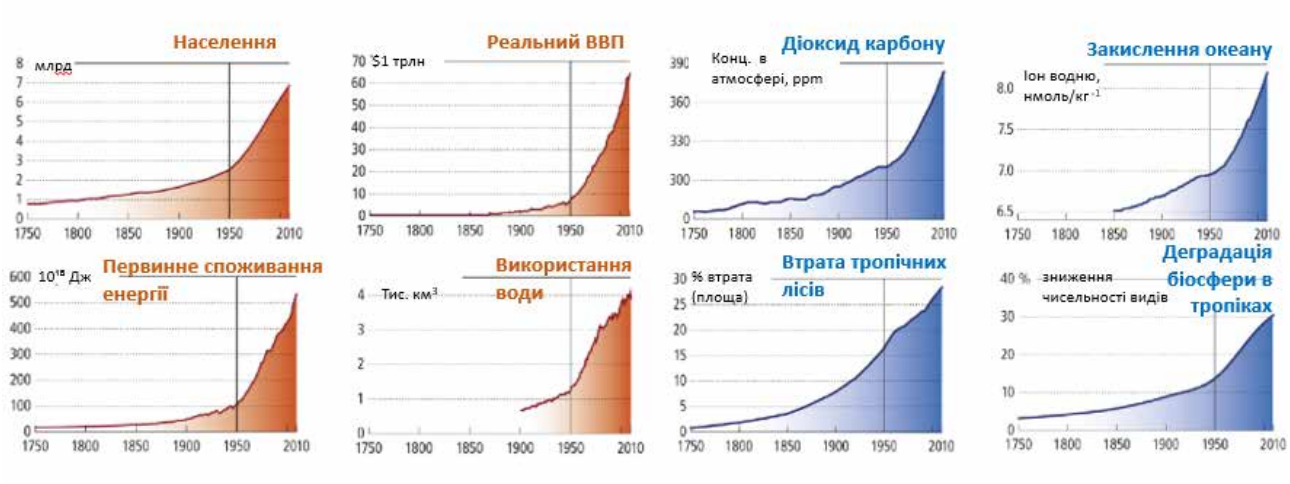


Рис. 12.2. «Велике прискорення» – основні соціально-економічні тенденції та тенденції систем Землі

На графіках (рис. 12.2) показано розвиток основних соціально-економічних та біофізичних тенденцій від промислової революції до наших днів.

Лише за два покоління світ глибоко змінився. З 50-х років XX ст. світове населення зросло втричі, реальний ВВП збільшився в десять разів, а міжнародний туризм перейшов від неіснуючого до досягнення дивовижних 1 мільярд міжнародних прибуттів на рік.

У той же час рівень CO_2 в атмосфері збільшився з 270 до 390 проміле, морський промисел піднявся з 12 до 70 мільйонів тонн на рік, і ми втратили близько 30% всього тропічного лісу.

Якщо подивитися на всі графіки, то картина напрочуд схожа: експоненційне зростання по всіх напрямках почалося приблизно 70 років тому. Це явище називають «великим прискоренням», і воно відображає найбільшу в історії людства трансформацію нашого ставлення до нашої планети.

Екологічний слід людства

Екологічний слід – це міра попиту людини на екосистеми Землі. Це стандартизована міра попиту на природні ресурси, яка може бути порівняна з екологічною здатністю планети до відновлення.

Він являє собою кількість біологічно продуктивної суші та морської акваторії, необхідної для забезпечення ресурсами, які споживає людина, та для асиміляції пов'язаних із цим відходів (рис. 12.3). Використовуючи цю оцінку, можна визначити, яка площа Землі (або площа скількох планет) буде потрібна для життєзабезпечення людства, якщо всі дотримуватимуться певного способу життя.

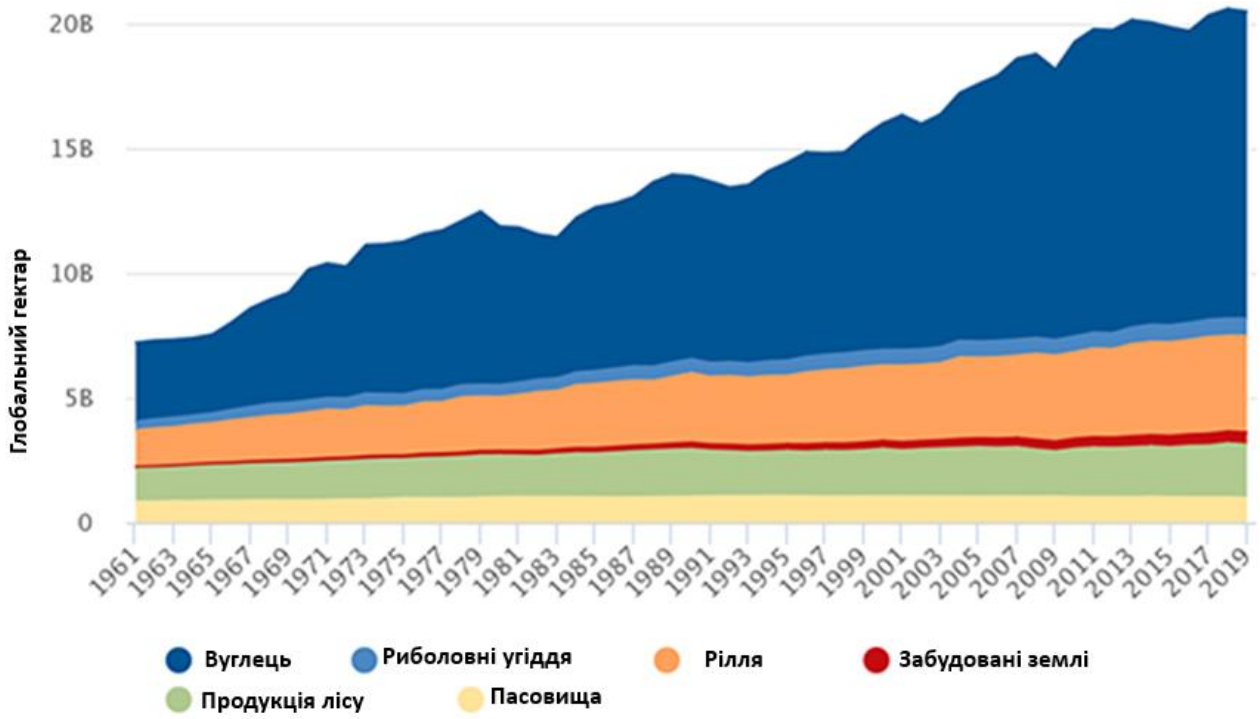


Рис. 12.3. Динаміка збільшення глобального Екологічного сліду за його складовими

Екологічний слід і біоємність виражаються у спільній одиниці, що називається глобальним гектаром, де 1 гектар представляє собою біологічно продуктивний гектар із середньою світовою продуктивністю.

З початку 1970-х людство споживає більше, ніж наша планета може стало надавати. За оцінками Global Footprint Network, станом на 2018 рік людство використовує природний капітал у 1,7 раза швидше, ніж Земля може його відновити, що, на їхню думку, означає, що екологічний слід людства відповідає 1,7 планет Земля.

Всесвітній день екологічного боргу настає у момент, коли населення Землі витрачає весь обсяг відновлюваних ресурсів, які планета може відтворити протягом року. Тобто вирубує більше лісів, ніж може зрости протягом року, або виловлює більше риби, ніж може з'явитися. Таким чином, людство починає «жити в борг» у планети та брати ресурси у майбутніх поколінь.

Чим раніше настає День екологічного боргу, тим гірше для планети, і тим більше люди беруть зайвого. Наприклад, у 1971 та 1972 роках людство

використало відновлювані за рік ресурси Землі всього за кілька днів до нового року. Проте з роками дата дедалі більше наближається до початку року.

Умовний запас відновлюваних природних ресурсів Землі у 2025 р. вичерпався 24 липня.

Концепція Планетарних меж

Масштаби людської діяльності і пов'язаного з нею використання ресурсів зростають настільки швидко, особливо з середини XX століття, що навколишнє середовище, яке завжди забезпечувало умови для нашого розвитку і зростання, починає руйнуватися. Ясно, що запобігання загрозам на планетарному рівні буде набагато складнішим завданням, ніж все, з чим ми стикалися до цього моменту.

Погляд на Землю як на єдину систему повинен допомогти нам усвідомити складні взаємозв'язки між діяльністю людини і глобальними наслідками, такими, що порушують природний стан планети. Він дозволить нам побачити, як зміни на місцевому рівні призводять до серйозних наслідків на інших географічних рівнях, і зрозуміти, як вплив на одну природну систему може зачіпати і інші системи.

Концепція Планетарних меж є одним із прикладів такого погляду на «систему Земля». Ця рамкова програма демонструє, як глобальні моделі виробництва і споживання ведуть до посилення ризиків як для природних, так і для соціальних систем.

Планетарні межі – це межі стійкості природної системи Земля−Людина, базові глобальні параметри, у яких можливе довгострокове безпечне існування людства планети.

Рамкова програма була запропонована в 2009 році групою вчених, які вивчають систему Землі та навколишнє середовище, під керівництвом Йохана Рокстрьома зі Стокгольмського центру стійкості та Вілла Штеффена з Австралійського національного університету.

Група хотіла визначити «безпечний робочий простір для людства» для міжнародного співтовариства, включаючи уряди всіх рівнів, міжнародні організації, громадянське суспільство, наукову спільноту та приватний сектор як попередню умову сталого розвитку. Рамкова програма заснована на наукових доказах того, що дії людини з часу промислової революції стали головним рушієм глобальних екологічних змін.

Цей простір визначається кількома межами земної системи, які, у разі порушення, можуть зруйнувати умови, необхідні для життєзабезпечення на нашій планеті. Це поняття, вдосконалене з роками, залишається однією з найвпливовіших концепцій щодо викликів Антропоцену.

Рамкова програма пропонує дев’ять меж, що визначають рамки того, що здатна підтримувати земна система, зберігаючи при цьому життєзабезпечувальні функції голоцену.

Виходячи з нашого зростаючого розуміння функціонування глобальної екосистеми і її стійкості до зовнішніх впливів, концепція планетарних меж

дозволяє визначити діапазон змін, безпечний для функціонування цих критично важливих підсистем «системи Земля».

Ці зміни у глобальних природних системах включають (рис. 12.4): 1) порушення цілісності біосфери (знищення екосистем і біорізноманіття), 2) зміну клімату і 3) пов'язане з ним окислення океану, 4) зміни в системі землекористування, 5) нестійке використання прісноводних ресурсів, 6) зміни в біогеохімічних потоках (надходженні азоту і фосфору в біосферу), 7) зміни у складі і кількості атмосферних аерозолів і 8) хімічні забруднення, що призводять, зокрема, до 9) виснаження стратосферного озону.



Рис. 12.4. Планетарні межі. Зелений колір відповідає безпечній зоні (в планетарних межах), жовтий – зоні невизначеності, для якої характерний зростаючий ризик порушення стабільності планетарних систем, а червоний – зоні високого ризику виходу «системи Земля» з стабільного стану, характерного для епохи Голоцену. Самі планетарні межі представлені внутрішньої окружністю, зображеної жирною лінією

Залишаючись у «безпечній області», обмеженій цими межами, людство здатне розвиватися і процвітати. Виходячи за межі, ми ризикуємо заподіяти незворотної шкоди ресурсам, від яких залежить наше існування.

Хоча є певний ступінь наукової невизначеності щодо фізико-хімічних, біологічних та соціальних наслідків виходу за планетарні межі, результати досліджень дозволяють припустити, що на сьогодні людство вже вийшло за межі безпечного функціонування чотирьох з цих систем.

Уже зараз очевидні ефекти на глобальному рівні і пов’язані з ними ризики для людини, викликані зміною клімату, порушенням цілісності біорізноманіття, змінами біогеохімічних потоків і системи землекористування.

Втрата біологічної різноманітності, використання добрив, зміна клімату та землекористування вже вийшли за рамки «безпечної експлуатації», збільшуючи ризик порушення складних взаємодій між сушею, океаном, атмосферою та людьми.

Ясно одне: ми не можемо вирішувати проблеми, пов’язані з однією межею, не беручи до уваги інші. Різні планетарні системи не ізольовані одна від одної; зміни в одній з них можуть посилюватися за рахунок змін в суміжних системах.

Якщо ми прагнемо обмежити зміну клімату шляхом видалення CO2 з атмосфери за рахунок застосування нових технологій і скорочення викидів, але не враховуємо впливу змін в землекористуванні, біогеохімічних потоків і інших підсистем на цілісність біосфери, ми не зможемо прокласти безпечний курс через епоху Антропоцен.

Вихід з епохи Голоцену означає, що ми є першими людьми, які будуть жити в епоху, що визначається нашим вибором, в якій домінуючим ризиком нашого виживання опинилися ми самі.

Продовжити рух у напрямку людського розвитку, усунувши при цьому подібні планетарні навантаження – таким є наступний рубіж на цьому шляху.

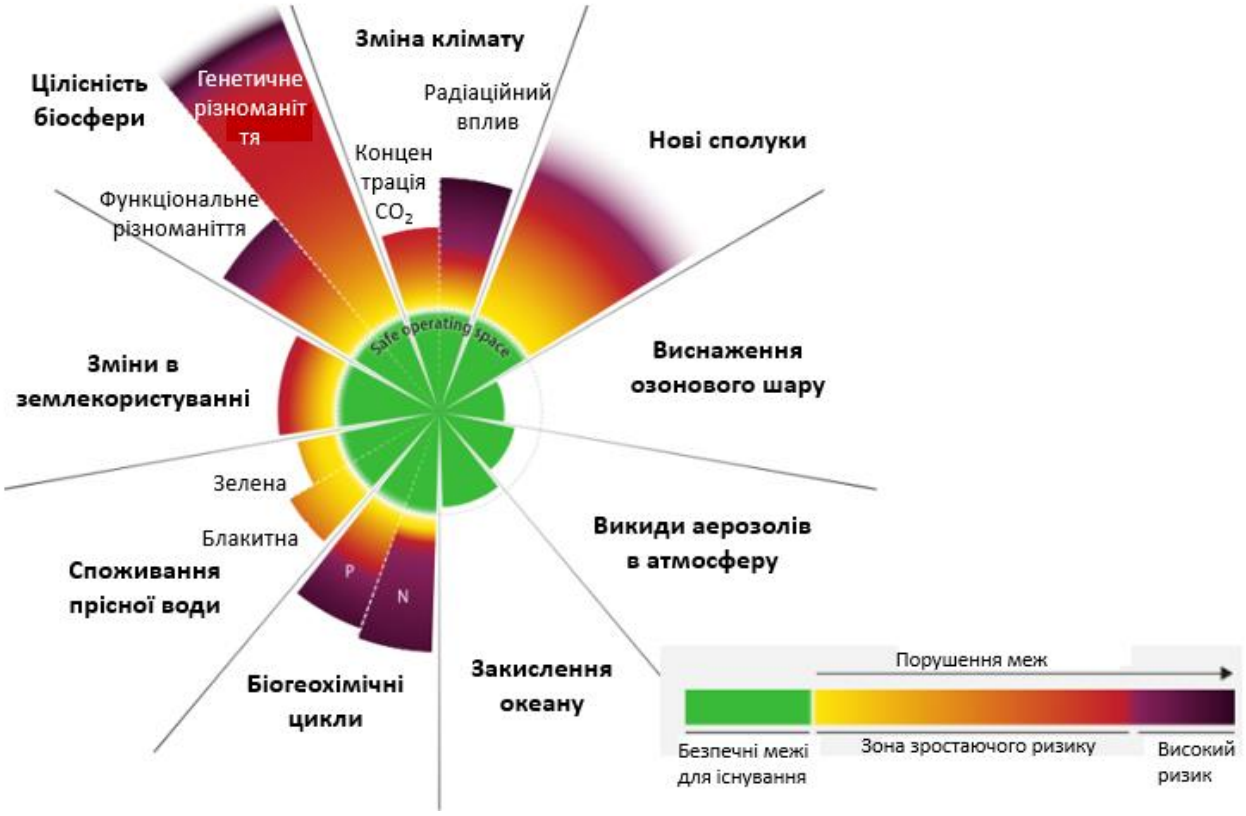


Рис. 12.5. Поточний стан контрольних показників для всіх дев’яти планетарних меж

Його дослідженню було присвячено 30-й ювілейний випуск Доповіді про людський розвиток ПРООН (2020 р.).

У новому дослідженні (2023 р.) результати досліджень щодо планетарних меж показали, що діяльність людини чинить дедалі більший вплив на планету, і тим самим збільшує ризик виникнення різких змін загальних умов на Землі. Це дослідження показує, що уже порушено шість із дев'яти меж (рис.12.5 вище). Крім того, підкислення океану наближається до планетарної межі. Зелена зона – це безпечний діапазон (нижче межі). Жовтий та червоний кольори позначають зону зростаючого ризику. Фіолетовий колір вказує на зону високого ризику, де з високою ймовірністю порушуються умови міжльодовикового періоду в системі Землі.

Перевищення планетарних меж свідчить про безпрецедентне втручання людини в систему Землі, однак пов'язане з великою науковою невизначеністю. Неможливість кількісних оцінок всіх змінних у концепції Планетарних меж істотно ускладнює використання цих величин для подальшого прогнозу.

Тому замість декількох запропонованих раніше змінних Стівеном Раннінгом з Університету Монтани запропоновано використовувати одну, але яка набагато більш точно вимірюється – це величина чистої первинної продукції (ЧПП). За його думку, чиста первинна продуктивність залишалася принаймні на незмінному рівні, а можливо, навіть дещо зросла з моменту початку проведення глобальних супутникових вимірювань у 1981 році.

Згідно з найновішими оцінками, людство споживає близько 40 % світової ЧПП суші на потреби харчування (включно з годуванням тварин), деревини та паперової целюлози, а також палива. Просте, але помилкове тлумачення цієї цифри могло б означати, що 60 % залишається для потенційного майбутнього використання людиною, тобто що ми, здається, ще далекі від будь-яких обмежень чи меж.

Проте, по-перше, 15 Пг (пентаграм, 10^{12} кг), або приблизно 28 % ЧПП, йде на ріст коренів рослин, урожай яких, за винятком кількох коренеплодів, таких як картопля, неможливо зібрати.

По-друге, детальний географічний аналіз цього «невикористаного» потенціалу ЧПП показує, що більша його частина припадає на національні парки, заповідні території або віддалені місцевості, які фактично недоступні. Ці території також забезпечують важливі екосистемні послуги, такі як біорізноманіття, рекреаційні та естетичні цінності, що свідчить про те, що ми насправді не хочемо експлуатувати їх усі.

Найбільш вірогідна оцінка залишків «доступної ЧПП» для нового використання людиною становить 5 Пг, або приблизно 10 % від загального обсягу наземної ЧПП.

Серед фахівців, які займаються питаннями глобальної продовольчої безпеки, існує загальна думка, що ці останні 10 % доступної ЧПП можуть виявитися необхідними для забезпечення продовольством зростаючого населення планети.

Концептуальні основи сталого розвитку

Нині, як ніколи, очевидна необхідність нової «екологічної моралі», нового бачення світу для кожної людини, що живе на Землі. Нове відношення до природи виростає із свідомості, що людство дійшло до останньої межі, і вимагає пильності і відповідальності – речей, які тісно пов'язані з проблемами особистісного «Я» в людині.

Стає очевидним, що в рамках технократичної парадигми розвитку суспільства подолання цивілізаційної кризи неможливо. Необхідно шукати нові концептуальні підходи й нові моделі розвитку.

У 1987 р. у Доповіді Міжнародної Комісії ООН були запропоновані основні положення концепції сталого (допустимого, самопідтримуючого) розвитку.

Сталий розвиток – це модель розвитку глобальної екосистеми – біосфери, при якому зберігається динамічна рівновага між окремими її підсистемами (природа, соціум, геосистеми). Його провідна ідея – екологічний імператив: правильне і дозволене тільки те, що не порушує природної рівноваги.

У доповіді Міжнародної комісії з довкілля і розвитку (WCED, 1987 р. «Наше спільне майбутнє» (відома також як «Доповідь Брундтланд», яка була головою зазначеної комісії) було дано визначення сталого розвитку: *«Розвиток, який задовольняє потреби сьогодення, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби».*



Рис. 12.6. Гру Гарлем Брундтланд

У 1992 році Конференція ООН з навколишнього середовища та розвитку, що відбулася в Ріо-де-Жанейро, прийняла програму «Порядок денний на 21 століття» і затвердила її як керівництво до дій для всіх країн у наступному столітті.

Серед основних положень концепції прозвучало й те, що людство здатне надати розвитку світової цивілізації стійкий і довговічний характер з тим, щоб воно відповідало потребам людей, які живуть сьогодні і не позбавляло цього майбутні покоління. На її основі розроблені і здійснюються концепції сталого розвитку ряду країн світу.

Міжнародні природоохоронні угоди

Конвенція ООН про біологічне різноманіття (КБР, 1992 р.) – міжнародна угода про охорону біорізноманіття була прийнята в 1992 році з метою збереження та сталого використання біологічного різноманіття та генетичних ресурсів.

Вона має 3 основні цілі:

- Збереження біологічного різноманіття;
- Стале використання складових біологічного різноманіття;
- Справедливий і рівноправний розподіл вигод, що виникають у результаті використання генетичних ресурсів.

До цієї конвенції додано дві додаткові угоди: Картахенський протокол (2000 р.) та Нагойський протокол (2010 р.).

Картахенський протокол про біобезпеку – це міжнародний договір, що регулює переміщення генетично модифікованих організмів (ГМО), створених за допомогою сучасних біотехнологій, з однієї країни в іншу.

Нагойський протокол про доступ до генетичних ресурсів та справедливий і рівноправний розподіл вигод, що випливають з їх використання забезпечує прозору правову базу для ефективної реалізації однієї з трьох цілей Конвенції про біорізноманіття: справедливого та рівноправного розподілу вигод, що виникають у результаті використання генетичних ресурсів.

Рис. 12.7. Логотипи Ріо-конвенцій – Конвенції ООН про біологічне різноманіття; Рамкової конвенції ООН про зміну клімату; Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням

Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (РКЗК ООН, 1992 р.) − мета полягає в стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на такому рівні, який не допускав би небезпечного антропогенного впливу на клімат Землі. У Конвенції було закріплено принцип «спільних, але диференційованих відповідальностей», згідно з яким усі країни несуть спільну відповідальність за боротьбу зі зміною клімату. Однак від розвинених країн очікувалося, що вони візьмуть на себе провідну роль через їхні більші історичні обсяги викидів.

Угода передбачає продовження наукових досліджень у сфері клімату. Ці дослідження є основою для проведення зустрічей та переговорів, що мають на меті укладення угод. Мета полягає в тому, щоб дати екосистемам можливість адаптуватися до зміни клімату. Водночас РКЗК спрямована на те, щоб уникнути загроз для виробництва продовольства, які можуть виникнути

внаслідок зміни клімату або заходів, спрямованих на її подолання. Крім того, вона має на меті забезпечити сталий економічний розвиток.

Кіотський протокол (1997 р.) є міжнародною угодою до Рамкової конвенції ООН і встановлює обов'язки на зниження викидів парникових газів для розвинених країн та країн з перехідною економікою.

Основна мета Паризької угоди (2015 р.) – не допустити підвищення середньої температури на Землі більше, ніж на 2%. Для цього необхідно максимально скоротити викиди в атмосферу парникових газів.

Конвенція ООН про боротьбу з опустелюванням (КБО ООН, 1994 р.) спрямована на вирішення проблеми деградації земель/опустелювання на глобальному рівні. Вона фокусується на посушливих, напівпосушливих та сухих субгумідних регіонах світу, маючи на меті захист ґрунтів, пом'якшення наслідків посух та досягнення нейтрального рівня деградації земель.

Як одна з трьох «Ріо-конвенцій» ООН (поряд із Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату та Конвенцією про біологічне різноманіття), КБО ООН відіграє вирішальну роль у забезпеченні глобальної сталого розвитку, визнаючи, що здорові земельні ресурси накопичують вуглець і підтримують вразливі екосистеми.

Цілі сталого розвитку до 2030 р.

У вересні 2015 року на 70-й сесії Генеральної Асамблеї ООН у Нью-Йорку відбувся саміт ООН зі сталого розвитку, на якому були затверджені нові цілі розвитку. У підсумковому документі саміту «Трансформуючи наш світ: Порядок денний для сталого розвитку до 2030 року» визначено 17 цілей сталого розвитку (ЦСР) і 169 відповідних завдань (рис. 12.8).



Рис. 12.8. Цілі сталого розвитку до 2030 року

Як і інші держави-члени ООН, Україна приєдналася до глобального процесу сталого розвитку.

Протягом 2016–2017 років тривав процес адаптації Цілей сталого розвитку з урахуванням українського контексту. Результатом цієї роботи стала національна система, яка складалася із 86 завдань національного розвитку.

Один з напрямів досягнення ЦСР − екологічна рівновага та розбудова стійкості. Що стосується екологічного аспекту розвитку, ЦСР охоплюють управління природними ресурсами, зміну клімату, питання, пов'язані з водою, морські питання, біорізноманіття та екосистеми, циркулярну економіку, екологічно безпечне управління хімічними речовинами та відходами, а також багато інших тем.

Бачення майбутніх трансформаційних процесів охоплює: за екологічним виміром (ЦСР6, ЦСР7, ЦСР13, ЦСР14, ЦСР15): дії передбачають зміни у екологічній політиці, оновлення поводження з відходами, припинення виснажливого використання земельних, лісових і водних ресурсів.

Програма ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) є відповідальною за 25 показників ЦСР – у рамках цілей 6 (забезпечення наявності та сталого управління водними ресурсами і санітарією для всіх), 8 (гідна праця та економічне зростання), 12 (відповідальне споживання та виробництво), 14 (), 15 та 17.

Так, головна мета ЦСР12 – «робити більше і краще меншими ресурсами», розірвавши зв'язок між економічним зростанням та деградацією довкілля, зменшивши утворення відходів та перейшовши до економіки замкненого циклу. Ця мета спрямована на створення балансу між людським розвитком і природним потенціалом Землі, закликаючи всі сектори впроваджувати сталі практики.

Дорожня карта України щодо ЦСР12 зосереджена на відповідальному споживанні та виробництві. До 2030 року Україна прагне перейти до «зеленої» циркулярної економіки, приділяючи особливу увагу енергоефективності, скороченню обсягів промислових відходів та застосуванню методів сталого сільського господарства, щоб подолати серйозні пошкодження інфраструктури, спричинені війною.

До конкретних національних цілей України належать:

- Ефективне використання ресурсів та енергії: енергетична стратегія України до 2035 року має на меті скоротити загальне споживання енергії вдвічі до 2030 року та збільшити частку відновлюваних та альтернативних джерел енергії.

- Промислові та сільськогосподарські відходи: провідні вітчизняні компанії у сфері сільського господарства та логістики працюють над тим, щоб до 2030 року повернути 90 % своїх виробничих відходів у економічний цикл та перейти на сонячну й електричну енергію для забезпечення роботи вантажних перевезень та ліфтів.

- Зменшення втрат продовольства: мінімізація втрат продовольства у ланцюгах виробництва для забезпечення як продовольчої безпеки, так і економічної оптимізації.

- «Зелена реконструкція»: узгодження процесів післявоєнної відбудови з концепцією «Зеленої реконструкції України», ініціативою громадянського суспільства, спрямованої на створення низьковуглецевої інфраструктури за принципом циркулярності, що мінімізує видобуток ресурсів та шкоду навколишньому середовищу.

Однак, у рамках сьогоднішніх подій в Україні, світовій спільноті доводиться переосмислити глобальні цілі сталого розвитку, а саме сконцентрувати свою увагу на соціально-економічній складовій процесу розвитку.

Руйнівні наслідки війни з росією виявилися критичними для майже всіх внутрішньоекономічних показників, що зумовило за принципом доміно реакцію дисбалансу усіх макроекономічних показників не тільки в Україні, але і в інших країнах світу.

На національному та регіональному рівнях війна в Україні створила серйозні перешкоди для досягнення таких цілей сталого розвитку, як подолання бідності, голоду; можливість здобуття якісної освіти; надання якісних послуг у сфері охорони здоров’я; досягнення благополуччя; надання доступу до чистої питної води та енергоресурсів тощо.

Переосмислена концепція забезпечення сталого розвитку України під впливом військових дій повинна стати орієнтиром на в процесі швидкої відбудови критичної соціальної та економічної інфраструктури та забезпечити основу для середньострокових та довгострокових зусиль щодо відновлення і розвитку країни, а також виконання вимог для приєднання до ЄС.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЮ 4

ПРАКТИЧНА РОБОТА 11

Мета: Сформувати уявлення про основні екологічні проблеми счасності як на глобальному, так і на локальному рівнях

Завдання

1. Ознайомтеся з основними проявами глобальної екологічної кризи на сучасному етапі за матеріалами Теми 11 та з використанням додаткових джерел інформації. Аргументуйте, як саме пов’язані причини та наслідки таких екологічних викликів як зміна клімату та втрата біорізноманіття, деградація та опустелювання земель. Як повномасштабна війна в Украні вплинула на загострення цих процесів?

2. Підготуйте коротку розповідь (презентацію) на тему «Екологічні проблеми моєї малої батьківщини» (про основні екологічні виклики у своєму селі, місті, районі чи області).

3. За результатами доповідей студентів з різних регіонів України зробіть висновок про найбільш поширені екологічні проблеми країни.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 12

Мета: Сформувати уявлення щодо причин та можливих шляхів подолання глобальної екологічної кризи, навичок відповідального виробництва та споживання.

Завдання

1. Перегляньте документальний фільм «Руйнуючи межі: Науковий погляд на нашу планету» (оригінальна назва – Breaking Boundaries: The Science of Our Planet), науково-популярний документальний фільм 2021 року від платформи Netflix.

Фільм доступний до перегляду в оригіналі та з українським дубляжем / субтитрами безпосередньо на офіційній сторінці Netflix. Також стрічка представлена на українських некомерційних легальних кінопорталах, таких як UASerials (https://uaserials.my/4914-ruynuyuchy-mezhi-naukovyi-poglyad-na-nashu-planetu.html) та Uafix (https://uafix.net/films/rujnujuchi-mezhi-naukovij-pogljad-na-nashu-planetu/).

За результатами перегляду написати *есе*. Есе – це невеликий за обсягом прозовий твір, що має довільну композицію і висловлює індивідуальні думки та враження з конкретного приводу чи питання. Мета есе полягає у розвитку таких навичок, як самостійне творче мислення і письмовий виклад власних думок.

2. Пройдіть онлайн-тест щодо визначення індивідуального екологічного сліду за посиланням https://footprint.wwf.org.uk/#/.

За результатами тесту обґрунтуйте можливі шляхи і резерви для скорочення споживання чи оптимізації свого способу життя з метою збалансованого використання природних ресурсів.

Питання для обговорення та самоперевірки

1. Назвіть компоненти біосфери за В.І. Вернадським.
2. Основні функції живої речовини біосфери.
3. Якими були погляди В.І. Вернадського про Ноосферу?
4. Назвіть основні екологічні проблеми сучасності. Яка з них, на вашу думку, потребує першочергового вирішення?
5. Що вважають найбільш достовірною причиною сучасної глобальної зміни клімату?
6. У чому проявляється розширення масштабів впливів зміни клімату?
7. Для досягнення яких цілей було прийнято Монреальський протокол (1987 р.)?
8. Які полютанти відносяться до числа основних забруднювачів, здатних чинити несприятливий вплив на якість атмосферного повітря та здоров'я людей?
9. Що відображає Індекс живої планети? Які тенденції у біорізноманітті можна спостерігати за останні десятиліття?
10. Серед сучасних загроз для біорізноманіття основною вважають … (вставте пропущені слова).
11. Якими причинами обумовлена деградація земель?
12. Які глобальні тенденції можуть призвести до посилення тиску на земельні ресурси?
13. Які проблеми створюють пластикові відходи?
14. У чому полягає вирішення проблеми відходів?
15. Що називають «природним капіталом»?
16. Екосистемні послуги – це вигоди, які люди отримують від екосистем (так чи ні)
17. Які екосистемні послуги прямо впливають на людей?
18. Чому здорові екосистеми критично важливі для нашого виживання, добробуту і процвітання?
19. Чому, на думку деяких вчених, людство перейшло у нову геологічну епоху – Антропоцен?
20. У яких одиницях вимірюється Екологічний слід?
21. На сьогодні Екологічний слід людства перевищує біоємність Землі (так чи ні).
22. Що характеризує Екологічний слід? У яких одиницях він вимірюється?
23. Що становить найбільшу складову Екологічного сліду людства?
24. Скільки типів змін у глобальних природних системах, викликаних діяльністю людини лежить в основі концепції планетарних меж?
25. Які планетарні межі безпечного функціонування глобальних природних систем порушено на сьогодні?

26. Сталий розвиток – це розвиток суспільства, що задовольняє потреби сьогодення не приносячи при цьому в жертву здатності … поколінь задовольняти свої потреби. (вставте пропущене слово)

27. Коли і де вперше офіційно було вжито термін «сталий розвиток»?

28. До якої міжнародної конвенції було прийнято Кіотський протокол?

28. До якої Конвенції ООН було прийнято Паризьку угоду (2015 р.)?

29. Коли було прийнято глобальні Цілі Сталого Розвитку до 2030 року?

30. Чи має Ціль 12 «Відповідальне споживання та виробництво» ЦСР безпосереднє відношення до охорони довкілля? Якщо так, яким чином?

31. Яким чином війна росії з Україною впливає на досягнення Цілей сталого розвитку у глобальному вимірі?

Список використаної літератури

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 року № 1264-XII.
2. Закон України «Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № № 2697-VIII.
3. Положення про державну систему моніторингу довкілля. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р., № 391. Київ, 1998. – 7 с.
4. Указ Президент України "Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року" від 30 вересня 2019 року № 722/2019.
5. Національна доповідь "Цілі сталого розвитку: Україна". – Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. – 176 с.
6. Соломенко Л.І., Боголюбов В.М. Загальна екологія. Навчальний посібник. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 294 с.
7. Rakoid O.O. Basics of Ecology. Study guide for students with direction 193 Geodesy and Land Management. − К.: Компрінт, 2016. – 240 с.
8. Rakoid O.O. Basics of Ecology. Study guide for students with direction 193 Geodesy and Land Management. – Kyiv: NUBiP, 2019. – 160 p.
9. Екологія. Навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни / За ред. В.М. Боголюбова. – К.: НАУ. – 2006. – 156 с.
10. Основи екології / За ред. М'ягченко О.П. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 307 с.
11. 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.
12. Запольський А.К., Салюк А.І. Основи екології: Підручник / За ред. К.М.Ситника. – К.: Вища шк., 2003. – 358с.
13. Злобін Ю.А. Основи екології: Підручник. – К.: Лібра, 1998. – 248 с.
14. Odum, E.P. 1993. Ecology and Our Endangered Life-Support Systems. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA.
15. Lindemann, R. L. "The Trophic Dynamic Aspect of Ecology." Ecology 23, (1942), 399–418.
16. Chapman J. L. and Reiss M. J. (1995) Ecology, principles and application. Cambridge University Press, UK.
17. Miller, G. Tyler, Jr. Living in the Environment. Ontario: Brooks-Cole/Thompson, 2007.
18. Matthews, Carol, and N. Kathryn Weatherhead. Advanced Environmental Science. Jacksonville: Teaching Point, 2006.
19. Gilber, Scott F. Developmental Biology, Eighth Edition. Sinauer Associates Publishers, Massachusetts, 2006.
20. Gould, Stephen Jay. The Structure of Evolutionary Theory, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 2002.

21. Botkin, D., and E. Keller. Environmental Science Earth As a Living Planet. 6th edition. New York: John Wiley and Sons, 2007.

22. Chiras, Daniel. Environmental Science Action for a Sustainable Future. 4th edition. Upper Saddle River, NJ: Benjamin/Cummings Publishing Company, 1994.

23. Cunningham, W. P., and M. A. Cunningham. Principles of Environmental Science Inquiry and Applications. 4th edition. New York: McGraw-Hill, 2008.

24. Kemp, W. M., and W. R. Boynton. "Productivity, Trophic Structure, and Energy Flow in the Steady-State Ecosystems of Silver Springs, Florida." Ecological Modeling 178 (2004): 43–49.

25. Smith, R. L., and T. M. Smith. Elements of Ecology. 4th edition. Upper Saddle River, NJ: Benjamin/Cummings Publishing Company, 1998.

26. F. Stuart Chapin III, Pamela A. Matson, Harold A. Mooney. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. – 2002 Springer-Verlag New York, Inc. – 398 P.

27. Barthlott, W., Biedinger, N., Braun, G., Feig, F., Kier, G., and Mutke, J. (1999): Terminology and methodological aspects of the mapping and analysis of global diversity. Acta Botanica Fennica 162, 103–110.

28. Rodgers, C.L. and R.E. Kerstetter. 1974. The Ecosphere, Organisms, Habitats, and Disturbances. Harper & Row, Publishers, Inc. New York.

29. The Habitable Planet: Textbook. URL: https://www.learner.org/courses/envsci/unit/pdfs/textbook.pdf

30. The World's Biomes. URL: http://www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss5/biome/index.html

31. National Environmental Policy of Ukraine: Assessment and Development Strategy. − Kyiv – 2007. – 201 p.

32. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld

33. The Future we want. Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 20–22 June 2012. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/733FutureWeWant.pdf

34. Ecosystems and Human Well-being: Desertifcation Synthesis. A Report of the Millennium Ecosystem Assessment. URL: http://www.millenniumassessment.org/documents/document.355.aspx.pdf

35. Cimate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: https://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-frontmatter.pdf

36. Dzhygyrey B.C. Ecology and environmental protection: Teach. guidances. − 4th ed., Straighten. and add. − K .: T in the "Knowledge" flat co, 2006. − 319 p.

37. Ukraine Country Environmental Analysis. 2016 The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. URL: http://documents.worldbank.org/curated/en/327881470142199866/Ukraine-Country-environmental-analysis

38. Ecological Climatology (2nd edition, 2008) by Gordon Bonan. − Cambridge University Press. − 550 p.

39. Вернадский В.И. Биосфера. – М., 1967. – 376 с.

40. Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P., Jäger, J., & Matson, P. B. (2004). Global Change and the Earth System. Berlin Heidelberg New York: Springer.

41. Екологія: біологія взаємодії. VI-20. (доповнення). Принципи раціональної екологічної етики / Д. Шабанов, М. Кравченко. Екологія: біологія взаємодії. Онлайн-підручник. URL: https://batrachos.com/help-books-ecology

42. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. К: НІСД, 2020. 110 с.

43. ПРООН в Україні: Що таке Цілі сталого розвитку? URL: https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku

44. Цілі сталого розвитку в Україні. Добровільний національний огляд. (2020). URL: https://ukraine.un.org/sites/default/files/2021-10/VNR%20SDG%20Ukraine%202020.pdf

45. Цілі Сталого Розвитку: Україна: національна доповідь 2017 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. URL: http://www.un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf.

46. Ракоїд О.О., Клепко А.В., Бондарь В.І. Загальна екологія. Навчально-методичний посібник для студентів ОС Бакалавр за напрямом підготовки 193 Геодезія та землеустрій. К.: НУБіП. 2023. 133 с.

47. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Кобрюшко О.О., Перерва В.В. Загальна екологія: навчальний посібник. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 231 с.

48. Макаренко Н.А., Строкаль В.П., Бережняк Є.М., Бондарь В.І., Павлюк С.Д., Вагалюк Л.В., Наумовська О.І., Ладика М.М., Ковпак А.В. (2022). Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. Наукові доповіді НУБіП України, 4(98). 1-31. DOI: http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.04.003

Інформаційні ресурси

1. Офіційний сайт Міністерства економіки, довкілля та сільського господарства України: https://me.gov.ua/?lang=uk-UA

2. WWF Footprint Calculator: https://footprint.wwf.org.uk/#/

3. ЕкоЗагроза (офіційний вебресурс і мобільний додаток Міндовкілля, завдяки якому можна дізнатись достовірну інформацію про стан повітря, води, ґрунту та інші дані): https://ecozagroza.gov.ua/

4. European Environment Agency: http://www.eea.europa.eu/

5. Copernicus, the Earth observation component of the European Union’s Space programme: https://www.copernicus.eu/en

6. Веб-сайт ГО «Екодія»: https://ecoaction.org.ua/

7. Інформаційний центр «Зелене досьє»: https://www.dossier.org.ua/

8. ЕкоСистема, національна онлайн-платформа, яка містить актуальну інформацію про стан довкілля: https://eco.gov.ua/

9. Єдина екологічна платформа “ЕкоСистема”: https://eco.gov.ua/