

ТЕМА II. Екосистеми, їх властивості і закони функціонування

План:

1. Концепція екосистеми. Базові рівні розвитку живих організмів.
2. Класифікація екосистем.
3. Екологічні фактори (ЕФ). Лімітуючі екологічні фактори, принцип Лібіха. Межа толерантності екосистеми. Принцип емергентності. Класифікація ЕФ.
4. Трофічні ланцюги (ланцюги живлення).
5. Стійкість і стабільність екосистем. Динаміка екосистем.
6. Середовища існування та адаптація до них живих організмів.
7. Основні екологічні закони.

1. Концепція екосистеми. Базові рівні розвитку живих організмів

Повітря і вода, рослинність і ґрунти, звірі й птахи та інші живі організми утворюють взаємозв'язану і взаємозумовлену світову біосферу, яка підтримує все живе і яка, незважаючи на могутню життєздатність, складається з тендітних і надто уразливих систем, рівновага в яких дуже легко порушується.

Природні системи досить різноманітні, вони складаються з величезної кількості різно-організованих, взаємозумовлених і взаємозамінних компонентів, які об'єднані безліччю прямих і зворотних зв'язків. Незважаючи на те, що системи досить різноманітні, їм притаманний *ряд спільних рис*:

- *система* — це цілісний комплекс взаємозв'язаних елементів, але значно складніший, ніж просто сума елементів;
- *система утворює* особливу єдність з середовищем;
- будь-яка досліджувана *система є елементом* системи більш високого рангу;
- в свою чергу елементи будь-якої досліджуваної системи звичайно виступають як *система нижчого рангу*.

На думку багатьох вчених, світ організований у вигляді ланцюжка, що складається з ланок зростаючої складності.

Ця послідовність починається з елементарних частинок, з яких складається атом, йде до молекул, клітин і поширюється до складних індивідуумів (табл. 1).

Таблиця 1.1. Рівні організації органічного світу	
Основна група	Рівень
Біологічні мікросистеми	молекулярний (молекулярно-генетичний)
	субклітинний
	клітинний
	тканинний
Біологічні мезосистеми	органний
	організмівий
Біологічні макросистеми	популяційно-видовий
	біоценотичний
	біосферний (глобальний)

Одиниці одного рівня організації є частинками, з яких утворюється наступний вищий рівень. Молекули, об'єднуючись, утворюють клітини, клітини утворюють

тканини і органи, які в свою чергу утворюють багатоклітинні організми, організми утворюють надорганізмові системи: види, популяції, біоценози, біогеоценози.

Живе на нашій планеті — це окремі організми, особини. Кожен організм з однієї сторони складається з одиниць підпорядкованих йому рівнів організації (органів, клітин, молекул), з іншої — сам є одиницею, що входить до складу надорганізмових біологічних макросистем (популяцій, видів, біоценозів, екосистем, біосфери).

На всіх рівнях життя спостерігається певна впорядкованість, обмін речовин, енергії, інформації та ін. Завдяки обміну речовин та енергії встановлюється єдність живого з середовищем.

Базові рівні розвитку живих організмів:

- надклітинний рівень;
- клітинний рівень;
- організм (вид);
- популяція;
- угруповання (біоценоз);
- екосистема (біогеоценоз).

На кожному рівні, у результаті взаємодії з навколишнім фізичним середовищем (обмін речовиною й енергією) виникають характерні функціональні системи.

Вид (біологічний) — сукупність організмів зі спорідненими морфологічними ознаками, які можуть схрещуватися один з одним і мають спільний генофонд.

Це основна структурна одиниця в системі живих організмів. Вид підпорядкований роду, але має підвиди й популяції. Види мають морфологічні, фізіологічні — біохімічні, еколого-географічні (біогеографічні) та генетичні характеристики. Наука, що вивчає вид — аутекологія.

Першою надорганізмовою біологічною системою є **популяція**. Термін популяція запозичений з демографії В. Іогансеном у 1905 році для позначення групи особин одного виду, а інколи навіть однорідної сукупності особин різних видів.

Таким чином, терміном популяція почали позначати не довільно вибрану групу особин, а реально існуючу частину виду, яка відрізняється від сусідніх угруповань певними груповими біологічними ознаками.

Популяція — це не випадкове і тимчасове, а тривале у часі й просторі угруповання особин одного виду, пов'язаних більш тісними родинними зв'язками і більш схожими між собою, ніж з представниками інших подібних угруповань.

Отже, **популяція** — це сукупність особин певного виду, які здатні до вільного схрещування, населяють певний простір протягом багатьох поколінь і відокремлені від інших подібних угруповань.

Популяція є основною біологічною одиницею, в межах якої реалізуються процеси *природного добору*.

Популяція завжди перебуває під впливом багатьох факторів і реакція на конкретний фактор залежить від взаємного розташування або спільної їх дії. Зокрема, розглянемо, які фактори впливають на чисельність популяції, загальну кількість особин на даній території або в даному обсязі, котрі належать до однієї популяції.

Повінь, пожежа, град, раптові морози, посуха, бурелом, надмірне застосування хімічних препаратів, реконструкція ландшафту, вселення нових видів хижаків, паразитів, епідемії — все це може призвести до повної її загибелі. Загибель або різке скорочення чисельності популяції, як правило, викликає ланцюгову реакцію в біоценозі та може спричинити коливання чисельності популяцій інших видів. Аналіз причин загибелі окремих видів свідчить про те, що зникнення одного виду рослин викликає загибель від 3—4 до 20—30 і навіть більше видів тварин.

Популяції багатьох видів досить уразливі не лише в місцях розмноження. Неприятливі умови на шляхах міграцій і в місцях зимівлі можуть поставити популяцію на грань загибелі. Отже, створення сприятливих умов у районах розмноження, обмеження факторів смертності ще не забезпечує збільшення чисельності видів, якщо не усунути загрозу масової загибелі особин під час сезонних мандрівок.

Кожна популяція може бути охарактеризована певними ознаками — популяційними параметрами. Основні з них:

- а) *чисельність* — загальна кількість особин, що входять до складу даної популяції;
- б) *густота* — кількість особин, що припадає на одиницю території або одиницю об'єму простору, який займає популяція;
- в) *біомаса популяції* — кількість живої речовини на одиницю площі або об'єму в момент спостереження. Загальна біомаса — це сума біомас усіх популяцій, що населяють даний біогеоценоз. Одиниця біомаси — 1 г сухої (рідше сирої) органічної речовини на 1 м².
- г) *народжуваність* — кількість нових особин, що з'являються в популяції при народженні;
- д) *смертність* — кількість особин, що відмирають у певний проміжок часу;
- е) *ріст популяції* — співвідношення народжуваності та смертності, що призводить до збільшення або зменшення чисельності особин у популяції.

Відтворення потомства — головне джерело поповнення популяції. У рослин — це кількість насіння, у риб — ікри нок, у птахів яєць та ін.

Швидкість зростання популяції визначається біотичним потенціалом. Біотичний потенціал — це кількість нащадків, яку здатна дати одна особина або одна пара. У одних видів біотичний потенціал може перевищувати мільярд, у інших — обмежуватись кількома десятками.

Види, що живуть у сприятливих умовах і добре пристосовані до виживання, мають низький біотичний потенціал і, навпаки, висока смертність зумовлює надзвичайну плодючість. Наприклад, риби, які не турбуються про потомство, відкладають тисячі і навіть мільйони ікринок. Місячний біотичний потенціал риби — до 3 млрд, а в акул, які народжують живих малят, він обмежений десятками. Більшість шкідливих комах здатні плодити від кількох сотень до тисячі особин.

Для стабілізації популяцій достатньо, щоб до періоду розмноження доживало стільки потомків, скільки було батьків. Якщо відсоток виживання вищий за відсоток рівноваги, популяція зростає, якщо нижчий — зменшується. Це необхідно враховувати як при боротьбі з шкідниками, так і при охороні зникаючих видів.

Чисельність будь-якої популяції коливається під впливом дії біотичних і абіотичних факторів. Один і той самий фактор може відігравати, залежно від стану популяції, як позитивну, так і негативну роль.

Угрупування. Біоценоз.

Угрупування – сукупність видів, об'єднаних певними екологічними зв'язками, однією територією проживання та впливом комплексу умов існування.

Іноді угрупування вживають як синонім **біоценозу** – взаємозв'язана сукупність мікроорганізмів, грибів, рослин і тварин, що населяють більш-менш однорідну ділянку суші чи водойми й характеризуються певними відносинами між собою й адаптацією з довкіллям. В межах біоценозу відбувається кругообіг матерії й енергії, а також формування середовища життя організмів – *біотопу*.

Біотоп – однорідний за біотичними факторами середовища простір, зайнятий біоценозом (тобто місце життя виду організму).

Поняття біоценоз – умовне, оскільки поза середовищем існування організми жити не можуть, але ним зручно користуватися у процесі вивчення екологічним зв'язків між організмами.

Термін біоценоз був запропонований у 1877 році нім. вченим К. Мьобіусом.

Угрупування і неживе середовище функціонують разом як екологічна система (екосистема).

Екосистема. Біогеоценоз

Найбільш важливою ознакою екосистем є їхнє формування з живих організмів із різними типами живлення.

У природі до екосистем обов'язково входять: продуценти, що забезпечують акумулювання сонячної енергії та створення органічної речовини; консументи, що здійснюють її переробку; редуценти, що утилізують відходи життєдіяльності продуцентів і консументів.

Існує декілька визначень що таке екосистема.

I. Екосистема - єдиний природний комплекс, утворений живими організмами й середовищем, в якому вони існують і де всі компоненти тісно пов'язані обміном речовин, енергії та інформації.

II. Екосистема - сукупність організмів, що спільно живуть, і умов їхнього існування, що знаходяться в закономірному взаємозв'язку один з одним і утворюють систему взаємообумовлених біотичних і абіотичних явищ і процесів.

III. Екосистеми - термодинамічно відкриті, функціонально цілісні системи, що існують за рахунок надходження з навколишнього середовища енергії і частково речовини і які саморозвиваються і саморегулюються.

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

Для характеристики екосистем звичайно використовують досить великий набір ознак:

- а) видовий склад живих організмів, типовий для даної екосистеми;
- б) співвідношення в екосистемі організмів із різними типами живлення;
- в) розмір створеної в екосистемі первинної та вторинної біопродукції;

- г) інтенсивність потоку енергії через екосистему та швидкість кругообігу речовин;
- д) режим абіотичних умов та ресурсів.

Відповідно до початкового визначення, *екосистеми не мають просторової вираженості та пристосованості до конкретної ділянки чи акваторії*. У той же час досвід вивчення природних явищ показує, що більшість із них досить чітко окреслені територіально.

Це привело до необхідності введення в екологію ще одного важливого поняття – **біогеоценозу**. За визначенням ВМ. Сукачова (1964), «**біогеоценоз** – однорідна ділянка земної поверхні з певним складом організмів, що населяють її (бактерій, рослин, тварин, грибів), та комплексом абіотичних компонентів (грунтом, повітрям, енергією сонячною та ін.), пов'язаних між собою обміном речовин та енергії в єдину природну систему».

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

Таким чином, екосистема територіально не визначена, а біогеоценоз завжди є конкретною ділянкою біосфери. Тому деякі спеціалісти вважають, що *біосфера складається не з екосистем, а з біогеоценозів*. Насправді обидва ці поняття доцільні та доповнюють одне одного. *Біогеоценоз – це окремий випадок, один із видів екосистеми, який має чітку територіальну прив'язаність*. Екосистема – поняття більш загальне.

Біогеоценоз – пов'язаний і обмежений кліматичними умовами (наприклад, горна екосистема). Б. – однорідна територія, на якій розміщена екосистема (яка не обмежена кліматичними факторами).

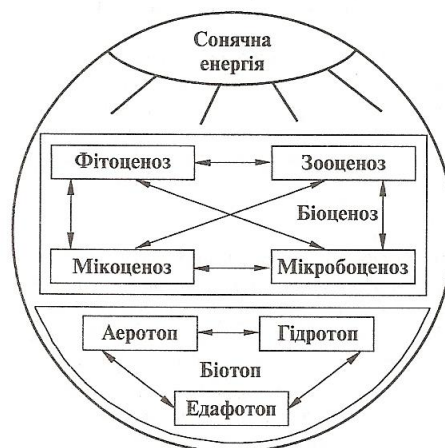


Рис. 1. Схема будови природної екосистеми (за С. Швіндлерманом)

Сукупність біогеоценозів утворюють біосферу, а окремі Б. являють собою її елементарні одиниці, комірки.

Сукупність живих компонентів Б. становить біоценоз, неживих – біотоп.

2. Класифікація екосистем

- За масштабами екосистеми поділяються на мікроекосистеми, мезоекосистеми, макроекосистеми і глобальні екосистеми.

У **мікроекосистемах** невеличкі, тимчасові біоценози, що називаються синюзіями, перебувають у обмеженому просторі. До таких екосистем належать: трухляві пеньки, мертві стовбури дерев, мурашники тощо.

Найбільш поширеними серед екосистем є **мезоекосистеми** або біогеоценози, в яких біоценози займають однотипні ділянки земної поверхні з однаковими фізико-географічними умовами і межі яких, як правило, збігаються з межами відповідних фітоценозів.

Макроекосистеми охоплюють величезні території чи акваторії, що визначаються характерним для них макрокліматом і відповідають цілим природним зонам. Біоценози таких екосистем називаються **біомами**.

Біом – сукупність біогеоценозів зі схожими характеристиками (насамперед – рослинністю), що займають значну територію й розвиваються в схожих кліматичних умовах.

Ю. Одум запропонував наступну класифікацію природних екосистем:

1. Природні біоми:

- тундра: арктична і альпійська;
- бореальні хвойні ліса (тайга);
- листовий ліс помірної зони;
- степ помірної зони;
- тропічні степи і савани;
- чапараль – райони з дощовою зимою і засушливим літом;
- пустелі – трав'яні і кущові.
- напів вічнозелений тропічний ліс: виражений вологий і сухий ліс;
- вічнозелений тропічний дощовий ліс.

2. Типи прісноводних екосистем:

- лотичні – річки, джерела.
- лентичні (стоячі водойми) – ставки, озера;
- заболочені угіддя – болота і болотні ліси.

3. Типи морських екосистем:

- відкритий океан (пелагічна зона);
- води континентального шельфу (при берегові води);
- райони апвелінгу – підйом глибинних вод у верхні шари океану. Це плодovitі райони з продуктивним рибальством.
- естуарії – при берегові бухти, гирла рік, проливи.

Прикладом **глобальної** екосистеми є біосфера нашої планети, всередині якої розрізняють наземні і водні екосистеми.

- За ступенем трансформації людською діяльністю екосистеми поділяються на природні, антропогенні та антропогенно-природні.

Природні екосистеми (крапля води, озеро, світовий океан) – не мають просторових обмежень

Лісові насадження, луки, ниви — все це антропогенно-природні екосистеми, які хоча й складаються майже виключно з природних компонентів, але створені й регулюються людьми.

До антропогенних екосистем (штучні) належать екосистеми, в яких переважають штучно створені антропогенні об'єкти і в яких, крім людей, можуть існувати лише окремі види організмів, що пристосувалися до цих специфічних умов. Прикладом таких антропогенних екосистем є міста, промислові вузли, села (в межах забудови), кораблі тощо.

3. Екологічні фактори

Безперервність життя на Землі забезпечується унікальною здатністю живих істот створювати і підтримувати внутрішнє середовище, здійснювати обмін речовин із навколишнім середовищем і передавати ці властивості за спадковістю своїм нащадкам.

Середовище – одне з основних екологічних понять, під ним ми розуміємо комплекс природних тіл і явищ, з якими організм знаходиться у прямих або опосередкованих зв'язках.

Внутрішнє середовище будь-якої істоти якісно відрізняється від зовнішнього середовища. Якісна самостійність внутрішнього середовища організму регулюється механізмами гомеостазу.

Гомеостаз організму – це стан внутрішньої динамічної рівноваги, який забезпечується взаємодією складних процесів регуляції та координації біохімічних реакцій за принципом зворотного зв'язку.

Гомеостаз може здійснюватися лише за певних умов навколишнього середовища: поза межами цих умов автономність організму порушується і він гине, а його внутрішнє середовище ототожнюється із зовнішнім. Сили, що діють з боку навколишнього середовища, називають факторами.

Організм як елементарна частинка живого світу в середовищі свого існування знаходиться під одночасним впливом кліматичних, біотичних факторів, які разом називаються екологічними.

Екологічний фактор – будь-який фактор середовища, що здатен в тій чи іншій мірі, прямим або непрямым способом впливати на живі організми, в період хоча б однієї фази індивідуального розвитку.

Фактори навколишнього середовища забезпечують існування в просторі та часі. Засвоєння і використання факторів здійснюється організмом через адаптації.

Адаптація – це процес *пристосування* організмів, популяцій та угруповань до мінливих умов проживання; сукупність морфологічних, фізіологічних, популяційних, поведінкових та ін. особливостей даного біологічного виду, яка забезпечує можливість специфічного способу життя в певних умовах довкілля. Це генетично закріплені ознаки, сформовані в ході еволюції (плавники у риб, крила у птахів, кінцівки у тварин).

Залежно від кількості й сили дії один і той самий фактор може мати протилежне значення для організму. Наприклад, як підвищення, так і зниження температури, до якого організм не може пристосуватися, призводить до його загибелі. Адаптивні можливості різних організмів розраховані на різне значення фактора. Так, більшість прісноводних риб гине, потрапивши в морську воду, а морські риби гинуть при зниженні солоності води.

Наявність того чи іншого фактора може бути життєво необхідною умовою для одних видів і не мати ніякого значення для інших. Наприклад, світло для зелених рослин — це джерело енергії, а для різних мешканців ґрунту — зайвий або й небезпечний фактор.

Залежно від сили дії того чи іншого фактора умови існування особин виду можуть бути оптимальними, неоптимальними або відповідати проміжному рівню.

Здатність організму витримувати певну амплітуду коливання фактора називають **екологічною валентністю**. Для життя організмів велике значення має не тільки абсолютна величина фактора, але й швидкість його зміни.

За екологічною валентністю організми поділяються на **еврибіонтних** з широкими пристосувальними можливостями (сірий пацюк, горобець, кімнатна муха) і **стенобіонтних**, які можуть існувати лише у відносно сталих умовах (байбак степовий, журавель степовий, качкодзьоб).

Реакція організму і його адаптивні можливості відповідно до показників фактора залежать від поєднання дії різних факторів. Мряка та вітер при плюсовій температурі, мороз при ясній та тихій погоді сприймаються по-різному. У даному випадку реакція організму на температурний фактор залежить від супровідної дії вологості і вітру, тобто від спільної дії факторів.

Для нормального існування організму необхідний певний набір факторів. Якщо хоч один із життєво необхідних факторів відсутній або дія його недостатня, організм не може існувати, нормально розвиватись і давати потомство. Це явище називають **законом мінімуму, або законом Лібіха**, а фактор, дії якого недостатньо для нормального життя — **лімітуючим**.

Лімітуючі екологічні фактори, принцип Лібіха. Межа толерантності екосистеми. Принцип емергентності.

Живі організми, а значить і екосистеми, реагують на силу впливу того або іншого екологічного фактора. Негативний вплив екологічного фактора може виникати як у випадку надлишку, так і нестачі його дози. Тому є поняття сприятлива доза, або зона оптимуму екологічного фактора й зона песимуму (доза фактора, за якої організми почуваються пригнічено). Залежність ступеня впливу екологічного фактора від його дози показана на рис. 2.1.

Максимальні і мінімальні значення дози екологічного фактора зветься критичними значеннями (**критичними точками**).

Для нормальної життєдіяльності екосистеми будь-який екологічний фактор повинен приймати оптимальні значення (див. рис. 2.1) або хоча б не виходити за межі критичних точок - закон оптимуму.

Слід наголосити, що в природі екологічні фактори діють комплексно. Особливо важливо пам'ятати це, оцінюючи вплив хімічних забруднювачів, коли на негативну дію однієї речовини накладається негативна дія інших, а до цього додається вплив стресової ситуації, шумів, різних фізичних полів - радіаційного, теплового, гравітаційного чи електромагнітного.

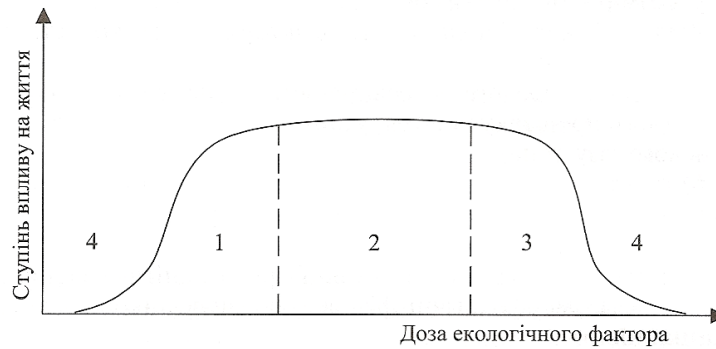


Рис. 2.1. Залежність ступеня впливу екологічного фактора на життя від його дози: 1,3 — зона пригнічення; 2 — зона толерантності (зона оптимуму); 4- зона смерті

Зона між критичними значеннями екологічного фактора зветься **зоною толерантності** (зоною виживання) екосистеми стосовно даного екологічного фактора.

Найбільше поширені організми з широким діапазоном толерантності щодо всіх екологічних факторів. Найвища толерантність характерна для бактерій і синьо-зелених водоростей, які виживають у широкому діапазоні температур, радіації, солоності, рН.

Відповідно з законом толерантності надлишок будь-якої речовини може бути так само шкідливим, як і його недолік.

Важливими є також поняття лімітуючі фактори.

Лімітуючі екологічні фактори - це ті екологічні фактори, доза яких наближається до критичних значень, тобто значення яких вище або нижче оптимального значення.

Це поняття започатковане законом Лібіха.

Принцип Лібіха - стійкість екосистеми визначається найслабшою ланкою в ланцюзі її екологічних потреб (тобто стійкість визначається тим компонентом, що у мінімумі). Наприклад, врожай зерна часто лімітується не тими поживними речовинами, які вимагаються рослиною у великих кількостях, наприклад, вуглекислим газом і водою (оскільки цих речовин є доволі), а тими, які вживаються у невеликих кількостях (наприклад, бор), але яких мало і в ґрунті.

Якщо кількість і якість екологічних факторів близька до необхідного організму мінімуму, він виживає, якщо менше - організм гине, екосистема руйнується. Таким чином, лімітуючі фактори стримують розвиток організмів за рахунок недоліку або надлишку цього фактора порівняно з потребою.

Принцип емергентності.

Компоненти екосистеми мають визначені властивості. По мірі об'єднання компонентів або підмножин у більш значні функціональні одиниці, у цих нових одиниць виникають нові властивості, які були відсутні на попередньому рівні. Ці нові **властивості зветься емергентними.**

Принцип емергентності можна сформулювати так: **властивості цілого неможливо зводити до суми властивостей його частин.**

Емергентні властивості виникають як результат взаємодії компонентів, а не внаслідок зміни природи цих компонентів.

Емергентні властивості виникають при функціонуванні екосистеми як цілого і зникають при руйнації екосистеми.

Вся сукупність умов, необхідних для існування того або іншого виду живих організмів, а також його роль у біологічному співтоваристві, становлять екологічну нішу. Кожний вид займає свою нішу у співтоваристві.

Екологічна ніша – це наявність тих умов і простору, завдяки яким може не лише існувати той чи інший вид живого, але і може репродукувати себе.

Наприклад: екологічною нішею кишкової палички є кишечник людини, а е.н. людини є природне середовище.

У випадку зникнення виду, його екологічну нішу рано чи пізно займе інший вид, здатний виконувати ті ж функції у співтоваристві, що і зниклий, відбувається екологічне дублювання.

Організми, як свідчать численні дослідження, не є рабами фізичних умов середовища. Вони пристосовуються самі і змінюють їх так, що можуть послабити лімітуючий вплив температури, світла, води та інших факторів. Такий вплив організмів дуже відчутний і ефективний на рівні угруповання. Зв'язок організму із середовищем має характер тривалий і нерозривний, і організм не може існувати поза середовищем.

На Землі розрізняють чотири типи життєвого середовища: водне, наземне (повітряне), ґрунтове та тіло іншого організму.

Класифікація екологічних факторів

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

За характером походження розрізняють:

— **абіотичні фактори**, котрі зумовлюються дією неживої природи і поділяються на кліматичні (температура, світло, сонячна радіація, вода, вітер, кислотність, солоність, вогонь, опади тощо), орографічні (рельєф, нахил схилу, експозиція) та геологічні.

— **біотичні** — дія одних організмів на інші, включаючи всі взаємовідносини між ними.

— **антропогенні** фактори вплив на живу природу життєдіяльності людини.

Коротко розглянемо групи факторів, об'єднаних характером походження.

Абіотичні. Серед них особливо виділяється група кліматичних факторів. Дія багатьох абіотичних факторів, включаючи рельєф, вітер, тип ґрунту тощо виявляється опосередковано — через температуру і вологість. Внаслідок цього на невеликій ділянці земної поверхні кліматичні умови можуть суттєво відрізнятися від середніх для даного регіону в цілому. Температура і кількість опадів (дощу або снігу) визначають розташування на земній поверхні основних природних зон. Різноманітність природних комплексів часто визначається особливостями ґрунтів, від яких залежить надходження вологи. Один і той же фактор щодо різних організмів може відігравати різноманітну роль і завдяки цьому переміщуватися у класифікації з однією групи в іншу. Яскравим прикладом цього явища може бути

світло. Для рослин воно є джерелом енергії при фотосинтезі, для багатьох наземних тварин світло може бути основним фактором.

Енергія сонця – один із найважливіших для рослин абіотичних чинників середовища, оскільки завдяки йому відбувається важливий процес – **фотосинтез**.

Для ґрунтових організмів або мешканців печер, як і для організмів, що живуть у глибинах морів, цей фактор не має значення, оскільки протягом всього життя ці організми не зустрічаються з його дією.

Екологічні фактори діють на організм різними шляхами. У найпростішому випадку має місце прямий вплив. Так, сонячне проміння освітлює ящірку, яка лежить нерухомо, і тіло її нагрівається. З іншого боку, дуже часто екологічні фактори впливають на організм опосередковано, через безліч проміжних ланок. Наприклад, поєднання високої температури повітря з низькою вологістю і відсутністю дощів призводить до посухи, іноді це набуває катастрофічного характеру (вигоряє рослинність, траводні мігрують або гинуть).

Біотичні фактори. Це форми впливу живих організмів один на одного. Основною формою такого впливу в більшості випадків є харчові зв'язки, на базі яких формуються складні ланцюги і ланки харчування. Крім харчових зв'язків, в угрупованнях рослинних і тваринних організмів виникають просторові зв'язки. Все це є підставою для формування біотичних комплексів. Виділяють різні форми біотичних відносин, які можуть бути найрізноманітнішими — від дуже сприятливих до різко негативних.

Між представниками різних видів організмів, що населяють екосистему, крім нейтральних, можуть існувати такі **види зв'язків:**

Нейтралізм – це нульовий варіант стосунків, коли обидва види незалежні і не впливають один на одного. Наприклад, види рослиноїдних і хижих комах, які мешкають в одному біоценозі й не пов'язані один з одним відносинами харчування або конкуренції. Наприклад, у лісі білка.

конкуренція — боротьба між представниками різних видів за їжу, повітря, воду, світло, життєвий простір; боротьба тим жорстокіша, чим більш споріднені й близькі за вимогами до умов середовища види організмів, що конкурують;

мутуалізм — представники двох видів організмів своєю життєдіяльністю сприяють один одному, наприклад комахи, збираючи нектар, запилюють квіти; мурашки, опікаючи попелиць, живляться їхніми солодкими виділеннями;

коменсалізм — коли від співжиття представників двох видів виграє один вид, не завдаючи шкоди іншому, наприклад, рибка-прилипайко знаходить захист і живиться біля акул (мутуалізм і коменсалізм називають ще симбіозом);

паразитизм — одні істоти живляться за рахунок споживання живої тканини господарів, наприклад, кліщі, блощиці, воші, глисти, омела, деякі гриби тощо;

хижацтво — одні організми вбивають інших і живляться ними.

алелопатія — одні організми виділяють речовини, шкідливі для інших, наприклад, фітонциди, що виділяються деякими вищими рослинами, пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів; токсини, що виділяються під час "цвітіння" води у водоймищах, отруйні для риби та інших тварин.

Протокооперація (співпраця) - це утворення двома видами угруповання, проте можуть існувати і окреми, хоч угруповання приносить їм обом користь.

* Наприклад:

- грабово-букова: граб, поліпшуючи якість ґрунту, є своєрідним "підгоном" бука.

- рослина, яку запилюють комахи, дає їм солодкий нектар, що містить розчинені у воді сахарозу, глюкозу і т.д.

- в тваринному світі зразок протокооперації - це спільне життя крячків і чапель, що дає їм можливість краще захищатись від хижаків.

Антропогенні фактори зумовлені діяльністю людини, вплив її на природу може бути як свідомим, так і стихійним, випадковим. Користуючись знанням законів розвитку природи, людина свідомо виводить нові високопродуктивні сорти рослин, породи тварин, усуває шкідливі види, творить нові природні комплекси. Процес взаємодії людини з природою почався з моменту появи людини на Землі і весь час зростає.

У 1958 р. А.С. Мончадський запропонував **класифікацію факторів за характером їхньої дії.**

Стабільні фактори — ті, що не змінюються протягом тривалого часу (земне тяжіння, сонячна стала, склад атмосфери та інші). Вони зумовлюють загальні пристосувальні властивості організмів, визначають належність їх до мешканців певного середовища планети Земля.

Змінні фактори, які, у свою чергу, поділяються на закономірно змінні та випадково змінні. До закономірно змінних належить періодичність добових і сезонних змін. Ці фактори зумовлюють певну циклічність у житті організмів (міграції, сплячку, добову активність та інші періодичні явища і життєві ритми). Випадково змінні фактори об'єднують біотичні, абіотичні та антропогенні фактори, дія яких повторюється без певної періодичності (коливання температури, дощ, вітер, град, епідемії, вплив хижаків та інші).

До середини ХХ століття людина, за визначенням В.І. Вернадського, стала найбільш могутньою геологічною силою на нашій планеті. Різко зріс вплив людської діяльності на довкілля, що призвело до порушення природних зв'язків. Так, внаслідок вирубування лісів, пустелі різко пришвидшили свій наступ на зелені зони. Діяльність людини змінює умови навколишнього середовища, а середовище, в свою чергу впливає на життя, здоров'я та життєдіяльність як окремої людини, так і людської популяції загалом.

Стосовно екосистеми розрізняють зовнішні і внутрішні екологічні фактори:

Зовнішні (екзогенні) екологічні фактори - фактори, що діють на екосистему через зовнішнє середовище, але самі практично не відчують зворотної дії (потоки Сонячної енергії, швидкість вітру, розмір атмосферних опадів і ін.).

Внутрішні екологічні фактори - фактори якості екосистеми. До них відносять:

а) **мікрометеорологічні** - освітленість, температура, вологість приземного прошарку повітря, утримання в ньому кисню, вуглекислого газу тощо;

б) **грунтові** - температура, вологість і склад ґрунтів, утримання гумусу, окисно-відновний потенціал;

в) **біотичні** - щільність популяції різноманітних видів, їх віковий склад, морфологічні, фізіологічні і поведінкові характеристики тощо.

4. Трофічні ланцюги (ланцюги живлення)

Ланцюг живлення (трофічний ланцюг) — групи видів рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, пов'язаних між собою відносинами типу їжа-споживач, унаслідок чого створюється певна послідовність передавання речовин та енергії від одних груп організмів до інших. Ланцюги живлення формувалися в процесі історичного розвитку органічного світу.

Основні елементи трофічних ланцюгів.

Основною для функціонування трофічного ланцюга є енергія Сонця, тобто зовнішнє джерело, енергія якого акумулюється всіма живими організмами.



Перший трофічний рівень представлений автотрофами (організми, які самостійно виробляють усі необхідні для їхнього життя органічні речовини з неорганічних – CO_2 , води, мінеральних солей – за рахунок енергії сонячного світла (фотосинтез) або хімічних перетворень (хемосинтез), або **продуцентами**.

Організми-продуценти – це зелені рослини, які в процесі фотосинтезу створюють первинні органічні речовини.

Окрім організмів-фотосинтетиків, органічні речовини можуть бути утворені і без участі сонячного випромінювання, коли енергія отримується як результат хімічних реакцій.

Наприклад, нітрифікуючі бактерії, залізобактерії.

Проте, роль хемосинтетиків у функціонуванні системи незначна, тому що головна роль у енергетичній єдності системи належить фото синтезуючим організмам.

Другий трофічний рівень представлений гетеротрофними організмами – **консументами**.

Залежно від кількості енергії, яка акумулюється продуцентами, кількість рівнів консументів може бути різною.

Саме консументи творять видову різноманітність системи.

Організми консументи I порядку (рослиноїдні організми - травоядні тварини) – використовують органічні речовини рослин, перетворюючи їх в білки, вуглеводи, жири, тобто пристосовуючи до свого типу обміну речовин.

Консументи II порядку – організми, які харчуються травоядними тваринами.

Консументи III порядку – організми, які харчуються першими трьома елементами. Це, насамперед паразити тварин і надпаразити, господарі яких самі ведуть паразитичний спосіб життя.

Організми, що живляться мертвою органічною речовиною, залишками рослин або тварин, називаються **детритофаги** або **сапрофаги**. Це різноманітні гнильні бактерії, гриби, хробаки, личинки комах, жуки -копрофаги й інші тварини - всі вони

виконують функцію очищення екосистем. Детритофаги беруть участь в утворенні ґрунту, торфу, донних відкладень водойм.

Редуценти, до яких належать бактерії й нижчі гриби, завершують деструктивну роботу консументів і сапрофагів, доводячи розкладання органіки до її повної мінералізації.

Але справжніми редуцентами, які завершують цикл руйнації органічних речовин, вважаються лише такі організми, що виділяють у зовнішнє середовище тільки неорганічні речовини, готові до залучення в новий цикл.

Правило 10% (правило піраміди енергій Р. Ліндемана): з одного трофічного рівня екологічної піраміди переходить на інший, вищий рівень у середньому близько 10% енергії.

Біомаса - це жива речовина в цілому або її окремі компоненти, виражені в одиницях маси (ваги) або енергії. Щоб визначити загальну біомасу планети Земля, потрібно визначити біомасу окремих її живих компонентів. Біомаса, як правило, визначається в одиницях сухої ваги.

5. Стабільність та стійкість екосистеми

Під **стабільністю екосистеми** слід розуміти закладену в її генетичній пам'яті здатність протягом усього періоду існування, незважаючи на ті чи інші зовнішні впливи, 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 і стабільність екосистем є словами-синонімами і означають здатність екосистем зберігати свою структуру і функціональні властивості під впливом зовнішніх факторів.

Розрізняють два типи стійкості – пластичну і резистентну.

Резистентні система – система тримається до певної межі (певних значень) збурювального фактора, але коли його значення перевищать певну межу – виходить зі стану рівноваги, до якого вже може не повернутися навіть після повного припинення збурювального впливу. Так, каліфорнійські секвойні ліси досить стійкі до пожеж (товстий шар кори тощо), однак під час згорання лісу він відновлюється вкрай повільно або ж не відновлюється зовсім.

Пластична система – більш чутлива до впливу, проте вона ніби «прогинається» і потім відновлюється при зменшенні антропогенного впливу.

Чудовою ілюстрацією пластичної стійкості можуть бути пірогенні угруповання. Час від часу вони практично знищуються внаслідок пожеж, але досить швидко відновлюються. Каліфорнійські зарості чапаралю після пожежі поновлюються повністю за кілька років.

Синонімом стійкості сьогодні може бути **біорізноманіття**. Виходячи з цього, самі стійкіші біоми – це тропіки, а менш стійкі – тундра і напівпустелі.

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.

Людина порушує всі три принципи функціонування екосистем:

- змінюючи колообіг хімічних елементів;
- використовуючи як джерело енергії корисні копалини і забруднюючи довкілля продуктами їх згоряння;
- збільшуючи чисельність людської популяції, справляючи тим самим тиск на природне середовище і порушуючи природну рівновагу між компонентами біоосфери.

Кожна екосистема піддається зовнішнім впливам, які намагаються її вивести з стійкого стану. Якщо ці впливи не досить значні, система повертається у вихідне положення за рахунок механізму екологічного дублювання.

Наприклад: при впливові зовнішніх факторів (засуха) олень втрачає свою попередню питому вагу і вовк, який стоїть на наступній ланці трофічної піраміди, відмовляється його використовувати в якості їжі.

В тих випадках, коли система має розгалуджені харчові ланцюги, місце вовка може зайняти ведмідь і, таким чином, стійкий стан екосистеми не порушується.

У випадках, коли дія зовнішнього фактору довготривала чи груба, може відбутися загибель частини живих організмів, а більш стійкіші виживуть і дадуть початок новим поколінням.

Цей процес описується законом внутрішньої динамічної рівноваги, згідно якого речовина, енергія, інформація, стан окремих елементів екосистем в цілому взаємопов'язані і будь-яка зміна одного з них призводить до зміни інших.

Згідно *принципу Ле-Шательє-Брауна*: будь-які зовнішні впливи, що виводять систему зі стану рівноваги, викликають у цій системі процеси, що намагаються послабити зовнішній вплив та повернути систему в початковий рівноважний стан.

Чим більше видове різноманіття екосистем, тим більш вони стійкіші.

Скорочення на 20-30 % видового різноманіття екосистем може привести до їх загибелі.

Другою обов'язковою умовою стійкого стану екосистеми являється багато різноманітність екологічних факторів.

Динаміка екосистем

Причиною змін в екосистемах можуть бути різноманітні чинники:

- а) зовнішні абіотичні і зовнішні біотичні (коли зміни в малих екосистемах-консорціях, біогеоценозах зумовлені змінами в екосистемах більших розмірів –

ландшафтних, або інтродукцією в екосистему якогось агресивного біотичного компонента – консумента, хижака тощо);

- б) внутрішні біотичні – зумовлені віковими, статевими або кількісними змінами біотичних компонентів;
- в) зовнішні циклічні або ритмічні зміни умов освітлення, зволоження, температурного чи радіаційного режиму;
- г) антропогенні – пов'язані з господарською діяльністю людини.

Екосистеми відчують ті ж динамічні зміни, що й популяції і біоценози. Ці зміни можуть бути:

- Циклічні (добові коливання, розкривання й закриття квітів, сон тощо) - найбільш чітко виражені в умовах клімату високої континентальності, де є різкі коливання температури вдень і вночі.
- Сезонні (листопад, линька, міграції, сплячки в тварин, переліт птахів) - виражається в тому, що на визначений період із біоценозу «випадає» група живих організмів (зимова сплячка ведмеда).
- Багаторічні цикли проявляються завдяки змінам клімату (розливи річок, повторні масові розмноження тварин).

*Одна з характеристик більшості екосистем і угруповань – це поступова зміна в складі видів на одній і тій же території під впливом природних факторів або діяльності людини, яка називається **екологічної сукцесією**.*

Якщо ділянка, яка заселяється, раніше не піддавалась впливу якихось угруповань, то це первинна сукцесія.

Якщо рослинність місцевості частково або повністю знищена, але має добре розвинений ґрунтовий шар, в якому залишаються насіння або спори, наступну зміну видового складу називають вторинною сукцесією (наприклад, заселення видів після пожежі).

Як правило, сукцесія супроводжується зростанням продуктивності екосистеми і збільшенням кількості видів на одиницю площі, з'являються види, які ефективно використовують кожну калорію.

Під впливом закону оптимуму, будь-яка система краще функціонує при визначених просторових часових межах і тому крупні особини із-за браку харчування помирають і забезпечується стійкий розвиток екосистем.

Найвища, найбільш збалансована ступінь сукцесії називається **клімаксом** і тому може існувати досить довго.

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.

Відновлюваність – це здатність системи повертатися до первинного стану після виходу з нього під впливом зовнішнього чинника. Час відновлення первинного стану системи може бути різним: від кількох годин (наприклад, відновлення

нормального стану атмосфери після залпового атмосферного викиду забруднювальних речовин) до багатьох сотень років (наприклад, відновлення ландшафтів субполярного поясу після їх антропогенної деградації).

Якщо відновлення екосистеми не відбувається, це означає, що її запас стійкості був недостатнім.

Особливий характер має такий вид стійкості екосистем, як *здатність до самоочищення від забруднення*. Він вирізняється не за характером, механізмами стійкості, а за виглядом дії. Здатність до самоочищення від забруднень може бути віднесена до пружності (якщо забруднення не зумовило великих перебудов у екосистемі) або до відновлюваності (якщо забруднення призвело до виходу екосистеми за межі інваріанта).

6. Середовища існування та адаптація до них живих організмів

Середовище (життя) живих організмів – вся сукупність конкретних абіотичних та біотичних факторів, в яких живе одна особина, популяція або вид. Іншими словами, термін «середовище життя» - все оточення, в якому відбувається діяльність людини та розвиток живої і неживої матерії.

Розрізняють такі середовища:

Водне середовище - найбільш однорідне середовище серед інших середовищ. Воно мало змінюється в просторі, тут не має чітких меж між окремими екосистемами, не має великих відмінностей між максимальною і мінімальною температурами. Середовищу притаманна велика щільність (океан – $1,5 \text{ г/см}^3$, річка – $1,0 \text{ г/см}^3$).

Особливості середовища: висока густина води, висока теплоємність, що бумові значно менші коливання температури, освітленість водойм зменшується зі збільшенням глибини, вода поглинає промені світла, у воді є розчинені солі, зі збільшенням глибини концентрація кисню знижується, при зануренні на кожні 10 м тиск зростає приблизно на 1 атмосферу, водні маси можуть пересуватися та ін.

Лімітуючою ознакою являється наявність розчиненого кисню. Вміст його у воді зазвичай не перевищує 1 % від об'єму. У воді мало теплокровних організмів (*гомойотермні*). Деякі теплокровні тварини (кити, тюлені), минулі жителі суші, можуть існувати у воді за рахунок періодичних зв'язків з сушею.

Типові представники водного середовища – це *пойкілотермні організми*, які можуть жити при відносно постійній температурі:

- *Планктонні організми* – сукупність мікроскопічних організмів, які населяють товщу морів та прісноводних водойм і не здатні протистояти перенесенню їх течіями (водорості, найпростіші, молюски).
- *Нектон води* – це активно пересувні гідробіонти - сукупність пелагічних тварин, які здатні активно плавати, протистояти течії і долати значні відстані (риби, китоподібні, головоногі молюски, ластоногі, пінгвіни, водяні черепахи).
- *Бентосні організми* – сукупність організмів, які мешкають на дні водойм у вільному стані або в товщі донного ґрунту або прикріплені до інших організмів (найпростіші, черви, п'явки).

- *Плейстон* – сукупність водяних організмів, які населяють поверхневий (до 15 м) шар води; можуть триматися на поверхні води або перебувати в напівзануреному стані (саргасові водорості, ряска, деякі медузи).

Наземно-повітряне середовище - найбільш складне за властивостями і по різноманіттю в просторі середовище. Провідна роль у ньому належить таким чинникам, як світло, температура, вологість і газовий склад атмосфери.

Світло – єдиний чинник, зміни якого ритмічні, і ому є основним сигнальним чинником, що зумовляє наявність в організмів сезонних і добових ритмів.

Температура впливає на швидкість процесів обміну речовин і визначає механізми терморегуляції. Значення *вологості* як екологічного чинника визначається біологічним значенням води. *Газовий склад* атмосфери проявляє свій вплив на організм здебільшого через O₂ та CO₂.

Лімітуючий фактор – недостача тепла і вологи.

Повітря майже ніколи не буває сухим, в ньому завжди присутня водяна пара. Крім того, у ньому часто присутні фізичні домішки природного і антропогенного походження: пилок і спори рослин, пил, сажа. Тому П.С. вважається двофазним (повітря+твердий субстрат).

Важливу роль у житті рослин відіграє *вітер* – переміщення повітряних мас вздовж поверхні Землі, під час якого вирівнюється концентрація окремих його частин, посилюється газообмін в повітрі і ґрунті.

Ґрунтове середовище характеризується *такими особливостями*: вода і повітря знаходяться в порожнинах між частками ґрунту;

склад ґрунтового повітря відрізняється від атмосферного (вміст CO₂ в 10-100 разів вищий, а кисню – у декілька разів менший);

відсутність впливу світла, вологість завжди вища повітряної;

невелика амплітуда добових і річних коливань температур та ін.

Лімітуючий фактор – частіше всього недостача кисню через надлишок вологи чи вуглекислого газу. В ґрунті велика кількість живих організмів. Вважається, що близько 90% видів комах на тих чи інших стадіях свого онтогенезу пов'язані з ґрунтом.

Організмнене середовище – це гетеротрофні організми, організми-паразити, які використовують для свого проживання і способу існування інші тваринні організми.

Особливості середовища: на організми, які живуть на поверхні інших істот, впливають чинники зовнішнього середовища і можуть здійснювати вплив і самі істоти;

на організми, які мешкають всередині організму хазяїна, чинники зовнішнього середовища безпосередньо не впливають, середовище тут стабільне.

7. Основні екологічні закони

Завданням екології є пошук законів функціонування та розвитку цієї галузі об'єктивної реальності. Історично першим для екології є закон, що встановлює залежність живих систем від факторів, котрі обмежують їхній розвиток (так званих лімітуючих факторів).

Закон мінімуму. В 1840 році Ю. Лібіх встановив, що врожай зерна часто лімітується не тими поживними речовинами, котрі вимагаються у великих кількостях, а тими, котрих потрібно небагато, однак їх мало в ґрунті. Він сформулював закон, за яким "речовиною, що є в

мінімумі, регулюється врожай і визначається величина та стійкість його в часі". Дію цього закону обмежують два принципи. Згідно з першим закон Лібіха застосовується лише за умов стаціонарного стану. Його більш точне формулювання: "При стаціонарному стані лімітуючою буде та речовина, доступна кількість котрої найбільш близька до необхідного мінімуму*". Другий принцип стосується взаємодії факторів. Висока концентрація та доступність певної речовини може змінити споживання мінімальної поживної речовини. Організм тоді замінює одну, дефіцитну, речовину іншою, що є в надлишку.

Інше тлумачення згаданого закону: стійкість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб.

Якщо кількість та якість екологічних факторів близькі до мінімуму, необхідного для організму, він виживає, якщо менші за цей мінімум, організм гине, екосистема руйнується.

Наступний закон узагальнює закон мінімуму.

Закон толерантності (закон Шелфорда): відсутність або неможливість розвитку екосистеми визначається не лише нестачею, але й надлишком будь-якого з факторів (тепло, світло, вода тощо). Цей закон може бути виражений іншими словами: лімітуючим фактором процвітання організму може бути як мінімум, так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначає ступінь витривалості (толерантності) організму до даного фактора.

Згідно з цим законом будь-який надлишок речовини чи енергії в екосистемі стає її ворогом, забруднювачем. Надто багато хорошого — теж погано. Діапазон між двома величинами складає межі толерантності, в котрих організм нормально функціонує і реагує на вплив середовища.

Закон конкурентного виключення формулюється таким чином: два види, що займають одну екологічну нішу, не можуть співіснувати в одному місці нескінченно довго. Те, який з видів перемагає, залежить від зовнішніх умов. За цих умов перемогти може кожен. Важливою для перемоги обставиною є швидкість зростання популяції. Нездатність виду до біотичної конкуренції призводить до його витіснення та необхідності пристосування до більш складних умов та факторів.

Цей закон може працювати і в людському суспільстві. Особливістю його дії є те, що в наш час цивілізації не можуть розійтися. У біосфері немає місця для розселення та немає надлишку ресурсів, що загострює конкурентну боротьбу. Можна говорити про екологічне суперництво між країнами і навіть про екологічні війни або війни, зумовлені екологічними причинами. Свого часу Гітлер виправдовував агресивну політику нацистської Німеччини боротьбою за життєвий простір. Ресурси нафти, вугілля тощо і тоді були дуже важливими. Ще більшу вагу вони мають в кінці ХХ сторіччя, коли додалася необхідність території для захоронення радіоактивних та інших відходів. Війни — гарячі та холодні — набувають екологічного характеру. Багато подій, в тому числі розпаду СРСР, сприймаються інакше, якщо на них поглянути з екологічних позицій. Тут переплітаються політичні, соціальні та екологічні проблеми.

Закон біогенної міграції атомів (закон В.І. Вернадського): міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері в цілому здійснюється під переважаючим впливом живої речовини, організмів.

Жива речовина або бере участь у біохімічних процесах безпосередньо, або створює відповідне, збагачене киснем, вуглекислим газом, воднем, азотом, фосфором та іншими речовинами, середовище. Розуміння всіх хімічних процесів, що відбуваються в геосферах, неможливе без врахування дії біогенних факторів, зокрема — еволюційних. Люди впливають на стан біосфери, змінюють її фізичний і хімічний склад, умови збалансованої віками біогенної міграції атомів. У майбутньому це спричинить дуже негативні зміни, котрі вже нині набувають здатності саморозвиватися і стають глобальними, некерованими (спустелювання, деградація ґрунтів, вимирання тисяч видів організмів).

Закон внутрішньої динамічної рівноваги: речовина, енергія, інформація та динамічні якості окремих природних систем та їхні ієрархії дуже тісно пов'язані між собою, тому зміна одного з показників неминуче призводить до функціонально-структурних змін інших, але при цьому зберігаються загальні якості системи — речовинно-енергетичні, інформаційні та динамічні.

Наслідки дії цього закону виявляються в тому, що після будь-яких змін елементів природного середовища (речовинного складу, енергії, інформації, швидкості природних процесів тощо)

обов'язково розвиваються ланцюгові реакції, які намагаються нейтралізувати ці зміни. Навіть незначна зміна одного показника може спричинити великі відхилення в інших і в усій екосистемі.

Зміни у великих екосистемах можуть мати незворотний характер, а будь-які локальні перетворення природи викликають у біосфері планети реакції-відповіді, які зумовлюють відносну незмінність еколого-економічного потенціалу. Штучне зростання еколого-економічного потенціалу обмежене термодинамічною стійкістю природних систем. Закон свідчить, що у випадку незначних втручань у природне середовище його екосистеми здатні саморегулюватися та відновлюватися, а коли ці втручання перевищують певні межі і вже не можуть згаснути в ланцюгу ієрархії екосистем, вони призводять до значних порушень енерго- і біобалансу на значних територіях і в усій біосфері.

Закон генетичної різноманітності: все живе генетично різне й має тенденцію до збільшення біологічної різноманітності.

Закон має важливе значення в природокористуванні, особливо в сфері біотехнології, коли не завжди можна передбачати результат нововведень під час вирощування нових мікро-культур через виникаючі мутації або поширення дії нових біопрепаратів на ті види організмів, на які вони розраховувалися.

Закон історичної незворотності: розвиток біосфери й людства як цілого не може відбуватися від пізніших фаз до початкових, загальний процес розвитку однопісляправлений.

Закон константності (сформульований В.І. Вернадським): кількість живої речовини біосфери, утвореної за певний геологічний час, є величиною постійною.

Цей закон тісно пов'язаний із законом внутрішньої динамічної рівноваги. За законом константності будь-яка зміна кількості живої речовини в одному з регіонів біосфери неминує призводити до такої ж за обсягом зміни речовини в іншому регіоні, тільки зі зворотним знаком. Наслідком цього закону є правило обов'язкового заповнення екологічних ніш.

Закон кореляції (сформульований Ж. Кюв'є): в організмі як цілісній системі всі його частини відповідають одна одній як за будовою, так і за функціями.

Зміна однієї частини неминує викликає зміни в інших.

Закон максимізації енергії (сформульований Г. і Ю. Одумами та доповнений М. Реймерсом): у конкуренції з іншими системами зберігається та з них, яка найбільше сприяє надходженню енергії та інформації і використовує максимальну їх кількість найефективніше.

Система утворює накопичувачі високоякісної енергії, частину якої витрачає на забезпечення надходження нової енергії, забезпечує нормальний кругообіг речовин і створює механізми регулювання, підтримки, стійкості системи, її здатності пристосовуватися до змін, налагоджує обмін з іншими системами. Максимізація забезпечує підвищення шансів на виживання.

Закон максимуму біогенної енергії (закон Вернадського — Бауера): будь-яка біологічна та біонедосконала система, що перебуває в стані стійкої нерівноваги (динамічнорухливої рівноваги з довкіллям), збільшує, розвиваючись, свій вплив на середовище.

У процесі еволюції видів виживають ті, котрі збільшують біогенну геохімічну енергію. Живі системи ніколи не перебувають у стані рівноваги й виконують за рахунок своєї вільної енергії корисну роботу проти рівноваги, якої потребують закони фізики та хімії за існуючих зовнішніх умов. Цей закон поряд з іншими є основою розробки стратегії природокористування.

Закон обмеженості природних ресурсів: усі природні ресурси в умовах Землі вичерпні.

Планета є природно обмеженим тілом, і на ній не можуть існувати нескінченні складові частини.

Закон односпрямованості потоку енергії: енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їхньою біомасою незворотно передається консументом першого, другого, третього та інших порядків, а потім, редуцентам, що супроводжується втратою певної кількості енергії на кожному трофічному рівні як наслідок процесів, що супроводжують дихання.

У зворотний потік (від редуцентів до продуцентів) потрапляє дуже мало початкової енергії (не більше 0,25 %), тому термін кругообіг енергії є досить умовним.

Закон оптимальності: ніяка система не може звужуватися або розширюватися до нескінченності.

Ніякий цілісний організм не може перевищити певних критичних розмірів, котрі забезпечують підтримку його енергетики. Ці розміри залежать від умов живлення та факторів існування. У природокористуванні закон оптимальності допомагає знайти оптимальні, з точки зору продуктивності, розміри для ділянок полів, вирощуваних тварин, рослин. Ігнорування закону — створення величезних площ монокультур, вирівнювання ландшафту масовими забудовами тощо — призводить до неприродного одноманіття на великих територіях і викликає порушення у функціонуванні екосистем, зумовлює екологічну кризу.

Закон піраміди енергій (сформульований Р. Ліндеманом): з одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший переходить у середньому не більше 10 % енергії. Зворотний потік з більш високих на більш низькі рівні набагато слабший — не більше 0,5—0,25 %, і тому говорити про кругообіг енергії в біоценозі не доводиться.

За цим законом можна виконувати розрахунки земельних площ, лісових угідь з метою забезпечення населення продовольством та іншими ресурсами.

Закон рівнозначності умов життя: всі природні умови середовища, необхідні для життя, відіграють рівнозначні ролі. Звідси випливає інший закон — сукупної дії екологічних факторів.

Закон розвитку довкілля: будь-яка природна система розвивається лише за рахунок використання матеріальноенергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища.

Абсолютно ізольований саморозвиток неможливий — це висновок з законів термодинаміки.

З цього закону випливають такі висновки:

— абсолютно безвідходне виробництво неможливе;

— будь-яка більш високоорганізована біотична система в своєму розвитку є потенційною загрозою для менш організованих систем. Тому в біосфері Землі неможливе повторне зародження життя — воно буде знищене існуючими організмами;

— біосфера Землі як система розвивається за рахунок внутрішніх і космічних ресурсів.

Закон зменшення енерговіддачі в природокористуванні: процес одержання з природних систем корисної продукції, з часом (у історичному аспекті) на її виготовлення в середньому витрачається дедалі більше енергії (зростають енергетичні витрати на одну людину).

Зростання енергетичних витрат не може бути нескінченним. Його слід розраховувати, гармонізуючи стосунки людини з природою.

Закон сукупної дії природних факторів (закон Мітчерліха — Тінемана — Бауле): обсяг урожаю залежить не від окремого, навіть лімітуючого фактора, а від всієї сукупності екологічних факторів одночасно.

Частку кожного фактора в сукупній дії можна визначити. Закон має силу, коли вплив монотонний і максимально виявляється кожний фактор за незмінності інших у тій сукупності, що розглядається.

Закон Ґрунтостомлення (зниження родючості): поступове зниження природної родючості ґрунтів відбувається через тривале їх використання й порушення природних процесів ґрунтоутворення, а також внаслідок тривалого вирощування монокультур, внаслідок накопичення токсичних речовин, що виділяються рослинами, залишків пестицидів та мінеральних добрив.

Закон фізико-хімічної єдності живої речовини (сформульований В.І. Вернадським): уся жива речовина Землі має єдину фізико-хімічну природу.

З цього випливає, що шкідливе для однієї частини живої речовини шкодить й іншій її частині, тільки різною мірою.

Через наявність у будь-якій популяції стійких до фізико-хімічного впливу видів швидкість відбору за витривалістю популяцій до шкідливого агента прямо пропорційна швидкості розмноження організмів та чергування поколінь. Внаслідок цього тривале використання пестицидів є екологічно недопустимим, бо шкідники, які розмножуються значно швидше, пристосовуються та виживають, а обсяги хімічних забруднень доводиться дедалі збільшувати.

Закон екологічної кореляції: в екосистемі, як і в будь-якій іншій, всі види живої речовини та абіотичні екологічні компоненти функціонально відповідають один одному, випадіння однієї частини системи неминуче призводить до вимикання пов'язаних з нею інших частин екосистеми і функціональних змін.

Відомі також чотири закони екології, американського вченого Б. Коммонера:

- все пов'язане з усім;
- все мусить кудись діватися;
- природа знає краще;
- ніщо не дається даремно.

Перший закон Б. Коммонера, на думку М. Реймерса, близький за змістом до закону внутрішньої динамічної рівноваги, другий — до цього ж закону та закону розвитку природної системи за рахунок довкілля, третій — застерігає людство від самовпевненості, четвертий — знову торкається проблем, котрі узагальнюють закон внутрішньої динамічної рівноваги, закони константності й розвитку природної системи. Згідно з четвертим законом Б. Коммонера ми повинні повертати природі те, що беремо від неї, інакше катастрофа неминуча.

У 1991—1993 рр. відомий американський еколог Д. Чірас дійшов висновку, що природа існує вічно (з точки зору людини) і чинить опір деградації завдяки дії чотирьох екологічних законів:

- рециклічності або повторного багаторазового використання найважливіших речовин;
- постійного відновлення ресурсів;
- консервативного споживання (коли живі істоти споживають лише те і у тій кількості, що їм необхідно, не більше і не менше);
- популяційного контролю (природа не допускає "вибухового" росту популяцій, регулюючи кількісний склад того чи іншого виду шляхом створення відповідних умов для його існування та розмноження).

Найважливішим завданням екології Д. Чірас вважає вивчення структури та функцій екосистем, їх врівноваженості або неуврівноваженості, тобто причин стабільності й розбалансування екосистем.

Серед законів природи зустрічаються звичні в науці закони детерміністського типу, котрі жорстко регулюють взаємини між компонентами екосистеми, але більшість є законами тенденціями, котрі діють не у всіх випадках. У деякому сенсі вони нагадують юридичні закони, що не перешкоджають розвитку суспільства, якщо зрідка порушуються незначною кількістю людей, але заважають нормальному розвитку, якщо порушення стають масовими. Є і закони-афоризми, котрі можна віднести до типу законів як обмеження різноманітності.

Закон емерджентності: ціле завжди має особливі властивості, відсутні у його частин.

Закон необхідної різноманітності: система не може складатися з абсолютно ідентичних елементів, але може мати ієрархічну організацію та інтегративні рівні*

Закон незворотності еволюції: організм (популяція, вид) не може повернутися до попереднього стану, реалізованого його предками.

Закон ускладнення організації: історичний розвиток живих організмів призводить до ускладнення їх організації шляхом диференціації органів та функцій.

Біогенний закон (Е. Геккель): онтогенез організму є коротким повторенням філогенезу даного виду, тобто розвиток індивіда скорочено повторює історичний розвиток свого виду.

Закон нерівномірності розвитку частин системи: система одного виду розвивається не строго синхронно — в той час, коли один досягає більш високої стадії розвитку, інші залишаються в менш розвиненому стані. Цей закон безпосередньо пов'язаний з законом необхідної різноманітності.

Закон збереження життя: життя може існувати тільки в процесі руху через живе тіло потоку речовин, енергії, інформації.

Принцип збереження впорядкованості (І. Пригожин): у відкритих системах ентропія не зростає, а зменшується, доки не досягається мінімальна постійна величина.

Принцип Ле Шательє -Брауна: при зовнішній дії, що виводить систему зі стану стійкої рівноваги, ця рівновага зміщується в напрямку послаблення ефекту зовнішньої дії. Цей принцип в рамках біосфери порушується сучасною людиною. "Якщо в кінці минулого сторіччя ще відбувалося збільшення біологічної продуктивності та біомаси внаслідок зростання біологічної продуктивності та біомаси як відповіді на зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері, то з початку нашого сторіччя це явище не спостерігається" (Н.Ф. Реймерс).

Принцип економії енергії (Л. Онсагер): при ймовірності розвитку процесу в деякій множині напрямків, що допускаються початками термодинаміки, реалізується той, котрий забезпечує мінімум розсіювання енергії.

Закон максимізації енергії та інформації: найкращі шанси самозбереження має система, що найбільшою мірою сприяє надходженню, виробленню та ефективному використанню енергії та інформації; максимальне надходження речовини не гарантує системі успіху в конкурентній боротьбі.

Періодичний закон географічної зональності А.А. Григор'єва — М.М. Будико: зі зміною фізико-географічних поясів Землі аналогічні ландшафтні зони та деякі загальні властивості періодично повторюються, тобто в кожному поясі — субарктичному, помірному, субтропічному, тропічному та екваторіальному — відбувається зміна зон за схемою: ліси — степи — пустелі.

Закон розвитку системи за рахунок навколишнього середовища: будь-яка система може розвиватися лише за рахунок використання матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей оточуючого середовища; абсолютно ізольований саморозвиток неможливий.

Правило затухання процесів: зі зростанням ступеня зрівноваженості з навколишнім середовищем або внутрішнього гомеостазу (у випадку ізольованості системи) динамічні процеси в системі затухають.

Закон фізико-хімічної єдності живої речовини В.І. Вернадського: вся жива речовина Землі фізико-хімічно єдина, що не виключає біогеохімічних відмінностей.

Термодинамічне правило Вант-Гоффа — Арреніуса:

зростання температури на 10 °C призводить до 2—3-кратного прискорення хімічних процесів. Звідси випливає небезпека підвищення температури внаслідок господарської діяльності людини.

Правило Шредингера "про живлення" організму негативною ентропією: при впорядкованості організму краще за навколишнє середовище він віддає в це середовище більше неупорядкованості, ніж отримує. Це правило погоджується з принципом збереження впорядкованості Пригогіна.

Правило прискорення еволюції: зі зростанням складності організації біосистем тривалість існування виду в середньому скорочується, а темпи еволюції зростають. Середня тривалість існування виду птахів — 2 млн років, виду ссавців — 800 тис* років. Число вимерлих видів птахів та ссавців порівняно зі всією їхньою кількістю велике.

Принцип генетичної перед адаптації: здатність до пристосування у організмів закладена споконвічно і обумовлена практичною невичерпністю генетичного коду. У генетичній різноманітності завжди знаходяться необхідні для адаптації варіанти.

Правило походження нових видів від неспеціалізованих предків: нові великі групи організмів беруть початок не від спеціалізованих представників предків, а від їхніх порівняно неспеціалізованих груп.

Принцип дивергенції Ч. Дарвіна: філогенез будь-якої групи супроводжується поділом її на ряд філогенетичних гілок, котрі розходяться в різних адаптивних напрямках від середнього вихідного стану.

Принцип прогресуючої спеціалізації група, що ступає на шлях спеціалізації, в подальшому розвитку буде йти шляхом все більш глибокої спеціалізації.

Правило більш високих шансів вимирання глибоко спеціалізованих форм (О. Марш): швидше вимирають більш спеціалізовані форми, генетичні резерви котрих для подальшої адаптації знижені.

Закон збільшення розмірів (зросту) та ваги (маси) організмів у філогенетичній гілці (В.І. Вернадський): в ході геологічного часу форми, що виживають, збільшують свої розміри (а відтак — вагу), а потім вимирають. Відбувається це тому, що чим менші особини, тим важче їм протистояти процесам ентропії (котрі призводять до рівномірного розподілу енергії), організовувати енергетичні потоки для здійснення життєвих функцій. Отже, в процесі еволюції розмір особин збільшується.

Аксіома адаптованості Ч. Дарвіна: кожний вид адаптований до певної, специфічної для нього, сукупності умов існування.

Екологічне правило С.С. Шварца: кожна зміна умов існування прямо або опосередковано викликає відповідні зміни способів реалізації енергетичного балансу організму.

Закон відносної незалежності адаптації: висока адаптивність до одного з екологічних факторів не дає такого ж ступеня пристосовуваності до інших умов життя (навпаки, вона може обмежувати ці можливості через фізіолого-морфологічні властивості організмів).

Закон єдності "організм — середовище: життя розвивається внаслідок постійного обміну речовиною та інформацією на базі потоку енергії в сукупній єдності середовища та організмів, що його населяють.

Правило відповідності умов середовища генетичній обумовленості організму: вид може існувати лише тоді, коли оточуюче середовище відповідає генетичним можливостям пристосування цього виду до його коливань та змін.

Закон обмеженого росту (Ч. Дарвін): існують обмеження, котрі перешкоджають тому, щоб нащадки однієї пари особин, розмножуючись за геометричною прогресією, заповнили всю земну кулю.

Принцип мінімального розміру популяцій: існує мінімальний розмір популяції, нижче котрого її чисельність не може опускатися.

Правило А. Уоллеса: в міру просування з півночі на південь видова різноманітність зростає. Причина полягає в тому, що північні біоценози історично молодші і знаходяться в умовах меншого надходження енергії від Сонця.

Закон збіднення живої речовини в його згущеннях (Г.Ф. Хільмі): індивідуальна система, котра працює в середовищі з рівнем організації більш низьким, ніж рівень самої системи, приречена: постійно втрачаючи структуру, система через деякий час розчиняється в навколишньому середовищі. Звідси випливає важливий висновок для природоохоронної діяльності: штучне збереження екосистем малого розміру (на обмеженій території, наприклад, заповідника) призводить до їх поступової деструкції і не забезпечує збереження видів та спільнот.

Правило біологічного підсилення: при переході на більш високий рівень екологічної піраміди накопичення ряду речовин, у тому числі токсичних та радіоактивних, зростає приблизно в такій самій пропорції.

Правило екологічного дублювання: зниклий або знищений вид в рамках одного рівня екологічної піраміди замінює інший, аналогічний за схемою: дрібний замінює великого, нижче організований — більш високо організованого, більш генетично лабільний та мутабельний — менш генетично мінливого. Особини стають дрібнішими, але загальна кількість біомаси збільшується.

Правило обов'язковості заповнення екологічних ніш: порожня екологічна ніша завжди і обов'язково заповнюється.

Правило екотопу або крайового ефекту: на межі біоценозів зростає число видів та особин в них, оскільки зростає число екологічних ніш внаслідок виникнення на межі нових системних властивостей.

Правило взаємоприспосованості організмів в біоценозі К. Мебіуса — Г.Ф. Морозова: види в біоценозі приспосовані один до одного настільки, що їхня спільнота складає внутрішньо суперечливе, але єдине і взаємопов'язане ціле.

Принцип формування екосистеми: тривале існування організмів можливе лише в рамках екологічних систем, де їхні компоненти та елементи доповнюють один одного та взаємно приспосовані.

Закон сукцесійного сповільнення: процеси, що відбуваються в зрілих рівноважних системах, котрі знаходяться у стійкому стані, мають тенденцію до зниження темпів.

Правило максимуму енергії підтримання зрілої системи: сукцесія йде в напрямку фундаментального зміщення потоку енергії в бік зростання її кількості з метою підтримки системи.

Правило константності числа видів в біосфері: число видів, що з'являються, в середньому відповідає числу вимерлих, і загальна видова різноманітність в біосфері є постійною. Це правило стосується сформованої біосфери.

Правило множинності екосистем: множинність конкурентно-взаємодіючих екосистем є обов'язковою для підтримання надійності біосфери.

Питання про те, наскільки закони екології можна переносити на взаємовідносини людини з навколишнім середовищем, залишається відкритим, оскільки людина відрізняється від всіх інших видів. Наприклад, у більшості видів швидкість зростання популяції зменшується зі зростанням її щільності; у людини, навпаки, зростання чисельності населення в цьому випадку прискорюється. Таким чином, деякі регулюючі механізми природи відсутні у людини. І це може бути додатковою

підставою для технологічного оптимізму, а для екологічних песимістів — свідченням небезпеки такої катастрофи, котра неможлива для жодного іншого виду.