

За середовищем і компонентам, М.Ф.Реймерс розрізняє *екологію суходолу, прісних водойм, морську, Крайньої Півночі, високогір'я, хімічну* (геохімічну, біогеохімічну) тощо. За підходами до предмету вивчення виділяють *аналітичну і динамічну екологію*.

Кожний підрозділ (напрямок) екології має свої завдання і свою структуру. За рівнем біотичних систем біоекологію поділяють на:

- *аутекологію* або екологію особин, яка вивчає взаємозв'язки представників виду з навколишнім їх природним середовищем. Вона, головним чином, вивчає межі стійкості виду і його ставлення до різних екологічних факторів, а також досліджує дію середовища на морфологію, фізіологію і поведінку організмів, розкриває загальні закономірності дії біотичних та абіотичних факторів довкілля на живі організми;

- *демекологію* або *популяційну екологію*, яка вивчає структуру популяцій, описує коливання їх чисельності і виявляє причини цих явищ. Популяційна екологія має велике значення для господарської діяльності людини;

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

- *глобальну екологію (Вчення про біосферу Землі)*, яка вивчає особливості функціонування біосфери в цілому, виявлення механізмів гомеостазу цієї глобальної системи, тощо.

Геоєкологія або *ландшафтна екологія* вивчає особливості функціонування екологічних систем, в залежності від їх географічного положення. Об'єктами вивчення геоєкології є геосистеми, що представляють собою контрольовані людиною територіальні системи – ділянки ландшафтів з характерними для них процесами тепло- та вологообміну, біохімічним кругообігом, видами господарської діяльності людини та соціально-економічними відносинами.

Прикладна екологія займається вивченням меж впливу господарської діяльності людини на довкілля. Важливе значення тут має вирішення проблем охорони природи і довкілля людей.

Інтенсивно розвивається *екологія людини та соціальна екологія*. Ці галузі екології особливо бурхливого розвитку набули протягом останніх десяти років і частина їх складових за М.Ф.Реймерсом (див. рис. 1.1.) сьогодні виділилися в окремі галузі екології, зокрема, екологія міста, екологічна культура, тощо.

Отже, екологія з врахуванням її структури створює фундамент для вирішення проблем в області взаємодії суспільства з навколишнім природним середовищем, раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища, а також для створення сприятливих умов існування людства.

Деякі автори поділяють екологію тільки на дві складові: теоретична екологія тобто загальна екологія і прикладна, причому прикладна екологія базується перш за все на природничих науках. Прикладна екологія як дисципліна, вивчає механізми руйнування біосфери людиною, способи запобігання цим процесам і розробляє принципи раціонального використання природних ресурсів без деградації природних екосистем. Отже, прикладна екологія базується на системі законів, правил і принципів екології і природокористування. На наш погляд, такий поділ є невірним, тому що в такому визначенні прикладна екологія ототожнюється з охороною природи. Ототожнювати термін “Екологія” з термінами “Охорона природи” або “Охорона довкілля” не можна. Останні дисципліни базуються головним чином на введенні заборон та регламентацій, а не на загальній раціоналізації природокористування.

Екологія – це наукова дисципліна, а охорона природи та охорона довкілля – це комплекс знань і дій. М.Ф.Реймерс (1994) зазначає: «...почти все стали называть экологией, в том числе и охрану природы, и охрану окружающей человека среды. При этом начисто были смешаны и два последних понятия...». На думку М.Ф.Реймерса кінцева мета охорони природи і охорони довкілля єдина – збереження всієї природи Землі і оточення людини задля здоров'я і життя людини. Екологія є фундаментальна основа охорони природи та охорони довкілля.

Взаємозв'язок екології з охороною природи чи охороною довкілля є очевидним, проте з точки зору систематизації інформації їх слід розмежовувати зазначаючи, що ця межа між ними є умовною, адже, на думку М.Ф.Реймерса, екологія є невід'ємною і необхідною основою природоохоронної діяльності та охорони довкілля.

При функціонуванні промислових підприємств та інших об'єктів господарської діяльності людини, які є джерелами забруднення природного середовища чи довкілля людини, доводиться мати справу з охороною природи чи охороною довкілля. Останні поняття є дещо різними, адже мають різні пріоритети. В природному середовищі основним пріоритетом є забезпечення природного біорізноманіття та збереження первинних ландшафтів. В довкіллі людини – трансформованому середовищі, основним пріоритетом є життя і здоров'я людини. При цьому слід зазначити, що людина не є самим чутливим компонентом природи, хоча більшість функцій людини є консервативними. Це істотно ускладнює охорону довкілля. Якщо ж ці поняття об'єднати в термін природоохоронна діяльність, стає очевидним взаємозв'язок природи і людини. Отже, *природоохоронна діяльність* – це система заходів, скерованих на підтримку взаємодії суспільства та природного середовища, що забезпечують збереження та відновлення природних багатств, раціональне використання природних ресурсів, попередження безпосереднього або опосередкованого впливу результатів діяльності суспільства на природу та здоров'я людини.

В останній час спостерігається бурхлива екологізація різних галузей діяльності людини, під якою слід розуміти процес неухильного та послідовного впровадження системи технологічних, управлінських та інших рішень, які дозволять підвищувати ефективність використання природних процесів поряд з поліпшенням, або хоча б зі збереженням якості природного середовища.

Започаткувались найрізноманітніші напрямки екологічних досліджень, які можна об'єднати за ознаками галузевої належності, пріоритетності, теоретичного та практичного значення. Саме за останнє десятиліття кардинально змінилась структура екології, чому сприяли розвиток таких галузей знань як екологічний менеджмент, економіка природокористування, екологічне право, екологічна культура, екологічна освіта тощо. Тому, екологія як наука, за В.Ю.Некосом трансформувалась в *неоекологію*.

В.Ю.Некос (2001)

“Неоэкология – это комплекс (семейство) наук, изучающих развитие, функционирование и прогнозирование развития антропосферы, разрабатывающих возможности управления взаимоотношениями и связями

в системі «природа – общество» с целью их гармонизации и обеспечения экологически безопасного существования”.

На сьогоднішній день класичної “геккелівської” екології не існує і не можна предметом вивчення екології називати живі організми, адже вивченням живих організмів займається біологія. Головним предметом вивчення сучасної екології є дослідження взаємозв’язку між суспільством і довкіллям, з метою збереження природи і створення сприятливих умов існування людини.

Структура сучасної науки про довкілля є складною і багатогранною, тому термін екологія є неоднозначним. Екологія це не просто наука, а спосіб мислення та поведінки. Структура сучасного вчення про довкілля наведена на рис. 1.2.

! Отже, **Екологія – це комплексна наука, яка використовує знання різних природничих, технічних, гуманітарних і соціальних наук для вивчення взаємозв’язку суспільства і природи, впливу людини на природне середовище з метою збереження і покращення природи і довкілля людини.**

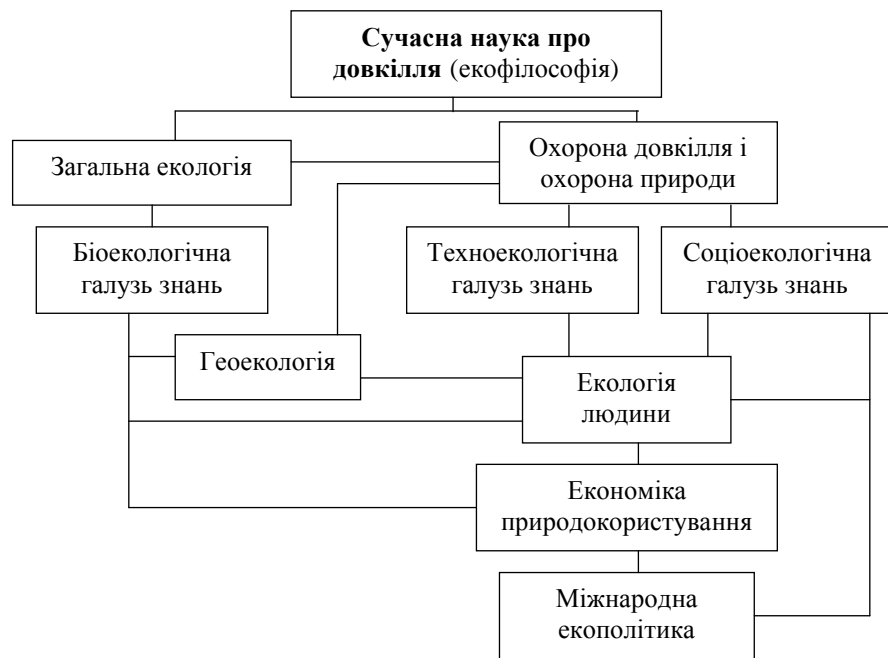


Рис. 1.2. Структура сучасної науки про довкілля.

Наші міркування збігаються з думкою провідних екологів України. Сучасне визначення екології у різних провідних вчених дещо відрізняється, проте висновок їх зводиться до того, що екологія перетворилась на комплекс фундаментальних і прикладних дисциплін, головним завданням яких стало збереження життя і цивілізації на планеті Земля, на систему наук про Землю та її оточення, із збереженням функціонального вивчення впливу живих організмів і людини.

Білявський Г.О. (2004)

“Екологія XXI ст. – комплекс наук про будову, функціонування, взаємозв’язки багатокомпонентних і багаторівневих систем у Природі й Суспільстві та засоби кореляції взаємного впливу техносфери і біосфери з метою збереження людства і біосфери”.

Еволюцію екології як науки можна прослідкувати на прикладі визначення терміну екології відомим американським вченим Юджином Одумом в різні періоди:

Одум Ю.

(1975) “Экология – биология окружающей среды”.

(1980) “Экология – междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи”.

(1986) “Сегодня экология сформировалась в принципиально новую интегральную дисциплину, которая связывает физические и биологические явления и создает мост между естественными и общественными науками”.

На Заході в англomовних країнах термін екологія має обмежене значення. Під терміном екологія розуміють таку галузь знань як загальна екологія, а наука, що вивчає діяльність людини в галузі охорони довкілля називається *енвайронментологія* (від *environment* – довкілля). Це і зумовлює деякі розбіжності при тлумаченнях термінів різними вченими.

Екологія як наука розглядає об’єкти довкілля, як системні ланки, члени яких знаходяться в тісному взаємозв’язку і взаємозалежності. З цього випливає необхідність обліку безлічі факторів при аналізі тих чи інших екологічних явищ і тим більше при плануванні будь-яких втручань в екосистеми. Такий підхід, у свою чергу, неможливий без комплексного підходу до вивчення, оцінки і вирішення різних

екологічних завдань. З цього випливає системність екології як науки і її тісний зв'язок з іншими науками.

? Опанувавши дану тему, дайте відповіді на такі питання:

1. Назвіть і охарактеризуйте основні етапи становлення екології як науки.
2. В чому проявляються особливості становлення екології як науки в період до ХХ століття?
3. Покажіть динаміку розвитку екології в ХХ столітті та охарактеризуйте структуру екології за М.Ф.Реймерсом.
4. В чому полягають предмет вивчення і завдання екології? Дайте визначення екології як науки.
5. Охарактеризуйте методи сучасної екології. Назвіть їх основні проблеми.
6. В чому полягають основні завдання загальної екології?
7. Приведіть структури сучасної науки про довкілля. Покажіть взаємозв'язок між екологією і охороною довкілля.
8. В чому проявляється системність екології?

Тема 2. Вплив екологічних факторів на живі організми

Одним із завдань загальної екології є вивчення особливостей функціонування живих організмів, впливу факторів навколишнього природного середовища на них, а також зворотного впливу організмів на середовище їх існування. При цьому, на кожному рівні організації живої матерії виявляються особливості забезпечення гомеостазу, а знання цих закономірностей є одним із важливіших завдань екології.

2.1. Рівні організації живої матерії

Центральним поняттям аутоекології є поняття живого організму. *Організм* – у вузькому розумінні – це біологічний індивід, цілісна жива система, що підтримує самостійне існування завдяки пристосувальній взаємодії з середовищем існування, а у широкому розумінні – це цілісна система, за способом організації подібна до живого організму.

Основними властивостями організму, як біологічного індивіду, є подразливість, здатність рости, розмножуватись, а головне – здійснювати безперервний обмін речовин із середовищем свого існування. За Ю.Одумом (1986) характерним для будь-якого організму є певна структурна організація, а саме:

- у найпростіших організмів (вірусів, бактерій) – молекулярний рівень організації;
- у одноклітинних організмів – надмолекулярний або клітинний рівень організації;
- у багатоклітинних організмів – організмий і системний рівні організації.

Маючи складну організацію, живий організм становить єдине ціле, в якому діяльність структур, клітин, тканин, органів та інших систем узгоджена й підпорядкована усьому цілому. Крім того, організм є відкритою динамічною системою, що перебуває в рухомій рівновазі з зовнішнім середовищем.

Розрізняють кілька підходів до класифікацій рівнів організації живої матерії. Біоекологічний підхід до рівнів організації живої матерії є наступним: *ген* → *клітина* → *організм* → *популяція* → *угрупкування* → *біоценоз* → *екосистема* → *біосфера*. При цьому,

кожний рівень організації живої матерії має свої функції і завдання, але така класифікація є дещо спрощеною і не відображає особливості формування екологічних систем і біосфери в цілому. Тому, біоекологічний підхід до організації живої матерії доцільний тільки до рівня біоценозу.

З екологічної точки зору найбільш доцільно розділяти три основних рівні організації живої матерії, зокрема:

- *Організований* рівень об'єднує живі організми – від одноклітинних до найорганізованих істот. Системи цього рівня виконують велику кількість функцій, але найважливішою з них є розмноження через відтворення собі подібних, продовження існування виду, насичення простору живою субстанцією;

- *Популяційний* рівень об'єднує популяції живих істот, тобто сукупність особин одного виду в межах певного ареалу, де вони вільно розмножуються і можуть, практично, необмежено довго існувати. Цей рівень організації охоплює популяції всіх видів живих істот і його найголовнішою функцією є формування в певних екологічних умовах такого угруповання, яке за структурою і життєвими особливостями найбільше відповідає середовищу його існування;

- *Екосистемний* рівень організації об'єднує екосистеми всіх ступенів складності, незалежно від їх просторових і часових параметрів чи місця знаходження. Основною ознакою систем цього рівня є те, що, на відміну від двох попередніх, вони є функціональною єдністю живих і неживих компонентів, яка охоплена безперервним обміном речовиною, енергією та інформацією.

! Всі живі системи є такими явищами, які не вичерпуються тільки існуванням живих істот. Неможливо вивчити і зрозуміти живу істоту, не досліджуючи середовища її життєдіяльності.

2.2. Екологічні фактори, їх класифікація та основні закони дії факторів

Особливою ролі для живих організмів відіграє середовище їх існування. Розглядаючи окремих організм як певну систему, найбільш прийнятним є визначення середовища за А.Холлом і Р.Фейджином: “Для даної системи навколишнє середовище є сукупністю усіх об'єктів, зміни властивостей яких впливають на систему, а також тих об'єктів, властивості яких змінюються в результаті поведінки самої

системи”. З визначення випливає динамізм взаємодії організму (системи) і середовища й те, що середовище не є для системи чимось абсолютно зовнішнім.

За М.Ф.Реймерсом, *навколишнім середовищем*, а точніше *довкіллям* називають сукупність взаємопов'язаних природних, видозмінених природних, штучно утворених та соціальних компонентів в оточенні якої живе організм і з якою він безпосередньо взаємодіє. Довкілля складається з багатьох елементів, умов, явищ, тобто *факторів*. Одним із завдань загальної екології є вивчення впливу факторів довкілля (екологічних факторів) на живі організми.

Отже, *екологічний фактор* – це будь-яка умова середовища, що прямо чи опосередковано впливає на організм протягом хоча б однієї з стадій його життя. Усі екологічні фактори є мінливими, тому організми змушені весь час пристосовуватись до них. Внаслідок цього, в живих організмах виникають специфічні пристосувальні механізми і реакції на зміну екологічних факторів, які називають *адаптацією*. Здатність до адаптації – одна з властивостей життя, що забезпечує саму можливість його існування і вона виявляється на всіх рівнях організації – від біохімічної реакції в організмах і поведінки окремих істот до будови і функціонування екологічних систем.

Іншими словами, адаптація – це засоби, за допомогою яких організм взаємодіє з середовищем для підтримання стану внутрішньої динамічної рівноваги, тобто *гомеостаз* організму, і забезпечує безперервність його існування в часі через нащадків. На різних рівнях організації живої матерії механізми адаптації є різними.

Залежно від кількості й сили дії, один і той самий фактор може мати протилежне значення для організму, наприклад, вплив температури. Крім того, наявність того чи іншого фактору може бути життєво необхідним для одних видів і не мати ніякого значення для інших, наприклад, вплив світла на рослини та ґрунтових безхребетних. В залежності від сили дії того чи іншого екологічного фактору, умови існування особин виду можуть бути оптимальними, неоптимальними або відповідати проміжному рівню.

Здатність організму витримувати певну амплітуду коливання фактору називають *екологічною валентністю*, але для життя організмів значення має не тільки абсолютна величина сили дії фактора, а й швидкість її зміни. За екологічною валентністю організми поділяють на *еврибіонтних* з широкими пристосувальними

можливостями, наприклад, сірий пацюк, горобець, кімнатна муха, таргани тощо, і *стенобіонтних*, які можуть існувати лише у відносно сталих умовах, наприклад, журавель степовий, качкодзьоб тощо. Реакція організму і його адаптаційні можливості до дії фактора, що є основним чинником еволюції видів, залежить від поєднання дії різних факторів, а для нормального існування організму необхідний певний їх набір. Екологічні фактори, що діють на організм, поділяють на *внутрішні* та *зовнішні* і зовнішні екологічні фактори, за їх походженням, прийнято поділяти на три основні групи: абіотичні, біотичні та антропогенні (див. рис. 1.3.).

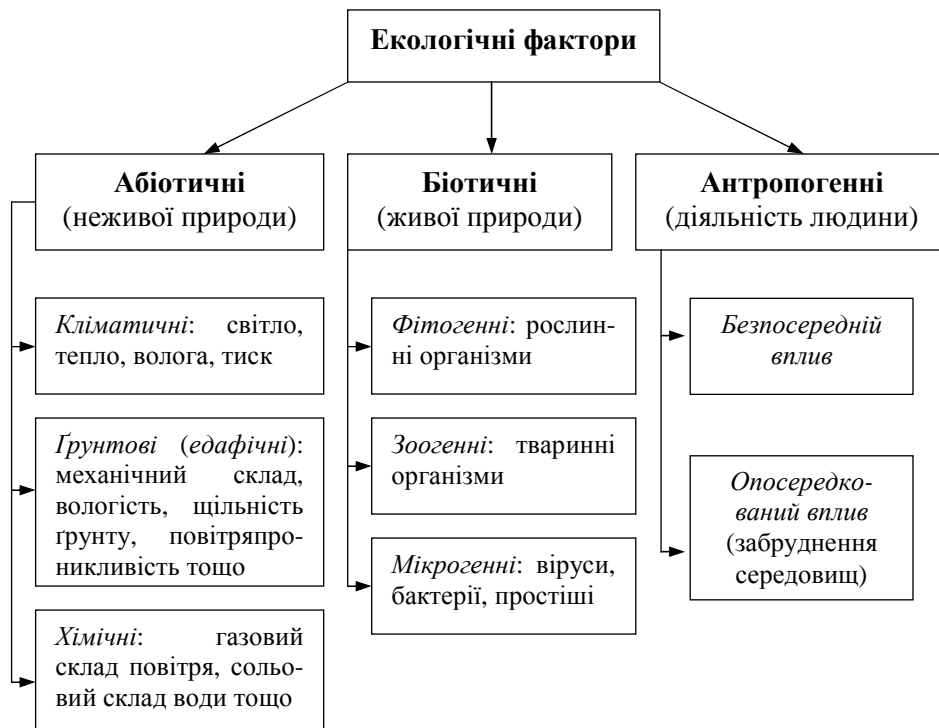


Рис. 1.3. Класифікація і структура екологічних факторів.

Абіотичними називаються фактори неживої природи з їх хімічними і фізичними властивостями.

Біотичні фактори створюються сукупністю організмів у результаті їх взаємодії. Кожен організм відчуває на собі вплив інших живих істот, сам впливає на них, вступаючи у взаємозв'язки з представниками свого чи інших видів.

Антропогенні фактори виникають внаслідок діяльності людини, що є причиною змін середовища життя інших організмів або безпосередньо впливають на них. Для задоволення своїх потреб людина створила промисловість, сільське господарство, транспорт та інші галузі народного господарства, використовуючи для цього природні ресурси.

Існують і інші класифікації екологічних факторів:

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

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

До першої групи відносять фактори, пов'язані з обертанням Землі навколо Сонця та своєї осі, наприклад, зміна пори року, зміна дня і ночі, тощо. Цим факторам властива встановлена періодичність, вони були ще до виникнення життя на Землі. Організми, що виникли, змушені були відразу адаптуватись до них. Адаптаційні механізми організмів до дії первинних періодичних факторів є спадковими. Вторинні періодичні фактори, наприклад, вологість, температура, тощо, є наслідком первинних періодичних факторів. В процесі життєдіяльності організми змушені до них постійно пристосовуватись. Неперіодичні фактори – це різні стихійні явища, які, в більшості випадків, не проявляють періодичності. До неперіодичних факторів часто відносять і антропогенні фактори, оскільки вони виявляються раптово й нерегулярно. Нерідко рівень такого впливу виходить за межі пристосувальних можливостей організмів.

Більшість екологічних факторів постійно змінюються в просторі і часі, зокрема, температура, вологість, освітленість, тощо, а відносно стійкими протягом певного періоду є сила гравітації, властивості атмосфери, сольовий склад океану, тощо.

Екологічні фактори можуть по-різному впливати на живі організми: як *подразники*, зумовлюючи пристосувальні зміни функцій організму; як *обмежувальні*, які унеможливають існування організмів за даних умов; як *сигнали* про зміни інших факторів середовища. У впливі факторів середовища на організми та реакціях останніх на цей вплив виявлені певні закономірності, причому вони стосуються факторів будь-якого походження.

Кожний екологічний фактор впливає на живі організми позитивно чи негативно, залежно від сили прояву його дії. Сприятливу силу впливу фактору, тобто таку, що забезпечує найкращі або оптимальні умови життєдіяльності особин, називають *зоною оптимуму екологічного фактору*. Будь-яке відхилення від оптимуму негативно впливає на розвиток організмів. Чим більші ці відхилення, тим сильніше пригнічується життєдіяльність організмів. Мінімальні і максимальні значення екологічного фактору є критичними – за їх межами життя вже неможливе. В екології цей принцип названий *законом оптимуму* (див. рис. 1.4.).

Зона оптимуму і критичні межі витривалості живих істот стосовно якогось екологічного фактора можуть змінюватись залежно від того, з якою силою і в якому поєднанні діють одночасно інші екологічні фактори, наприклад, низька температура і вітер. Цей принцип одержав назву *закон взаємодії факторів*. Взаємодія екологічних факторів виявляється у їх *частковій взаємозамінності*, наприклад, в'яненню рослин можна запобігти збільшенням вологості ґрунту і зниженням температури повітря. Проте, взаємна компенсація дії факторів не може бути безмежною і повністю замінити один фактор на інший неможливо.

Якщо хоча б один із екологічних факторів наближається до критичної межі або перевищує її, то, незважаючи на оптимальну дію інших умов середовища, організму загрожує загибель, а цей фактор стає для нього *обмежувальним*. Лімітуючими можуть бути як абіотичні, наприклад, нестача тепла, вологи або їх надлишок, різка зміна освітленості, тощо, так і біотичні фактори, наприклад, зайнятість території сильнішим конкурентом, нестача запилювачів квітів, тощо.

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

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

- *обмежувальний*, тобто закон виконується тільки в статичних умовах середовища;

- *взаємодії факторів*, тобто при зміні інших екологічних факторів, величина сили дії обмежувального фактора може змінюватись, наприклад, якщо рослини живуть в умовах малої освітленості, то вони споживають менше Цинку, тощо.

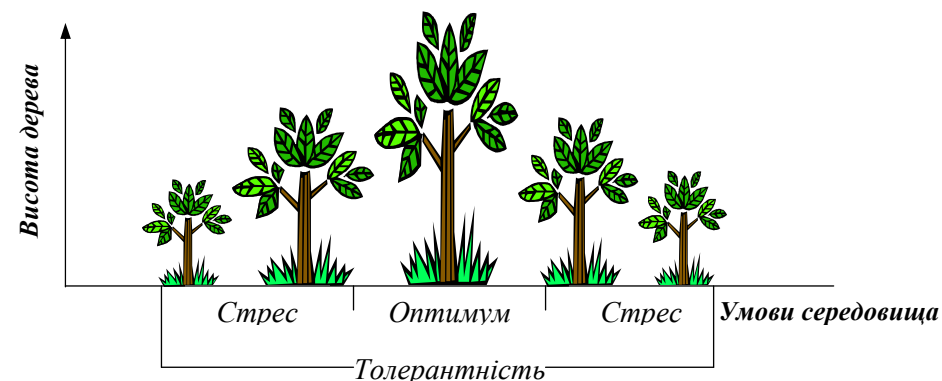


Рис. 1.4. Оптимальні умови і межі толерантності організмів.

Для нормального існування організмів їм потрібен комплекс факторів і певний їх режим з допустимими коливаннями величини дії в межах витривалості організмів або толерантності. *Закон толерантності* сформулював В.Шелфорд у 1913 році. Природним обмежувальним чинником розвитку організму може бути як мінімальний, так і максимальний вплив екологічного фактору, діапазон між якими визначає витривалість або толерантність організму до даного чинника. Організми намагаються жити в певних межах

близьких до оптимуму і не досягати критичних меж фактора (див. рис. 1.4.). Саме в таких умовах будь-які організми можуть виживати, рости, розмножуватись, тобто підтримувати чисельність.

Сукупність усіх екологічних факторів і ресурсів середовища, в межах якого може існувати вид у природі, називають *екологічною нішею*. В той же час, екологічна ніша не обмежується життєвим простором. За Ю.Одумом, екологічна ніша – це не тільки фізичний простір, який займає певний вид організмів, але і його функціональна роль в спільноті, тобто його трофічне положення, і його місце відносно градієнтів зовнішніх факторів – температури, вологості тощо. Для характеристики екологічної ніші використовують два основні параметри: ширину ніші та перекриття ніші з сусідніми. На розміри і динаміку екологічної ніші впливають спеціалізація виду за харчуванням, використанням простору, періоду активності тощо.

В одному й тому ж місці існування може бути кілька екологічних ніш, наприклад, ліс, озеро. При вивченні та характеристиці екологічної ніші враховують ряд правил:

- *Правило обов'язковості заповнення екологічної ніші*. Пуста екологічна ніша завжди буває природно заповненою.

- *Принцип винятку Г.Ф.Гаузе (теорема Гаузе) або правило конкурентного виключення*. Два види не можуть існувати в одній і тій же місцевості, якщо їх екологічні потреби ідентичні, тобто вони “займають одну і ту ж екологічну нішу”.

Ці правила мають велике значення для вивчення поведінки організмів і пояснення деяких закономірностей, зокрема міжвидової конкуренції, територіальності поведінки тощо.

2.3. Абіотичні фактори навколишнього середовища

Вивчення впливу абіотичних факторів довкілля на живі організми і реакцію організмів на їх зміни є основним завданням аутоекології. Як було зазначено раніше, абіотичні фактори навколишнього середовища поділяють на кліматичні, едафічні і хімічні, але вони взаємозалежні один від одного. Здатність організмів пристосовуватись до змін абіотичних факторів середовища відіграє важливу роль в процесі еволюції. Адаптація організмів здійснюється різними шляхами, зокрема особливостями поведінки, наприклад, міграції, особливостями метаболізму організмів, наприклад, стадія

анабіозу, тощо. Вивчення цих процесів є важливим, адже це дозволяє зрозуміти природне різноманіття тварин і рослин, визначити межі їх стійкості до дії абіотичних факторів середовища тощо. Розглянемо більш детально ці процеси.

2.3.1. Температура як екологічний фактор

Температура – один із найважливіших кліматичних факторів. Від неї залежать усі життєво важливі процеси, що відбуваються в організмі: обмін речовин або метаболізм, ріст, розвиток, розмноження тощо. На земній поверхні температура мінлива і залежить, перед усім, від географічної широти і висоти місцевості, пори року, часу доби. В той же час, температура може бути обмежувальним фактором.

Життя і розмноження кожного виду живих організмів можливе 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. Згідно із правилом Вант-Гоффа, з кожним підвищенням температури на 10°C, швидкість більшості хімічних та біохімічних реакцій прискорюється у 2-3 рази. Виходячи із цього видно, що температура відіграє важливе значення у житті організмів. Для більшості видів температурний інтервал існування становить 0 – 50°C.

Організми, які пристосувались до значних коливань значень температури, називаються *евритермними*, а ті, що пристосувались до певних температур – *стенотермними*. Більшість рослин і тварин є евритермними.

Температура усіх мікроорганізмів, рослин і більшості тварин, окрім ссавців і птахів, залежить від температури довкілля. Тому їх називають *пайкілотермними* (від грец. “*пойкілос*” – змінний і “*терма*” – теплота), або *холоднокровними*.

У всіх ссавців і птахів у процесі еволюції виробилась здатність підтримувати відносно сталу температуру тіла незалежно від температури довкілля. Через це їх називають *гомойотермними* (від грец. “*гомойос*” – однаковий), або *теплокровними*. У більшості ссавців температура тіла становить 37°C, у птахів – 40°C. Теплота у них продукується за рахунок біохімічних окислювальних реакцій в

організмі, тому у холодний період року вони витрачають більше енергії на підтримання сталої температури тіла.

Як холоднокровні, так і теплокровні організми здатні регулювати температуру свого тіла. Така їх захисна реакція одержала назву *терморегуляції*. Холоднокровні організми пристосовуються до зміни температури довкілля шляхом синхронізації біоритмів і етапів розвитку. Метаболізм холоднокровних значно менш інтенсивний ніж метаболізм теплокровних, навіть за умов однакової температури тіла. Це зумовлює значну чутливість холоднокровних до змін температури, і вони особливо потерпають від її нестачі. У разі зниження температури довкілля, процеси життєдіяльності в них сповільнюються і вони впадають у стан глибокого спокою. У тварин він виявляється у зниженні фізіологічних процесів, газообміну, припиненні живлення і в нерухомості – заціпеніння.

У рослин і комах протягом осені і зими підвищується стійкість проти холоду і це явище одержало назву *загартування*. Особливо стійкими проти несприятливих температур є організми, що перебувають у стані *анабіозу*. В цьому стані фізіологічні процеси в організмах настільки сповільнюються, що вони здаються неживими. Анабіоз для багатьох організмів є елементом нормального життєвого циклу, наприклад, насіння у рослин, деякі ракоподібні впадають у анабіоз при висиханні боліт, дафнії можуть вмерзати в лід і, при відтаюванні, оживати тощо.

Терморегуляція у ссавців набагато досконаліша, ніж у холоднокровних організмів. Крім того, що в них виробляється власна теплота, вони ще мають різні пристосувальні механізми проти перегрівання або охолодження, наприклад, охолодження тіла через виділення поту, накопичення підшкірного жиру проти холоду або заміна хутра, регуляція поведінкою. Регуляція поведінкою здійснюється шляхом міграції, влаштування нір, а деякі тварини за несприятливих умов впадають у сплячку, наприклад, кажани, їжаки, ведмеді тощо. Тобто, є так звані *гетеротермні* тварини, які можуть поводити себе як теплокровні при активному способі життя, а коли вони впадають у сплячку, температура їх тіла стає змінною, як у холоднокровних.

Для рослин характерні свої адаптаційні механізми пристосування до зміни температури. Для уникнення перегрівання, у рослин проходить *транспірація* тобто випаровування вологи крізь

продихи, а для запобігання переохолодження квіти багатьох рослин вночі закриваються. Як бачимо, засоби адаптації організмів є різними.

2.3.2. Світло як екологічний фактор

Світло є також важливим екологічним фактором, інтенсивність якого змінюється по сезонах року і протягом доби. Для одних організмів світло є необхідним і важливим екологічним фактором, наприклад, надлишок або нестача світла може бути обмежувальним фактором, а деякі організми байдужі до нього, наприклад, мешканці ґрунту. Основним джерелом світла є сонячне випромінювання. Із загального його потоку, яке досягає земної поверхні і від якого залежать умови існування організмів, видиме світло ($\lambda = 400-700$ нм) становить ~ 43%, інфрачервоне ($\lambda > 700$ нм) випромінювання ~ 45% і ультрафіолетове ($\lambda < 400$ нм) випромінювання – 8-10%.

Видиме світло є особливо важливим для зелених рослин – вони використовують його в процесі фотосинтезу, а межі $\lambda = 380-740$ нм називають фотосинтетичною активною радіацією (ФАР). Світло необхідне і для тварин, які за допомогою органів зору можуть орієнтуватись у просторі. Для деяких тварин світло є обов'язковим екологічним фактором.

Інфрачервоне світло є важливим джерелом теплової енергії. Воно поглинається тканинами організмів і зумовлює їх нагрівання і від нього залежить інтенсивність фізіологічних процесів у рослин та холоднокровних тварин.

Ультрафіолетове випромінювання, яке досягає поверхні землі, за рахунок наявності озонового шару є довгохвильовим з $\lambda=290-380$ нм. В невеликих дозах довгохвильове ультрафіолетове випромінювання є необхідним для багатьох видів організмів. В діапазоні хвиль 250-300 нм ультрафіолетове випромінювання виявляє бактерицидну дію, а довгохвильове – сприяє синтезу вітаміну D в організмах тварин.

Значна кількість сонячного випромінювання розсіюється в атмосфері пилом, краплями і парами води. На освітленість території значного впливу надає висота місцевості над рівнем моря: із збільшенням висоти на 1 км освітленість зростає ~на 45%.

На розвиток рослин і тварин значного впливу надає добове чергування дня і ночі. Тривалість світлового дня називають *фотоперіодом*, а реакцію на неї організмів – *фотоперіодизмом*.

У рослин під впливом зміни тривалості світлового дня виробляються гормони, які впливають на їх цвітіння, утворення бульб і коренеплодів. Фотоперіодизм спостерігається також у тварин, наприклад, період парування, плодючість, зимова сплячка, міграції тощо. Фотоперіодизм, поряд з температурою і вологістю є причиною *dianaузи* – тимчасового фізіологічного спокою у розвитку тварин. Фотоперіодизм – це спадково закріплена, генетично зумовлена властивість. Проте, фотоперіодична реакція виявляється лише за певних дій інших екологічних факторів, наприклад, температури. Крім того, явище фотоперіодизму характерне не для всіх організмів.

2.3.3. Вологість як екологічний фактор. Вода як середовище життя організмів

Вологість є також одним із важливіших екологічних факторів. Будучи найпоширенішою речовиною на Землі, вода відіграє важливу роль для живих організмів, є необхідною умовою життя і її кількість може бути лімітуючим фактором довкілля. Вода є основним компонентом клітин, розчинником, транспортним засобом для перенесення поживних речовин, за її участю відбуваються біохімічні реакції в організмах.

Як фізичне тіло вода має ряд аномальних властивостей, що зумовлено її молекулярною будовою. Наприклад, під час замерзання вода не стискається, як більшість рідин, а розширюється. Через те густина льоду менша за густину води (максимальна густина води при + 4°C) попереджується промерзання водойм до дна. Крім того, вода має високу діелектричну проникливість, тобто є високополярним розчинником, і високу теплоємність, тому є важливим терморегулятором. Влітку водойми поглинають теплоту, в зимку віддають її в довкілля. Через це в місцевостях, в яких розташовані великі водойми, не буває різких коливань температури взимку і влітку, вдень і вночі.

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

Води в природі є величезна кількість. Сукупність всієї води називають водним середовищем або гідросферою. Отже, *гідросфера* – це перервна водна оболонка Землі, яка є сукупністю океанів, морів, континентальних вод та льодових шарів. Гідросфера, яка є одним з найважливіших елементів довкілля, відіграє вирішальну роль в багатьох процесах, які проходять в природі. Воді належить важлива роль в історії розвитку нашої планети, так як з нею пов'язано зародження та розвиток живої речовини, і як наслідок, і всієї біосфери.

Якщо розглянути складові частини гідросфери (див. табл. 1.1.), то моря і океани (Світовий океан) займають біля 71% земної поверхні, в них міститься $1,37 \times 10^9$ км³ води, що складає 94% всієї гідросфери.

Сумарна площа всіх континентальних водойм складає ~ 3% площі всього суходолу. В континентальних льодовиках накопичено ~ 1,7% запасів гідросфери, а їх площа складає біля 10% площі континентів. Значні кількості води, близько $(10-11) \times 10^3 \text{ км}^3$, є складовою частиною живих організмів, що населяють Землю.

Вода в природі знаходиться в кругообігу. *Кругообіг води* – це процес безперервного, взаємопов’язаного переміщення води на Землі, який проходить під впливом сонячної енергії, сили тяжіння, життєдіяльності живих організмів і господарської діяльності людини.

Під дією теплової енергії Сонця з поверхні океану та континентів щорічно випаровується ~ $525 \times 10^3 \text{ км}^3$ води, що відповідає 1030 мм атмосферних опадів на рік. Частина води повертається до Світового океану у вигляді атмосферних опадів, формуючи ланку малого кругообігу води в природі. Друга частина води у вигляді атмосферних опадів переноситься повітряними масами на континенти, утворюючи ланку великого кругообігу води в природі, де приймають участь випаровування з поверхні суходолу та атмосферні опади, а також річковий стік, який частково повертається в Світовий океан. Великий та малий кругообіги води в природі забезпечують єдність всієї води гідросфери.

Хоча різні частини гідросфери пов’язані одна з одною процесами кругообігу води в природі, проте швидкість їх природного поновлення неоднакова. Наявні дані про різні частини гідросфери, їх водного балансу дозволили вирахувати активність водообміну, який проходить в процесі кругообігу води. Під *активністю водообміну* розуміють швидкість поновлення окремих водних ресурсів гідросфери. Вона виражається кількістю років, які необхідні для їх повного поновлення. Активність водообміну різних частин гідросфери Землі наведено в табл. 1.1 (Вронський В.А., 1995).

Таблиця 1.1.

Розподіл води гідросфери і активність водообміну її складових

| Частина гідросфери | Об’єм води, $\times 10^3 \text{ км}^3$ | Елемент балансу, $\times 10^3 \text{ км}^3/\text{рік}$ | Активність водообміну, рік |
|--------------------|--|--|----------------------------|
| Світовий океан | 1 370 000 | 452 | 3000 |
| Підземні води | 60 000 | 12 | 5000 |
| Льодовики | 24 000 | 3 | 8000 |
| Озера | 280 | 40 | 7 |

| | | | |
|-----------------------|------------------|------------|-------------|
| Річки | 1,2 | 40 | 0,030 |
| Ґрунтова вода | 80 | 80 | 1 |
| Атмосферна волога | 14 | 525 | 0,027 |
| Вся гідросфера | 1 454 000 | 525 | 2800 |

В руслах річок міститься всього 1200 км^3 води, але з врахуванням активності водообміну ця величина в річному циклі зростає ~ в 35 разів. Річкові води поновлюються в середньому кожні 11 діб, що свідчить про швидку їх поновлюваність. От чому річкова вода в природних умовах завжди практично прісна і є основним джерелом водних ресурсів. Із величини активності водообміну можна робити висновки про вміст солей у складових гідросфери. Чим швидше проходить поновлення води у водному джерелі, тим більш прісною буде вода в даному водному джерелі.

Як видно з представленої таблиці, запаси води на Землі величезні, проте це переважно солоня вода Світового океану. Запаси прісної води, потреба людей у якій є особливо великою, незначні і вичерпні. Прісні води слід розглядати як найбільш цінний компонент гідросфери, що зумовлено широким їх використанням в житті людини. Проблема глобальних та регіональних балансів прісних вод суходолу виступає як одна з актуальних проблем гідрології. В багатьох місцях планети відчувається нестача її для зрошення, потреб промисловості, пиття та інших побутових потреб.

Отже видно, що властивості компонентів водного середовища є різними. Це зумовлює різноманітність умов водного середовища як середовища життя організмів, що є однією із причин біорізноманіття і різних адаптаційних механізмів водних організмів.

2.3.4. Повітря як екологічний фактор. Будова і властивості атмосфери

Ми живемо на дні великого повітряного океану – атмосфери. Повітряне середовище є однією з найбільш важливих складових частин біосфери – “живої” оболонки Землі. Існування флори і фауни, а також всього живого на Землі, в тому числі і людини, неможливо без повітря. Хоча загальна потужність повітряної оболонки досягає половини радіусу Землі, за космічними масштабами вона виглядає

тонкою плівкою. Загальна вага атмосфери $\sim 5,15 \times 10^{15}$ т є надзвичайно мала – всього 1/1000000 ваги Землі, але захисні функції атмосфери переоцінити важко. Земне життя вразливе для космічних променів та потребує постійного і надійного захисту.

Характеризуючи атмосферу виділяють два основних аспекти:

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

Повітряна оболонка Землі, як і будь-який зовнішній шар, здійснює захисні функції. Хоча за нашими міркуваннями атмосфера ніяк не вкладається в поняття засобу захисту, саме атмосфера – безвідмовна перешкода для згубного впливу космосу. Атмосфера надійно захищає планету від космічного та ультрафіолетового випромінювання, визначає загальний тепловий режим поверхні Землі, впливає на кліматичні умови, а через них – на режими річок, ґрунтово-рослинний шар та процеси рельєфоутворення. Пробити атмосферу можуть лише крупні метеорити з початковою вагою в сотні тонн – явище, як відомо, надзвичайне. Метеорити меншої ваги – явище не рідке, проте вони повністю згорають в атмосфері.

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

На зовнішню поверхню атмосфери щосекунди потрапляє потужний потік сонячних та інших космічних випромінювань широкого діапазону хвиль та енергій: γ -випромінювання, жорсткі рентгенівські промені, ультрафіолетові промені, видиме світло, інфрачервоне випромінювання, тощо. Якщо б всі вони досягли земної поверхні, то миттєво вбивча їх енергія все живе перетворила б на попіл. Цього не трапляється, і на Землі існує життя завдяки атмосфері.

Для нормальної життєдіяльності людини та всього живого на Землі необхідно не тільки присутність повітря, але і його певний склад. Від складу повітря залежить стан організму, його здоров'я. Порушення нормального хімічного складу повітряного середовища може надавати негативного впливу не тільки на здоров'я людини або

тварин та рівень їх захворюваності, але і на їх розвиток, і як наслідок, призвести до генетичних змін в живих організмах.

Повітряне середовище – необхідна умова існування фауни та флори Землі – визначає процеси геологічного розвитку Землі, кругообіг речовин в природі, її режими вологості та температури. Без повітряного середовища на сучасному етапі розвитку людства неможливо здійснення життєво важливих технологічних процесів.

Атмосфера – газоподібна оболонка Землі, являє собою рівноважну систему, в якій безперервно проходять процеси обміну речовин, які протікають за певними законами. Характер цих процесів визначається багатьма факторами і, в першу чергу, складом самої атмосфери. Порушення цього складу, яке викликане як природними процесами, так і діяльністю людини, може призводити до зміни процесів в атмосфері. Завдяки компенсаційним можливостям атмосфери ці зміни до певного рівня впливу на атмосферу не будуть незворотними. Проте, із збільшенням масштабів такого впливу на атмосферу, як і на навколишнє середовище в цілому, ці компенсаційні можливості можуть бути вичерпані, що може мати катастрофічні наслідки не тільки для окремих районів Землі, але і глобальні.

Атмосфера складається із суміші газів. До 50% всієї ваги атмосфери зосереджено в шарі до висоти 5,5 км та 99% – в шарі до 40 км. Атмосфера має чітко виражену пошарову будову по розподілу густини та температури у вертикальному напрямку. Фізичні розбіжності цих шарів зумовлені, головним чином, взаємодією між частинками газу в шарі та потрапляючим в атмосферу випромінюваннями Сонця, Землі, Космосу, тощо. Ця взаємодія визначає, перед усім, температурний стан газової оболонки Землі. По розподілу температури у вертикальному напрямку атмосферу розділяють на тропосферу, висота якої досягає над екватором 16-18 км та 8-10 км над полюсами; стратосферу, яка охоплює шар атмосфери від тропосфери до висоти 45-50 км; мезосферу – шар від стратосфери до висоти 80 км; термосферу (іоносферу) – до висоти 800 км; екзосферу (магнітосферу) – вище 800 км. Густина атмосфери, яка безперервно зменшується з висотою, поступово наближається до густини міжпланетного простору.

В тропосфері зосереджено понад 79% всієї ваги атмосфери та біля 75% її вологи, а також основна кількість твердих включень, які спричиняють утворення хмар. Тропосфера характеризується

практично повною прозорістю по відношенню до потрапляючої в неї короткохвильової сонячної радіації та значним поглинанням довгохвильового випромінювання Землі. Тому, тропосфера нагрівається, переважно, від земної поверхні, наслідком чого є пониження температури з висотою ~ на 0,5-0,6°C на кожні 100 м підйому. Це, в свою чергу, призводить до виникнення конвективних потоків, переміщення повітряних мас, конденсації водяного пару, утворення хмар та випадання опадів. Фізичні процеси в тропосфері суттєво впливають на формування погодних та кліматичних умов на Землі. Температурна інверсія тропосфери, яка відіграє найважливішу роль в розсіюванні забруднювачів атмосфери, є небажаною, тому що перешкоджає вертикальному розсіюванню забруднення. Створюються зони з підвищеною забрудненістю в приземному шарі. Верхня межа тропосфери – тропопауза – область, температура в якій не змінюється із збільшенням висоти.

Для стратосфери характерні порівняна постійність температури, понижений вміст вологи, слабкі повітряні потоки (переважно горизонтального напрямку), мала кількість хмар. До висоти 25-30 км температура стратосфери є сталою і складає мінус 56°C. Починаючи з висоти 30-35 км температура починає різко підвищуватися і на висоті 40 км досягає плюс 30°C. Вище 50 км температура знову понижається до мінімуму – мінус 75°C.

Стратосфера характеризується наявністю в ній шару озону, який енергійно поглинає ультрафіолетове сонячне випромінювання. Саме це зумовлює підвищення температури в середній частині стратосфери. Озон, переважно, зосереджений в шарі атмосфери на висоті 25-40 км і походження його пов'язано з фотодисоціацією кисню під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця. Якщо б зосередити весь озон біля поверхні Землі, то товщина його шару складала б 2-4 мм. Реально ця умовна плівка озону розподілена в шарі атмосфери товщиною до 10 км.

Мезосфера, яка розташована на висоті 50-80 км від поверхні Землі, є найбільш холодним шаром атмосфери. Температура в мезосфері коливається в межах мінус 80°C – мінус 95°C. В мезосфері наявна значна кількість льодових хмар (амоніак, оксиди Нітрогену). Вони відіграють важливу роль в розсіюванні сонячного випромінювання і, завдяки цьому, в полярних районах спостерігається таке явище як полярне сяйво.

Термосфера умовно поділяється на три ділянки: D – на висоті до 100 км, E – на висоті 100-150 км, F – на висоті 150-800 км. В термосфері наявна значна кількість іонізованих часток, які відбивають електромагнітні хвилі, в тому числі γ - і рентгенівське випромінювання і, за рахунок цього термосфера використовується для радіозв'язку. В області D температура переважно коливається від мінус 70°C до плюс 100°C. В області E температура на окремих ділянках підвищується до плюс 600°C.

В магнітосфері, яка оточує Землю на висоті вище 800 км, спостерігається наявність атомарного Оксигену (до 1000 км), атомів Гелію (до 1500 км) та Гідрогену – на висоті понад 1500 км. Частина Гідрогену може віддалятися в космос. В свою чергу із космосу в атмосферу Землі потрапляють потоки плазми, які викидаються Сонцем, та космічний пил.

Одним із важливіших показників стану атмосфери, як середовища існування живих організмів, є хімічний склад її приземного шару. При всьому різноманітті протікаючих в атмосфері фізичних та хімічних процесів, приземний її шар залишається практично постійним за своїм складом. Дослідження показали, що до висоти 20 км тенденцій до зміни хімічного складу атмосфери не спостерігається, що зумовлено, очевидно, інтенсивним її перемішуванням конвективними потоками.

Атмосфера приземного шару являє собою суміш постійних та змінних газів. В групу постійних газів входять азот, кисень, аргон та інші інертні гази, а змінні – діоксиди Карбону, Сульфур та Нітрогену, озон, водяна пара. Природний хімічний склад приземного шару атмосферного повітря наведено в табл. 1.2 (Вронський В.А., 1995).

Таблиця 1.2.

Хімічний склад приземного шару атмосфери

| Газ | Вміст газів, % | |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| | За об'ємом | За вагою |
| Азот | 78,09 | 75,52 |
| Кисень | 20,94 | 23,15 |
| Аргон | 0,93 | 1,28 |
| Діоксид Карбону | 0,033 | 0,046 |
| Неон | $1,8 \times 10^{-3}$ | $1,2 \times 10^{-3}$ |
| Гелій | $5,2 \times 10^{-4}$ | $7,2 \times 10^{-5}$ |
| Криптон | 1×10^{-4} | $3,3 \times 10^{-4}$ |

| | | |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| Ксенон | 1×10^{-5} | $3,9 \times 10^{-5}$ |
| Оксид Нітрогену | $2,5 \times 10^{-4}$ | $2,5 \times 10^{-3}$ |
| Водень | 5×10^{-5} | $3,5 \times 10^{-6}$ |
| Метан | $1,5 \times 10^{-4}$ | $0,8 \times 10^{-4}$ |
| Діоксид Нітрогену | 1×10^{-7} | 8×10^{-5} |
| Озон | 2×10^{-6} | 1×10^{-5} |

Основна складова атмосфери, як за об'ємом, так і за ваговим вмістом – азот. У вільному стані на Землі азот знаходиться, переважно, в атмосфері. Він відіграє важливу роль, адже є природним розчинником кисню і регулює окислювальні процеси, що проходять в атмосфері. Крім того, азот може із повітря безпосередньо залучатись в кругообіг. Друге місце за вмістом в атмосфері займає кисень. Він відіграє важливіше значення в життєдіяльності живих організмів, яка супроводжується витратами енергії. Джерело цієї енергії – окисно-відновні реакції, протікання яких неможливе у відсутності кисню. Без нього неможливі процеси окиснення і, як наслідок, відсутня можливість компенсації енергетичних витрат організму. Кисень потрапляє в атмосферу, переважно, за рахунок виділення його рослинами в процесі фотосинтезу.

Не дивлячись на малий вміст діоксиду Карбону в атмосфері, його роль в підтриманні життя на Землі вельми суттєва. Саме наявність діоксиду Карбону в атмосфері сприяє накопиченню сонячної енергії в біосфері, в процесі фотосинтезу, при якому утворюються складні сполуки Карбону. Тобто, енергія сонячного випромінювання перетворюється в енергію хімічних зв'язків. В цілому, вміст діоксиду Карбону в атмосфері зберігається практично постійним, хоча спостерігаються незначні сезонні коливання його вмісту.

Отже, повітря як середовище існування живих організмів є відносно сталим за хімічним складом. В той же час, в залежності від географічного положення і висоти місцевості над рівнем моря, температурний і вологовий режими можуть значно коливатись. Це також є однією з причин біорізноманіття та різних пристосувальних механізмів живих організмів.

2.3.5. Едафічні фактори довкілля. Ґрунти як природне утворення

Ґрунт – це самостійне природне органічно-мінеральне тіло, яке виникло на поверхні Землі внаслідок тривалого впливу біотичних, абіотичних і антропогенних факторів. Ґрунтом називаються видозмінені під впливом живих організмів, перед усім рослин, поверхневі шари ґрунтової маси, які відрізняються від гірських порід складом мінеральної маси, значним вмістом специфічних органічних речовин (гумусу) і мають важливу відмінність – родючість.

Родючість – це здатність ґрунтів постачати рослинам для їх життєдіяльності необхідні поживні речовини, воду і повітря. Ґрунти складаються з твердих мінеральних і органічних частинок. Залежно від кліматичних, геологічних та географічних умов ґрунти мають товщину від 15-25 см до 2-3 м.

Ґрунти утворюються під впливом ґрунтоутворюючих факторів, до яких належать: ґрунтоутворюючі породи, рослинні та тваринні організми, вода, клімат, рельєф місцевості, господарська діяльність людини. Суттєвим фактором ґрунтоутворення є час: один сантиметр ґрунту формується протягом від сотні до кількох тисяч років.

Ґрунти є гігантською екологічною системою, яка надає, поряд із Світовим океаном, визначного впливу на всю біосферу. Обмін речовин між живими організмами і ґрунтом викликаються дією біохімічних факторів. Засновником наукового ґрунтознавства є російський вчений В.В.Докучаєв, який вперше дав визначення “ґрунту”, виявив головну його відмінність і розкрив сутність ґрунтоутворюючого процесу. Завдяки ґрунтам – найважливішого компоненту біогеоценозів, здійснюється екологічний зв'язок живих організмів з літосферою, гідросферою та атмосферою.

В ґрунтах виділяють верхній шар – найбільш цінний, який містить гумус (продукти розкладу живих організмів та органічно-мінеральні речовини), середній шар, який включає переважно мінеральні компоненти та нижній шар, який складається із малозмінених продуктів руйнування гірської породи.

Ґрунти є першоджерелом всіх матеріальних благ: харчових продуктів, лісоматеріалів, тощо. Тому ґрунти являють собою незамінний природний ресурс і головним завданням охорони природи та довкілля людини є підтримка здатності ґрунтів до самовідновлення в процесі ґрунтоутворення. На використанні ґрунтів базується сільськогосподарська діяльність людини. Орні землі дають до 88% харчової енергії для сучасного людства, до 10% харчової енергії

людство одержує з природних пасовищ та лісових угідь і тільки біля 2% – із ресурсів Світового океану.

Все це говорить про необхідність захисту ґрунтів та обережного ставлення до них. На сьогодні виділяють п'ять головних факторів втрати ґрунтів:

1) ерозія – механічне руйнування ґрунтів, яке виникає внаслідок дії води та повітря;

2) опустелювання – висушування ґрунтів, внаслідок чого вони втрачають природну екосистемну рослинну цілісність;

3) токсикація – накопичення в ґрунтах шкідливих речовин;

4) вторинне засолювання – накопичення солей в ґрунтах;

5) прямі втрати ґрунтів в результаті перетворення їх в міста, промислові підприємства, дороги, тощо.

Все це говорить про те, що ґрунти є вразливими до зовнішніх впливів і тому слід вживати заходи по їх захисту. Важливість цього впливає з того, що всі компоненти навколишнього природного середовища взаємопов'язані і стан ґрунтів буде позначатись на стані повітря та водного середовища.

Вплив едафічних факторів, в першу чергу, проявляється на життєдіяльності рослин, ріст і розвиток яких напряму залежить від властивостей ґрунту. В той же час, не слід забувати, що ґрунти є місцем проживання тварин, в тому числі і мешканців ґрунтів (різноманітних безхребетних, гризунів, тощо). Тому важливу роль відіграє механічний склад ґрунтів, який визначає їх повітря- та водопроникливість, механічну міцність тощо.

2.4. Біотичні фактори довкілля

В природних умовах кожен організм живе не ізольовано, а знаходиться у взаємозв'язках з іншими живими істотами. Взаємодіючи між собою, організми вступають один з одним у певні зв'язки, які можуть бути корисними, шкідливими або нейтральними залежно від того, стимулюється чи обмежується життєдіяльність кожного з них. Зв'язки між організмами – необхідна умова існування. З одного боку, вони пом'якшують тиск навколишнього природного середовища, а з другого – завжди становлять певну небезпеку, навіть пряму загрозу існування індивіду.

Безпосереднє живе оточення організму називається *біотичним середовищем*, а впливи, що виявляються під час взаємодії організмів у

ньому – *біотичними факторами*. Отже, біотичні фактори поєднують усю сукупність впливів живих організмів один на одного, а представники кожного виду можуть жити лише в такому біотичному середовищі, яке забезпечує для них нормальні умови існування.

Основною формою зв'язків між організмами є трофічні взаємовідносини, на базі яких формуються складні ланки і ланцюги харчування. Крім харчових і групованих зв'язків рослин і тварин, виникають просторові зв'язки. Все це є основою формування біотичних комплексів, у яких різноманітні види об'єднуються не в будь-якому поєднанні, а тільки за умови пристосування до спільного проживання.

Взаємозв'язки і взаємовпливи живих істот надзвичайно різноманітні. Вони можуть бути прямими і непрямими. *Прямі взаємозв'язки* виявляються у безпосередньому впливі одних організмів на інші, а *непрямі* – опосередковано, через проміжні ланки, коли, наприклад, тварини змінюють абіотичні фактори середовища інших тварин чи рослин, що може зумовити їх пригнічення або повне знищення. Можливі взаємозв'язки між особинами одного виду, наприклад, боротьба за проживання, за лідерство у зграї, захист території, тощо, та між особинами різних видів.

Всі біотичні зв'язки у природі *умовно* можна поділити на ряд типів і кожна група взаємозв'язків відіграє важливу роль у природі. Біотичні зв'язки поділяють на:

- *нейтральні* – коли жоден із взаємодіючих видів не впливає на інший (0 0);

- *взаємокорисні* – вигідні для обох видів (+ +);

- *взаємошкідливі* – негативно позначаються на обох взаємодіючих видах (- -);

- *корисно-шкідливі* – один вид має користь (вигоду), а інший пригнічується (+ -);

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

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

Хоча прийнято поділяти біотичні зв'язки на корисні, шкідливі і нейтральні, такий поділ є умовним. В природі все збалансовано і ні один вид організмів не намагається знищити інший. Тому всі типи біотичних зв'язків є надзвичайно важливими і забезпечують умови

існування живих організмів: запобігають переселенню території або її недостатньому заселенню, визначають природний відбір, тощо.

Нейтральні біотичні зв'язки. Форма біотичних зв'язків, за якої співіснування двох видів на одній території не викликає для них ні позитивних, ні негативних наслідків, називається *нейтралізмом*. Він є досить поширеним в природі.

За таких умов, між видами немає нічого спільного, їм потрібні різні екологічні умови. Наприклад, проживання на одній території зайця і їжака; проростання на одній території волошки і кропиви; взаємодія горобця і орла-беркута, тощо.

Взаємодіючі біотичні зв'язки. Такий тип зв'язків між видами називають симбіотичними, тобто взаємодіючі види мають певний ступінь користі від партнерства або співжиття. Цей тип зв'язків є поширеним в природі. Чим більш різноманітніші і міцніші зв'язки, що підтримують спільне існування видів, тим стійкіше їх співжиття.

Найпростішою формою симбіотичних зв'язків є *протокооперація* – “первинна взаємодія”. Вона є взаємовигідною для партнерів, проте обов'язковою для їх існування. Наприклад, обпилення бджолами квітів; перенесення птахами насіння рослин, що містилось в плодах, тощо.

За умови розриву такого виду взаємозв'язків, партнери можуть існувати ізольовано один від одного. Проте, в деяких випадках, присутність кожного з партнерів стає обов'язковою і такі зв'язки називаються *мутуалізмом*. Наприклад, терміти та їх кишкові співмешканці – джгутикові. Ці простіші перетворюють целюлозу на цукри, адже терміти не мають ферментів, що здатні розщеплювати целюлозу; лишайники є формою співжиття гриба і водорості. Гриб захищає водорості, постачає воду і мінеральні речовини, а водорості – синтезуючі органічні речовини, годують гриб.

Така взаємозалежність партнерів в мутуалізмі може бути і небажаною. Окремо жоден з видів не може вижити і, загибель одного партнера, викличе загибель іншого. З іншого боку, такі симбіотичні зв'язки підвищують стійкість видів до дії зовнішніх факторів. Прикладом цього можуть бути лишайники, які здатні розвиватись в несприятливих умовах.

Взаємозалежні біотичні зв'язки. Це така форма біотичних зв'язків, коли взаємодіючі види пригнічують розвиток один одного, тобто такі взаємозв'язки негативно позначаються на партнерах. Такий

тип біотичних зв'язків називають *конкуренцією*. Конкуруючі види (партнери) перебувають у невідповідному становищі, оскільки присутність одного обмежує можливості другого в оволодінні ресурсами, простором і навпаки.

Розрізняють внутрішньовидову, міжвидову, пряму і непрямую конкуренцію.

Конкуренція – це активна боротьба між двома або кількома організмами за засоби існування чи спільні фактори середовища. Інтенсивність конкуренції організмів за засоби існування залежить від того, внутрішньовидова вона чи міжвидова.

Внутрішньовидовою є конкуренція між особинами одного виду за одні й ті ж самі природні ресурси, наприклад, це захист території, боротьба за лідерство у зграї, тощо. Під впливом внутрішньовидової конкуренції проходить ускладнення поведінки організмів, виробляється територіальність поведінки та формується ієрархічна або етологічна структура угруповань.

Територіальність поведінки є надзвичайно важливою для довкілля, адже вона є певною мірою екологічним регулятором заселеності території і запобігає її переселенню або недоселенню. Наприклад, це природне прорідження лісових насаджень.

Міжвидова конкуренція найпоширеніша у природі, оскільки рідко який вид не зазнає пригнічення з боку організмів інших видів. Форми її дуже різноманітні – від жорстокої боротьби до майже мирного співіснування. Але, коли на одній території виявились два види з однаковими екологічними потребами, то рано чи пізно один конкурент витіснить другого. Конкуренція, що виникає між двома видами, може мати два основних наслідки: або один вид витісняє другого і він мігрує за межі території, або вони розходяться по різних екологічних нішах відповідно до своєї екологічної спеціалізації. Наприклад, види змінюють періоди активності, раціон харчування, тощо. На несумісність існування конкуруючих видів звернув увагу ще Ч.Дарвін, який вважав конкуренцію однією з найважливіших складових частин боротьби за існування, що відіграє велику роль в еволюції видів.

Російський біолог Г.Ф.Гаузе в лабораторних умовах довів, що організми з однаковими або подібними способами життя та подібною будовою тіла не можуть жити в одному й тому самому місці, а якщо і живуть поряд, то використовують різні ресурси і ведуть активний

спосіб життя. Таке розділення схожих видів він назвав *принципом конкурентного виключення*. У конкурентній боротьбі перемагає, як правило, той вид, який за даних екологічних умов має якісь переваги перед другим, тобто більш пристосований до умов середовища, навіть більша плодючість.

В той же час, вважати конкуренцію шкідливою не можна, адже саме конкурентна боротьба сприяє природному відбору, запобігає переселенню територій, змінює періоди активності ряду видів тощо.

Корисно-шкідливі біотичні зв'язки. Це живильні зв'язки, за яких один з партнерів має користь, а інший зазнає шкоди. Такий тип біотичних зв'язків називають *хижацтвом*.

Хижацтво виявляється в тому, що один організм (хижак) поїдає іншого (жертву). Внаслідок знищення жертв може збільшитись чисельність хижаків. Зменшення поживи для хижаків, у свою чергу, може зумовити зменшення їх чисельності і зростання кількості жертв. Отже, завдяки зв'язкам хижак-жертва між ними встановлюється динамічна рівновага. У процесі еволюції у хижаків виробляються пристосування до нападу, а у жертв – до захисту.

Розрізняють хижаків першого порядку, які живляться травоядними тваринами, і другого – які нападають на більш слабких хижаків. Хижаки можуть міняти об'єкти свого полювання, що є важливою їх екологічною пристосовуваністю.

Характерною особливістю взаємозв'язків хижак-жертва є те, що хижаки частіше нападають на ослаблених та хворих тварин. Хижацтво є поширеною формою біотичних зв'язків.

Особливою формою корисно-шкідливих зв'язків між видами є *паразитизм*. Це такі взаємозв'язки, коли один вид (паразит, споживач) протягом певного часу живе за рахунок іншого (господаря, живителя). Часто паразити використовують живителів не лише як поживу, а і як місце для свого існування. Паразити, які тимчасово перебувають в організмі живителя, називаються тимчасовими, наприклад, деякі комахи, а ті які живуть в тілі чи на тілі живителя протягом основного періоду життя – стаціонарними, наприклад, глисти, блохи, тощо.

Якщо паразити поселяються всередині живителя їх називають ендопаразитами, а якщо живуть на поверхні тіла живителя – екзопаразитами. В процесі еволюції у паразитів розвинулись специфічні пристосування до умов життя, насамперед це спрощення будови тіла порівняно із їхніми попередниками. Наприклад, у вегетативних

органах рослин-паразитів немає хлорофілу; паразити які живуть в органах травлення, мають редуковану систему травлення, тощо.

Інші пристосування паразитів забезпечують їх виживання у разі відсутності живителя, це, перед усім, висока плодючість.

Інколи хижаків і паразитів сприймають як природних ворогів жертв, але це не так. Вони потрібні один одному із загально-екологічних міркувань. Саме за рахунок таких відносин відбувається природний відбір і пристосувальна мінливість організмів – найважливіших еволюційних процесів.

У природних умовах жоден вид не намагається знищити інший. Більше того, вилучення природного “ворога” з екосистеми може призвести до вимирання того виду, за рахунок якого розвивається цей “ворог”. Можливість таких наслідків слід враховувати при плануванні антропогенного втручання в природні комплекси.

Корисно-нейтральні біотичні зв'язки. Однобічне використання одного виду іншим без заподіяння йому шкоди називається *коменсалізмом*. За таких умов один вид своєю діяльністю забезпечує кормом іншого – коменсала або надає йому притулок.

Коменсалізм, який ґрунтується на споживанні залишків корму партнера, називається нахлібництвом або співтрапезництвом. Наприклад, в саванах гієни або грифи живляться залишками корму левів. Поширеним різновидом коменсалізму є квартиранство, при якому один вид використовує інший як місце проживання, розмноження або транспортний засіб. Наприклад, рибка гірчак відкладає ікру в мантию двостулкового молюску не завдаючи йому шкоди; риба-прилипайло пересувається на великій відстані прилипаючи до акул, тощо.

Шкідливо-нейтральні біотичні зв'язки. Такі зв'язки спостерігаються у випадках, коли один із двох взаємодіючих видів пригнічується, а другий не зазнає від цього ні шкоди, ні користі. Такий вид біотичних зв'язків називають *аменсалізмом*. Наприклад, світлолюбиві рослини пригнічуються від затінення деревом, а дерево не зазнає ніякого впливу.

Особливою формою таких біотичних зв'язків є *алелопатія* (антибіоз) – хімічний вплив одних видів рослин або тварин на інші за допомогою продуктів метаболізму, наприклад, ефірними маслами, фітонцидами, тощо. Наприклад, біла акація виділяє отруйні речовини в ґрунт, за рахунок чого позбавляється конкурентів; біля полину

практично не здатні рости інші рослини, тому що полин виділяє в повітря ефірну олію, яка діє на рослини-сусіди.

! Безумовно, найбільш важливими типами біотичних зв'язків є хижацтво, конкуренція і симбіоз, проте і інші типи біотичних зв'язків також відіграють важливу роль в природному середовищі.

На популяційному рівні існують і інші класифікації біотичних зв'язків. Так, Ю.Одум виділяє 9 типів взаємовідносин (див. табл. 1.3.).

За Ю.Одумом, типи взаємодій 2-4 можна вважати “від’ємними” взаємовідносинами, типи 7-9 “додатними” взаємовідносинами, а типи 5,6 – віднести до обох груп.

Такий поділ взаємовідносин між двома популяціями є умовним, адже всі вони є невід’ємною частиною природи, забезпечують природне біорізноманіття та підтримують природну рівновагу.

Таблиця 1.3.

Взаємозв'язки між популяціями за Ю.Одумом

| № п/п | Типи взаємодії | Популяція | | Загальний характер взаємодії |
|-------|---------------------------------------|-----------|---|---|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Нейтралізм | 0 | 0 | Жодна популяція не впливає на іншу. |
| 2 | Конкуренція (безпосередня взаємодія) | - | - | Пряме взаємне пригнічення двох видів. |
| 3 | Конкуренція (взаємодія через ресурси) | - | - | Непряме пригнічення при дефіциті загального ресурсу. |
| 4 | Аменсалізм | - | 0 | Популяція 2 пригнічує популяцію 1, але сама не відчуває взаємного впливу. |
| 5 | Паразитизм | + | - | Популяція паразиту (1), представники якої мають менший розмір тіла, пригнічує популяцію живителя (2). |
| 6 | Хижацтво (і з'їдання рослин) | + | - | Особини хижаків (1) переважно більші, ніж особини жертви (2), пригнічують життєдіяльність останніх. |

| | | | | |
|---|-----------------|---|---|--|
| 7 | Коменсалізм | + | 0 | Популяція (1) – коменсал, отримує користь від взаємодії, для популяції (2) ця взаємодія байдужа. |
| 8 | Протокооперація | + | + | Взаємодія сприятлива для обох популяцій, але вона не є обов'язковою. |
| 9 | Мутуалізм | + | + | Взаємодія сприятлива для обох популяцій і є обов'язковою. |

Примітка: “0” – означає відсутність значних взаємодій;
 “+” – означає стимулювання життєдіяльності;
 “-” – означає пригнічення життєдіяльності.

?

Опанувавши дану тему, дайте відповіді на такі питання:

1. Охарактеризуйте рівні організації живого. Покажіть особливості екосистемного рівня.
2. Приведіть класифікацію екологічних факторів. Покажіть роль адаптації живих організмів. Дайте визначення екологічної валентності.
3. Охарактеризуйте основні закони дії факторів на живі організми.
4. В чому виявляються особливості екологічної ніші?
5. Дайте характеристику основних абіотичних факторів довкілля та пристосувальних реакцій живих організмів на них.
6. В чому полягають особливості гідросфери як середовища існування живих організмів?
7. Охарактеризуйте захисні функції атмосфери та її роль як середовища існування живих організмів.
8. Покажіть особливості едафічних факторів довкілля.
9. Дайте загальну характеристику біотичних факторів та біотичного середовища.
10. Покажіть роль взаємозв'язків біотичних зв'язків для довкілля. В чому полягає принцип конкурентного виключення?

11. Охарактеризуйте корисно-шкідливі біотичні зв'язки. Покажіть роль хижацтва в еволюції видів.
12. Покажіть особливості взаємокорисних біотичних зв'язків для навколишнього природного середовища.
13. Дайте порівняння ролі коменсалізму та аменсалізму як типів біотичних зв'язків.

Тема 3. Популяційна екологія

3.1. Завдання популяційної екології. Популяції, їх типи

Знання взаємозв'язку між організмами і навколишнім середовищем, а також взаємозв'язку між живими організмами недостатньо для розуміння деяких фактів. Без відповіді залишаються ряд питань, зокрема:

- Як створюються умови, що сприяють підтриманню життя?
- Чому чисельність одних видів організмів збільшується, а інших – зменшується?
- Чому одні й ті самі види можуть існувати в різних екологічних умовах?

На ці питання дає відповідь “Вчення про популяцію”.

Першою надорганізмовою біологічною системою є популяція, яку називають найменшою структурною одиницею екології. Термін “популяція” запозичений з демографії В.Логансеном у 1905 році для визначення особин одного виду, а інколи навіть однорідної суміші особин різних видів. Саме на популяційному рівні проявляються ознаки як індивідуальних організмів, так і їх сукупності – системи.

Засновником популяційної екології є англійський вчений Ч.Ельтон (“Екологія тварин”, 1927), який перевів увагу з окремого організму на популяцію організмів, яку слід вивчати самостійно, оскільки на цьому рівні виявляються особливості екологічних адаптацій і регуляцій.

Отже, *популяція* – це сукупність особин одного виду рослин, тварин або мікроорганізмів, які протягом тривалого часу і багатьох поколінь існують в межах певної території (ареалу) і вільно схрещуються між собою, проте так чи інакше ізольовані від особин інших груп того самого виду.

Популяції мають не лише основні ознаки виду, а й певні особливості будови тіла окремих особин та пристосованість до специфічних місцевих умов ареалу даного виду. Прикладом цього може бути розбіжність між будовою тіл копитних які проживають в різних географічних умовах. Чим більш північним буде ареал популяції (для північної півкулі), тим більш довге хутро будуть мати тварини, і тим меншими за розмірами будуть роги тварин, тощо. Тому,

популяція – це не просто сукупність організмів, а система, що може змінюватись у часі і просторі.

Умови формування, структуру та динаміку розвитку популяцій окремих видів вивчає *популяційна екологія*. На основі цього розробляються заходи щодо раціональної експлуатації популяцій.

Стабільність популяції залежить як від процесів всередині неї, так і від процесів в сусідніх популяціях. З урахуванням цього виділяють такі типи популяцій:

1). *Незалежні* – мають високий потенціал розмноження, завдяки чому постійно оновлюються без надходження представників виду ззовні;

2). *Напівзалежні* – можуть існувати тільки за рахунок розмноження власних особин при незначній чисельності, проте інколи можливе надходження в них особин ззовні, що сприяє покращенню популяції;

3). *Залежні* – розмноження всередині таких популяцій не компенсує втрат, тому вони можуть існувати лише при надходженні особин із сусідніх популяцій;

4). *Псевдопопуляції* – утворюються внаслідок міграції особин із сусідніх популяцій. Особливо поширені в водних екосистемах, інколи – на суходолі.

Характерними ознаками популяцій є їх *структура*, під якою розуміють її склад за статеві-віковими, генетичними, фенотипними та іншими ознаками. Кожна популяція має певний, властивий лише їй, темп і ритм обміну речовин в екосистемі. Отже, кожний вид має структуру, яка властива лише йому. Вивчення популяційної структури виду має надзвичайно важливе теоретичне і практичне значення при здійсненні заходів раціонального природокористування. Популяції завжди перебувають під впливом багатьох факторів і їх реакція на конкретний фактор залежать від взаємного розташування або спільних дій представників популяцій.

! Загибель або різке скорочення чисельності популяції, як правило, викликає ланцюгову реакцію в більшому угрупованні – біоценозі, і може спричинити коливання чисельності і навіть загибель деяких популяцій інших видів.

Наприклад, зникнення одного виду рослин викликає загибель від 3-4 (наприклад, в лісі) до 20-30 (наприклад, в степах) видів тварин.

Різні популяції одного виду організмів можуть мати як спільні ознаки структури, так і відмінні, які зумовлені специфікою екологічних умов їх існування. Від структури популяції в значній мірі залежить її адаптація до умов існування та майбутній розвиток.

! Отже, структура популяції не є стабільною, а змінюється під впливом різних факторів середовища: кліматичних умов, збільшення або зменшення кількості природних ворогів, тощо.

Знання стану і динаміки розвитку популяцій дають змогу екологам виявляти наявність або відсутність окремих видів, визначати їх рідкісність, стійкість до змін середовища, тощо.

Людина своєю діяльністю може впливати на популяції прямо чи опосередковано, змінюючи при цьому їх параметри і структуру. Інколи цей вплив може призводити до загибелі популяцій і цьому може сприяти вирубування лісів та господарське освоєння територій, забруднення середовищ існування, надмірна експлуатація популяції, необґрунтоване знищення хижих тварин, тощо.

Стійкість популяцій до будь-яких впливів визначається, перед усім, збереженням і підтриманням просторово-генетичної структури. Тому особливо небезпечним є будівництво і спорудження доріг, полів та інших антропогенних об'єктів, які часто призводять до порушення цієї структури популяцій. Ареал популяції при цьому розбивається на окремі “острівці”, густина її розселення знижується, контакти між особинами популяції стають рідкими. Все це призводить до швидкої загибелі популяції.

До зовнішніх впливів, у тому числі і впливу людини, найбільш стійкими є популяції із складною віковою структурою, наприклад, хрущі, сухопутні жаби, землерийки, тощо.

3.2. Чисельність і густина популяцій

Визначення *чисельності* популяції має важливе значення для природного чи спрямованого репродукування організмів. Для цього потрібні дані про вплив факторів довкілля на розмноження і виживання організмів даного виду, забезпеченість ресурсами, тощо.

! У природних умовах існує така кількість особин у популяціях, яка найбільшою мірою відповідає потребам відтворення.

В одних популяціях може бути сотня організмів, в інших – десятки тисяч. Це залежить як від природних біологічних особливостей виду, так і від факторів середовища. Дані про кількість організмів у популяціях, звичайно, є орієнтовними, тому що чисельність деяких організмів важко піддається підрахункам, тому знання закономірностей відтворення чисельності популяцій є вкрай важливою для їх вивчення та використання.

Одним із завдань популяційної екології є складання прогнозу коливань потоків, які “наповнюють” популяцію та потоків “витікання” з неї. Потужність цих потоків досить рідко збігається в часі, тому чисельність популяцій весь час коливається. Повний перелік видів організмів здійснюється періодично і він є підставою для оцінки стану видів, а інформація про коливання чисельності популяцій потрібна для розробки заходів щодо оптимального їх використання та захисту.

! Популяції, чисельність яких є незначною, більш екологічно вразливі.

Для порівняння чисельності популяцій або характеристики змін усередині них протягом певного проміжку часу, використовують показник *густоти популяції*, під якою розуміють кількість особин популяції на певній ділянці території: для великих тварин це кількість особин на 20000 га, для ґрунтових безхребетних – на 1 м². Цей показник є особливо важливим тоді, коли неможливо зробити перелік особин популяції або коли межі ареалу популяції визначені не чітко.

Густина популяції може зменшуватись чи збільшуватись, а динаміка цих процесів відображає складні взаємозв'язки між різними групами організмів, оскільки вони є біотичними факторами відносно один одного. Наприклад, птахи, що живляться рибою, будують гнізда і відкладають яйця так, щоб період вигодовування пташенят збігався з періодом максимальної екологічної густоти популяції виду риби, якою вони живляться.

Густина популяції залежить також від абіотичних факторів. Розрізняють максимальну й мінімальну густоту популяції. Максимальною є густина, більшу за яку природне середовище вже не може підтримувати, а мінімальною – найменша кількість особин на одиницю площі, за якої відтворення популяції ще можливе. Для кожного виду існують оптимальні межі густоти його популяції.

Чисельність популяції не буває сталою, а варіює в певних межах (флуктуації). Динаміку коливання чисельності популяції необхідно знати для регулювання розвитку популяції.

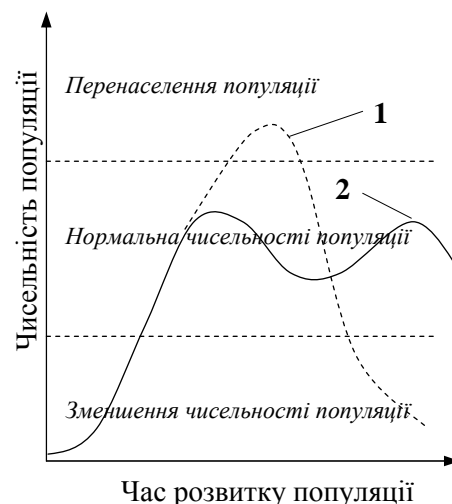


Рис. 1.5. Зміни чисельності популяцій: 1 – показниковий тип; 2 – гіперболічний тип з коливаннями чисельності.

Періодичні коливання чисельності популяції залежать як від факторів середовища, так і від особливостей самої популяції. У деяких видів організмів спостерігається природна періодичність коливання чисельності, коли значне збільшення кількості особин чергується із спадом їх розмноження.

Період у розвитку популяцій, коли кількість особин практично не змінюється, що буває дуже рідко, називається *фазою рівноваги*. На коливання чисельності тварин звернув увагу ще Ч.Дарвін, який зазначив, що межі і частота цих коливань залежать, перед усім, від виду організмів.

За динамічними змінами популяцій розрізняють такі основні типи їх чисельності (див. рис. 1.5):

- *Показниковий*. Для такого типу зміни чисельності популяцій характерне зростання чисельності особин за геометричною прогресією, а після досягнення максимуму, кількість особин різко зменшується. *Якщо чисельність популяції перевищує оптимальну межу, спостерігається вичерпування ресурсів ареалу і вона гине!*

- *Гіперболічний*. Для такого типу характерне зростання чисельності особин після чого настає стадія рівноваги з незначними коливаннями чисельності популяцій (флуктуаціями). Характерний для популяцій, які щойно заселили нове місце за ресурсами живлення.

- *Стабільний*. Характерний для популяцій, які перебувають у сталих умовах існування і мають досконалі регуляційні механізми. В природних умовах зустрічається дуже рідко.

У природних умовах організми не можуть розмножуватись безмежно. Як правило, фактична чисельність нащадків набагато менша за потенційно можливу. Взаємозв'язок між організмами і факторами середовища визначає чисельність організмів в популяції у той чи інший момент часу як рівнодійну усіх факторів середовища. Динаміка популяцій відображає відповідність вимог особин популяції реальним умовам. Особливе значення має стан популяції тих організмів, які є або джерелом живлення (жертвою), або місцем існування для інших.

Серед поширених екологічних явищ, які впливають на чисельність природних популяцій, важливу роль відіграють *міграції* особин певного виду. Вони можуть бути в межах ареалу популяції (інвазії) або за його межами. З екологічної точки зору всі міграції доцільно поділяти на періодичні, наприклад, осінні та весняні перельоти птахів, та неперіодичні. Сезонні міграції можуть відбуватись і в ґрунтах, при яких мешканці ґрунтів, в залежності від температури докільля переміщуються на різні глибини: влітку до поверхні ґрунту, а взимку – вглиб його.

Неперіодичні міграції виникають внаслідок різного роду катастроф. Але найчастіше причиною неперіодичних міграцій диких тварин може бути зміна факторів докільля або збіг несприятливих обставин, за яких збільшується густина популяції і тварини змушені переселятись в інші місця.

Існують і міграції, причини яких не мають задовільного пояснення. Наприклад, періодична поява, один раз в 2-4 роки, в тундрі значної кількості норвезьких лемінгів – гризунів з хутром яскраво-рудого кольору і чорними плямами. Вони мігрують у західному напрямку, перетинаючи всі перешкоди на своєму шляху, при подоланні яких гине понад 80% особин і, після досягнення Атлантичного океану, починається зворотна міграція тварин. Існує повір'я, що лемінги шукають зниклий материк – Атлантиду.

Отже, поведінка тварин та інших живих організмів не завжди піддається логічному поясненню.

! *Інколи в нових умовах популяція знаходить винятково сприятливі для свого існування і розвитку умови, і тоді розмноження*

виду може набувати характеру катастрофи, наприклад, періодичні навали сарани на Півдні США, тощо.

3.3. Народжуваність і смертність

Загальні зміни чисельності популяції залежать від народжуваності, смертності та міграції її особин. Народжуваність і смертність є основними показниками динаміки популяцій і за їх співвідношенням говорять про *баланс популяцій*.

Народжуваність характеризується кількістю особин, що з'являються в популяції за одиницю часу з розрахунку на певну кількість її членів. Вона залежить від багатьох факторів, серед яких найважливішим є кількість особин здатних до відтворення, що залежить від співвідношення статеві-вікових груп. Проте народжуваність не є прямою пропорцією плодючості, оскільки остання залежить від ступеня турботи батьків про нащадків в даній популяції.

Для кожної вікової групи характерні свої показники народжуваності та смертності, і екологів, в першу чергу, цікавлять швидкість і темпи кількісних змін у популяціях за рахунок цих процесів. Якщо, наприклад, на певний момент часу в популяції є 1000 здатних до розмноження особин ($N_0=1000$), а за 10 діб ($\Delta T=10$) народилось 50 особин ($\Delta N_0=50$), то народжуваність $P = \frac{50}{10} = 5$, а в перерахунку на одну особину:

$$P = \frac{\Delta N_0}{\Delta T \times N_0} = \frac{50}{10 \times 1000} = 0,005.$$

Кожен організм, за деякими винятками, здатний відтворювати собі подібних. Зростання чисельності будь-якої популяції теоретично може бути необмеженим за умови, коли на організми не діють лімітуючі фактори докільля, проте такі умови в природі не зустрічаються. *Якщо ж розглянути популяцію людей, то крім природних обмежувальних факторів діють і соціально-економічні, і психологічні фактори.*

Теоретичне значення зростання чисельності популяції має вигляд експоненціальної кривої (рис. 1.6.) і

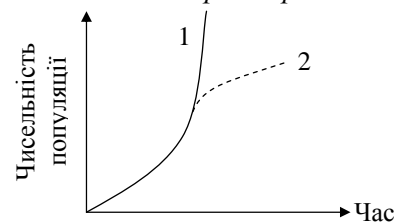


Рис. 1.6. Криві росту популяцій.

прямує до нескінченості. В реальних умовах діють обмежувальні фактори, наприклад, нестача поживи, хвороби, тощо і реальна крива росту чисельності популяції має S-подібний вигляд і називається *логістичною* (рис. 1.6.)

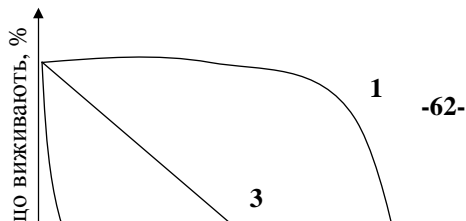
Природна здатність видів збільшувати свою чисельність, називається *біотичним потенціалом*. Цей показник характеризує теоретичний максимум чисельності нащадків від однієї пари (наприклад, одна пара горобців з врахування плодючості нащадків теоретично за 10 років могла б дати близько 276 млрд. особин) або однієї особини за одиницю часу чи весь життєвий цикл. У природі біотичний потенціал ніколи не реалізується повністю, а його величина (r) дорівнює різниці між народжуваністю (b) і смертністю (d) в популяції протягом певного часу: $r = b - d$.

Смертність, тобто число загиблих особин популяції протягом певного періоду часу, також залежить від багатьох факторів, наприклад, несприятливі умови середовища, наявність хижаків, паразитів, поширення хвороб, тощо. Життя завжди має певні межі і в кожного виду організмів вони свої: слонова черепаха живе понад 150 років, мала жаба – до 20 років, земляний черв'як – до 10 років, тощо. Слід зазначити, що календарний вік і біологічний вік організмів – поняття не тотожні.

На основі характеристики смертності особин популяції на різних етапах розвитку (типи кривих виживання), можна робити висновки про ієрархічну структуру популяцій та про ступінь розвитку турботи батьків про нащадків.

Слід зазначити, що форма кривої виживання залежить від ступеня розвитку турботи про нащадків та інших захисних функцій особин популяції. В тих випадках, коли турбота про нащадків відсутня це компенсується надзвичайно великою плодючістю.

У випадку, коли особини доживають до біологічно граничного віку, а потім протягом короткого часу вмирають,



-62-

крива виживання має вигляд (1) (див. рис. 1.7.). В природі такий тип кривих виживання не властивий, хоча в деяких випадках тривалість життя особин може наближатись до нього, наприклад, сучасні люди, великі ссавці з високою здатністю молодняку до виживання, тобто особини можуть досягати біологічно граничної тривалості життя. У таких видів організмів особливо розвинута турбота батьків про нащадків, проте, плодючість особин цих видів є невисокою.

Крива, що відображає виживання більшості природних видів, дуже ввігнута (2) і характерна для надто високої смертності на ранніх стадіях життя (див. рис. 1.7.). Такий тип кривих виживання характеризується тим, що турбота батьків про нащадків не розвинута і молодняк самостійно виживає в природних умовах. Відсутність турботи батьків про нащадків компенсується високою плодючістю.

Проміжним є третій тип кривої виживання (3), коли смертність практично не змінюється з віком і є відносно сталою протягом усього життя популяції (див. рис. 1.7.). Такий тип кривих виживання не характерний для природних умов, а тільки для штучних, наприклад, акваріумні рибки, тощо.

! І народжуваність і смертність особин популяції залежать від ступеня розвитку турботи батьків про нащадків. Якщо турбота батьків про нащадків добре розвинута, то народжуваність невисока і невисокий ступінь смертності на ранніх стадіях життя, і навпаки.

3.4. Просторова, статевая, вікова і етологічна (ієрархічна) структура популяцій

При вивченні популяцій виявляється, що особини популяції хоча і займають певний ареал, але розміщення особин всередині нього

-63-

може бути різним з певними закономірностями цього процесу. Отже, для популяцій характерна просторова структура. Просторова структура популяції пов'язана з характером розміщення особин у просторі. Розрізняють 3 основних типи розподілу особин в межах ареалу популяцій: рівномірний, випадковий і груповий (див. рис. 1.8.).

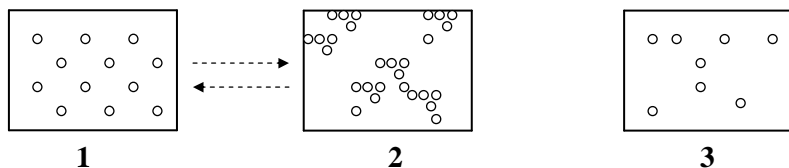


Рис. 1.8. Розподіл особин популяції в межах ареалу:

1 – рівномірний тип; 2 – груповий тип; 3 – випадковий тип.

Рівномірний розподіл особин популяції в межах ареалу (особини розташовані на певній відстані одна від одної) характерний в тому випадку, коли особини популяції виявляють територіальну поведінку, тобто виражена внутрішньовидова конкуренція.

Випадковий розподіл особин популяції в межах ареалу в природі зустрічається дуже рідко і характерний для однорідного, багатого поживою середовища. Популяції таких організмів, як правило, не мають чіткої ієрархічної структури.

Груповий тип розподілу особин популяції в межах ареалу характерний при чіткої вираженій етологічній структурі популяції, коли особини популяції групуються за певними ознаками, наприклад, розмірами тіл, віковими або статевими групами, тощо. Ці групи є відносно сталими. Такий тип характерний і для інших популяцій в періоди, що передують паруванню, або в періоди зимівлі.

Слід зазначити, характер розподілу особин популяції в межах ареалу є динамічним, тобто може змінюватись під впливом різних факторів. Наприклад, популяції, особини яких виявляють територіальну поведінку, в різні періоди можуть мати різну просторову структуру. В основний період часу для них характерний рівномірний розподіл особин в межах ареалу, а в періоди розмноження або зимівлі – груповий. Популяції з рівномірним розподілом особин в межах ареалу є вразливими до зовнішніх впливів, зокрема до розбиття ареалу на острівці через будівництво доріг, інженерних споруд, тощо.

Характерною особливістю популяцій є система взаємовідносин між її членами і закономірності таких відносин вивчає наука *етологія*. Залежно від способу життя виду, форми спільного існування особин популяції надзвичайно різноманітні.

Розрізняють самотній спосіб життя, при якому особини популяції незалежні і відокремлені один від одного, але лише тимчасово, на певних стадіях життєвого циклу. У таких видів утворюються тимчасові угруповання особин у місцях зимівлі, наприклад, сонечка, або у період, який передуює розмноженню.

! Повністю ізольоване життя організмів не зустрічається, оскільки було б неможливим здійснення їх основної життєвої функції – розмноження.

Розрізняють, також, сімейний спосіб життя. При цьому помітно посилюються зв'язки і взаємовідносини між батьками і їх нащадками (ієрархічна драбина), розвивається турбота батьків, охорона нащадків. При цьому, розрізняють сім'ї батьківського, материнського і змішаного типів. При сімейному способі життя помітно проявляється територіальна поведінка тварин.

В основі формування більш-менш великих спільнот тварин, наприклад, зграя, стадо, колонія, лежить ускладнення поведінки організмів, а отже і зв'язків у популяції.

Статева і вікова структури популяції є проявами її диференціації і разом з чисельністю особин популяції відображають зміни її основних параметрів в часі.

Статева структура характеризується співвідношенням між особинами чоловічої і жіночої статей, яке має велике значення для подальшого зростання чисельності популяції. Порушення статевої структури веде до дестабілізації в регулюванні народжуваності.

Серед популяцій роздільностатевих організмів у природі поширені угруповання з приблизно однаковою кількістю чоловічих і жіночих особин. Первинне співвідношення статей, як правило, є близьким 1:1, а з віком спостерігається відхилення від нього в ту чи іншу сторону. Деякі види організмів мають генетичні особливості, що зумовлюють відхилення від цього співвідношення.

Іноді, співвідношення особин різних статей при народженні зумовлено не тільки генетичними особливостями, а й певною мірою факторами довкілля, наприклад, якщо яйця рудих мурах розвиваються при температурі менше за 20°C, то народжуються тільки самці, а якщо

температура розвитку більша за 20°C – тільки самки. Тому для підтримання популяції, яйця рижих мурах повинні розвиватись при сталій температурі $\approx 20^\circ\text{C}$.

Вікова структура відображає поділ чисельності популяції за віковими групами. З віком, вимоги особин популяції до умов навколишнього природного середовища і їх стійкість до окремих факторів може істотно змінюватись. Трапляються випадки, коли вікові екологічні відмінності в межах одного виду виражені значно більше, ніж відмінності між різними видами. Наприклад, трав'яні жаби живуть на суші, а їх пуголовки – у воді; гусінь метелика білана капустиного живиться листям сільськогосподарських культур, а метелик – нектаром квітів.

Вікові відмінності (складна вікова структура) в межах популяції підвищують її стійкість проти несприятливих умов середовища. Популяція, у якій багато вікових груп з характерними відмінностями, зазнає меншого впливу від дії несприятливих факторів. Навіть при значних відхиленнях умов існування від нормальних умов, може вижити частина життєздатних особин. Наприклад, якщо повністю винищити дорослих хрущів, через рік із лялечок, що живуть в ґрунті, з'являться нові особини. Тому тимчасові негаразди не завдають значної шкоди популяції хрущів.

Вікову структуру і вікові групи рослин і тварин визначають по-різному. Абсолютний вік і віковий стан у рослин – поняття не тотожні. Віковий стан рослини – це етап її індивідуального розвитку. Тому особини різного вікового стану можуть мати один календарний (абсолютний) вік, і навпаки.

У популяціях тварин вікова структура залежить від особливостей розмноження виду і тривалості життя особин.

За віковою структурою популяцій можна прогнозувати їх чисельність у майбутньому, що має велике значення для їх господарського використання людиною. Наприклад, вилов горбуші, яка нереститься у віці два роки і відразу після цього гине, може становити до 50% особин і це не завдасть збитків популяції горбуші; вилов сьомги, статеве дозрівання якої відбувається набагато пізніше, повинен бути значно меншим, щоб запобігти подальшому зменшенню чисельності популяції.

Отже, вивчення популяцій і виявлення основних закономірностей динаміки їх розвитку лежить в основі раціонального використання біологічних ресурсів.

?

Опанувавши дану тему, дайте відповіді на такі питання:

1. Охарактеризуйте основні завдання та значення популяційної екології.
2. Які типи популяцій Вам відомі? Які характерні ознаки популяцій?
3. Охарактеризуйте основні динамічні показники розвитку популяцій.
4. Яка роль структури популяції для господарської діяльності людини та стійкості популяцій проти зовнішніх впливів?

Тема 4. Екологія біотичних угруповань. Організація і функціонування екологічних систем

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

4.1. Біоценоз, загальна характеристика

Вперше термін *біоценоз* запропонував німецький вчений К.Мебіус у 1877 році. На основі проведених досліджень (устриць в банках) К.Мебіус дав йому таке визначення: *біоценоз* – це об'єднання живих організмів, яке відповідає за своїм складом, кількістю видів і особин деяким середнім умовам середовища, в якому організми взаємозалежні і зберігаються завдяки постійному розмноженню в певній місцевості.

Якщо хоча б одна із умов відхилилась на певний час від середньої величини, то змінився би увесь біоценоз. Зміна умов середовища може бути зумовлена і господарською діяльністю людини.

Внаслідок того, що вивчення всіх груп видів біоценозу неможливе, вивчають певні групи видів які є віддзеркаленням впливу умов місцевості на угруповання. В біоценозі види взаємопов'язані, що відрізняє його від скупчення і згуртування особин.

Р.Даждо відмітив, що хибність твердження К.Мебіуса полягає в тому, що він вважає біоценоз як угруповання, що перебуває у стабільній рівновазі та стійке в часі. Крім того, уявлення про те, що біоценоз є місцем розмноження особин являється застарілим.

Сучасні уявлення про *біоценоз* характеризують його як стійку систему, яка складається із популяцій всіх екологічних груп

організмів, що склалась історично в межах певної території. Хоча тривалість життя представників різних екологічних груп організмів є різною, при своїй взаємодії вони утворюють стійку систему, що має відносно сталі параметри в часі.

М.Ф.Реймерс (1994) зазначив: "... *Биоценоз* в классическом понимании – системно-функциональная совокупность продуцентов, консументов и редуцентов, т.е. экологически многокомпонентное образование ...".

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

Угруповання популяцій різних видів можна назвати біоценозом, якщо воно відповідає таким вимогам:

- Має характерний видовий склад. Існують дві характерні групи видів: *домінантні*, які створюють зовнішній вигляд біоценозу і *субдомінантні*, які не виділяються так виразно як перші, але віддзеркалюють своєю присутністю умови місцевості. Субдомінантні види часто називають біоіндикаторами.

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

- Має певну тривалість існування в часі. Біоценоз з його видовим складом є системою стійкою і довговічною, хоча його мешканці мають різну тривалість життя. Отже біоценоз повинен сформуватись історично, щоб його представники були взаємоприспосовані і доповнювали один одного.

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

Розрізняють два основні типи біоценозів: насичений (природний) і ненасичений (антропогенний). Хоча за визначенням вони містять представників всіх екологічних груп організмів, вони відрізняються між собою біорізноманіттям.

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

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

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

4.2. Біогеоценоз та екосистема як компоненти природи

Простір, у якому функціонує біоценоз, називають біотопом або екоотопом. Біоценоз разом з певною ділянкою поверхні Землі (біотопом) утворює біогеоценоз або екосистему. Термін екосистема частіше використовують англomовні автори, а слов'янські вчені частіше вживають термін біогеоценоз. В той же час, ці терміни часто не є тотожними.

Термін біогеоценоз був запропонований академіком В.Сукачовим (1942) на основі дослідження історично сформованих комплексів організмів, що заселяють певні ділянки земної поверхні, зокрема лісів. Для наземних біоценозів, на його думку, найбільш характерними компонентами є рослинні угруповання – фітоценоз.

Біогеоценоз (за В.Сукачовим) – це ділянка земної поверхні, де на певній відстані біоценоз і відповідна йому частина атмосфери, літосфери і гідросфери залишаються однорідними і мають однорідний характер взаємодії між ними і тому в сукупності утворюють єдиний, історично сформований, внутрішньо взаємозумовлений комплекс.

За В.Сукачовим, в біоценозі при взаємодії компонентів живої природи утворюються певні біоценозотичні блоки і, в схемі біогеоценозу (див. рис. 1.9.), біоценоз складається з трьох елементів: фітоценозу, зооценозу та мікробоценозу.

Абіотичне середовище з яким взаємодіє біоценоз або його окремі елементи В.Сукачов поділив на два блоки: едафотоп – ґрунтові умови, та кліматоп – метеорологічні умови.

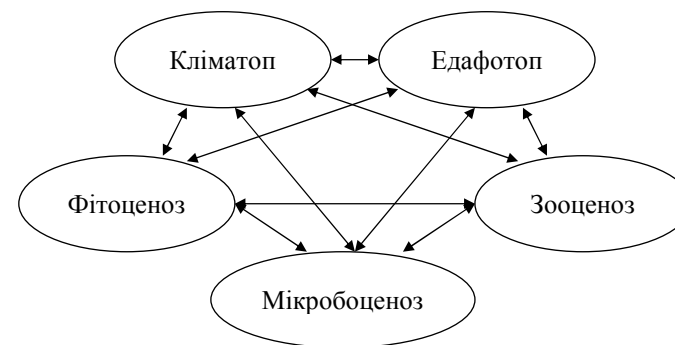


Рис. 1.9. Структура біогеоценозу за В. Сукачовим.

Як видно із рис. 1.9., всі компоненти біогеоценозу є взаємопов'язаними. Отже, біогеоценоз як система взаємовідношень складових його компонентів, характеризується певним типом обміну речовиною і енергією між його компонентами та іншими компонентами природи і являє собою внутрішню діалектичну єдність компонентів, що знаходяться в постійному русі.

В понятті біогеоценозу дістало відображення єдності і взаємозалежності компонентів живої і неживої природи, на основі чого стає зрозумілим причини стабільності цієї системи.

Поняття біогеоценозу близьке до поняття екосистема, але остання не має суворої біохорологічної основи, тобто є більш загальним поняттям.

Термін *екосистема* вперше вжив А.Тенслі (1935) і згодом уточнив К.Віллі. А.Тенслі вважав, що організми можуть претендувати на те, щоб їх не відділяти від довкілля разом з яким вони утворюють єдину фізичну систему. К.Віллі вважав, що екосистема – це сукупність живих і неживих елементів природи, внаслідок взаємодії яких утворюється стійка система. В останній спостерігається кругообіг речовини між живими і неживими компонентами.

Отже, *екосистема* – це взаємозумовлений комплекс організмів, об'єднаних біологічними зв'язками та елементами абіотичного середовища.

Екосистеми класифікують за різними ознаками. Так, за рівнем біотичних зв'язків екосистеми поділяють на:

- *мікроекосистеми*, наприклад, гниючий стовбур дерева, тощо;
- *мезоекосистеми*, наприклад, ліс, озеро, тощо;
- *макроекосистеми*, наприклад, континенти, океани, тощо;
- *глобальна екосистема* – біосфера Землі.

Ю.Одум виділяє три групи природних екосистем: наземні (біоми), прісноводні та морські (див. рис. 1.10.). В основу цієї класифікації покладені різні ознаки: для наземних екосистем – тип рослинності, для водних екосистем (прісноводних та морських) – властивості води, умов середовища та особливості гідробіонтів.

Ю.Одум пропонує аналізувати екосистеми за рядом параметрів, зокрема, *за потоками енергії; за трофічними рівнями; за структурою просторово-часового різноманіття; за кругообігом хімічних елементів; за ступенем розвитку та еволюції.*

Деталізуючи структуру екосистем, Ю.Одум виділяє в них такі компоненти: неорганічні речовини, які включаються до кругообігу, органічні сполуки, кліматичні режими, продуценти (автотрофи), консументи (гетеротрофні організми) та редуценти (сапротрофи), які розкладають (мінералізують) органічні речовини.

За ступенем трансформації людською діяльністю, екосистеми поділяють на: природні, антропогенно-природні (лісові насадження, ниви тощо) та антропогенні (міста, промислові центри тощо). Визначення ступеня трансформації природних екосистем господарською діяльністю людини є одним із важливіших завдань екології.

! У зв'язку з трансформацією значної частини природних екосистем в природно-антропогенні та антропогенні, предметна сфера екології в наш час значно розширюється. Довкілля людини сьогодні значно відрізняється від умов природного середовища, тому як зазначив В.Ю.Некос (2001), об'єктом дослідження неоекології є антропофера – унікальна і найбільш складна із всіх сфер.



Рис. 1.10. Класифікація екосистем за Ю. Одумом.

Порівнюючи терміни біогеоценоз і екосистема, можна виявити як ряд спільних рис, так і ряд розбіжностей. Хоча Ю.Одум вважає ці терміни синонімами, між ними є ряд принципових відмінностей.

Е.М.Лавренко і М.В.Диліс (1968) запропонували таке визначення: *“Біогеоценоз – це екосистема в межах фітоценозу”*, тобто ці категорії співпадають лише на рівні рослинних угруповань і принципово розходяться як вище, так і нижче цього рівня. Дійсно, після встановлення меж біогеоценозу цей природний комплекс можна назвати екосистемою. *Будь-який біогеоценоз є екосистемою, але не кожна екосистема є біогеоценозом.*

Розбіжності між категоріями біогеоценоз і екосистема на перший погляд мало помітні, але є суттєвими:

- біогеоценоз має чітко визначені географічні розміри, адже однорідність середовища є обмеженою, а екосистеми ні;

- біогеоценоз – це історично сформований взаємозумовлений комплекс, тоді як тривалість існування екосистем наперед не визначена;

- компоненти біогеоценозу є більш взаємозалежні один від одного, ніж компоненти екосистем;

- екосистеми можуть бути замкненими, тобто в межах їх може проходити тільки кругообіг речовин без обміну енергією, а біогеоценоз – це завжди відкрита система, що обмінюється з довкіллям і речовиною і енергією.

В сучасній науковій літературі найбільш вживаним терміном є екосистема, тому надалі для характеристики природних комплексів нами використаний саме цей термін.

4.3. Взаємодії в екологічних системах. Принципи формування екосистем

Між угрупованнями організмів та абіотичним середовищем екосистеми існують тісні матеріально-ресурсні зв'язки та взаємодії. Ці зв'язки є надзвичайно різноманітними і складними, але за рахунок формування системи “живі організми – абіотичне середовище”, в екосистемах потоки речовини замикаються в кругообіг.

Для підтримання такого кругообігу в екосистемі, потрібний певний запас неорганічних речовин та наявність таких екологічних груп організмів:

- *продуцентів* – автотрофних організмів, які утворюють органічну речовину з неорганічної. До продуцентів належать вищі рослини, фітопланктон та деякі види бактерій;

- *консументів* – гетеротрофних організмів, які живляться органічною речовиною або автотрофами, вони не здатні самостійно утворювати органічну речовину із неорганічної. До консументів належать усі тварини, ряд мікроорганізмів, паразитичні рослини;

- *редуцентів* – сапротрофних організмів, які живляться мертвою органічною речовиною, переводячи її знову в неорганічні сполуки. До цієї групи організмів належать бактерії та нижчі гриби, деякі комахи та їх личинки, представники безхребетних.

Усі названі групи організмів у будь-якій екосистемі тісно взаємодіють між собою, впливаючи на потоки енергії й речовини, їхнє спільне функціонування підтримує структуру і цілісність біоценозу, істотно впливаючи на абіотичне середовище.

Загальна схема переносу речовини та енергії в природних екосистемах наведена на рис. 1.11.

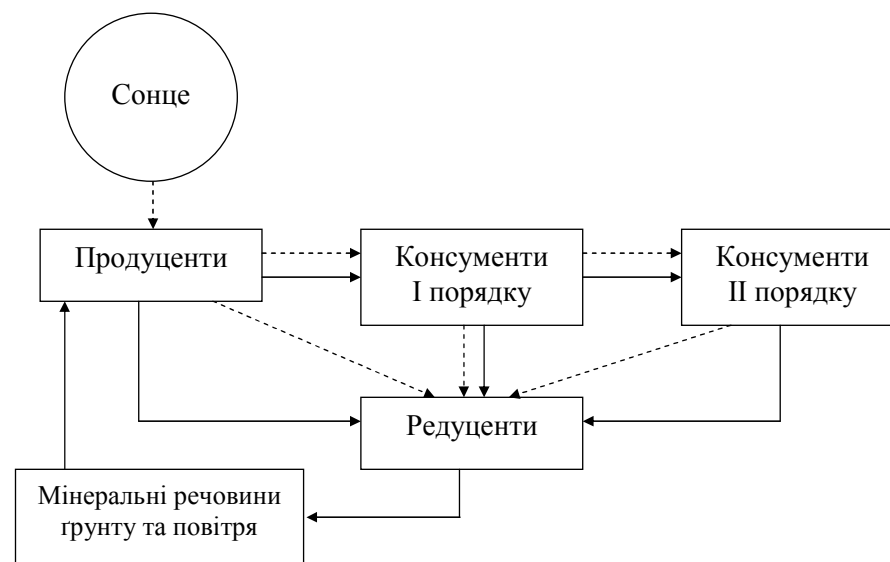


Рис. 1.11. Схема переносу речовини (суцільна лінія) та енергії (пунктирна лінія) в природних екосистемах (за Вронським В.А.).

Як видно із рис. 1.11., в межах екосистем здійснюється кругообіг речовини, тоді як потік енергії є однонапрямленим. Слід зазначити, що в різних екосистемах ступені замкнутості біологічного кругообігу речовини неоднакові. Наприклад, для лісу, озера або степу кругообіг речовини є збалансований і характеризується високим ступенем замкненості; для крутосхилу та річок характерним є інтенсивне винесення речовини за межі екосистеми, тому стабільність їх підтримується за рахунок надходження речовини ззовні.

В екосистемах компоненти та елементи, які її складають, доповнюють один одного та взаємно пристосовані, що забезпечує сталість самої системи в часі. В межах екосистеми забезпечується малий кругообіг речовини.

Біологічний кругообіг речовини або малий кругообіг речовини можна уявити наступним чином: із ґрунту і атмосфери неорганічні речовини потрапляють в живі організми з відповідними змінами їх хімічної форми в процесі фотосинтезу, повернення їх в ґрунти і атмосферу в процесі життєдіяльності організмів і з мертвими

рештками організмів та повторне потрапляння їх в живі організми після процесів деструкції і мінералізації під впливом редуцентів. Таке уявлення про біологічний кругообіг речовини відповідає біогеоценотичному рівню.

! Слід зазначити, що правильніше говорити про біологічний кругообіг хімічних елементів, а не речовин, оскільки на різних стадіях кругообігу речовини хімічно видозмінюються.

За деякими даними, щорічна величина біологічного кругообігу зольних елементів (К, Са, Mg ...) в системі ґрунт–рослина значно перевищує величину річного геохімічного стоку цих елементів.

Між організмами в екосистемі існують постійні живильні або трофічні зв'язки, на основі яких формуються *ланцюги живлення*. Але першою ланкою ланцюгу живлення є рослини, які в процесі фотосинтезу перетворюють світлову енергію Сонця на хімічну з утворенням органічних речовин. Формування трофічних ланцюгів та мережі живлення забезпечує розподіл потоків речовини та енергії в межах екосистеми. При цьому формується інформаційні системи в межах екологічних систем і ця інформація міститься в живих організмах, в їх генетичному коді і здатності адаптуватись до змін умов середовища. Це є основою стабільності та самоорганізації екосистем. *Гомеостаз або саморегуляція екосистем забезпечується живими організмами.*

Екосистеми постійно розвиваються, а їх динамічність зумовлена як біотичними, так і абіотичними факторами. Якщо розглядати відносно статичні параметри системи, то при більш детальному вивченні виявляється, що вони є динамічними. Дослідження динаміки екосистем потребує багато часу, але на сьогодні доведено і обґрунтовано, що динаміка екосистем реально існує в часі і має ряд закономірностей.

Розрізняють чотири основних стадії розвитку екосистем:

I стадія – поява перших нижчих рослин, наприклад, мохи, лишайники;

II стадія – поява першого ярусу вищих рослин та комах;

III стадія – формування замкнутої системи з елементами ярусності фітоценозу, значним біорізноманіттям тваринного світу, тощо. Формується замкнутий цикл кругообігу речовин;

IV стадія – екологічний клімакс.

Така послідовна зміна біоценозів називається сукцесією. *Сукцесія* – це послідовна незворотна зміна біоценозів, яка спадково виникає на одній і тій же території в результаті впливу природних або антропогенних факторів. Послідовність співтовариств, які замінюють одне одного в даному просторі, називається стадіями розвитку.

Розрізняють первинні та вторинні сукцесії. *Первинні сукцесії* починаються на субстратах, які не зазнали впливу процесів ґрунтоутворення, наприклад, скельні породи, піщані дюни, вулканічна лава, тощо. *Вторинні сукцесії* проходять на ділянках сформованих біоценозів після їх порушення, наприклад, внаслідок пожеж, вирубки лісу, посухи, ерозії, тощо.

Згідно правила *максимуму енергії підтримання зрілої системи*, сукцесія йде в напрямку фундаментального зміщення потоку енергії в бік зростання її кількості з метою підтримки системи. Будь-яка сукцесія призводить до зростання біорізноманіття, але тільки до стадії екологічного клімаксу.

Знання специфіки сукцесійних стадій дозволяє вести розумну господарську діяльність і більш раціонально використовувати ресурси природних екосистем.

Кінцевою стадією сукцесій є екологічний клімакс. Термін *клімакс* введений Ф.Клементсом (1916) і під *екологічним клімаксом* розуміють стабільний стан екосистеми в якому вона підтримує сама себе невизначено довго, а всі внутрішні її компоненти врівноважені один з одним.

При екологічному клімаксі спостерігається рівновага між біотичними і абіотичними компонентами екосистеми на максимально високому рівні потенційної енергії і біорізноманіття: річна продукція і приток речовини ззовні врівноважені річним споживанням, витратами і виносом речовин із системи, тому чиста річна продукція екосистеми наближається до нуля. Хоча первинна сукцесія може бути різноманітною, наступні сукцесії призводять до зростання видового різноманіття і ускладнення зв'язків всередині системи, але стадія клімаксу є обов'язковою. Наприклад, на болоті свої фази сукцесій, але вони завершуються аналогічним клімаксовим лісом даного типу; надмірний випас худоби може призвести до утворення пустинного співтовариства на тих ділянках, де за умовами локального клімату міг би зберегтись степ.

Отже, на саморегуляційні процеси, які проходять в екосистемах, можуть впливати як природні фактори, так і антропогенні. Концепція кліматичного допагоає зрозуміти відносини співтовариств в їх розвитку під впливом порушень, зумовлених діяльністю людини, і виявити взаємовідносини порушених співтовариств і непорушених.

В зв'язку з тим, що екосистеми є динамічними, прогнозування їх стану є важливим завданням екології. Знаючи динаміку змін основних параметрів екосистем, можна визначати їх стійкість до дії зовнішніх факторів, виявляти негативні тенденції в розвитку, визначати можливе антропогенне навантаження на екосистеми, тощо. Моделювання стану екосистем ускладнюється рядом обставин:

- екосистеми не статичні, а знаходяться в безперервних змінах, які сильно відбиваються на їх структурно-функціональній організації, біологічному різноманітті та стійкості;

- екосистеми є відкритими, вони не можуть існувати без обміну речовиною і енергією з довкіллям. Тому важко врахувати всі випадкові (стихийні) впливи зовнішніх факторів на екосистеми;

- екосистеми є складними, їх внутрішні структури ("розбиття") взаємо перетинаються;

- складність структури екосистем, яка пов'язана з їх нелінійністю, ускладнює аналітичний розв'язок рівнянь, на яких базується модель розвитку екосистем;

- за рахунок потужного потоку інформації в екосистемах, важко зібрати всю необхідну інформацію про перебіг процесів в них, а також важко виявляти керуючі параметри (слабку ланку);

- екологічні системи володіють частковою незворотною розвитку (пам'яттю): поведінка екосистеми залежить від попереднього розвитку, тому для передбачення їх поведінки недостатньо знати їх стан в даний момент, а необхідно знати їх попередній стан.

Останнє узгоджується із *законом незворотності еволюції*: організм не може повернутися до попереднього стану, який реалізований у його предків, який справедливий і для екосистем.

4.4. Первинна продукція екосистем. Значення та особливості процесу фотосинтезу

Першою ланкою ланцюгів живлення є рослини, які в процесі фотосинтезу перетворюють енергію сонячного випромінювання в

хімічну енергію органічних сполук. Насправді лише в межах 0,5-1,0% світлової енергії, що потрапляє на зелені рослини, переходить у енергію органічних речовин. Решта сонячної енергії розсіюється у вигляді тепла (зростання ентропії).

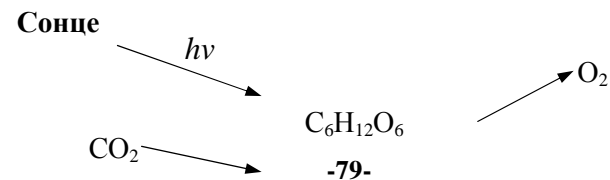
Важливою характеристикою екологічних систем є *біологічна продуктивність*, під якою розуміють здатність екосистеми на основі використання неорганічних речовин і енергії до відтворення органічної речовини. Біологічна продуктивність оцінюється через біологічну нетто- (первинну чисту) і бруто- (первинну загальну) продукцію.

Як нетто-, так і бруто-продукція виражається у одиницях маси на одиницю площі території за одиницю часу. Первинна органічна речовина на Землі утворюється, переважно, зеленими рослинами з використанням неорганічних речовин під впливом енергії Сонця в процесі фотосинтезу.

Біологічна продукція первинна – це приріст біомаси автотрофних організмів за одиницю часу. Частина цієї продукції йде на підтримання життєдіяльності самих рослин, так званий процес дихання. Вона може бути істотною – 40-70% від утвореної первинної продукції. Решта зеленої маси витрачається на поповнення біомаси консументів і її називають *вторинною продукцією угруповання*.

Нетто-продукція фотосинтезу (*netto* – італ. – чистий) – чиста біологічна продуктивність фотосинтезу, тобто кількість органічної речовини, яка утворена в процесі фото- та хемосинтезу за мінусом речовини, яка витрачена на дихання і потреби гетеротрофів.

Отже, *фотосинтезом* називається процес утворення органічної речовини із неорганічної зеленими рослинами за участю світла. Серед неорганічних речовин на процесі фотосинтезу витрачається вода і діоксид Карбону. Кінцевими продуктами цього процесу є різні вуглеводи, що мають великі запаси енергії в хімічних зв'язках, і кисень. Отже, під час фотосинтезу енергія сонячного світла перетворюється на енергію хімічних зв'язків, тобто проходить накопичення сонячної енергії в екосистемах. Загальні уявлення про процес фотосинтезу зображені на рис. 1.12.



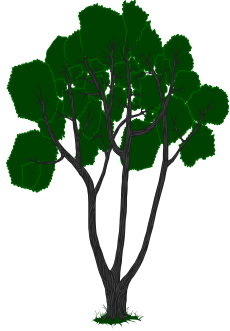
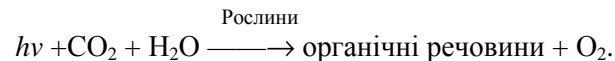
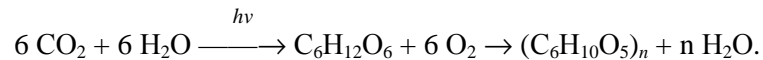


Рис. 1.12. Процес фотосинтезу в зелених рослинах.

Схематично процес фотосинтезу можна представити наступним чином:



Загальне хімічне рівняння процесу фотосинтезу має такий вигляд:



Це рівняння дає лише загальне уявлення про процес фотосинтезу, який складається з багатьох реакцій, що прискорюються ферментами. Утворена глюкоза є першим вуглеводом, який вступає в подальші перетворення з утворенням нових сполук, зокрема крохмалю, целюлози, з яких формуються тканини рослин, а також інші необхідні речовини. Процеси фотосинтезу проходять в хлорофілі рослин, а всі фотосинтетичні реакції поділяють на дві фази. Перша фаза називається *світловою*, тому що вона відбувається за участю світла, а друга фаза є *темною*, оскільки може проходити без світла.

Під час світлової фази в рослинах проходить накопичення енергії у вигляді аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ), відбувається фотохімічний розклад води з утворенням кисню, який виділяється, переважно, в атмосферу.

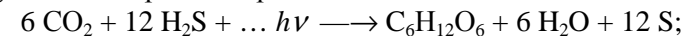
Під час темної фази відбуваються складні біохімічні реакції з використанням накопиченої енергії, проходить фіксація діоксиду Карбону із повітря з утворенням глюкози, яка є вихідним матеріалом для синтезу інших вуглеводів. При цьому аденозинтрифосфатна кислота переходить в аденозиндифосфатну (АДФ).

Процес фотосинтезу носить характер багаторазово повторювальних актів біохімічного синтезу і у більшості зелених рослин реакції фотосинтезу однотипні, хоча і мають деякі відмінності.

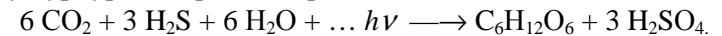
В деяких бактерій в процесі еволюції виробились інші біохімічні шляхи синтезу вуглеводів. Бактеріальний фотосинтез, на відміну від фотосинтезу вищих рослин, проходить в анаеробних умовах без виділення кисню. Фотосинтез у бактерій здійснюється по типу фоторедукції, тобто проходить відновлення діоксиду Карбону з поглинанням променевої енергії сонця, але без виділення кисню.

Сумарно процес бактеріального фотосинтезу можна виразити такими рівняннями:

- у зелених сіркобактерій:



- у пурпурних сіркобактерій:



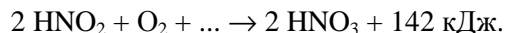
Реакції бактеріального фотосинтезу проходять з поглинанням променевої енергії бактеріохлорофілом, а джерелом Гідрогену для відновлення діоксиду Карбону є Гідроген сульфід (сірководень), вуглеводи, органічні кислоти, тощо. Ці процеси відіграють важливу роль в асиміляції діоксиду Карбону світового океану, а на глибинах Чорного моря єдиними живими організмами є сіркобактерії, адже для решти живих організмів Гідроген сульфід є сильною отрутою.

Поряд з фотосинтезом зв'язування діоксиду Карбону в природі здійснюється в процесі хемосинтезу, який відкритий С.М.Виноградським, на проходження якого використовується хімічна енергія процесів окислення. Прикладом хемосинтезу є діяльність нітрифікуючих бактерій. Процес нітрифікації проходить в два етапи:

- перший етап – окислення амоніаку до нітритної (азотистої) кислоти бактеріями *Nitrosomonas*:

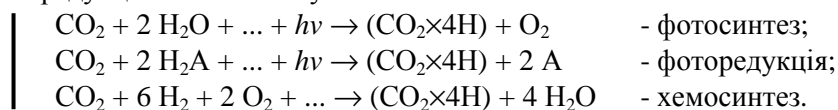


- другий етап – окислення нітритної кислоти до нітратної, який здійснюється бактеріями *Nitrobacter*:



Ці реакції супроводжуються вивільненням енергії, яка використовується на відновлення діоксиду Карбону, що поглинається бактеріями, до органічних сполук.

Таким чином, фіксація діоксиду Карбону в природі здійснюється рослинами в процесі фотосинтезу та бактеріями в процесі фоторедукції і хемосинтезу:



Найбільшого значення для довкілля має процес фотосинтезу, який характеризують інтенсивністю та чистою продуктивністю.

Інтенсивність фотосинтезу – це кількість діоксиду карбону, яка засвоюється одиницею поверхні листка за одиницю часу (~ 5-25 мг CO₂ на 1 дм² за годину).

Чистою продуктивністю фотосинтезу називають відношення добового збільшення маси всієї рослини (в грамах) до площі листків (~ 5-12 г на 1 м² листя).

На інтенсивність фотосинтезу впливає ряд факторів, зокрема освітленість, температура середовища тощо. Хоча процес фотосинтезу і характеризується подібністю біохімічних реакцій, розрізняють три різновиди фотосинтезу у вищих рослин:

1). *C₃-фотосинтез*. Характерний для більшості наземних рослин ~95% вищих наземних рослин, в тому числі пшениця, жито, картопля, конюшина, люцерна тощо. У таких рослин фіксація CO₂ проходить по C₃-центозофосфатному шляху (цикл Кальвіна), причому максимальна інтенсивність фотосинтезу спостерігається при помірній освітленості та температурі, а надто висока температура і яскраве світло пригнічують цей процес. C₃-рослини найбільш характерні для помірних широт: дуб, бук, береза, сосна, тощо.

2). *C₄-фотосинтез*. Особливо характерний для тропічних зон (кукурудза, цукровий тростик, просо тощо). У таких рослин фіксація CO₂ проходить по циклу C₄-дикарбонових кислот. Такі рослини адаптовані до яскравого світла і високої температури. Крім того, вони більш ефективно використовують воду.

C₄-рослини: на виробництво 1 г сухої органічної речовини витрачають до 400 г води, а C₃-рослини – від 400 до 1000 г води.

3). *CAM-метаболізм* (кисневий метаболізм товстянкових). Цей тип фотосинтезу відкритий відносно недавно і характерний для рослин пустель – сукулентів. Він полягає в тому, що поглинений рослинами CO₂ в ході процесу фотосинтезу накопичується у вигляді органічних кислот і фіксується у вуглеводах тільки наступного дня. Така “затримка” фотосинтезу значно зменшує денні втрати води, посилюючи здатність рослин пустелі зберігати водний баланс і необхідний запас води.

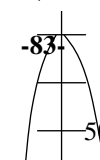
Хоча ефективність фотосинтезу у C₃-рослин нижча в порівнянні з C₄-рослинами, але вони утворюють більшу частину фотосинтезованої продукції Землі. Це пояснюється тим, що вони більш конкурентноспроможні в змішаних співтовариствах, де значення абіотичних факторів (світло, температура, вологість) близькі до середніх величин.

Підраховано, що зеленими рослинами в процесі фотосинтезу споживається до 480 млрд. тонн CO₂ і H₂O і при цьому виділяється до 248 млрд. тонн O₂ в атмосферу, з яких організми суходолу – 75%. Витрати енергії та води в процесі фотосинтезу проходять дуже неекономно. Експериментально встановлено, що коефіцієнт корисної дії фотосинтезуючої рослинності дуже малий і не перевищує 0,1-1,0%. Це вказує на те, що в природних умовах рослинний покрив засвоює тільки незначну частину наявних енергетичних та водних ресурсів.

На суші спостерігається горизонтальна зональність в розподілі фітомаси, а відтак і зоомаси. Максимальна кількість біомаси рослин на одиницю площі припадає на екваторіальні і субекваторіальні пояси. Після цього відмічається різке її зменшення в обох тропічних поясах, наступне збільшення в субтропічних і помірних зонах і різке зниження в полярних зонах (рис. 1.13.). Це пояснюється природними умовами даних регіонів: середньою температурою, вологістю, тривалістю світлового дня, тощо. В Світовому океані картина дещо інша.

Максимальне значення фітомаси мають волого-тропічні ліси – до 65000 т/км² (в басейні Амазонки – понад 100000 т/км²); значна біомаса широколистяних лісів – до 45000 т/км², тайги – до 30000 т/км². Запаси фітомаси в саванах складають 5000-15000 т/км², мангрових заростей морських берегів – до 12000 т/км², а в пустелях занепад фітомаси – 150-200 т/км².

Фітомаса, × 10³ т/км²



Група редуцентів об'єднує велику кількість організмів різних класів і навіть типів. Специфіка детритного ланцюга живлення полягає в тому, що редуценти I порядку своєю життєдіяльністю частково мінералізують мертву органічну речовину і при відмиранні створюють умови для існування редуцентів II порядку і так далі. Скачки в процесах редукції неможливі.

Наприклад, розглянемо деструкцію дерева в помірних широтах:

- першими, хто починає деструкцію дерева будуть плісняві гриби (редуценти I порядку);

- внаслідок життєдіяльності плісняві гриби створюють умови для існування неспоривидних бактерій (редуценти II порядку);

- діяльність неспоривидних бактерій створює умови для існування спороутворюючих бактерій (редуценти III порядку);

- далі створюються умови для існування целюлозних бактерій, потім міксобактерій і так далі, аж доки не пройде повна деструкція.

В процесі біоредукції включаються і інші форми мікроорганізмів. При біоредукції виникає тип угруповання, який не тривалий в часі – мікробіоценоз, кожний компонент якого своєю життєдіяльністю сприяє редукції речовини.

На процесі біоредукції, крім кількості детриту, значного впливу надають абіотичні фактори довкілля, зокрема, температура та вологість. Більшість редуцентів знаходяться в ґрунті і вони є значними за кількістю угрупованнями. Так, 1 г підзолистого ґрунту містить до 1,5 млн. бактерій (редуцентів), а 1 г чорнозему – до 1 млрд. бактерій і сотні тисяч особин актиноміцетів і грибів.

Редуценти відіграють основну роль у формуванні блоку рослина–ґрунт. В процесі відмирання рослин, в ґрунті потрапляють органічні речовини, які інші рослини не можуть безпосередньо використовувати без діяльності редуцентів. Але біоредукцією біоценотична роль редуцентів не обмежується. Вони своєю діяльністю покращують структуру ґрунтів, сприяють їх аерації, проникненню води, переміщенню органічних речовин з поверхні ґрунтів в глибину. Отже, редуценти приймають участь в процесах ґрунтоутворення.

Якби не було редуцентів проходило б накопичення мертвої органічної речовини на поверхні ґрунту, а рослини не мали б необхідної кількості неорганічних речовин, які використовуються для побудови органічних, що стало б причиною їх загибелі.

Рис. 1.13. Розподіл фітомаси на суходолі (за К.К.Марковим, 1978).

Отже, фотосинтез – це унікальне явище природи, яке зумовлює можливість життя на планеті Земля.

Важливе значення для забезпечення кругообігу речовин в межах екосистеми має також деструкція органічної речовини.

4.5. Деструкція органічних речовин в екосистемах

Замикають кругообіг речовин в екосистемах редуценти. Внаслідок життєдіяльності і загибелі організмів утворюються органічні рештки – *детрит*. Функція сапротрофів полягає в редукції мертвої органічної речовини, повній її мінералізації та поверненні в навколишнє природне середовище продуктів мінералізації. Редукція мертвої органічної речовини здійснюється, переважно мікроорганізмами – бактеріями та нижчими грибами, проте роль редуцентів часто відіграють комахи і ґрунтові безхребетні.

Якщо аналізувати редуцентів окремо, то виявляється, що їх поділяють на редуцентів I порядку, редуцентів II порядку і так далі, аж доки не пройде повна мінералізація органічних речовин. Організми, які займаються біоредукцією, створюють особливий ланцюг живлення, основою якого є детрит. Тому такий ланцюг живлення називають *детритним*. При цьому не можна виділити певну групу організмів, які б займались біоредукцією якоїсь речовини від початку до кінця.

4.6. Трофічні ланцюги. Основні закони стійкості і функціонування екологічних систем

Між організмами в екосистемах існують трофічні зв'язки, на основі яких формуються ланцюги живлення. Першою ланкою будь-якого ланцюга живлення є рослини, які утворюють органічну речовину в процесі фотосинтезу. Рослинами живляться рослиноїдні тварини, останніми – дрібні хижаки, які, у свою чергу, стають здобиччю більших за розміром хижаків. Характерною ознакою цього ланцюгу живлення є те, що із зростанням його рівня збільшується розмір тварин і зменшується їх кількість, наприклад, трава-слимак-жаба-лисиця. Такі ланцюги живлення називають *ланцюгами виїдання*.

У трофічних ланцюгах паразитів, навпаки, зміни відбуваються від більших за розміром і менш чисельних організмів до менших за розмірами і більш чисельних, наприклад, тварина-блохи-бактерії-віруси.

Приклади ланцюгів живлення наведені в табл. 1.4., з якої видно різницю між звичайним ланцюгом виїдання та ланцюгом паразитів.

В екосистемах може бути кілька паралельних ланцюгів живлення, між якими існують зв'язки, адже організми живляться різними об'єктами і самі є поживою для різних членів екосистем. В реальних умовах ланцюги живлення можуть перехрещуватись і утворювати *мережу живлення*. Саме складна система трофічних ланцюгів забезпечує цілісність і динамічність екосистем. Різні рівні живлення в екологічній системі називаються трофічними.

Таблиця 1.4.

Природні ланцюги живлення (трофічні рівні)

| Продуценти | Консументи | | |
|------------|-------------------------|--|-------------------------------|
| | Рослиноїдні (I порядку) | Первинні хижаки (II порядку) | Вторинні хижаки (III порядку) |
| Рослини | Лось, олень, косуля | Ведмідь, вовк, лисиця | Блохи, іксодові кліщі |
| | Заєць | Лисиця, борсук, тхір, горностай, канюк | |
| | Слизун, слимак | Жаба, ящірка, гадюка, їжак | Лисиця, канюк |

Трофічний рівень – це сукупність організмів, об'єднаних типом харчування. До першого трофічного рівня належать автотрофні організми; на другому рівні – рослиноїдні тварини (консументи I порядку); на третьому – тварини, які харчуються рослиноїдними тваринами (консументи II порядку, первинні хижаки); на четвертому рівні – вторинні хижаки (консументи III порядку). Замикають трофічний ланцюг редуценти, які можуть займати всі рівні, починаючи з другого.

Слід зазначити, що консументи це не просто споживачі, які входять до харчового ланцюгу. Вони, задовольняючи свої потреби в енергії, часто через систему позитивного зворотного зв'язку можуть діяти на вищі трофічні рівні.

! Трофічні ланцюги ґрунтуються на другому законі термодинаміки, згідно з яким певна частина енергії завжди втрачається і стає недосяжною для використання (зростання ентропії).

За підрахунками, 1 га лісу помірної зони в середньому поглинає $2,1 \times 10^9$ кДж енергії Сонця. Проте, якщо всю рослинність, створену на цій площі за рік, спалити, то утворюється $1,1 \times 10^6$ кДж, або ~ 0,5% сонячної енергії, що поглинута лісом. Це означає, що фактична продуктивність фотосинтезу зелених рослин даної території не перевищує 0,5%. При передачі енергії від ланки до ланки втрачається 90-99% цієї енергії.

Якщо, наприклад, рослини на 1 м² площі утворили за добу кількість органічної речовини, яка еквівалентна 84 кДж, то продукція первинних консументів становитиме до 8,4 кДж, а вторинних – не більше 0,8 кДж. Підраховано, що на утворення 1 кг яловичини потрібно 70-90 кг зеленого корму.

Отже, при продуктивному використанні енергії, кожною наступною ланкою трофічного ланцюга доступна для неї енергія зменшується ~ в 10 разів, тобто 90% її випадає з трофічного ланцюга.

У відповідності із *законом однонапрявленого потоку енергії*, енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їх біомасою незворотно передається консументам першого, другого, третього і інших порядків, а потім редуцентам, що супроводжується втратою певної кількості енергії на кожному трофічному рівні як наслідок процесів, які супроводжуються

диханням. У зворотній потік потрапляє мала кількість енергії ($\leq 0,25\%$), тому говорити про кругообіг енергії в екосистемах не доводиться.

У відповідності із *законом піраміди енергії* (Р.Ліндемман) з одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший переходить у середньому не більше 10% енергії, а зворотний потік енергії (з більш високих рівнів на нижчі рівні) набагато слабший (не більше 0,5-0,25%). При цьому, кількість консументів трофічного рівня обмежується правилом екологічної піраміди.

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

Продуктивність екологічних систем і співвідношення в них різних трофічних рівнів зображують, як правило, у вигляді пірамід. Першу таку піраміду побудував Ч.Ельтон (1927) на прикладі трофічного ланцюгу водної екосистеми (див. рис. 1.14.). Кількість ланок трофічного ланцюгу обмежується *правилом екологічної піраміди* або піраміди Елтона, згідно з яким загальна біомаса кожної наступної ланки в ланцюгу живлення зменшується. За Ч.Ельтоном, кількість особин, що утворюють послідовний ланцюг, невпинно зменшується.

Як видно з рис. 1.14., біомаса при переході з однієї трофічної ланки до другої зменшується \sim в 10 разів. Із цього випливає, що кількість ланок в ланцюгу живлення є обмеженою.

Сьогодні, розрізняють три основні типи екологічних пірамід:

1) *піраміди чисел*, які відображають чисельність окремих організмів ланок трофічного ланцюга;

2) *піраміди біомаси*, які характеризують загальну суху масу ланок трофічного ланцюга;

3) *піраміди енергії*, які показують величину потоку енергії або продуктивність кожного трофічного рівня в ланцюгу живлення.

Це чітко показано на прикладі екологічної піраміди Ю.Одума (див. рис. 1.14.). Вихідною продукцією трофічного ланцюгу є посіви люцерни на площі 4 га. Цього достатньо для годівлі 4-5 телят (припускається, що вони вживають тільки люцерну). Телятину споживає 12-річний хлопчик (припускається, що він вживає тільки телятину). Люцерна використовує 0,24% сонячної енергії, що надійшла на її посіви, телята – 8% енергії люцерни, хлопчик – лише 0,7% енергії, накопиченої телятами.

Отже, для існування хлопчика протягом року достатньо близько $1/1000000$ частини сонячної енергії, що надійшла на 1 га посіву люцерни.

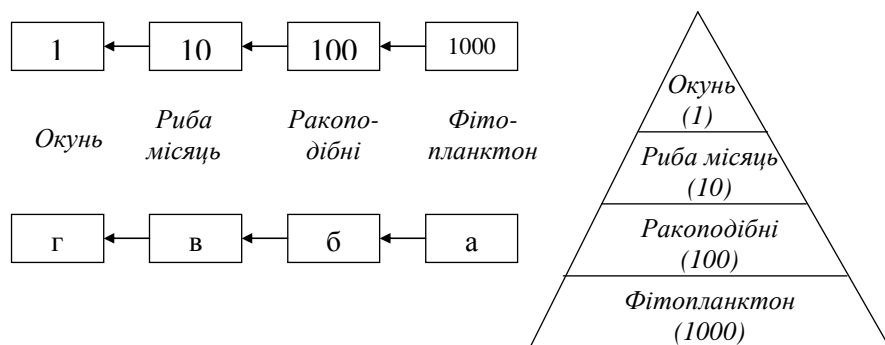


Рис. 1.14. Піраміда Елтона для водної екосистеми (цифри відображають умовні одиниці біомаси):

а – водорості (продуценти); б – рослиноїдні (консументи I порядку); в – хижаки (консументи II порядку); г – хижаки (консументи III порядку).

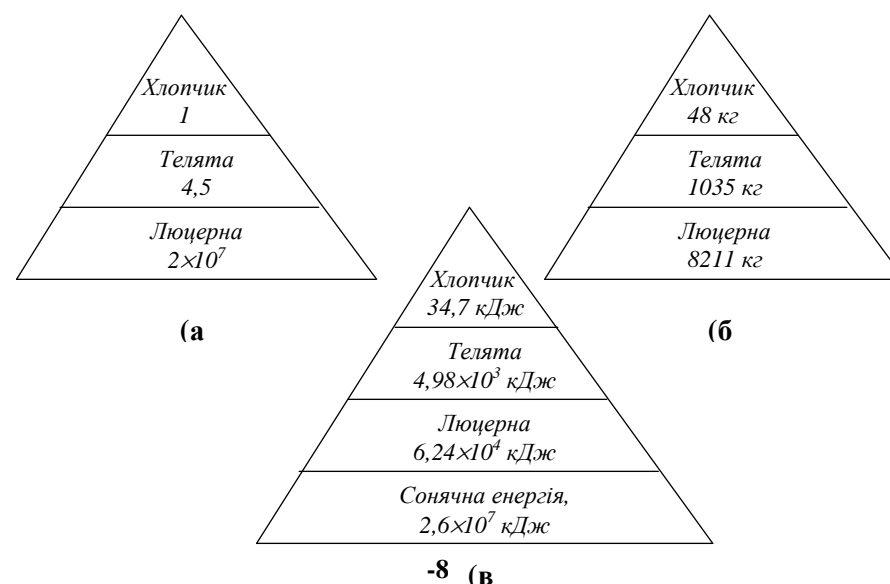


Рис. 1.17. Екологічна піраміда Ю.Одума:

а – піраміда чисел; б – піраміда біомас; в – піраміда енергій.

Ю.Одум (1986) на підставі аналізу цих пірамід сформулював наступне екологічне правило: *дані піраміди чисел призводять до перебільшення ролі малих організмів, а дані піраміди біомас – великих. У малих організмів більш інтенсивний метаболізм, тому лише потік енергії є найбільш придатним показником для порівняння будь-якого компоненту з іншим і всіх компонентів між собою.*

Аналіз піраміди енергій дозволяє не тільки оцінити ефективність використання енергії екосистемою, але і порівнювати різні екосистеми, і визначати відносну роль трофічної ланки.

Знання законів продуктивності екологічних систем має надзвичайно велике практичне значення, зокрема для сільського господарства. Це дає можливість розраховувати необхідну площу орних земель, визначати стратегію розвитку сільського господарства. Наприклад, найбільш дешевою є продукція рослинництва; утримання хижих тварин є дорогим, тощо.

! Отже, знання законів функціонування та особливостей екосистем має безпосереднє значення для народного господарства.

Одним із завдань загальної екології є визначення меж стійкості екосистем до зовнішніх впливів, в тому числі антропогенного. Під *стійкістю екосистем* розуміють здатність її до реакцій, які пропорційні по величині силі впливу, але напрямлені протилежно. При перевищенні певної критичної величини впливу екосистема втрачає стійкість.

На стійкість екологічних систем до зовнішніх дій впливають ряд факторів, зокрема ефективність використання енергії в екосистемі, біорізноманіття, тощо. Основою стійкості екосистем є біорізноманіття. Існують певні закономірності відносно стійкості системи до зовнішніх впливів:

- чим більша розмаїтість біоценозу, тим більша екологічна стійкість екосистеми;
- чим більш різноманітними умовами характеризуються межі екосистем, тим більше видів містить відповідний біоценоз, тощо.

Так, у відповідності із *принципом Ле Шательє-Брауна*, при зовнішній дії на екологічну систему, що виводить її із стану рівноваги, ця рівновага зміщується в напрямку послаблення ефекту зовнішньої дії. Отже, екосистеми є динамічними. Пом'якшення зовнішнього впливу на екосистему може відбуватись за рахунок різноманітних процесів, зокрема, це зміна кругообігу речовин, зміна видо-спеціалізації організмів та їх функціональній ролі в системі, тощо.

Ю.А.Ізраель для оцінки стійкості екосистем і біосфери щодо природних явищ і антропогенних порушень запропонував *поняття про екологічний резерв екосистеми*, під яким розуміють різницю між гранично допустимим відхиленням та фактичним станом екосистеми, тобто це так званий запас міцності (буферність).

У відповідності із *законом максимальної енергії та інформації* (Ю.Одум, Г.Одум, М.Реймерс) у конкуренції з іншими екосистемами зберігається та, яка найбільше сприяє надходженню енергії та інформації і використовує їх кількість найефективніше.

Для нормального функціонування, екосистеми утворюють накопичувачі високоякісної енергії, яка витрачається на забезпечення надходження нової енергії, забезпечення кругообігу речовини, створення механізмів регулювання і підтримки стійкості системи, її здатність пристосовуватись до змін. Саме такі екосистеми є стійкими.

! Максимізація забезпечує підвищення шансів екологічних систем на виживання.

Стійкість екосистем визначається її *асимілюючою ємністю*, під якою розуміють показник максимальної кількості забруднюючої речовини, яка може бути за одиницю часу накопичена, зруйнована, трансформована і виведена за межі екосистеми без порушення нормального її функціонування. Ця величина залежить від багатьох факторів, як природних, так і антропогенних. Наприклад, за рахунок значного виносу речовин за межі екосистеми річок, їх асимілююча ємність є високою, тощо. *Чим більшою є екосистеми, тим більшою асимілюючою ємністю вона характеризується.*

В той же час, не слід забувати, що екосистеми є цілісними системами і порушення їх цілісності призводить до порушення механізмів саморегуляції. Згідно *закону екологічної кореляції*, в екосистемі всі живі компоненти та абіотичні екологічні компоненти функціонально відповідають одне одному і випадання однієї частини системи неминуче викличе випадання інших частин екосистеми і

приведе до функціональних змін. *Жодна частина екосистеми не може існувати без іншої.*

Але, не слід плутати порушення цілісності екологічної системи з природними закономірними сукцесіями.

Отже, екосистеми є стійкими динамічними системами з власними механізмами саморегуляції. Саме на цьому ґрунтується природна екологічна рівновага і тому екосистеми можуть існувати тривалий час.

4.7. Загальна характеристика основних природних екосистем світу

Екосистеми за ступенем трансформації людською діяльністю поділяють на природні, природно-антропогенні та антропогенні, а за генетичною класифікацією їх поділяють на природні і штучні. На основі кількості утворюваної первинної продукції, Р.Х.Уїттекер (1975) поділяє природні екосистеми на наступні групи:

- *екосистеми найвищої продуктивності*, в межах яких утворюється 2000-3000 г/м² на рік первинної продукції. До них належать екосистеми тропічних вологих лісів;

- *екосистеми високої продуктивності*, в межах яких утворюється 1000-2000 г/м² на рік первинної продукції. До них належать листяні ліси помірної зони і луки;

- *екосистеми помірної продуктивності*, в межах яких утворюється 250-1000 г/м² на рік первинної продукції. До них належать степи та чагарники;

- *екосистеми низької продуктивності*, в межах яких утворюється до 250 г/м² первинної продукції. До них належать пустелі та напівпустелі.

При характеристиці основних природних екосистем світу їх прийнято поділяти на екосистеми суходолу та водні екосистеми. В залежності від типу рослинності (екосистеми суходолу) та властивостей води (водні екосистеми) екосистеми світу поділяють на кілька типів. *Різноманіття екосистем на нашій планеті є важливим фактором загальної стійкості біосфери!*

4.7.1. Характеристика природних екосистем суходолу

Загальна площа поверхні Землі складає ~ 510 млн. км², з них до 71% або 360 млн. км² – це Світовий океан, і тільки біля 150 млн. км² – суходіл. Сонячна енергія по поверхні Землі розподіляється нерівномірно. Її розподіл визначає географічне положення, висота над рівнем моря тощо. Поверхня суходолу припадає переважно на пустелі, гори, ліси, савани і рідколісся, льодовики. Характеристику основних біомів вивчає наука *Біогеографія* (Воронов А.Г. та ін., 1985).

Лісові екосистеми. Серед лісових екосистем найпоширенішими і найбільш цінними є лісові типи, які займають до 30% площі суходолу. На долю лісових екосистем припадає до 80% фітомаси Землі або 1960 млрд. тонн.

Ліс відносять до поновлюваних природних ресурсів, в якому накопичено тисячі видів дерев, кущів та ліан. В процесі фотосинтезу, лісові екосистеми утворюють до 100 млрд. тонн органічних речовин. В той же час, *ліс* є елементом географічного ландшафту, що складається із сукупності деревних, кущових, трав'яних рослин, тварин і мікроорганізмів, біологічно взаємопов'язаних і які впливають як один на одного, так і на навколишнє середовище.

Екологічну цінність лісів важко переоцінити. По-перше, ліс є регулятором водного режиму територій. По-друге, ліси є основним регенератором кисню (ліси продукують ~ 6% кисню атмосфери). Крім того, лісові екосистеми нейтралізують і переробляють значну кількість забруднюючих речовин, зокрема пил із повітря, оксиди Сульфуру і Нітрогену тощо.

Лісові екосистеми класифікують як за типом рослинності, так і за географічними зонами. Для кожного типу лісу характерна своя біопродуктивність, замкненість крони дерев, видовий набір тощо.

Під *типом лісу* розуміють ділянки лісу або їх сукупність, що характеризуються загальними лісорослинними умовами, однаковим складом деревних порід, кількістю ярусів, аналогічною формою.

Виділяють кілька типів рослинності лісів:

- *північна позатропічна рослинність*, до якої відносять кущі кедру, берези, шпилькові породи, широколистяні рослини (дуби, клени тощо), чагарники. Вони формують шпилькові, змішані й широколисті ліси, рідколісся, субтропічні ліси, пустелі і напівпустелі субальпійських чагарників тощо;

- *тропічна рослинність*, до якої належать рослини, що формують вічнозелені тропічні ліси, листопадні тропічні ліси, тропічне рідколісся і савани. Це окремі види сукулентів, пальмові рослини, окремі представники магнолій і пальмових рослин тощо;

- *південна позатропічна рослинність*, до якої належать рослини, що формують евкаліптові ліси, вологі підтропічні ліси, мангрові зарості, рідколісся та широколистяні ліси.

В той же час, найбільш часто ліси поділяють за зональними ознаками і виділяють шість типів лісу: шпилькові, мішані, вологі, екваторіальні, тропічні (Індія, Південна Америка тощо) і ліси посушливих областей (Середземномор'я тощо). Найбільшого значення мають перші чотири типи лісів.

Шпилькові ліси холодної зони розташовані в північній півкулі і в зоні тайги. Найбільш характерними представниками рослинного світу є ялина європейська і сибірська, сосна звичайна, модрина, кедр, ялиця. Шпилькові ліси займають територію ~ 13,4 млн. км² або 10% площі суходолу. Вони, в першу чергу тайга, відіграють важливу роль у продукуванні кисню і за цим показником займають друге місце після екваторіальних лісів. Для цих територій характерна кількість опадів, що відповідає 300-1600 мм на рік. Висока замкненість крони виключає ярусність, хоча трофічні ланцюги є розвинутими і стійкими.

За рахунок особливості рослинних угруповань цих лісів, вони надзвичайно вразливі до зовнішніх впливів, особливо забруднення.

Мішані ліси помірної зони знаходяться в середній широті північної півкулі і представлені шпильково-широколистяними, широколистяними лісами і лісостепами. Найбільш характерними представниками рослинного світу є дуб, бук, горіх, береза, каштан, липа, клен, сосна, ялиця, туя, тощо. Ці ліси найбільш інтенсивно експлуатуються людиною. Для цих територій помітно зростає кількість опадів (900-1500 мм на рік) і, незважаючи на високу замкненість крони, спостерігається ярусність. Тваринний світ мішаних лісів є багатий з великою кількістю трофічних ланцюгів. Це відносно стійкі до зовнішнього впливу екологічні системи.

Вологі ліси теплого помірного клімату зустрічають в обох півкулях в межах субтропічного поясу. Рослинність цих лісів представлена сосною, буком, ясенем, горіхом, тюльпановим деревом, евкаліптом. Ці ліси є відносно малочисельними.

Екваторіальні дощові ліси ростуть в межах екватора і тропічних районів Землі з інтенсивними опадами (1800-2000 мм на рік). В цих районах спостерігається висока температура (~26-28°C) і висока відносна вологість повітря (понад 90%). Ці умови сприяють ґрунтоутворенню. Рослинний світ представлений червоним деревом, кедром, бальсою, ебеновим деревом, лімбом, тощо. Хоча площа цих лісів складає тільки 10 млн. км², в них зосереджено до 40% фітомаси планети. В цих лісах зберігається до 50% Світового генофонду рослин і до 75% Світового генофонду тварин.

Для цих екосистем характерна складна просторова структура, що відображено в багаторушності. Для цих лісів характерною є, також, висока щільність біомаси на одиницю площі. Ці ліси відіграють надзвичайно важливу роль в продукуванні кисню, але останнім часом інтенсивно експлуатуються для меблевого виробництва. Ці екосистеми є відносно стійкими до зовнішніх впливів.

Отже, роль лісу як компоненту природного середовища, місця існування живих організмів і природного ресурсу є надзвичайно великою і різноманітною.

Екосистеми трав'яних ландшафтів. На долю цих екосистем припадає, також, значна площа суходолу. Вони відіграють важливу роль для навколишнього середовища і представлені, переважно, степами (прерії, пампа) і лісостепами (савани).

Степи – це планетарне географічне утворення, на площу якого припадає ~ 6% площі суходолу. Степи формуються в помірному та субтропічному поясі з посушливим кліматом (250-450 мм на рік опадів) і непостійним режимом опадів. Для степів характерним є ксерофітний тип рослинності з характерними екологічними особливостями.

Ґрунти степів являють собою, переважно, чорноземи та ґрунти каштанового типу. Степи – це безлісові співтовариства багаторічних ксерофітних трав, які представлені, головним чином, злаковими. Лісові угруповання зустрічаються лише в долинах річок. Біомаса степів є відносно малою 100-370 ц/га.

Поширеними рослинами степів є вузьколисті ксерофітні дерновидні злаки (ковиль, тощо), екологічними особливостями яких є розгалужена коренева система, яка занурюється на значну глибину в ґрунт (до 1,5 м). Тваринний світ досить багатий, але характерна

фрагментація, тобто тварини прив'язані до певних ділянок. Переважна кількість тварин фітотрофи.

Трофічні ланцюги степів складні, з великою кількістю ланок, але вони виникли внаслідок видоспеціалізації. Це зумовлює вразливість цих екосистем до зовнішніх впливів.

Степи зазнають значного антропогенного впливу (до 90% степів розорані), що призводить до їх деградації. В цих зонах особливого значення мають меліоративні роботи (ідея належить В.В.Докучаєву) для зменшення несприятливих впливів природних (пиллові бурі, суховії) та антропогенних факторів.

Савани являють собою тропічний біом (лісостеп) з переважною більшістю трав'яних рослин за участю дерев і кущів. Для саван характерна сезонна ритмічність розвитку, що зумовлено сезонністю опадів. Найбільшого поширення савани набули в Африці та Південній Америці.

Для різних типів саван кількість опадів коливається від 500 до 1500 мм/рік, тому розрізняють вологі, сухі та колючі савани. Деревні рослини саван мають характерні екологічні особливості, які проявляються в їх пристосуванні до сезонного коливання вологості. Для зменшення транспірації під час посушливого періоду, дерева скидають листя або вони перетворюються в шпильки. Крім того, крони дерев можуть мати парасольковидну форму (акації, тощо). Трав'яні рослини саван, особливо злакові, які вкривають до 80% поверхні саван, не змінюють величину транспірації в посушливий період, а вигорають. В той же час, кореневі системи і бруньки поновлення трав добре захищені від висихання і, в період дощів, проходить відновлення трав'яного покриву. Характерним для саван є і такий вид рослин як сукуленти (кактуси, молочаї тощо), які здатні запасати вологу в листках, стеблах та стовбурах рослин і тим самим витримувати значну посуху. Біомаса в саванах коливається в межах 500-1500 ц/га.

Тваринний світ саван дуже багатий і різноманітний, наприклад, африканські савани за чисельністю і різноманітністю копитних займають перше місце серед всіх екосистем суходолу. В саванах характерна значна кількість як трав'яних тварин, так і хижаків. На відміну від степів і лісостепів помірної зони, в саванах важливу роль редуцентів відіграють терміти (чисельність до 2000 особин на га), таргани і жуки.

Пустелі – це наземні біоми, які характеризуються вкрай несприятливими кліматичними умовами (кількість опадів менше 200 мм/рік) і бідністю рослинного світу. Ці аридні зони займають до 36% площі суходолу і основним обмежувальним фактором пустель є сухість клімату.

Пустелі прийнято поділяти на тропічні, субтропічні і помірні. Виділяють чотири морфологічні типи пустель: піщані, кам'яністі, глинисті та солончакові.

Адаптація рослин до умов пустелі (висока температура з перепадом вдень і вночі, нестача вологи, тощо) проявляється у здатності сукулентів, їх кореневої системи проникати на значну глибину в ґрунт (до 10 м) у пошуках вологи. Це такі рослини як верблюжа колючка, саксаул тощо. Як зазначалось раніше, для таких рослин характерним є особливий вид фотосинтезу (С₄-метаболізм), що дозволяє їм ефективно використовувати вологу.

Тваринний світ пустель дуже бідний і ці тварини мають свої адаптаційні особливості.

4.7.2. Загальна характеристика водних екосистем

За Ю.Одумом, водні екосистеми поділяють за особливостями водного середовища на дві великі групи: прісноводні та морські. Екосистеми кожної групи мають свої особливості.

Прісноводні екосистеми. Такі екосистеми займають порівняно малу частину земної поверхні, але їх значення для людини і довкілля надзвичайно велике. Прісноводні екосистеми поділяють на три групи: проточні водойми (річки, канали, потічки), стоячі водойми (озера, ставки, водосховища) та болота (клімаксові співтовариства).

Річки є основним джерелом прісної води і вони зазнають найбільшого антропогенного впливу. Характерною особливістю трофічних ланцюгів річок є їх короткість (1-4 ланки) і невелика кількість продуцентів. В таких екосистемах рослинний і тваринний світи залежать від кількості поживних речовин, розчиненого у воді кисню і швидкості течії. Для річок характерний значний виніс речовин з екосистем і незначна замкненість кругообігу речовин.

В річках виділяють *перекати* – ділянки з швидкою течією, причому дно річки немає намулу або уламкового матеріалу, та *плеси* –

глибоководні ділянки з повільною течією, як правило, з м'яким субстратом (намулом, піском).

На перекатах живуть організми, які або закріплюються на субстрат, або є добрими плавцями. На перекатах практично відсутні редуценти, що живуть переважно в намулі або біоплівці і тому такі ділянки надзвичайно вразливі до забруднення, незважаючи на виніс речовини. Це характерно для малих гірських річок. На плесах виникають сприятливі умови для життя рийних і плаваючих тварин, а також водних рослин з розвинутою кореневою системою. На великих плесах створюються сприятливі умови для розвитку планктону і для таких ділянок характерно замулювання дна.

Озера – це також важливі прісноводні джерела, але в порівнянні з річками, для них характерним є більш різноманітніше життя. В озерах представлені всі види живих організмів: продуценти – консументи – редуценти. Для озер кругообіг речовин є практично замкненим, але вони є також вразливими до забруднення.

В прісноводних озерах виділяють три основні частини, які можуть бути розглянуті як окремі екосистеми:

- прибережна частина – *літораль*;
- глибоководна частина – *профундаль*;
- основна товща води – *пелагіаль*.

Рослинний і тваринний світ озер визначається наявністю у воді поживних речовин, а трофічні ланцюги є також відносно короткими. Для озер характерним є те, що основна частина організмів розташовується в верхніх освітлених шарах води, а мінеральні речовини знаходяться в придонних шарах. Верхні і нижні прошарки води розділені так званим термоклинном, який перешкоджає вертикальному водообміну і викликає дефіцит мінеральних речовин в приповерхневих шарах води.

Літораль є найбільш заселеною живими організмами і прибережні зони озер є основними трофічними областями. Організми літоралі представлені багатьма видами – від планктону до бентосу. На цих ділянках є достатня кількість і світла, і мінеральних речовин. На цих ділянках широко представлені окремими рослинними угрупованнями, комахи та значною кількістю видів риби, в тому числі і хижих видів. Пелагіаль заселена різноманітними видами рослин, тварин та комах з характерними пристосувальними механізмами, що дозволяє їм втримуватись біля поверхні води.

Болота лише умовно можна віднести до водних екосистем. Болотні екосистеми є азональними і вони формуються в зонах сильного переводження ґрунту. При цьому, детритний трофічний ланцюг вкорочується та не завершується утворення гумусу. Рештки рослин (рослинний опад) накопичується в напіврозкладеному стані та утворює торф.

Болотні екосистеми представлені, переважно, рослинами та мікроорганізмами, а тваринні організми практично відсутні, за виключенням птахів. При високій вологості болотних ґрунтів, рослини практично не отримують з них вологи, що зумовлено низькою температурою торфової маси та насиченістю води гуміновими кислотами. Біомаса боліт коливається в межах 90-1770 ц/га. В їх межах у вигляді торфу накопичуються значні запаси Карбону.

Морські екосистеми. Морські екосистеми класифікують, за Ю.Одумом, в залежності від умов водного середовища. Екосистеми Світового океану займають значну площу поверхні Землі (~ 360 млн. км² або 71%) і містять значні об'єми води (1,37 млрд. км³ або 94% гідросфери). Життєві кордони, які б перешкождали розселенню організмів в Світовому океані відсутні.

У водах Світового океану розчинено до 48×10^{15} тонн солей, що створює сприятливі умови для створення та життя різних форм живих організмів. Це понад 160000 видів тваринних організмів та ~ 10000 видів рослин. Серед представників тваринного світу домінують молюски – до 80000 видів, ракоподібні – до 20000 видів, риби – до 16000 видів, простіші – до 15000 видів, тощо. Серед рослин океану домінують водорості, зокрема діатомові – до 5000 видів, червоні – до 2500 видів, синьо-зелені – до 2000 видів, тощо. Абіотичні фактори водного середовища (світловий режим, температура, солоність, густина води тощо) дозволяють поділити водну товщу океану на кілька зон, які відрізняються умовами існування живих організмів. Це, насамперед, верхня освітлена (евфотична) зона до глибини 200 м, та нижня темна (афотична) зона на глибині понад 200 м. Для всіх зон характерні свої особливості, а представники морської флори і фауни мають власні адаптаційні механізми до умов середовища. Найбільше біорізноманіття характерне для евфотичних зон, особливо в межах теплих районів.

Розселення організмів в морських екосистемах має певні закономірності. Так, шельф або літораль (глибиною до 200 м) займає лише 7-8% площі цих водойм, проте тут живуть до 80% всіх морських організмів. Материковий схил (глибина 200-2000 м) займає 8,1%, абісаль – 82,2%, глибоководні жолоби – 2,1%. В межах цих ділянок густота життя є значно меншою, а організми мають власні механізми адаптації. Морським екосистемам притаманна висока продуктивність і вони відіграють важливу роль для стабілізації умов на Землі, зокрема є регулятором клімату, хімічного складу атмосфери, тощо.

Живі організми, що населяють океан, поділяють на три основні екологічні групи: планктон, нектон і бентос. *Планктон* – це сукупність пасивно плаваючих і переносних морськими течіями в шарі води рослин (фітопланктон), тварин (зоопланктон) та бактерій (бактеріопланктон), які практично нездатні самостійно пересуватись на значні відстані. Ці групи організмів є першою ланкою трофічних ланцюгів океану, зокрема фітопланктон – основний первинний продукт органічної речовини в морських водоймах, за рахунок якого існують гетеротрофні організми. Саме з фітопланктоном пов'язані такі явища, як “цвітіння вод” та “червоні приливи”.

Нектон – це група активно плаваючих морських організмів, що можуть пересуватись на значні відстані (різноманітні риби, китоподібні, тюлені, морські змії та черепахи, кальмари, восьминоги, тощо). Чисельність окремих видів організмів є значною і вони мають промислове значення.

Бентос – це організми, які населяють морське дно. При цьому вони можуть бути прикріпленими, сидячими (корали, губки, водорості, тощо), риучими (кільчасті черви, моллюски, тощо), повзаючими (ракоподібні, голкошкірі, тощо) або вільно плаваючими біля дна (червононогі моллюски, скати, тощо).

Виділяють і інші співтовариства морських організмів, проте за рахунок планктону, нектону та бентосу здійснюється кругообіг життя в Світовому океані (див. рис. 1.18).



Рис. 1.18. Кругообіг життя в Світовому океані (за Ж.Ерхардом та Ж.Сежену, 1984).

Аналізуючи рис. 1.18. видно, що сонячна енергія, яка поглинається рослинами, передається від них тваринам і мікроорганізмам у вигляді потенційної енергії за основними трофічними ланцюгами. Гетеротрофні організми обмінюються з рослинами вуглекислим газом і мінеральними поживними речовинами.

Розглядаючи афотичну зону Світового океану можна виявити ряд закономірностей. Наприклад, розглянемо екосистему глибоководних рифтових зон. Ця унікальна екосистема відкрита лише в 1977 році в рифтовій зоні підводного хребта Тихого океану, на північно-схід від Галапагоських островів, на глибині 2600 м. На цій глибині є суцільна темрява, що унеможливує фотосинтез, наявне сірководневе забруднення і значні викиди отруйних металів через гідротермальні джерела. Живі організми представлені гігантськими трубчастими червами (погонофорами), крупними двохстулковими моллюсками, креветками, крабами і деякими видами риб. Висока густина життя вражає – 10-15 кг/м², а роль зелених рослин відіграють сірчисті бактерії, в яких реалізується хемосинтез. Такі екосистеми були знайдені і в інших ділянках Світового океану.

До 75% організмів глибоководних рифтових зон живуть в симбіозі з хемоавтотрофними бактеріями, що дозволяє їм виживати. Сірчисті бактерії складають першу ланку харчового ланцюга даної екосистеми, далі йдуть погонофори, всередині яких живуть бактерії, що здатні переробляти сульфід Гідрогену і таких чином забезпечувати погонофорів поживними речовинами. Двохстулкові моллюски також живуть в симбіозі з сіркобактеріями, що поселяються в моллюсках, вилучають із води діоксид Карбону і кисень, які необхідні для

окислення сульфиду Гідрогену. При цьому утворюються поживні речовини. Живі організми глибоководних зон мають ряд морфологічних відмінностей, зокрема, у них атрофованій зір, у риб відсутній повітряний міхур, розвинуто свічення органів, тощо. В океані відомо більше 800 видів організмів, які світяться. Це близько 200 видів молюсків, 300 видів риб, 150 видів ракоподібних, тощо.

Таке різноманіття екосистем Світового океану зумовлює стійкість цієї гігантської екологічної системи, роль якої переоцінити важко.

Отже, вчення про біотичні угруповання, знання особливостей формування та функціонування природних екологічних систем має безпосереднє значення для господарської діяльності людини і, в першу чергу, при організації заходів по охороні природи та довкілля.

? Опанувавши дану тему, дайте відповіді на такі питання:

1. Яке угруповання можна назвати біоценозом? Дайте характеристику видам біоценозів.
2. Охарактеризуйте біогеоценоз та екосистему як структурні елементи довкілля.
3. Проведіть класифікацію екосистем та покажіть взаємозв'язки між її компонентами.
4. Проведіть порівняння понять «екосистема» та «біогеоценоз».
5. Охарактеризуйте основні етапи використання речовини і енергії в екосистемах. Малий кругообіг речовин.
6. Покажіть значення та основні проблеми моделювання розвитку екосистем.
7. Дайте визначення трофічного ланцюга та назвіть їх основні види.
8. Охарактеризуйте первинну продукцію екосистем, значення і особливості фотосинтезу, фоторедукції та хемосинтезу.
9. Яке значення деструкції органічних речовин в екосистемах? Детритний ланцюг живлення.
10. Охарактеризуйте принципи формування екологічних систем та механізми їх саморегуляції. Сукцесії.

11. В чому проявляються особливості кліматичного стану екосистем?

12. Які фактори впливають на стійкість екосистем?

13. Охарактеризуйте ефективність використання енергії в екосистемах та значення екологічних пірамід.

14. Дайте загальну характеристику лісових екосистем.

15. Дайте загальну характеристику екосистем трав'яних ландшафтів.

16. Дайте загальну характеристику водних екосистем.

Тема 5. Біосфера Землі як глобальна екосистема

Найхарактернішою істотною рисою планети Земля є існування на ній життя. Усю сукупність живих організмів та ту частину речовини планети, що перебуває в постійному обміні речовиною і енергією з цими організмами, прийнято називати “сферою життя” або *біосферою*.

Отже, природні екосистеми не існують ізольовано, а постійно взаємодіють з іншими екосистемами і, в сукупності, вони утворюють глобальну екосистему – біосферу. На рівні біосфери виявляються свої особливості функціонування системи.

5.1. Поява уяви про біосферу. Роль В.І.Вернадського у формуванні вчення про біосферу Землі

До поняття “біосфера” (*bios* – життя, *sphairo* – куля, сфера) близько підійшов французький біолог Ж.-Б.Ламарк (1802), але сам термін “біосфера” вперше запропонував австрійський геолог Е.Зюсс (1875). Саме він виділив біосферу як окрему оболонку Землі, охоплену життям, хоча не дав визначення цьому поняттю. Поширення терміну “біосфера” набуло після створення концепції біосфери Землі – “живої оболонки”, видатним ученим-геохіміком, засновником і першим президентом Академії наук України В.І.Вернадським. За його визначенням, *біосфера* – це та частина земної кулі, в межах якої існувало й існує життя.

За В.І.Вернадським “... Життя – це вища форма розвитку матерії на Землі. Живі організми перетворюють космічну сонячну енергію у земну, хімічну і створюють нескінчену різноманітність нашого світу. Ці живі організми своїм диханням, своїм живленням, своїм метаболізмом, своєю смертю і своїм розмноженням, постійним використанням своєї речовини, а головне – триваючою сотні мільйонів років безперервною зміною поколінь, своїм народженням і розмноженням продовжують одне з найграндіозніших планетарних явищ, що не існує ніде, крім біосфери...”

Сучасне життя поширене в нижній частині атмосфери, у всій гідросфері до максимальних глибин та у верхній частині літосфери – в молодих областях 1,5-2 км, а у кристалічних щитах – 7-8 км до глибини, де температура сягає 100°C. Загальна протяжність біосфери

Землі становить близько 40 км. Загальна маса біосфери становить $\sim 3 \times 10^{21}$ кг (0,05% маси Землі).

Основна маса живої речовини, наявність якої відрізняє біосферу від інших геосфер, зосереджена в порівняно невеликому прошарку – *біостромі*. Біострома лежить на поверхні суходолу та охоплює верхні шари водойм і вона містить до 98% всієї живої речовини планети.

Процеси, які відбуваються у біосфері та навколишньому середовищі, породжуються і підтримуються, з одного боку, космічними, а з другого – земними факторами, пов’язаними з особливостями Землі як планети: гравітаційне і магнітне поле, особливості речовини тощо. Взаємодія цих двох факторів створює єдиний витвір – Землю, структурною складовою якої є біосфера. Питання еволюції біосфери, а відтак і атмосфери розглядалися багатьма вченими, зокрема В.А.Костицином.

У монографії “Химическое строение биосферы Земли и ее окружения” (1965) В.І.Вернадський висунув ідею і довів, що біосфера Землі складається із семи глибоко різнорідних, але геологічно невідповідних речовин (див. мал. 1.19.).

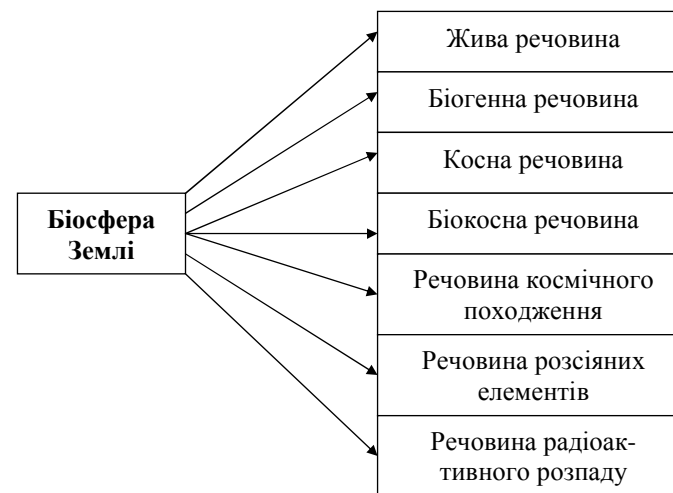


Рис. 1.19. Структура біосфери Землі за В.І. Вернадським.

Жива речовина – це сукупність та біомаса всіх живих організмів біосфери. В.І.Вернадський підрахував загальну масу живої речовини біосфери $\sim 10^{15}$ т, проте ця величина дещо завищена. За сучасними даними вона складає $\sim 4,9 \times 10^{12}$ т. Основну частину біомаси суходолу складають зелені рослини (99,2%), а океану – тварини (93,7%).

Роль живої речовини у формуванні обличчя планети Земля є надзвичайно велика. На думку В.І.Вернадського, живі організми "... пов'язані з навколишнім середовищем потоком атомів: своїм диханням і розмноженням ...". Саме В.І.Вернадський довів, що живі організми мають пріоритетне значення у формуванні обличчя Землі. За В.І.Вернадським, "... на поверхні Землі немає хімічної сили більш постійно діючої, а тому і більш могутньої за своїми кінцевими наслідками, чим живі організми в цілому ...". Живі організми не лише пристосовуються до умов навколишнього середовища, а й активно його змінюють. З виникненням життя спочатку повільно, а потім дедалі швидше і значиміше почалися зміни довкілля, що їх здійснювала жива матерія, аж доки не досягли планетарних масштабів. Наприклад, в процесі фотосинтезу утворився сучасний хімічний склад атмосфери; під впливом живих організмів утворені ґрунти, тощо.

Середній хімічний склад живої речовини відрізняється від хімічного складу геосфери. Так, найбільш поширеними хімічними елементами геосфери є Оксиген, Силіцій, Алюміній тощо. Основною ж складовою живої речовини є Карбон (до 18%) та Оксиген. Серед сполук металів, відносно високий вміст в живій речовині є тільки Феруму, Калію, Магнію, Натрію, Кальцію.

В.І.Вернадський відмітив, що в біосфері проходить біогенна міграція атомів хімічних елементів, яка викликається променистою енергією Сонця та проявляється в процесі обміну речовин, рості та розмноженні організмів.

Хоча біорізноманіття Землі є достатньо високим, проте при рівномірному розташуванні живих організмів на поверхні Землі, утворений шар складатиме ~ 5 мм. Отже, життя є вразливим.

Біогенна речовина – це речовина органічного походження, яка створена живими організмами і яка є джерелом надзвичайно потужної потенційної енергії. Це вугілля, нафта, торф, бітуми тощо.

Косна речовина – це речовина неорганічного походження утворена процесами, в яких жива речовина не приймала участі. Це гірські магматичні породи, які утворюють земну кору.

Біокосна речовина – це продукти розкладу і переробки косної речовини живими організмами, тобто речовина утворена одночасно косними процесами та живими організмами, причому вона має значну біохімічну енергію в біосфері. Біокосна речовина є найбільш поширеною в біосфері. Це ґрунти, природні води, тощо. Наприклад, ґрунти містять, в середньому, 93% косної та 7% живої і біогенної речовини.

Створюючи концепцію про біосферу Землі, В.І.Вернадський розкрив ряд законів функціонування біосфери, які перенесені в закони екології.

У відповідності із *законом біогенної міграції атомів*, міграція хімічних елементів на земній поверхні в біосфері, в цілому, здійснюється під переважним впливом живої речовини. Жива речовина або бере безпосередню участь у біохімічних процесах, або створює відповідні умови середовища. Тому живу речовину прийнято поділяти на активну та пасивну.

У відповідності із *законом константності біосфери*, кількість живої речовини біосфери за певний геологічний час є величиною сталою. За даним законом, будь-яка зміна кількості живої речовини в одному регіоні біосфери неминуче призводить до такої ж за обсягом кількісної зміни живої речовини в іншому регіоні, але із зворотнім знаком. Наслідком цього закону є правило обов'язкового заповнення екологічної ніші.

У відповідності із *законом фізико-хімічної єдності живої речовини*, 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. Цей закон має безпосереднє практичне значення. Так, через наявність у будь-яких екосистемах стійких до фізико-хімічного впливу видів чи особин, швидкість відбору за витривалістю видів до шкідливих агентів прямо пропорційна швидкості розмноження організмів та чергування поколінь, що зумовлено адаптацією. Внаслідок цього, тривале використання пестицидів одного виду, наприклад, хлорорганічних, екологічно недопустиме, тому що шкідники, які мають високі темпи

розмноження, пристосовуються і виживають, а це вимагає збільшення обсягів використання пестицидів.

У відповідності із *законом максимуму біогенної енергії* (Вернадський-Бауер), будь-яка біонедосконала система, що перебуває в стані стійкої нерівноваги (динамічно рухомої рівноваги з довкіллям), збільшує, при своєму розвитку, вплив на середовище. Тобто, розвиток екосистем і біосфери в цілому має певну послідовність і це дозволяє прогнозувати стан навколишнього природного середовища. У процесі еволюції видів виживають ті, які при розвитку збільшують біогенну геохімічну енергію. Живі системи ніколи не перебувають у стані рівноваги й виконують за рахунок своєї вільної енергії корисну роботу проти рівноваги, якої вимагають закони фізики і хімії за існуючих зовнішніх умов. Кількість цієї вільної енергії екосистем визначається законами термодинаміки.

5.2. Сучасні уявлення про біосферу. Основи стійкості і саморегуляції біосфери

Еволюція біосфери тривала понад 3 млрд. років і відбувалась під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників. Хоча сучасне уявлення про біосферу Землі багато в чому збігається з думкою В.І.Вернадського, проте ряд фактів залишаються дискусійними, зокрема, межі біосфери, основи стійкості біосфери, тощо.

Відомо, що все живе в біосфері утворює живу речовину і живі організми відіграють важливу роль у геологічних процесах. Хімічний склад сучасних атмосфери та гідросфери зумовлений життєдіяльністю організмів. Велике значення мають організми і для формування літосфери. Більшість порід, і не лише осадових, а й таких, як граніти, так чи інакше пов'язані своїм походженням з біосферою. Мінеральна інертна речовина переробляється живими організмами, перетворюючись в якісно нову. Таким чином, жива та нежива речовини на Землі становлять гармонійне ціле. Хімічний склад зовнішньої оболонки нашої планети, біосфери, цілком перебуває під впливом життя. Енергія, яка надає біосфері її звичайного вигляду, має космічне походження, її випромінює Сонце у формі променистої енергії, але саме живі організми перетворюють цю космічну променисту енергію у земну, хімічну, і формують нескінчену різноманітність нашого світу.

В своїй статті “Про межі біосфери” (1931), В.І.Вернадський висунув ідею про можливе поширення життя, хоча підтвердження цим фактам було знайдено нещодавно. Сьогодні чітко доведено, що заселеною життям є вся гідросфера до максимальних глибин, а межі життя в атмосфері і літосфері є умовними. Характеризуючи межі поширення життя в атмосфері, М.Ф.Реймерс (1994) зазначив, що максимальна густина життя спостерігається від поверхні суші чи води до висоти 50-300 м, яку він назвав *екотон*. Глибина життя в літосфері залежить від особливостей умов цього середовища (температура, тиск, волога, тощо) і вона коливається від 0,5-2,0 до 6,0-8,0 км. Характеризуючи межі *активного життя* слід враховувати ряд життєвих факторів:

- це достатня кількість діоксиду Карбону і кисню;
- достатня кількість вологи;
- сприятливий термічний режим, який має виключати надто високі і надто низькі температури. Найживучими є прокаріоти.

Історично межі біосфери змінювались. Перші екосистеми були малими, вони займали незначний прошарок Землі і серед живих організмів були присутні, переважно, дрібні анаеробні гетеротрофи, що жились органічними речовинами, які утворились в ході абіотичних процесів. Далі відбувся, за Ю.Одумом “популяційних вибух” автотрофних організмів. (передрефейна криза буде нами розглянута далі). Межі біосфери розширила людина опанувавши космічний простір, де за звичай життя відсутнє. Так чи інакше, *сьогодні біосфера охоплює шар до 20 км, де активно існує життя*. Все інше слід називати “*парабіосферною зоною*”.

Біосфера в сьогоднішньому розумінні – це глобальна відкрита системи зі своїми механізмами саморегуляції. З позиції кібернетики складові біосфери – екосистеми, описуються як “чорний ящик”, процеси всередині яких закодовані природою. Самоорганізація біосфери пояснюється формуванням інформаційної системи, причому ця інформація зберігається в живих організмах. Отже, саморегуляція забезпечується живими організмами. Тому біосферу можна вважати централізованою кібернетичною системою, оскільки один елемент – живі організми в цілому – відіграє домінуючу, центральну роль у функціонуванні системи в цілому.

За *законом необхідної різноманітності* (Вінер-Шеннон-Ешбі), який є основним кібернетичним законом, кібернетична система лише

тоді володіє стійкістю до блокування зовнішніх і внутрішніх збурень, коли вона має достатнє внутрішнє різноманіття (розбиття). Це різноманіття і створюється живими організмами, яких нараховується до 2 млн. видів, серед яких до 500 тис. видів є рослин, а до 1,5 млн. видів – тварин. Видове біорізноманіття не просто арифметична величина, нижче якої не повинен опуститись живий світ, а реальна потреба біосфери, що забезпечує її стійкість. На це робив наголос Ю.Одум (1986), який показав значення біорізноманіття природи для виживання людства.

Роль живої речовини у забезпеченні стійкості біосфери базується на таких її властивостях:

- жива речовина характеризується великою вільною енергією, яка направлена на зміну довкілля. Жива речовина виконує роботу;
- в живій природі хімічні реакції проходять значно швидше, ніж у неживій;
- окремі індивідуальні хімічні речовини можуть утворюватись лише в живих організмах;
- жива речовина проявляє значно більшу морфологічну і хімічну різноманітність, ніж нежива.

Стійкість і саморегуляція біосфери пояснюється так званою *гіпотезою Геї* (древньогрецька богиня Землі), в основі якої закладено положення про те, що *живі організми контролюються абіотичним середовищем, а в свою чергу організми впливають на абіотичне середовище і контролюють його різноманітними способами*. Існує біологічний контроль на глобальному рівні. Гіпотеза створена Дж.Лавлоком і Л.Маргулісом на основі того факту, що хімія атмосфери і фізичне середовище Землі різко відрізняється від умов будь-якої планети Сонячної системи, що зумовлено активністю ранніх форм життя. Ю.Одум (1986) показав, що основну роль в розвитку і регулюванні геохімічного середовища відіграли організми, які перетворювали його на сприятливі для них умови. Регульована система (“Гея”) робить Землю складно, але єдиною кібернетичною системою. В.Ю.Некос (2001) узагальнюючи сутність гіпотези Геї зазначив, що існує *біологічна регуляція геохімічного середовища*.

Іншими словами, щоб система (біосфера) була стійкою проти зовнішнього або внутрішнього збурення вона повинна бути *пластичною*, а ця пластичність забезпечується живі організми.

Біосфера – це енергетично незамкнена система, в якій відбувається поглинання теплоти із зовні та її використання в ізотермічних умовах. При характеристиці енергетичного балансу біосфери слід враховувати закони термодинаміки.

У відповідності з першим законом термодинаміки, енергія в системі переходить із однієї форми в іншу, але вона не зникає і створюється знову. Існують і інші визначення першого закону термодинаміки: енергія, яка надається системі, використовується на зміну внутрішньої енергії системи і виконання системою роботи.

Біосфера в цілому, виконує роботу (геохімічну) проти стійкої рівноваги і при цьому збільшує свій вплив на довкілля (закон Вернадського-Бауера). Цим підкреслюється роль живої речовини у формуванні сучасного вигляду планети Земля і умов на ній.

У відповідності з другим законом термодинаміки або законом ентропії, процеси, які пов’язані з перетворенням енергії, можуть проходити самовільно лише у випадках, коли енергія переходить із концентрованої і розсіяну (деградує). Частина енергії системи переходить в недосяжну для використання форму, тобто проходить зростання ентропії.

Найважливішою термодинамічною рисою організмів, екосистем і біосфери в цілому є здатність створювати і підтримувати високу ступінь внутрішньої впорядкованості, тобто стабілізувати стан з низькою ентропією. Такий стан досягається постійним і ефективним використанням енергії, що легко використовується, з перетворенням її в недосяжну форму.

Тому, екосистеми можна вважати стійкими термодинамічними системами, які постійно обмінюються з довкіллям енергією і речовиною і при цьому вони зменшують ентропію всередині себе, але збільшують її зовні, що відповідає законам термодинаміки.

Використовувана біосферою енергія (Q) може бути визначена за формулою:

$$Q = \Delta H - T \times \Delta S, \text{ де}$$

ΔH – кількість енергії, що надходить до біосфери ззовні (енергія Сонця), Дж; T – абсолютна температура, °К; ΔS – ентропія (міра неупорядкованості системи, втрати енергії).

Отже, енергія Q , що складає від 0,5 до 1,0%, використовується біосферою на поліпшення й розвиток різноманітних процесів і

утворення речовини в екосистемах. *Однонапрямлений приплив енергії до біосфери є одним із фундаментальних законів екології.*

Отже, сонячна енергія – це єдине джерело енергії для біосфери. Понад 35% цієї енергії, що досягає межі стратосфери, відразу відбивається атмосферою в космічний простір, ще 8% – пилинками, що знаходяться в повітрі. Понад 10% поглинається водяною парою, озоном та іншими газами.

Лише 47% сонячного випромінювання досягає поверхні Землі, а з цієї кількості енергії, до 10% витрачається на відбивання, 50% – на випаровування і лише 40% залишається в межах біосфери. З цієї кількості енергії лише ¼ йде на процеси фотосинтезу. Тому, стан біосфери в цілому і процеси енерго- та масообміну в ній чутливі до антропогенних впливів, адже всі живі організми споживають енергію і її необхідно постійно поповнювати.

5.3. Кругообіги хімічних елементів в біосфері. Роль моделювання стану біосфери

Енергія Сонця засвоюється продуцентами і залучається в геохімічні цикли через процес фотосинтезу, який здійснюється зеленими рослинами. Процеси фотосинтезу тривають вже понад 1,5 млрд. років і, здавалось, хімічні елементи, які беруть участь у цих процесах, повинні були б уже давно вичерпатись. Однак, цього не проходить. Російський вчений В.Р.Вільямс зазначив: "...існує єдиний шлях до того, щоб надати чомусь кінцевому властивості нескінченного – примусити кінцеве обертатись по замкнутому колу, тобто залучити його в кругообіг". Насправді, усі потрібні для підтримання життя речовини не вичерпуються завдяки здійсненню постійного кругообігу.

! Основною причиною кругообігу є обмеженість хімічних елементів, з яких будуються тіла організмів.

В природі існує два кругообіги речовин: *великий* – геологічний та *малий* – біологічний, хоча як нами раніше відмічалось, правильно говорити про кругообіги хімічних елементів, а не речовин.

Великий кругообіг триває протягом сотень тисяч років (геологічних епох). Він полягає в тому, що гірські породи руйнуються і вивітрюються в процесах ерозії, а утворені при цьому продукти потоками вітру і води, через залучення їх в малі кругообіги, зносяться у Світовий океан. Внаслідок цього утворюються морські нашарування

і, з часом, в процесі геотектонічних змін ці нашарування повертаються на сушу, і процес починається знову.

Малий кругообіг, який є частиною великого, відбувається на рівні екосистем. Він є набагато більш експресним, ніж великий. Кругообіг хімічних речовин із неорганічного середовища через рослинний і тваринний світи знову в неорганічне середовище (в процесі редукації) з використанням енергії хімічних реакцій називають *біохімічним циклом*.

Жива речовина значно прискорила й змінила кругообіги різних речовин, зокрема води, Оксигену, Нітрогену, Сульфуру, Карбону. Утворення живої речовини та її розклад – це дві сторони єдиного процесу, який називають біохімічним (малим) кругообігом хімічних елементів. Справедливим є твердження, що життя – це кругообіг хімічних елементів між організмом і довкіллям.

Розрізняють три основні типи біохімічних кругообігів:

- кругообіг води;
- кругообіг елементів переважно в газовій фазі;
- кругообіг елементів переважно в осадовій фазі.

Біосферу визначають як область Землі, де протікають кругообіги Карбону, Нітрогену, Оксигену і Сульфуру, в яких приймають участь п'ять хімічних елементів (H, O, C, N, S), що рухаються через атмосферу, гідросферу і літосферу.

Кругообіг Карбону. У біосфері міститься Карбону понад 12000 млрд. тонн. Це зумовлено тим, що сполуки Карбону безперервно утворюються, змінюються і розкладаються в біосфері. Кругообіг Карбону відбувається фактично між живою речовиною і діоксидом Карбону, який міститься в атмосфері. В процесі фотосинтезу, щорічно вищі рослини і водорості поглинають значні кількості діоксиду Карбону (близько 200 млрд. тонн, в перерахунку на Карбон) з утворенням органічних речовин. Відмерлі рослини і тварини (органічні речовини) розкладаються редуцентами до CO₂, який повертається, переважно, в атмосферу. Повний цикл обміну атмосферного Карбону проходить протягом 300 років, але частина Карбону вилучається з кругообігу у вигляді горючих корисних копалин та осадових порід (торф, нафта, вугілля, вапняк тощо).

Процес кругообігу Карбону достатньо складний, в ньому приймають участь різноманітні процеси (див. рис. 1.20.).

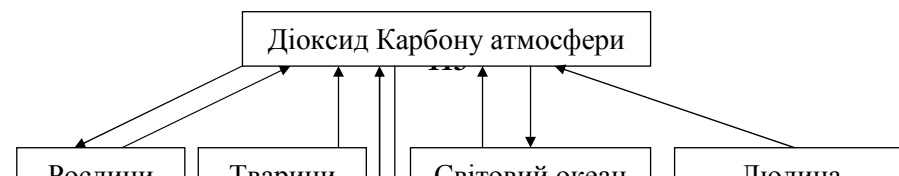
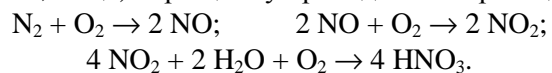


Рис. 1.20. Кругообіг Карбону в біосфері.

Антропогенний вплив на кругообіг Карбону, перед усім, зумовлений використанням органічних палив (нафта, газ, вугілля, торф). При цьому, в атмосферу викидаються значні кількості діоксиду Карбону, причому ці кількості вже перевищують компенсаційні (буферні) властивості атмосфери (біосфери). Внаслідок цього проходить поступове підвищення вмісту діоксиду Карбону в атмосфері, що може бути причиною глобальної зміни клімату Землі (“парниковий ефект” або глобальне потепління клімату).

Кругообіг Нітрогену. Нітроген відіграє важливу роль для живих організмів, адже він входить до складу найважливіших органічних речовин, зокрема амінокислот, тощо. Потужним джерелом Нітрогену є атмосфера, де він знаходиться в молекулярному вигляді. Але азот практично не засвоюється живими організмами. Виключення складають окремі види рослин (зокрема бобові) та бактерій (бульбашкові бактерії), які безпосередньо засвоюють молекулярний азот атмосфери і після хімічних його перетворень залучають в кругообіг. Повний цикл кругообігу Нітрогену є тривалим (300-400 років). Крім того, залучення Нітрогену в кругообіг можливе при сполученні молекулярного азоту і кисню повітря за екстремальних умов (блискавки, тощо). При цьому проходять такі реакції:



Тобто, внаслідок окиснювальних реакцій утворюється нітратна кислота, що вимивається із атмосфери опадами. Нітрати безпосередньо засвоюються рослинами і залучаються в кругообіг. Процес кругообігу Нітрогену (див. рис. 1.21.) є також складним.

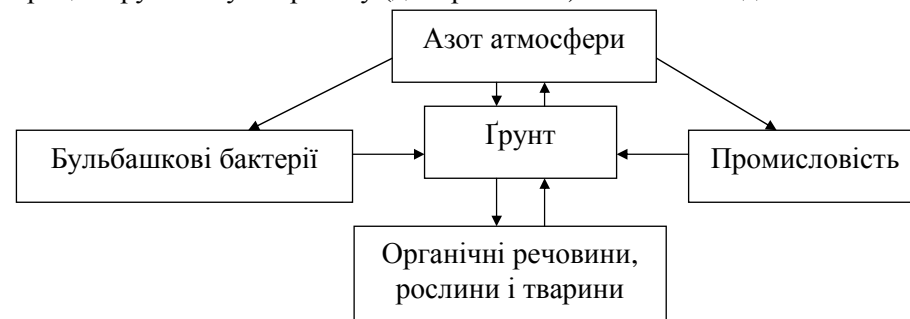


Рис. 1.21. Кругообіг Нітрогену в біосфері.

Антропогенний вплив на кругообіг Нітрогену полягає в широкому використанні азотних добрив та у викидах оксидів Нітрогену промисловістю, які утворюються при згоранні палив шляхом сполучення азоту і кисню повітря. Це сприяє прискоренню біогенного циклу Нітрогену. Крім того, нітрати здатні накопичуватись в рослинах, що може бути причиною негативного впливу на теплокровних тварин (і на людей), що споживають таку рослинну сировину.

Кругообіг Оксигену. Щорічно рослинність біосфери виробляє до 55 млрд. тонн кисню. Він використовується живими організмами в процесах дихання, бере участь в окислювальних реакціях, які проходять в атмосфері, гідросфері та літосфері. Циркуючи через біосферу, Оксиген то входить до складу органічної речовини, то до складу води, то утворює кисень (O₂). Тобто, кругообіг води, циркуляція Оксигену в живій речовині та атмосфері є частинами кругообігу Оксигену. Весь Оксиген атмосфери кожні 2000 років проходить через живу речовину біосфери, а вода, що залучена в біологічний кругообіг, циркулює 300-400 років. Для того, щоб вся вода гідросфери пройшла через живі організми необхідно близько 2 млн. років.

Господарська діяльність людини прискорює кругообіг води, збільшуючи площу випаровування. Крім того, при спалюванні палив

людина призводить до незворотних втрат кисню атмосфери (за час існування людства втрачено ~ 273 млрд. тонн O₂).

! Діяльність людини викликає прискорення кругообігів всіх хімічних елементів біосфери (H, O, C, N, S). Це зумовлено тим, що в біосфері людиною викидаються рухомі форми сполук цих хімічних елементів (CO₂, SO₂, N_xO_y, фосфати, сульфати, нітрати, тощо).

Тому, спостереження за станом біосфери, за кругообігом важливіших хімічних елементів є надзвичайно важливим завданням, але спостереження і контроль цих процесів проводити недостатньо. Для виявлення небажаних тенденцій в біосфері, з метою їх запобігання, важливе значення має моделювання стану і розвитку біосфери в цілому. Можливість такого моделювання дозволило б прогнозувати наслідки порушення цілісності біосфери та процесів саморегуляції, які викликані діяльністю людини. Але прогнозування стикається з рядом труднощів.

По-перше, біосфера настільки складна система, що її неможливо описати за допомогою достовірних моделей, з врахуванням потоків інформації в ній, потоків речовини і енергії. Ряд вчених вважає що судження про біосферу не є абсолютно достовірними, у відповідності із *законом Б.Коммонера* (“природа знає краще”). Він підкреслює самодостатність природи і хибність суджень людини про неї. М.Ф.Реймерс сформулював *принцип неповноти інформації*, який показує складність моделювання біосфери та проблему правильної організації заходів по охороні довкілля. За М.Ф.Реймерсом, внаслідок складності природи “... інформація при проведенні акцій по перетворенню або будь-якій зміні природи завжди є недостатньою для апіорних суджень про всі можливі результати таких дій, особливо у далекій перспективі, коли мають місце всі природні ланцюгові реакції”.

По-друге, ніхто не знає рівня надійності такої глобальної системи, як біосфера в цілому. Тому важко визначити граничний вплив на біосферу, який би порушив механізм її саморегуляції.

По-третє, біосфера існує в однині і вона є місцем життя людини. Будь-яка помилка може мати катастрофічні наслідки.

Забігаючи наперед, хотілось би зазначити, що питання ролі біосфери для сучасного людства носять дискусійний характер. Проблема сучасної екологічної кризи (буде розглянута нами далі)

теоретично може бути вирішена двома основними шляхами. Перший – це досягнення гармонії між сферою людства (соціумом) і природою (біосферою). Другий – це створення штучної саморегульованої надсистеми, яка володіє необхідними людям якостями (взаємін живої природи). Будь-яка людина здорового глузду розуміє, що реально здійснити в близькому майбутньому тільки перший шлях. В цьому нам допоможе знання про біосферу Землі.

?

Опанувавши дану тему, дайте відповіді на такі питання:

1. Охарактеризуйте поняття біосфери і покажіть роль В.І.Вернадського у формуванні сучасного наукового уявлення про біосферу Землі.
2. Охарактеризуйте структуру біосфери та особливості її складових. Покажіть межі поширення біосфери Землі.
3. Покажіть роль і значення основних законів функціонування біосфери.
4. Дайте характеристику живої речовини і покажіть її геохімічну роботу.
5. Охарактеризуйте енергетичний баланс біосфери. Покажіть роль законів термодинаміки.
6. Дайте характеристику кругообігів основних хімічних елементів біосфери. Покажіть вплив на ці процеси господарської діяльності людини.
7. Покажіть значення моделювання біосфери і охарактеризуйте основні проблеми цього процесу.

Тема 6. Роль антропогенної діяльності для біосфери

Виникнення живої речовини, і біосфери в цілому, видозмінили кругообіги хімічних речовин на Землі і викликали значні зміни. В той же час, історія планети Земля налічує значну кількість фактів існування процесів, які викликали порушення функціонування екосистем і визначали значні перебудови ходу біосферних процесів. Такі зміни відбувались здавна, ще до появи людини, але саме виникнення людей, їх діяльність, викликала принципово нові зміни в довіллі. Дедалі ці зміни набувають більш глобального характеру і сьогодні людство розглядається як основний збудувач біосфери. Набули поширення такі терміни як “екологічна криза”, “екологічна катастрофа” та інші, які переважно співвідносять із критеріями людини. Наскільки такі категорії можуть бути придатними для характеристики природних змін у біосфері або вони є частиною еволюції? Безумовно, відповіді на такі запитання дати важко, але склалися певні стереотипи щодо визначення екологічних криз минулого.

6.1. Поява людини й наслідки цього процесу для біосфери Землі

Факт появи життя на Землі мав величезне значення. Безумовно, ми не будемо детально розглядати еволюцію Землі й біосфери в цілому, це не є предметом вивчення даної навчальної дисципліни, але окремі факти хотілось би зазначити. Першою грандіозною зміною біосфери, яка мала надзвичайно велике значення для розвитку життя на Землі є, так звана, перша екологічна криза, що датується 2,0-1,7 млрд. років назад. За твердженням В.А.Зубакова, ця екологічна криза середнього протерозою (в ріфеї), що одержала назву ріфейної кризи, стала першим поштовхом до розвитку вищих організмів.

Природний стан довілля того часу значно відрізнявся від сучасного стану. Суходіл оточувала потужна атмосфера відновлюваного характеру (метан, сульфід Гідрогену, азот, діоксид Карбону), що мала значну густину, в порівнянні із сучасною. На Землі були присутні мілкі моря, а органічний світ представлений, головним чином, різними прокаріотами – доклітинними організмами. Тектонічні та геохімічні зміни, які сприяли формуванню Світового океану (зростання глибини і кількості виділеної із надр Землі води),

викликали процеси зв'язування діоксиду Карбону в біогенні карбонатні осади. Внаслідок зменшення вмісту діоксиду Карбону в атмосфері, зменшився парниковий ефект, що викликало пониження температури довілля до 4-10°C. Виникло перше наземне обледеніння.

Зменшення вмісту діоксиду Карбону сприяло зменшенню потужності і густоти атмосфери, внаслідок чого сонячне випромінювання почало доходити до земної поверхні. Це, в свою чергу, викликало активну діяльність фотосинтезуючих бактерій (*Cyanea*). Кисень почав накопичуватись в атмосфері та в морях і він виявився отрутою для більшості прокаріот. Внаслідок цього процесу почалась масова загибель прокаріот і їх накопичення в протерозойських відкладах (вугілля, нафта, газ, графіт). Пройшла кардинальна перебудова всього природного стану і поява ядерних (клітинних) організмів – еукаріот.

! Таким чином, для протерозойських екосистем зміна стану атмосфери, клімату і поява еукаріот, були екологічною катастрофою, що носила незворотній характер. Але для наступних форм життя, в тому числі і сучасних, ця зміна була необхідною.

В подальшій історії біосфери природний її стан багаторазово змінювався, але ці зміни вже не носили такого кардинального характеру. Це такі явища як обледеніння, наприклад, пермокарбонове, різка зміна флори і фауни, наприклад, вимирання динозаврів в юрі, гірничоутворюючі процеси тощо. Але з виникненням людини, з розвитком людства, зміни в довіллі набули принципово нового характеру. Взаємодія людини з навколишнім середовищем відбувається в різних формах і з неоднаковою інтенсивністю на різних етапах історичного розвитку людства. В історичному плані виділяють кілька етапів впливу людини на навколишнє середовище:

- вплив людини на довілля як звичайного біологічного виду;
- зміна довілля через такі процеси як розорювання земель на значних територіях, вирубування лісів, надмірний випас худоби;
- зміна довілля через інтенсивне використання природних ресурсів, в тому числі корисних копалин;
- глобальна зміна всіх екологічних компонентів біосфери.

Видно, що в різні історичні періоди людина по різному впливала на довілля і це, перед усім, визначалось світоглядом людей, її ставленням до природи та рівнем технічних знарядь праці.

Первісні люди не відокремлювали себе від природи. Люди тієї епохи визнавали велич природи і, окремим природним явищам, надавали людські риси. Це, перед усім, пов'язано з беззахисністю людей перед природними стихіями. В період античності, люди розглядають природу як простір для життя і від природи бралось все необхідне для життєдіяльності людини.

В період Середньовіччя (Європейська частина), спостерігалось аналітичне ставлення людей до природи і її відокремлюють від людини. Крім того, всі природні явища і об'єкти поділяють на корисні та шкідливі, що усугубило вплив на довкілля.

В період Відродження та Реформатства, спостерігається значна кількість наукових відкриттів, перед усім в природничих науках, і ставлення людей до природи виходить з позиції – “Людина – центр Світу”. Епоха капіталізму викликала прагматичне ставлення людини до природи, тобто людина повинна брати від природи все необхідне. Природа розглядається як товар, як “кладова” людини.

Сучасна епоха характеризується особливим ставленням до природи. Людина виступає як головним збурювачем в біосфері, так і основним фактором стійкості природи.

На основі історичних даних, прийнято виділяти чотири типи природокористування, зокрема, привласнення, продукууючий, інноваційний та ноосферний. Наслідки впливів на довкілля різних типів природокористування є різними.

Привласнення або привласнене господарство характерне для початкових стадій розвитку суспільства (первісних людей). Населення того часу складало ~ 20 млн. чоловік, а основними засобами виживання людей були збиральництво та мисливство. Обмежена чисельність людей в той період диктувалась низькою демографічною ємністю територій (1,0-1,2 людини на 1 км²). В той же час, люди вживали в їжу практично все, аж до мертвих тварин. Люди взагалі не переймались проблемами взаємодії людини і природи і, як наслідок, виникла видова або компонентна криза, що датується 35-50 тис. років тому. За даними ряду вчених, саме в цей період на суходолі спостерігались максимальні втрати живих організмів. В період до видової кризи, на суходолі налічувалось близько 72 родин тварин, а після цього періоду – тільки 36. Отже, половина родин тварин суходолу вимерла саме в цей період.

Нажаль, ряд вчених не виділяють цю кризу, як кардинальну зміну довкілля, або не пов'язують її з антропогенною діяльністю. Компонентна криза викликала і значне скорочення чисельності населення і, на кінець цього періоду, чисельність людей становила 4-5 млн. Розпочались чисельні міграції людей.

Люди вимушені були пристосовуватись до таких змін довкілля, вдосконалювати мисливське знаряддя і протягом багатьох тисячоліть виникли продукууючі форми господарства – землеробство і скотарство. Ці зміни відносяться до періоду неоліту – останнього кам'яного віку Землі (неолітова революція).

Продукууючий тип природокористування або продукууюче господарство характерний для періоду поділу праці. Деякі види природних ресурсів, які необхідні для життєдіяльності людини, почали плановірно продукуватись. Розвиток господарства, перед усім землеробства і скотарства, дозволили підвищити демографічну ємність територій, а поділ праці людей підвищив її ефективність в 400-600 разів. Це стало підставою для зростання чисельності населення. В цей період почали створюватись перші держави, зокрема в Месопотамії, долині річки Ніл тощо.

Діяльність людини цього періоду, зумовлена бурхливим розвитком землеробства і скотарства, викликала штучні біохімічні цикли, що призвело до змін геохімії біосфери Землі. Людина вперше почала виділятися з природи. В цей час в лісових зонах почало використовуватись підсічно-полум'яне, а в посушливих районах – поливне землеробство. Перехід до нових форм ведення господарства, розорювання і зрошування значних територій, вирубування лісів і, як наслідок цих процесів, розвиток ерозії та засоленості ґрунтів, викликали зміни в структурі ландшафтів. Розвинулась криза поливного землеробства. В той же час, незважаючи на розвиток господарства, людина, внаслідок слабкої технічної озброєності, залишалась незахищеною перед природними стихіями, які призводили до загибелі людей та втрат врожаю.

В IV-I тисячолітті до н.е. були винайдені колесо, орало, розвилась металургія заліза (перехід до залізного віку), що стало причиною осілого орного землеробства. Це підвищило продуктивність праці, а постійне місце проживання дозволило значно вдосконалювати житло. На межі нової ери нараховувалось до 350-400 млн. чоловік, а

основними заходами контролю чисельності населення були війни та епідемії.

Отже, в період продукуючого типу природокористування виникла, так звана, ландшафтна криза, яка призвела до втрат значних площ земель та зміни геохімічних циклів біосфери. Значні території природних ландшафтів перетворились у вторинні – із збідненою рослинністю та зміненими ґрунтами.

Інноваційний тип природокористування склався в Західній Європі (пізні Середньовіччя). В цей період спостерігалось відділення міста від села, більш значний поділ праці людей. Створення урбанізованих територій негативно позначилось на природних екосистемах, що зумовлено знищенням реліктів і, на урботериторіях, характерними стали інші представники тваринного і рослинного світів (пацюки, горобці, таргани, кімнатні мухи, тощо).

Для цього періоду характерним є створення млинів, а з природних ресурсів, крім деревини, почали використовувати вугілля (Англія XII століття) та інші корисні копалини. Почався тотальний наступ на природне середовище. Людство почало створювати як первинні, так і вторинні ресурси, що дозволило ще більше підвищити демографічну ємність територій. Порушення земної поверхні, при видобуванні корисних копалин, призвело до незворотних змін довкілля, а їх використання – до більш відчутних змін геохімічних циклів в біосфері. Крім того, за рахунок зростання чисельності населення, необхідно було збільшувати площі орних земель та пасовищ, збільшувати об'єми вирубок лісів, що викликало нову екологічну кризу продуцентів (М.Ф.Реймерс). Зведення лісів викликало значні зміни в кліматичній обстановці ряду регіонів, зокрема, значно зросла швидкість вітру і, як наслідок, зменшилась конденсація вологи у вигляді роси. В аридних зонах почалось опустелювання на значних ділянках (долина Нілу тощо). Вперше значно відчувся вплив зростання чисельності населення на довкілля. В цей період виникають тотальні екологічні кризи, які зумовлені “нерозумним” ставленням людей до природи, коли з природних екосистем вилучалось все необхідне для людей. Безумовно, наслідки таких змін відчутні і сьогодні.

Із наведеного видно, що період від стародавнього часу до пізнього Середньовіччя історії людства, характеризується тим, що технічні можливості людини були обмеженими і її вплив на природне

середовище міг бути компенсований природним утворенням ресурсів та механізмами саморегуляції природи. Хоча деякі екосистеми зазнали значних змін, внаслідок господарювання людей, на рівні біосфери в цілому, ці зміни були практично невідчутними.

Все змінилось з виникненням і розвитком промисловості, а особливо в період науково-технічної революції.

Ноосферне природокористування. Розвиток науки і техніки стали причиною зміни відношення людини до природи. Технічне озброєння дозволило людині використовувати ресурси всіх екосистем світу, впливати на всі природні комплекси, тобто, людина стала геологічною силою, яка бере на себе керівні функції біосфери.

В.І.Вернадський розвинув вчення про ноосферу – “сферу розуму” Землі і зазначив, що вона є вищою стадією розвитку біосфери. Він вперше висунув ідею, що людський фактор в розвитку біосфери стає головуючим: “... вигляд планети – біосфера – хімічно різко змінюється людиною свідомо і, головним чином, несвідомо. Змінюється людиною фізична і хімічна оболонка суходолу, всі його природні води ...”. В.І.Вернадський писав: “... Ноосфера є новим геологічним явищем на нашій планеті. В ній вперше людина стає потужною геологічною силою. Вона може і повинна перебудовувати своєю працею та розумом області свого життя, перебудовувати докорінно в порівнянні з тим, що було раніше ...”. На думку Вернадського, ноосфера “... складається із збереженої та нормально функціонуючої біосфери і гармонійно вмонтованої в неї соціосфери ...”. Отже, в основі ноосферного природокористування лежить гармонізація взаємовідносин між суспільством і природою. До того ж, з метою попередження кумулятивного впливу речовинного та енергетичного забруднення на об'єкти довкілля, промислові підприємства і комплекси слід рівномірно-дисперсно розташовувати на суходолі.

В той же час, твердження В.І.Вернадського про “необхідність докорінних змін довкілля людиною” викликає неоднозначну реакцію вчених. На думку Ю.Одума, людина стала потужною геологічною силою, яка може змінити все довкілля, але говорити про перехід до ноосфери ще зарано. Людина не знає досконало всіх процесів, що проходять в біосфері, а відтак, не може передбачити всі наслідки своїх дій. Свідченням цього є численні екологічні кризи і катастрофи, які викликані діяльністю людини.

Безумовно, вчення про ноосферу носить дискусійний характер і ряд положень є суперечливими, але при правильному науковому підході до питань втручання людини в природні комплекси, можна не тільки мінімізувати негативні наслідки впливу людини на довкілля, а і впроваджувати заходи, направлені на покращення екологічного стану природного середовища. Слід визнати, що людина сьогодні є головним збурювачем біосфери, а брати їй на себе керівні функції природи слід вкрай обережно.

Цікавим є впровадження такого поняття як “індекс ноосферності”, під яким розуміють відношення кількості енергії, яку людство використовує раціонально, до кількості енергії, яка знаходиться у межах біосфери. При наближенні величини цього індексу до одиниці, можливо говорити про розумне використання природи, але на сьогодні ця величина не перевищує 0,05. Тому, говорити про епоху ноосфери ще зарано.

Нажаль, думка вчених не завжди збігається з політичними і економічними напрямками розвитку більшості країн світу, що призвело до глобалізації ряду екологічних проблем. Це стало причиною сучасної екологічної кризи, початок якої датується серединою ХХ століття. Сучасна екологічна криза має глобальний характер, а це означає, що виникла небезпека руйнування систем життєзабезпечення людства і біосфери в цілому. Ця криза є багатоплановою і пов'язана з втратою структури (цілісності) і стійкості екосистем і біосфери в цілому, що є причиною втрати їх надійності. Господарська діяльність людини зумовила пошкодження і вичерпування природних ресурсів, що призвело до деформації природного кругообігу речовин та потоку енергії, які сформувались протягом багатьох років. Внаслідок цього, почалося прогресуюче руйнування біосфери Землі, що може набути характеру незворотних процесів і навколишнє природне середовище може стати непридатним для існування. Крім того, з розвитком промисловості виникла нова проблема – забруднення об'єктів довкілля.

Серед проявів сучасної екологічної кризи особливої небезпеки становлять демографічна проблема, проблема забруднення природного середовища, вичерпування природних ресурсів і наслідки, що пов'язані з цими проблемами.

Узагальнення всіх нинішніх видів впливу людини на навколишнє природне середовище дає змогу виділити чотири основні його форми:

- зміна структури земної поверхні через такі процеси, як розорювання земель, вирубування лісів, меліоративні роботи тощо;
- зміна біосфери та її складових через такі процеси, як видобування корисних копалин, викидання відходів виробництва в атмосферу та гідросферу тощо;
- зміна енергетичного балансу земної кулі через такі процеси, як теплові викиди, зміна альbedo Землі тощо;
- зміна сукупності живих організмів через знищення деяких видів, створення нових видів тварин та сортів рослин, переселення тварин і рослин на нові місця існування.

Отже, людина не тільки стихійно впливає на навколишнє середовище через результати своєї господарської діяльності, а й змінює його відповідно до своїх потреб. Таких спрямованих впливів на довкілля є безліч і одним із завдань охорони навколишнього природного середовища є встановлення загальних закономірностей і рекомендацій, які можна було б використати для керування впливом на довкілля. Крім того, при цілеспрямованому впливі на довкілля часто виникають побічні зміни, які не передбачені головною метою впливу і знижують його позитивний ефект.

При реалізації заходів по охороні навколишнього середовища слід розглядати виникнення нової системи “суспільство–природа”, яку вивчає *соціальна екологія*. Завданням соціальної екології є вивчення закономірностей взаємодії суспільства з навколишнім середовищем і розробка наукових принципів гармонізації цієї взаємодії. Такий підхід має бути теоретичною базою охорони довкілля.

В той же час, незважаючи на розвиток людства, екологічний стан довкілля продовжує погіршуватись і постало питання збереження і виживання людства і біосфери в цілому. Це вимагає докорінної зміни відношення людини до природи і до питання охорони природи і охорони довкілля людини.

6.2. Демографічні проблеми сьогодення та проблема урбанізації

Погіршення екологічного стану навколишнього середовища ускладнює адаптацію організмів, в тому числі і людей, до змін в довкіллі. Особливо гостро на сьогодні постали проблеми демографічного вибуху, обмеженості природних ресурсів і життєвого простору земної кулі.

Як було розглянуто раніше, господарська діяльність людини призводила до зростання демографічної ємності територій, що стало причиною зростання чисельності населення. В різні історичні періоди це зростання мало різні темпи, причому відчутними регуляторами чисельності населення були хвороби (епідемії), війни, тощо. Протягом останніх 150 років, з розвитком промисловості та інтенсифікації сільського господарства, а також винайдення ліків проти багатьох хвороб, населення Землі зростає надзвичайно швидкими темпами. Слід зазначити, що динаміка цього процесу є геометричною прогресією (див. рис. 1.22).

Із рис. 1.22. видно, що для подвоєння чисельності населення у XIX столітті (1830-1930) необхідно 100 років, а у XX столітті цей період різко зменшується. На сьогодні чисельність населення Землі в кілька разів перевищує оптимальну і, за прогнозами футурологів, у першій половині XXI століття чисельність населення планети наблизиться до 11 млрд. осіб. В першу чергу, зростання населення планети відбудеться за рахунок малорозвинутих країн.

Отже, щорічно чисельність людей на Землі зростає, а природні ресурси, за допомогою яких можна забезпечити життя цього населення і підвищити його якість, катастрофічно зменшуються. Невпинно збільшується кількість бідних і знедолених у світі, незважаючи на темпи розвитку економіки. За даними ООН, кожна п'ята людина у світі страждає від голоду, що може мати як соціально-економічні, так психологічні наслідки. Вже відчувається нестача життєвого простору. Природні ресурси вичерпуються як кількісно, так і якісно.

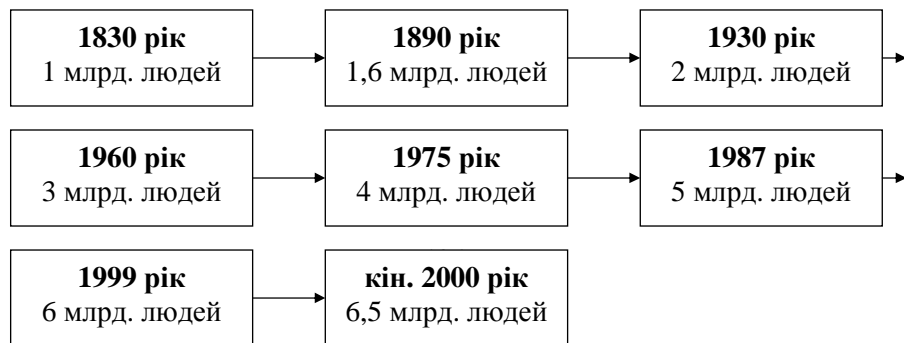


Рис. 1.22. Зміна чисельності населення Землі протягом XIX-XX століть.

Головними заходами, які б допомогли зберегти нашу цивілізацію та біосферу, є відродження та збереження розмаїття природи та біоугруповань в обсягах, які забезпечать стійкість природи і суспільства. Це можливо лише за умови зміни свідомості людини, щодо ролі та самоцінності природи і місця людини в ній.

Безумовно, демографічні проблеми окремих країн світу є дещо відмінними, але загальна тенденція зростання населення планети залишається. Це вимагає вживання заходів контролю народжуваності на державному і міжнародному рівнях, але практична відсутність обмежувальних факторів для людини має свої наслідки. Розвиток популяцій, в тому числі і людської, має свої закони, тим більше, що тривалість людського життя складає ~ 70-75 років. Тому, незважаючи на ряд прийнятих заходів контролю чисельності населення, наприклад, в Китаї принцип “Одній сімейній парі – одну дитину” є узаконеним, чисельність населення планети неухильно зростає.

Д.Медоуз прогнозує розвиток світу (див. рис. 1.23.) показав, що за умов розвитку за принципами сьогодення, виробництво, чисельність населення і забруднення довкілля експоненціально зростатимуть доти, поки швидке виснаження природних ресурсів не загальмує промисловий ріст. Після вичерпування ресурсів, в першу чергу горючих корисних копалин, буде спостерігатись занепад виробництва та енергетична криза. Проте, внаслідок природних витрат у системі, чисельність населення, а відтак і рівень забруднення довкілля, протягом певного часу продовжуватиме зростати після того, як обсяг промислового виробництва пройде своє “пікове” значення. Нарешті, ріст населення припиниться через зростання смертності внаслідок скорочення виробництва продовольства і неякісного медичного обслуговування.

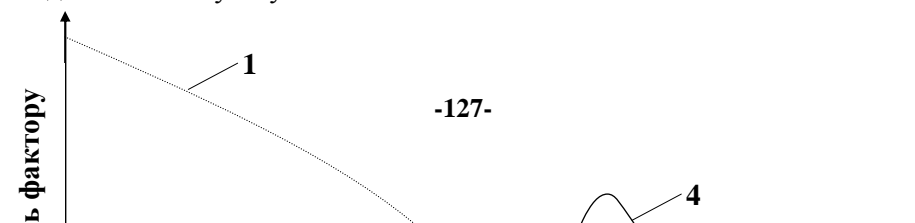


Рис. 1.23. Графічна модель розвитку світу за Д. Медоузом:
1 – ресурси; 2 – кількість продовольства на душу населення; 3 – кількість промпродукції на душу населення; 4 – населення; 5 – забруднення довкілля.

Аналізуючи модель розвитку світу за Д.Медоузом видно, що людству в найближчому майбутньому загрожує ресурсна, соціально-економічна, екологічна та демографічна криза, що може стати причиною катастрофи людської цивілізації. Усвідомлення можливої катастрофи повинно викликати адекватну реакцію людей, в першу чергу, повинно змінитись ставлення людей до питання охорони природи і охорони довкілля людини. Американські екологи Г.Одум та Е.Одум вважають, що для людства найсприятливішим буде курс на стабілізацію економіки, а не її розвиток, та обмеження споживання. Крім того, необхідно розвивати використання альтернативних джерел енергії на заміну традиційних.

Демографічна проблема України складна. Протягом останніх років у динаміці здоров'я населення України помічено ряд негативних тенденцій, певною мірою пов'язаних з незадовільною екологічною обстановкою на Україні. З початку 90-х років в Україні відсутній природний приріст населення, а тривалість життя населення нашої країни нижча, ніж у розвинутих країнах.

Цей факт має ряд пояснень, зокрема це і економічний розвиток нашої країни і, безумовно, екологічний стан довкілля. Не останню роль в цьому зіграла аварія на Чорнобильській АЕС, наслідки якої відчутні і сьогодні. Особливо слід наголосити на пряму залежність стану здоров'я людей в Україні від екологічного стану навколишнього середовища. Втручання людини в природні процеси зумовлює порушення екологічної рівноваги і, як наслідок, посилюється нервово-емоційне напруження при повній консервативності функцій організму, що може бути причиною погіршення стану здоров'я населення.

Згідно статистичних даних, темпи зростання загальної захворюваності протягом останніх десяти років складають ~ 35%. Ці негативні зміни відображаються, переважно, за рахунок рівня злоякісних новоутворень, серцево-судинних хвороб, бронхіальної астми та інших хвороб. Більшість зазначених хвороб є екологічно залежними. Особливо слід звернути увагу на стан крові та кровотворних органів людей, оскільки ця система найбільш чутлива до негативних факторів, в тому числі і екологічних. Кількість екологічно залежних хвороб зростає із року в рік. В першу чергу, вони зумовлені забрудненням навколишнього середовища.

Систематична або періодична наявність в атмосферному повітрі шкідливих речовин в концентраціях, які перевищують нормативні величини, призводить до захворювань населення, навіть ракових, до поширення серед частини населення токсикоманії, ускладнює перебіг серцево-судинних захворювань, сприяє виникненню та розвитку захворювань дихальної і нервової систем людини. Від забруднювальних речовин страждають слизові оболонки людей.

Дослідження показують, що в місцевостях з порівняно невисоким рівнем забрудненості повітря частота захворювань органів дихання зростає в 2 та більше разів, а при високому рівні забрудненості – в 4-40 разів, в порівнянні з частотою захворювань в екологічно безпечних районах. Від впливу забруднювальних речовин, в першу чергу, страждають діти, а шкода, якої вони зазнають, значно перевищує шкоду, завдану здоров'ю дорослих. Організм, який розвивається, є більш вразливим до дії несприятливих факторів.

Встановлено, що постійне перевищення допустимої концентрації в повітрі лише одного з видів контрольованих забруднювальних речовин призводить до підвищення захворюваності в 1,7 рази, а в деяких вікових групах – до трьох разів.

Використання забрудненої води, в першу чергу для пиття та готування їжі, викликає ряд захворювань. Середньостатистична людина в день споживає до двох літрів питної води, тому її якість буде безпосередньо позначатись на стані здоров'я людей.

Ґрунти є основним засобом сільського господарства і за рахунок орних земель сучасне людство одержує до 88% харчової енергії. Ще 10% харчової енергії людство одержує за рахунок природних пасовищ та лісових угідь. Тому забруднення ґрунтів являє небезпеку, адже продукція, яка вирощена на таких ґрунтах, буде забрудненою. З ґрунтів забруднення може потрапляти через харчові ланцюги в організм людини: ґрунт→мікроорганізми→рослини→тварини→люди. Відтак, стан ґрунтів, ступінь їх забруднення впливає на здоров'я людини.

Отже, демографічна проблема та проблема зростання захворюваності людей на сьогодні є одними із глобальних проблем людства, які потребують якомога швидшого вирішення.

Особливого загострення набула проблема урбанізації. У великих містах і, в першу чергу, в індустріальних центрах, різко зріс рівень забруднення довкілля. Відбувається поступова нестримна концентрація людей в містах, з'являються і зростають багатомільйонні міста-мегаполіси, збільшується їх кількість, розміри і проблеми.

В 2000 році частка міського населення в Західній Європі складала ~ 71%, в Північній Америці – 87%, в Південній Америці – 80%, в Австралії та Океанії – 80%, в Східній Азії – 40%, в Південній Азії – 35%, в Африці – 39%. Кількість міст мільйонерів перевищила 400, причому особливістю цієї тенденції є те, що мегаполіси утворюються в країнах з недостатньо розвинутою економікою.

В Україні станом на 2002 рік тільки Київ є багатомільйонним містом (2611 тис.мшк.). Сім міст України вже досягли одномільйонної межі або наближаються до неї: Харків (1470 тис. мшк.), Дніпропетровськ (1065 тис. мшк.), Одеса (1029 тис. мшк.), Донецьк (1016 тис. мшк.), Запоріжжя (815 тис. мшк.), Львів (733 тис. мшк.), Кривий Ріг (669 тис. мшк.). Десять міст України мають населення в межах 300-500 тис. мшк. Отже, практично половина населення нашої держави проживає у відносно великих містах.

Переважає більшість великих міст України – це індустріальні центри і головна їх проблема – продукування виробничих та

побутових відходів. Деградоване штучне міське середовище надає комплексного шкідливого впливу на здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря, в тому числі параметричного, дефіциту сонячного світла, води, споживання неякісних харчових продуктів, а також внаслідок стресових ситуацій, які зумовлені напруженим ритмом життя, скупченістю людей, нестачею зелених насаджень тощо.

Ступінь поширення багатьох хвороб у великих містах часто набагато більший, ніж у малих містах і селах. Така хвороба як рак легенів, яка провокується фотохімічним смогом, у великих містах нині реєструється в 2-3 рази частіше, ніж у сільській місцевості. В містах набагато більше хворіють на бронхіальну астму, різноманітні алергічні захворювання, зокрема, кон'юктивіт, екземи тощо. Рівень поширення інфекційних хвороб у містах також в двічі вищий, ніж у сільській місцевості.

Мешканці великих міст вже здавна п'ють воду набагато гіршої якості, ніж у селах. Великі міста створюють власний мікроклімат, під дією якого змінюється стан довкілля. Із розвитком міст зростає негативний тиск на біосферу.

За прогнозами, тенденція до зростання кількості міських мешканців та кількості великих міст буде зберігатись і надалі, тому проблема урбанізації також розглядається як одна із глобальних проблем сьогодення.

?

Опанувавши дану тему, дайте відповіді на такі питання:

1. Охарактеризуйте ріфейну екологічну кризу. Яке її значення?
2. Дайте загальну характеристику особливостей впливу діяльності людини на довкілля. Як людина ставилась до природи в різні історичні періоди?
3. Охарактеризуйте привласнення як тип природокористування. Які наслідки цього процесу?
4. В чому проявляються особливості продукуючого типу природокористування?

5. Які основні наслідки інноваційного типу природокористування?
6. Поясніть особливості ноосферного типу природокористування. В чому суперечливість основних положень “Вчення про ноосферу”?
7. В чому проявляється сучасна екологічна криза? Особливості сучасного впливу людини на довкілля.
8. Охарактеризуйте сучасну проблему демографічного вибуху та прогнози подальшого розвитку світу.
9. В чому проявляються особливості демографічної проблеми України? Дайте оцінку впливу екологічного стану довкілля на здоров'я людини.
10. Охарактеризуйте проблему урбанізації та її основні наслідки.

Узагальнюючи матеріал Розділу I хотілося би відмітити, що розкриття основних законів екології, розуміння динаміки розвитку та особливостей функціонування екологічних систем та біосфери в цілому, має надзвичайно важливе значення як для господарської діяльності людини, так і для діяльності, напруженої на охорону природи і охорони довкілля людини. Загальна екологія є теоретичними основами для організації заходів по охороні довкілля і дає розуміння цілісності навколишнього середовища та взаємозв'язку компонентів довкілля.

Вплив господарської діяльності людини на навколишнє середовище і викликані ним наслідки є складними. Це зумовлює необхідність організації охорони природи і охорони довкілля людини.

Рекомендована література для належного опанування матеріалу даного розділу:

1. Андрейцев А.К. Основи екології.-К.: Вища школа, 2001.-358с.
2. Білявський Г.О., Падун М.М., Фундуй Р.С. Основи загальної екології. - К.: Либідь, 1995.-368с.
3. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.О. Основи екологічних знань. – К.: Либідь, 2000. – 320с.
4. Білявський Г.О., Бутченко Л.І. Основи екології: теорія та практикум. – К.: Лібра, 2004. – 368с.

5. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология (особи, популяції и сообщества) / пер. с англ. - М.: Мир, 1989.-Т.1-2.-667 и 477 с.
6. Будыко М.И. Глобальная экология. - М.: Мысль, 1977.-327с.
7. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1965.-374с.
8. Войтович Г.В., Вронский В.А. Основы учения о биосфере. – М.: Просвещение, 1989.-160с.
9. Воронов А.Г., Дроздов Н.Н., Мяло Е.Г. Биогеография мира. – М.: Высш.шк., 1985. – 272 с.
10. Вронский В.А. Прикладная экология. – Ростов н/Д.: Феникс, 1996.-512с.
11. Гиляров А.М. Популяционная экология. – М.: МГУ, 1990.-191с.
12. Даже Р. Основы экологии / пер. с франц. – М.: Прогресс, 1975.-415с.
13. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинев: Главная ред. Молд. Сов. энцикл., 1990. – 408 с.
14. Дідух Я.П. Популяційна екологія. – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – 192с.
15. Джигирей В.С., Сторожук В.М., Яцюк Р.А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи).- Львів: Афіша, 2000.-272с.
16. Запольський А.К., Салюк А.І. Основи екології. - К.: Вища школа, 2001.-358с.
17. Злобін Ю.А. Основи екології.-К.: Лібра, 1998.-248с.
18. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
19. Клименко М.О., Прищеп А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. – Рівне: УДУВГП, 2004. – 232 с.
20. Кучерявий В.П. Екологія. – Львів: Світ, 2000. – 500с.
21. Кучерявий В.П. Урбоекологія. – Львів: Світ, 1999. – 320с.
22. Лук'янова Л.Б. Основи екології. - К.: Вища школа, 2000.-327с.
23. Некос В.Е. Основы общей экологии и неоекологии. - Харьков: Прапор, 1 часть – 1999, 2 часть – 2001.
24. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда, человек. – М.: Агенство «ФАИР», 1998. – 320с.
25. Одум Ю. Основы экологии / пер. с англ. – М.: Мир, 1975.-740 с.
26. Одум Ю. Экология / пер. с англ. –Т.1-2. – М.: Мир, 1986.-704с.

- 27.** Потіш Л.А., Медвідь В.Г., Гвоздецький О.Г., Козак З.Я. Екологія: теоретичні основи і практикум. - Львів: “Новий Світ-2000”, “Магнолія плюс”, 2003.-296с.
- 28.** Рамад Ф. Основы прикладной экологии / пер. с франц. – Л.: Гидрометеоздат, 1981.-543с.
- 29.** Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
- 30.** Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы).-М.: Россия молодая, 1994.-367с.
- 31.** Риклефс Р. Основы общей экологии / пер. с англ. – М.: Мир, 1979.-424с.
- 32.** Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. – М.: Высш.шк., 1988.-272с.
- 33.** Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии (избранные труды). Т.1. – Л.: Наука, 1972.-418с.
- 34.** Уиттекер Р.Х. Сообщества и экосистемы / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1980.-327с.
- 35.** Чернова Н.М., Былова А.М. Экология. – М.: Просвещение, 1988.-272с.
- 36.** Элтон Ч. Экология нашествий животных и растений / пер. с англ. – М.: Иностранлит, 1960.-230с.