

А.К. Запольський, А.І. Салюк

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ

За редакцією академіка НАН України *К. М. Ситника*

Допущено Міністерством освіти і науки України

Підручник для студентів
технічно-технологічних спеціальностей
вищих навчальних закладів

КИЇВ
«ВИЩА ШКОЛА»
2001

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. / *М. Астрелін* (Національний технічний університет України «КПІ»), д-р техн. наук, проф. *О. Я. Лобойко* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Редакція літератури з природничих наук Редактор *Л. Є. Канівець*

Запольський А. К., Салюк А. І.

3-33 Основи екології: Підручник / За ред. К. М. Ситника. – К.: Вища шк., 2001. – 358 с: іл.
ISBN 966-642-059-7

Викладено основні теоретичні положення загальної екології. Розглянуто аспекти прикладної екології з охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки. Особливу увагу приділено раціональному використанню сировини, тепло-і енергоресурсів, води, атмосферного повітря, а також безвідходних і маловідходних технологій у виробництві. Висвітлено загальні принципи екологізації виробництва та екологічного менеджменту. Наведено відомості про сучасну організацію та правову систему управління екологічною безпекою довкілля, державну програму охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів та екологічну безпеку. Окремі розділи присвячено екології міських екосистем, радіаційній екології, екологічним проблемам космосу, військово-промислового комплексу.

Для студентів техніко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 574 (075.8)

ББК 28.081 я73

© А. К. Запольський,
А. І. Салюк, 2001
© Від наукового редактора,
К. М. Ситник, 2001

ISBN 966-642-059-7

ВІД НАУКОВОГО РЕДАКТОРА

Останні два-три десятиріччя екологія, як одна з фундаментальних наук природознавства, привертає меншу увагу дослідників, ніж це було багато років тому. Це пояснюється, з одного боку, завершеністю вивчення більшості природних закономірностей, які характеризують взаємовідносини між біорізноманітністю рослин, мікроорганізмів і тварин та залежність останніх від неживої природи, а з іншого – виникненням нових проблем, породжених антропогенними змінами в біотичному й абіотичному середовищах. Біологи широкого профілю, ботаніки, зоологи, мікробіологи, екологи, медики, технологи, філософи, економісти, інші фахівці почали приділяти велику увагу вивченню навколишнього середовища, виникли нові науки з вивчення довкілля, які дістали загальну назву «інвайронментологія» («інвайронменталістика»).

На жаль, усі дослідники, які вивчають зміни, що відбуваються в довкіллі під впливом діяльності людини чи створюють безвідхідні або маловідхідні технології, які сприяють покращанню стану довкілля, вважають себе екологами, не маючи навіть уявлення про зміст і предмет науки екології. Я ж вважаю, що краще дотримуватись міжнародних підходів до наукових визначень та наукової термінології. Тому закликаю колег користуватися при розгляді проблем наук про довкілля термінами й поняттями, прийнятими в усьому науковому світі. Водночас я розумію, що певний час в умовах нашої української дійсності можна користуватись і поняттям «прикладна екологія», як це роблять автори підручника А. Запольський і А. Салюк.

Ці вчені бачать основне завдання прикладної екології у вивченні загальних закономірностей впливу антропогенної діяльності на навколишнє природне середовище. Автори розглядають три основні напрями прикладної екології – раціональне природокористування, захист навколишнього природного середовища від забруднень антропогенного походження і а забезпечення екологічної безпеки стабільного функціонування природних екосистем.

Нечувані темпи зростання чисельності населення планети та його потреб призвели до використання надзвичайно великих обсягів різних природних ресурсів і утворення величезної кількості різноманітних відходів. Результатом активної людської діяльності є забруднення води, повітря і ґрунту, глобальне потепління на планеті, руйнування озонового шару атмосфери, випадіння кислотних опадів, вичерпання багатьох природних ресурсів, спустелювання планети тощо. Ці зміни в довкіллі набули загрозливого характеру для подальшого існування людської цивілізації та супроводжуються екологічними кризовими явищами.

У цих умовах узгодження взаємодії людського суспільства з природою потребує певних екологічних знань. Вони необхідні для того, щоб суспільство могло цілеспрямовано поліпшувати навколишнє природне середовище, зберігати єдність з природою. Основи екології вивчають в усіх вищих навчальних закладах України. Актуальним завданням є запровадження екологічної освіти в середній школі. Автори підручника з основ екології добре зробили, що значну увагу приділили висвітленню питань загальної (фундаментальної) екології. Це збагатить теоретичну підготовку майбутніх фахівців.

Сподіваюсь, що підручник А. К. Запольського і А. І. Салюка, написаний доброю мовою і на сучасному науковому рівні, буде корисним студентам техніко-технологічних спеціальностей вищої школи, а також усім, хто цікавиться проблемами прикладної екології.

Академік Національної
академії наук України
К. М. Ситник

ПЕРЕДМОВА

«Люди загинуть від невміння

користуватися силами природи

та від незнання справжнього світу»

Напис на піраміді Хеопса

Екологія – це наука, що вивчає взаємозв'язок між організмами та їх угрупованнями із середовищем їх існування. Вона, як і будь-яка інша наука, має теоретичний і прикладний аспекти. Теоретичний аспект екології спрямований на встановлення закономірностей у взаємовідносинах між живими організмами і навколишнім природним середовищем, а прикладним аспект – використання цих закономірностей у повсякденній діяльності людського суспільства для створення задовільних умов існування. Нині жодне з великих практичних питань не вирішується без урахування зв'язків між живими й неживими компонентами природи. Саме екологія є науковою базою раціонального природокористування.

Екологія як окремий розділ біологічної науки склалася наприкінці XIX ст. і розвивається швидкими темпами. Особливо значний інтерес до екології людське суспільство почало виявляти в середині XX ст. після другої світової війни, що було зумовлено надзвичайно високими темпами зростання чисельності населення планети та відчутними негативними наслідками антропогенної діяльності – нераціональним надмірним споживанням природних ресурсів та утворенням величезної кількості неутилізованих і розсіюваних відходів, що призводить до забруднення води, повітря й ґрунтів та виснаження всіх природних ресурсів, необхідних для нормального функціонування як окремих природних екосистем, так і біосфери загалом.

Вплив антропогенних факторів на біосферу Землі спричинив виникнення небажаних негативних явищ, таких як кислотні дощі, глобальне потепління на планеті, руйнування озонового шару атмосфери, спустелювання, знеліснення, забруднення природного середовища різними токсикантами, що врешті призвело до деградації екосистем та глобальної екологічної кризи в біосфері Землі. Якщо так триватиме й далі, це неминуче призведе до переростання кризи в екологічну катастрофу, що в кінцевому підсумку ставить під загрозу в недалекому майбутньому існування сучасної цивілізації.

Кризовий екологічний стан спричинений також надто низьким рівнем екологічної науки, освіти та виховання, які зумовили відповідно низький рівень культури й свідомості у людини ставленні до природи та неспроможність прогнозувати катастрофічні наслідки такої антропогенної діяльності. Тому, починаючи з 60-х років XX ст., спостерігається активний рух людської спільноти за захист довкілля від антропогенних забруднень, за підвищення рівня культури й свідомості у ставленні до природи, інтенсивними темпами розвиваються наукові дослідження з екології. З цією метою в багатьох країнах, у тому числі в Україні, запроваджено вивчення екології на всіх рівнях освіти та загальне екологічне виховання населення. Основи загальної екології викладають і при підготовці всіх фахівців у вищих навчальних закладах.

Вивчення основ екології у вищій школі при підготовці фахівців інженерних спеціальностей має на меті вивчення фундаментальних закономірностей у природі стосовно взаємозв'язків живих організмів з навколишнім природним середовищем та формування екологічного світогляду щодо живої природи. Першочерговими завданнями є подолання екологічних кризових явищ у біосфері Землі; запобігання глобальному забрудненню довкілля; раціональне природокористування та забезпечення екологічної безпеки. Ці завдання мають вирішуватися суспільством на всіх напрямках його діяльності. Тому крім вивчення фундаментальних закономірностей загальної екології потрібно вивчати й прикладні її аспекти, спрямовані на вирішення практичних завдань повсякденного життя суспільства.

Одним з основних завдань прикладної екології є створення таких методів і засобів формування та управління природними й природно-антропогенними екосистемами, які забезпечили б їх функціонування, не порушуючи динамічної рівноваги в природі та механізмів саморегуляції біосфери. Навчальна література з прикладної екології для підготовки фахівців різних спеціальностей має висвітлювати й систематизувати широке коло інженерно-прикладних питань екологізації виробництва, що формують необхідну базу сучасного спеціаліста.

Засвоївши матеріал пропонованого підручника, студенти зможуть компетентно орієнтуватися в екологічних проблемах сучасності та займуть мотивовану громадянську позицію в життєвих і професійних явищах сьогодення.

Підручник призначений для студентів техніко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Він може бути корисним для широкого загалу фахівців у галузі екології взагалі, раціонального природокористування, охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки зокрема.

Автори висловлюють подяку науковому редактору – академіку НАН України К. М. Ситнику і рецензентам – професору, доктору технічних наук О. Я. Лобойку, професору, доктору технічних наук І. М. Астреліну за слушні зауваження та поради, спрямовані на поліпшення цього підручника.

Розділ 1 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЇ ЯК НАУКИ

1.1. ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ І МЕТОДИ ЕКОЛОГІЇ

Екологія (грец. «ойкос» – дім, житло та грец. «логос» – вчення) – наука (галузь знань), що вивчає взаємодію організмів та їх угруповань із середовищем існування. Як самостійна наука вона сформувалася наприкінці ХІХ ст. Термін «екологія» запровадив німецький біолог Ернст Геккель у 1866 р.

Як і будь-яка інша наука, екологія має науковий та прикладний аспекти. *Науковий аспект* – це прагнення до пізнання заради самого пізнання, і в цьому плані на перше місце впливає пошук закономірностей розвитку природи та їх пояснення. *Прикладний аспект* – це застосування зібраних знань для вирішення проблем, пов'язаних з навколишнім середовищем. Всезростаюче значення сучасної екології полягає в тому, що жодне з великих практичних питань сьогодення не може вирішуватись без урахування зв'язків між живими і неживими компонентами природи.

Основним завданням прикладної екології є *пізнання законів і закономірностей взаємодії людського суспільства з біосферою* (з розвитком космонавтики межі цієї науки розширюються за межі біосфери, а саме – до межі Всесвіту) з метою запобігання порушенню екологічної рівноваги внаслідок антропогенної дії на навколишнє природне середовище і на основі цього розробка заходів для забезпечення екологічної та техногенної безпеки біосфери (Всесвіту). Під екологічною безпекою розуміють такий стан навколишнього природного середовища, за якого забезпечується збалансований вплив різних факторів (у разі техногенної безпеки – техногенних факторів), що не погіршують функціонування екосистем, здатності біосфери до саморегулювання та не сприяють виникненню небезпеки для здоров'я людей.

Об'єктом дослідження є природні, природно-антропогенні екосистеми і макроекосистема, якою є біосфера (Всесвіт), тобто зміна її властивостей (рослинного й тваринного світу, ландшафту, клімату, геохімічних процесів та впливу на Космічний простір) під впливом антропогенної діяльності. Для цього вивчають техногенні забруднення трьох (чотирьох) середовищ – атмосфери, гідросфери і літосфери (Космосу) внаслідок антропогенної діяльності людського суспільства, зокрема вплив забрудників на навколишнє природне середовище та на живу природу, і на основі встановлених закономірностей розробляють заходи, необхідні для збереження екологічної рівноваги на планеті Земля та раціонального використання природних ресурсів.

До галузей антропогенної діяльності належать промисловість, сільське господарство, військово-промисловий комплекс, житлово-комунальне господарство, транспорт, рекреаційний комплекс, наука і культура тощо. Так сформувалися окремі напрями прикладної екології: екологія промислових екосистем, екологія сільськогосподарських екосистем, екологічні проблеми транспорту, житлово-комунального господарства, харчових виробництв, соціальна екологія тощо. Всі вони об'єднані спільною метою, методами її досягнення та об'єктом дослідження (навколишнє природне середовище – біосфера, Всесвіт) і становлять спільну підгалузь науки екології – прикладну екологію.

Метою прикладної екології є вивчення загальних закономірностей впливу антропогенної діяльності на навколишнє природне середовище (біосферу, Всесвіт), зокрема промисловості, сільського господарства, транспорту, комунального господарства тощо. Екологія промислових екосистем вивчає вплив усіх галузей промисловості на навколишнє природне середовище разом з рослинним і тваринним світом та забезпечення стійкої динамічної рівноваги в природі. Для цього слід запобігати значним забрудненням довкілля, які призводять до порушення цієї рівноваги.

Таким чином, центральним аспектом прикладної екології є забезпечення техногенної безпеки біосфери та раціональне використання природних ресурсів у процесі антропогенної діяльності і вплив її на життєдіяльність природних і штучних екосистем. Метою вирішення цього аспекту є забезпечення стабільності цих екосистем, зокрема біосфери як глобальної екосистеми. Якщо аспектом загальної екології є вивчення закономірностей природних екосистем, то аспектом прикладної екології є вивчення природно-антропогенних та антропогенних екосистем (екосистеми міста, виробничого підприємства, сільськогосподарського лану, тваринницької ферми тощо): принципи їх створення та функціонування, вплив на розвиток природних екосистем, зменшення антропогенного тиску на біосферу, розміщення продуктивних сил, раціональне використання сировини та енергії тощо. Отже, сучасна прикладна екологія охоплює два основних аспекти – охорону довкілля та раціональне природокористування – з метою забезпечення стабільного функціонування як окремих екосистем, так і біосфери загалом.

Охорона довкілля вивчає джерела забруднення і вплив їх на окремі екосистеми та біосферу в цілому з метою запобігання їх шкідливому впливу. Основною метою раціонального природокористування є забезпечення споживання природних ресурсів людською спільнотою в таких межах, аби сприяти екологічній безпеці як окремих екосистем, так і біосфери загалом, не порушуючи при цьому стійкості динамічної рівноваги в природі.

1.2. КОРОТКИЙ ІСТОРИЧНИЙ НАРИС РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЇ

Екологія має давню передісторію. Накопичення відомостей про спосіб життя, залежність від зовнішніх умов та характер розподілу рослин і тварин започатковані в далеку давнину. В працях Арістотеля (384-322 до н. е.) та його учня – «батька ботаніки» Теофраста Ерезійського (371- 280 до н. е.) описано багато видів тварин та наведено відомості про своєрідність рослин у різних умовах, залежність їх росту від типу ґрунту й клімату.

В епоху Відродження особливого розвитку набули роботи перших систематиків А. Цезальпіна (1519-1603), Д. Рея (1627-1705), Ж. Турнефора (1656-1708) та інших про залежність рослин від умов проростання, обробітку, про місця їх поширення. У працях А. Реомюра про комах (1734), А. Трамбле про гідр та моховаток (1744) наведено багато екологічних відомостей. У працях XVIII ст. С. П. Крашенинникова, І. І. Лепьохіна, І. С. Палласа та інших російських географів і натуралістів вивчалися щільні на взаємопов'язані зміни клімату, рослинності й тваринного світу. Пилив зовнішніх умов на будову організму тварин вивчав французький природодослідник Ж. Бюффон (1707-1788). Автор першого еволюційного вчення Жан-Батіст Ламарк (1744-1829) вважав найважливішою причиною пристосувальних змін організмів, еволюції тварин і рослин вплив «зовнішніх обставин».

З появою на початку XIX ст. біогеографії екологічне мислення набути подальшого розвитку. Цьому сприяють праці О. Гумбольдта з географії рослин (1807), К. Глогера про зміни птахів під впливом клімату (І К П), Т. Фабера про особливості біології північних птахів (1826), К. Бергмана про географічні закономірності у зміні розмірів теплокровних тварин (1848). О. Декандоль детально описав вплив окремих факторів середовища на рослини.

У 1859 р. Ч. Дарвін у книзі «Походження видів шляхом природного добору, або збереження обраних порід у боротьбі за життя» показав, що «боротьба за існування» в природі, під якою він розумів усі форми зв'язків виду із середовищем, призводить до природного добору, тобто є рушійним фактором еволюції.

У 1866 р. завдяки Е. Геккелю нова галузь знань, що пов'язувала взаємовідносини живих істот та їх зв'язки з неорганічними компонентами середовища («боротьба за існування»), дістала назву «екології». В другій половині XIX ст. змістом екології було в основному вивчення способу життя рослин і тварин та адаптації їх до кліматичних умов. В цій галузі ботанік Й. Вармінг обґрунтував поняття про життєву форму (1895). Л. М. Бекетов (1825-1902) виявив зв'язок особливостей аналітичної й морфологічної будови з їх географічним поширенням. У 1877 р. німецький і гідробіолог К. Мебіус обґрунтував уявлення про біоценоз як закономірне поєднання організмів у певних умовах середовища. Праці російських учених С. І. Коржинського та Й. К. Пачоського сприяли відособленню вчення про рослинні угруповання в окрему галузь ботанічної екології. Визначальні положення вчення про ліс, як цілісну природну систему, розробили Г. Ф. Морозов і В. М. Сукачов.

На початку XX ст. сформувались екологічні напрями гідробіологів, фітотенологів, ботаніків і зоологів, у кожному з яких розвивались певні напрями екологічної науки. На III Ботанічному конгресі в Брюсселі в 1910 р. екологія рослин розділилась на екологію особин (аутекологію) і екологію угруповань (синекологію). Згодом цей розподіл поширився також на екологію тварин, а отже, на загальну екологію. З'явилися перші екологічні зведення – екологія тварин Ч. Адамса (1913), угруповання наземних тварин В. Шелфорда (1913), гідробіологія С. О. Зернова (1913). В 1913-1920 рр. екологію почали викладати в університетах, були засновані екологічні журнали та організовані екологічні наукові товариства. У першій половині XX ст. В. В. Докучаєв створив учення про ґрунт, який є результатом взаємодії гірських порід і живих організмів.

Значний внесок у розвиток ідей загальної біоценології зробили праці радянських учених В. М. Сукачова, Б. О. Келлера, В. В. Альохіна, Л. Г. Раменського, О. П. Шенникова, за кордоном – Ф. Клементса у США, К. Раункієра в Данії, Г. Дю Ріє у Швеції, І. Браун-Бланке в Швейцарії. У 30-40-х роках з'явилися зведення з екології тварин, у яких наводилися теоретичні проблеми загальної екології: К. Фрідерікса (1930), Ф. Боденгеймера (1938) та ін. У 1938 р. Д. М. Кашкаров опублікував перший підручник у Радянському Союзі з основ екології тварин. Біоценологічні основи паразитології розробляли В. О. Догель, Є. М. Павловський і В. М. Беклемішев.

У 30-х роках сформувалась нова галузь екологічної науки – популяційна екологія, основоположником якої є англійський учений Ч. Елтон. Подальшому розвитку популяційної екології сприяли роботи О. М. Северцова, С. С. Шварца, М. О. Наумова, Г. О. Вікторова, Є. Н. Омської та ін.

У 1935 р. англійський учений А. Тенслі запровадив поняття екосистеми. Американський учений Р. Ліндеман запропонував основні методи розрахунку енергетичного балансу екологічних систем. Розвиток екосистемного аналізу сприяв відродженню на новій екологічній основі вчення про біосферу, основоположником якого є В. І. Вернадський. Біосфера постала як глобальна екосистема, стабільність і функціонування якої ґрунтуються на екологічних законах забезпечення балансу речовини й енергії. Запроваджений ним у вивчення біосфери кількісний підхід дав змогу оцінити масштаби біогеохімічного колообігу речовин. Вчення В. І. Вернадського про ноосферу стало беззаперечним свідченням нерозривності зв'язку людини з природним середовищем. На сучасному етапі визначну роль у становленні новітньої екології відіграла монографія американського вченого Ю. Одума.

Перший науковий сектор екологічних досліджень в Україні створений у 1930 р. при Інституті зоології та ботаніки Харківського державного університету. В. В. Стачинський (1933) обґрунтував поняття біогеоценозу, як функціональної єдності біоценозу та абіотичних факторів. У 1940- 1980 рр. широке визнання наукової громадськості здобули екологічні дослідження І. Г. Підоплічка, Ф. А. Гриня, С. М.

Стойка, П. С. Погребняк, Д. В. Воробйова, О. Л. Бельгардта, А. П. Травлєєва, присвячені раціональному природокористуванню, екології лісу і ландшафтів. Праці академіка М. Г. Холодного є вагомим внеском до розробки концепції про геохімічні цикли. На сучасному етапі широке визнання здобули екологічні праці М. Н. Голубця, К. М. Ситника і Ю. Р. Шеляг-Сосонка, в яких розвинені концептуальні та методологічні основи сучасної екології. Аналізу філософських проблем у системі «людина – природне середовище» присвячені праці В. С. Крисаченка. Значний внесок у розробку проблем прикладної екології зробили вчені з інститутів Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, робота яких була спрямована на вивчення загальних закономірностей у природних, природно-антропогенних та антропогенних екосистемах, вплив антропогенної діяльності на навколишнє природне середовище та раціональне природокористування. Останнім часом виконано багато робіт, спрямованих на запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на навколишнє природне середовище.

1.3. РОЗДІЛИ І ТЕМАТИКА ЕКОЛОГІЇ ТА ЗВ'ЯЗОК ЇЇ З ІНШИМИ НАУКАМИ

Для того щоб краще зрозуміти предмет і завдання екології як науки, схарактеризуємо взаємозв'язки її з іншими біологічними науками, скориставшись прийомом Ю. Одум (1975). Образно зобразимо структуру біології у вигляді «шарового пирога» (рис. 1.1). Розрізавши його на куски по горизонталі, отримасмо фундаментальні науки – молекулярну біоло-

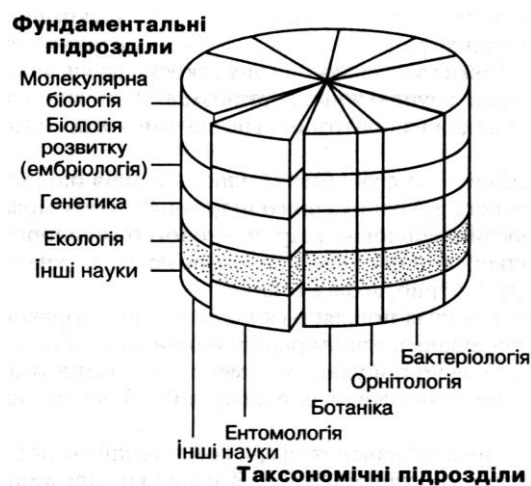


Рис. 1.1. «Шаровий пиріг» біології (за Ю. Одумом)

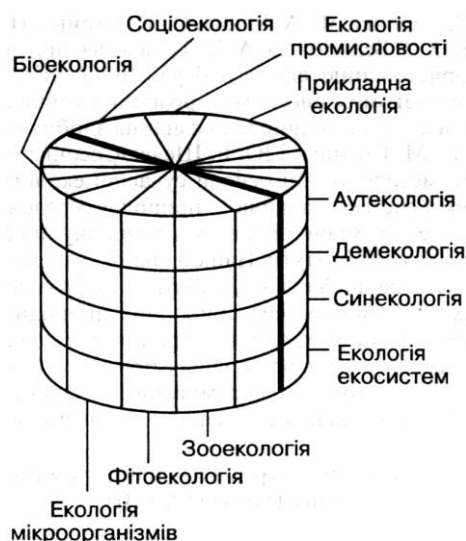


Рис. 1.2. «Шаровий пиріг» екології

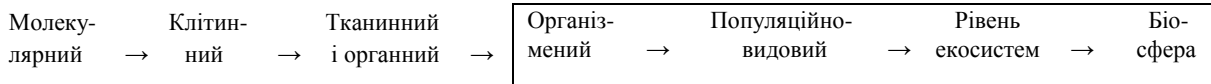
гію, морфологію, фізіологію, генетику, теорію еволюції, біологію розвитку, екологію та ін., що вивчають основні властивості життя і не обмежуються дослідженням окремих груп організмів. Якщо розріжемо цей «пиріг» по вертикалі, то дістанемо «таксономічні» науки, що займаються вивченням природних груп живих організмів, – ботаніку, зоологію, мікробіологію та ін. Кожна з цих наук об'єднує окремі науки, що мають справу з порівняно вузькою групою живих організмів. Відповідно до цього зоологію можна розділити на протозоологію, ентомологію, іхтіологію, орнітологію і т. д.

Екологія належить до фундаментальних розділів біології і є складовою частиною всього таксономічного підрозділу. Тому можна говорити про екологію рослин, екологію тварин, екологію мікроорганізмів та ін. Розглядаючи більш часткові елементи цих розділів, можна виділити екологію людини, птахів, риб, комах тощо.

У свою чергу екологія поділяється ще на чотири горизонтальні рівні (рис. 1.2), що відповідають різним рівням біологічної організації: від особини (аутекологія) через популяцію (демекологія) і співтовариство (синекологія) до екосистеми (екологія екосистем) і біосфери (екологія біосфери).

З метою точнішого визначення сфери компетенції екології розглянемо спектр рівнів організації живої матерії. Його можна представити у вигляді такої послідовності:

Екологія



Сфера компетенції екології простягається від організменого рівня до біосфери, серед яких стрижневим є рівень екосистем. У поле зору екології потрапляють закономірності взаємовідносин і взаємозв'язків окремих особин та їх популяцій між собою і з умовами неорганічного середовища. Екологія розглядає в основному той бік взаємодії організмів із середовищем, який зумовлює розвиток, розмноження та виживання особин, структуру й динаміку чисельності популяцій і співтовариств та їхню роль у біоценозах. Наприклад, фізіолог вивчає залежність від температури процесів, які відбуваються в організмі, еколог же вивчає, як впливають зміни температури на інтенсивність розмноження і плодовитість організмів, тривалість їх онтогенезу, на характер трофічних зв'язків, швидкість і напрямок біологічних процесів, що беруть участь у колообігу речовин в екосистемах.

Взаємовідносини особин або груп особин того чи іншого виду з умовами середовища є предметом одного з основних розділів загальної екології – аутекології. Для еколога важливі ті взаємостосунки, які дають змогу з'ясувати місце і роль досліджуваного виду та зумовлюють найголовніші його зв'язки з іншими належними до екосистеми видами.

Як окремий підрозділ аутекології можна розглядати популяційну екологію (демекологію), завданням якої є вивчення структури й динаміки чисельності популяції окремих видів. Демекологія пов'язана з вирішенням таких проблем, як механізми регуляції чисельності організмів, оптимальна густина і допустимі норми їх відбору з популяцій використовуваних видів, наприклад у разі промислового лову, знищення або ослаблення популяцій у випадку боротьби з шкідниками сільського господарства. До аутекології дуже близька етологія – наука по поведінку тварин.

Вивченням живої природи на рівні екологічних систем займається синекологія, або біоценологія, тобто вчення про співтовариство рослин, тварин і мікроорганізмів, їх взаємодії один з одним і з неорганічним середовищем проживання. Нині біоценологія переросла в науку про екосистеми, яку стосовно до біоценозів суші називають біогеоценологією.

Прикладна екологія охоплює такі підрозділи, як раціональне використання природних ресурсів, охорону навколишнього природного середовища, науки про соціально-економічні фактори впливу на довкілля та науки про техногенні фактори його забруднення. До розділу наук про соціально-економічні фактори впливу на довкілля (соціоекологія) входять такі підрозділи, як екологічна освіта, екологічне право, екологія народонаселення, урбоекологія, екологічний менеджмент, екологічний аудит, міжнародна та національна екополітика тощо. До розділу наук про техногенні фактори забруднення навколишнього природного середовища (техногенна екологія) належать такі підрозділи, як екологія промисловості, енергетики, агроєкологія, екологічні проблеми транспорту, військово-промислового комплексу, космосу, рекреаційної справи тощо. Кожний з цих розділів поділяється на підрозділи. Зокрема, екологія промисловості об'єднує такі підрозділи, як екологічні проблеми хімічної, металургійної, паливної, електричної, машинобудівної, легкої, лісгосподарської промисловості та будматеріалів, харчових виробництв тощо. Агроєкологія поділяється на агрохімічну й меліоративну екологію та екологію тваринництва.

Екологічні проблеми харчових виробництв пов'язані з вирішенням завдань запобігання забрудненню харчової продукції шкідливими для здоров'я людини речовинами. До них належать речовини, що потрапляють у продукти харчування у процесі технологічної переробки та транспортування, а також через повітря, воду й ґрунт. Сюди належать також забруднення компонентами пакувальних матеріалів та мікроорганізмами. Для виробництва харчових продуктів слід використовувати такі технології, які завдають мінімальної шкоди довкіллю або не завдають її зовсім. Однак чи можна розглядати екологічні проблеми транспорту, харчових виробництв та інші розділи як складові частини прикладної екології? Так, проте в цьому випадку мається на увазі не одне окреме виробництво, а всі виробництва харчової галузі, які вирішують спільну проблему разом з іншими галузями промисловості зокрема і антропогенної діяльності загалом. У підсумку можна сказати, що прикладна екологія ставить на меті забезпечення стійкої динамічної природної рівноваги в біосфері (космосі), здатної до самовідновлення та саморегулювання.

Тематика екології часто перетинається з тематикою інших галузей біології: фізіології, генетики, біофізики, теорії еволюції тощо. Це визначає формування багатьох проміжних і синтетичних напрямів,

таких як цитоекологія, екологічна фізіологія, продукційно-енергетична екологія, еволюційна екологія та ін.

Екологія тісно переплітається з небіологічними науками – фізикою, хімією, геологією, географією та ін. Екологічний підхід до вирішення географічних і фізико-географічних проблем наочно виявляється в гідробіології: вивчення сукупності організмів, які населяють товщу води і дно, проводять разом з дослідженнями різних факторів води, припливно-відпливних явищ, циркуляції водяних течій тощо.

На стику з геологією і палеонтологією виникла палеоекологія, яка відтворює екологічні зв'язки вимерлих видів рослин і тварин на основі будови викопних форм та умов їх захоронення. В результаті поєднання екологічного підходу з принципами ландшафтознавства з'явилась екологія ландшафту – напрямок, який тісно пов'язаний з проблемами раціонального використання, відтворення та охорони природних ресурсів. Впровадження в екологію принципів термодинаміки породило продукційно-енергетичну екологію, яка досліджує закономірності розсіювання потоку енергії в трофічних ланцюгах. Залучення даних про вплив живих організмів на кору вивітрювання сприяло створенню В. В. Докучаєвим сучасного ґрунтознавства.

1.4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК РОЗДІЛ ЕКОЛОГІЇ

Охорону навколишнього середовища розглядають зазвичай як комплекс міжнародних, державних, регіональних, локальних, адміністративно-господарських, технологічних і громадських заходів, спрямованих на збереження та забезпечення раціонального природокористування, відновлення, охорону та примноження природних ресурсів для блага людського суспільства і підтримання біологічної та екологічної рівноваги біосфери. Вчені західних країн розрізняють, як правило, науку екологію і науки про навколишнє середовище. Екологія вивчає групи факторів середовища, які впливають на організми: абіотичні (неживої природи – температура, вологість повітря й ґрунту, світло, хімічний склад атмосфери, води, ґрунту та ін.), біотичні (різні внутрішньовидові та міжвидові відносини організмів у природному угрупованні) і антропогенні (вплив діяльності людини на живу природу). Охорона природи розглядає тільки третій фактор – вплив людини на середовище, який, проте, не в усьому збігається із загальноєкологічним підходом.

Охорона природи – і ширша, і вужча від розділу екології, що досліджує вплив антропогенного фактора на природу: вужча – тому що аналізується не будь-яка дія, а лише та, наслідок якої може мати значення для життя людського суспільства; ширша – оскільки розглядається вплив антропогенного фактора не лише на органічний світ, а й на неживу природу. Відмінність між екологією і охороною природного середовища полягає ще й у масштабах досліджуваних об'єктів. Якщо охорона навколишнього середовища розглядає вплив факторів на рівні мікро- та мезоекосистем, то екологія – на рівні біосфери. Однак це збільшення масштабу не призводить до зміни мети, об'єкта, предмета й методу дослідження, воно лише розширює його межі.

Спочатку сформувалася загальна екологія як розділ загальної біології. Далі сформувалася охорона навколишнього природного середовища в результаті технічного розвитку антропогенезу. Проте між ними існував розрив, і лише екологія поєднала ці два розділи науки і стала їх спільною теоретичною базою. Нині формується новий напрям – екологія техногенних екосистем. Його правильніше було б назвати «Техногенна безпека біосфери». Метою останнього є дослідження генезису забруднень біосфери внаслідок розвитку техногенних процесів різних виробництв та запобігання цим забрудненням.

1.5. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН В УКРАЇНІ

До недавнього часу розвиток людського суспільства і самоочищення навколишнього природного середовища від техногенних забруднень перебували в динамічній екологічній рівновазі. Проте останніми роками інтенсивне зростання населення планети, надзвичайно інтенсивний розвиток промисловості, сільського й комунального господарства та інші чинники антропогенної дії на навколишнє природне середовище, незважаючи на колосальні екологічні резерви біосфери, призвели до різних негативних наслідків, з якими біосфера впоратися не здатна. Насамперед це стосується забруднення біосфери хімічними речовинами – ксенобіотиками (не властивими природі), порушення природних геохімічних циклів, а також інтенсивного, нераціонального використання природних ресурсів, що підриває саму можливість природи до самовідтворення відновних ресурсів. Невідновні ресурси вичерпуються швидше, ніж людське суспільство здатне перебудувати власну економіку, власну господарську діяльність. Нинішня екологічна ситуація в Україні характеризується як кризова. Цьому сприяють структурні деформації господарства, за яких перевага віддавалась сировинно-видобувним галузям промисловості, використання значною мірою енерго- та ресурсомістких технологій без будівництва ефективних очисних споруд.

Серед головних причин, що призвели до незадовільного стану довкілля, можна назвати такі:

- застарілі технології виробництва з високою енерго- та матеріаломісткістю, що перевищують у два-три рази відповідні показники в розвинених країнах;
- високий рівень концентрації промислових об'єктів у деяких регіонах;
- відсутність ефективних природоохоронних технологій (зворотних систем водозабезпечення, очисних споруд тощо), незадовільний рівень експлуатації існуючих природоохоронних споруд;
- відсутність ефективного правового й економічного механізмів, які сприяли б використанню

екологічно безпечних технологічних процесів.

Найбільшими забрудниками атмосферного повітря є підприємства теплоенергетики, які викидають близько 29 % усіх шкідливих забруднень. Теплова енергетика сприяє також значному забрудненню земель унаслідок накопичення великої кількості таких відходів, як золи, шлаки та пил. Металургійна промисловість разом із суміжними та допоміжними виробництвами є однією з найбільш «забруднювальних» галузей промисловості, її викиди становлять 38 % загальної кількості забруднювальних речовин. Підприємства нафтохімічного комплексу у великій кількості викидають у довкілля вуглеводні, гідрогенсульфід (сірководень), сульфатну кислоту, ртуть, сполуки флуору та ін.

Висока концентрація в окремих регіонах хімічних та нафтохімічних підприємств призвела до значного забруднення джерел водопостачання. Хімічні підприємства викидають у відкриті водойми близько 70 млн м³ неочищених або недостатньо очищених стоків, утворюють великі обсяги відходів, серед яких значна кількість – токсичні.

Підприємства нафтогазового комплексу за рівнем шкідливого впливу на довкілля вважають об'єктами підвищеного екологічного ризику. Вони є потенційними джерелами забруднення, що може статися в разі порушення технологічних режимів роботи устаткування або аварій.

Україна з її багаторічною енергетично-сировинною спеціалізацією та низьким технологічним рівнем промисловості належить до числа країн з найвищими абсолютними обсягами утворення та накопичення відходів. Щороку в поверхневих сховищах складається понад 1,5 млрд т твердих підходів. У різних звалищах, шламосховищах, відвалах та териконах нагромаджено всього понад 20 млрд т відходів, які займають близько 130 тис. га земель. Значна кількість відходів (до 90 %) утворюється на підприємствах гірничодобувної промисловості під час розробки родовищ та збагачення корисних копалин. На сьогодні утилізують лише третину загальної кількості відходів. При цьому частка вторинної сировини в загальному споживанні ресурсів не перевищує 15 %.

До категорій високотоксичних належать до 2 % усіх промислових відходів. Однак до цього часу в Україні не збудовано жодного спеціалізованого підприємства з переробки таких відходів. Ця проблема ускладнюється ще й тим, що не існує організованої належним чином системи збирання та зберігання токсичних відходів, немає техніки й обладнання, бракує моніторингового контролю якості стічних вод та заохочення підприємств самостійно вирішувати власні екологічні проблеми. Тому часто токсичні відходи, наприклад гальванічні шлами та промивні води, в значних обсягах потрапляють у каналізаційні стоки.

Порушення норм якості води досягло рівнів, що призводять до деградації водних екосистем, зниження продуктивності водойм. Значна частика населення країни вживає недоброякісну воду, що загрожувє здоров'ю нації. Втрати свіжої води на одиницю виробленої продукції перевищують показники розвинених країн Європи в 2,5-4,5 рази.

Поверхневі води України належать здебільшого до дуже забруднених. Найбільш забруднені ріки – Дніпро, Сіверський Донець і ріки Приазов'я. Чорне море, відоме своїми рибними багатствами, за останні тридцять років перетворюється на стічну яму для половини Європи. До основних забруднювальних речовин належать нафтопродукти, феноли, сполуки фосфору, нітрогену, меркурію, важких металів тощо. Безкиснева зона, яка у 1973 р. займала площу 3,5 тис. км², нині розширилась до 50 тис. км², що становить понад 10 % усієї акваторії Чорного моря. З 26 видів риб, які виловлювали рибалки в 60-ті роки, залишилось лише п'ять. Комерційний вилов скумбрії проводився востаннє в 1965 р. Загальні втрати риби становлять близько 5 млн тонн. Поки що виживає риба, яка тримається біля поверхні (анчоуси й кілька). Чорне море перебуває на межі загибелі.

Основними джерелами забруднення поверхневих вод є скидання неочищених чи недостатньо очищених комунально-побутових і промислових стічних вод, поверхневий стік води з сільськогосподарських угідь та забудованих територій, а також ерозія ґрунтів на водозабірній площі. Це зумовило трансформацію поверхневого природного ландшафту на 80 % поверхні басейну. Негативно позначається на Дніпровській екосистемі розорювання заплав, що позбавляє водостоки і водойми їх природного захисту.

В Україні здійснюється нераціональне використання природних ресурсів. Розорюваність є найвищою в світі і досягла 56 % території країни і 80 % сільськогосподарських угідь. Це призводить до зниження родючості ґрунтів через їх переущільнення. Значної шкоди завдають земельним ресурсам забруднення ґрунтів викидами промисловості та використання засобів хімізації в аграрному секторі. Понад 40 % органіки, що утворюється в результаті діяльності великих тваринницьких комплексів та птахофабрик, з потенційних виробників органічних добрив перетворюється на джерела забруднення довкілля.

Значного забруднення зазнала велика територія країни після аварії на Чорнобильській АЕС. Радіонуклідами забруднено понад 4,6 млн га земель. З використання вилучено 119 тис. га сільськогосподарських угідь, у тому числі 65 тис. га ріллі.

Значною проблемою є використання відвалів видобутку корисних копалин та відходів збагачення й переробки мінеральної сировини. Вже нині обсяги цих відходів перевищують 20 млрд т. Щороку викидається в атмосферу близько 12 млн т забруднювальних речовин. Лише за останнє десятиріччя від промислових викидів загинуло 2,5 тис. га лісових насаджень. Радіаційного забруднення через аварію на Чорнобильській АЕС зазнали 3,3 млн га лісів. Значної шкоди останнім завдають пожежі, тисячі яких щороку виникають на великих лісових площах.

Площа природно-заповідного фонду становить 1,5 млн га, або 2,5 %, а за деякими даними – до 4 % території країни і є недостатнім гарантом збереження й відтворення генофонду рослин і тварин та різноманіття природних екосистем. Під дією антропогенного чинника кількість видів рослин і тварин,

що перебувають під загрозою зникнення і занесені до Червоної книги, значно зросла. До неї внесено 151 вид вищих рослин і 85 видів та підвидів тварин (ссавців – 29, птахів – 28, плазунів – 6, земноводних – 4, комах – 18). Забруднення внутрішніх природних водойм, порушення природного гідрологічного режиму, відсутність ефективних рибозахисних пристроїв на водозабірних спорудах негативно позначаються на відтворенні запасів цінних видів риби.

1.6. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ

Увага вчених-екологів на сучасному етапі зосереджена на вирішенні кількох кардинальних проблем, у яких фокусуються основні напрями і розділи сучасної екології. Успіхи в їх вирішенні значною мірою визначають прогрес усієї екології. Серед цих проблем можна виділити такі:

1. Керування продукційними процесами. Вирішення цієї проблеми спрямоване на розробку заходів раціонального використання природних ресурсів.

2. Стійкість природних і антропогенних ценозів. Ця проблема пов'язана з теорією сукцесій, питаннями видового різноманіття та специфіки ценотичних зв'язків. Дослідження цієї проблеми дають змогу в майбутньому створити принципово нові природно-господарські екосистеми, в яких мають превалювати ознаки стабільності, стійкості та максимальної ефективності продукційного процесу.

3. Регуляція чисельності популяцій. Ця проблема лежить в основі розробки комплексу заходів, спрямованих на керування динамікою чисельності шкідників лісового і сільського господарства, носіїв хвороб сільськогосподарських тварин і людини, а також чисельності промислових і розвідних видів. На результатах цих досліджень базується планування масштабів промислу, прогнозування результатів відбору особин з популяцій у різних умовах. Ці питання мають першочергове значення для рибного господарства.

4. Екологічні механізми адаптації до середовища. Результати таких досліджень зумовлюють успіхи освоєння людиною екстремальних ландшафтів – високогірних, пустельних, арктичних тощо.

5. Екологічна індикація. Вирішення цієї проблеми пов'язане з потребами різних галузей промисловості, сільського господарства, морського промислу, а також з необхідністю збереження середовища проживання людини. Завдання екологічної індикації – визначення властивостей тих чи інших компонентів і елементів ландшафту та встановлення напрямів їх змін за видовим складом організмів, що проживають у даних умовах. Екологічну індикацію використовують для діагностики типів ґрунтів і напрямку змін ґрунтоутворювального процесу, для визначення якості води й повітря, пошуку корисних копалин, особливо розсіяних, які не визначаються за допомогою геологічних і геофізичних методів.

6. Екологізація виробництв. Вирішення цієї проблеми пов'язане з виробництвом екологічно безпечної продукції при мінімальних витратах природних ресурсів (сировини, енергії, палива та інших матеріалів) з утворенням мінімальної кількості неутилізованих та розсіюваних відходів, які не порушують функціонування природних екосистем та біосфери загалом.

Крім наведених вище кардинальних проблем, можна виділити ряд конкретних практичних завдань, які слід вирішувати за участю екологів. Серед них варто насамперед назвати такі:

1. Відновлення порушених екосистем.

2. Оздоровлення ландшафту, тобто розробка заходів з метою попередження загрози захворювання людей у результаті поширення різних захворювань у природному ландшафті.

3. Збереження еталонних ділянок біосфери.

4. Утилізація комунально-господарських відходів міст.

5. Перехід від промислу до господарства, тобто розроблення принципів і стратегії переходу від «збору» до високопродуктивного землеробства, під «мисливства» до культурного господарювання, якими, наприклад, є напіввільне і вільне розведення промислових тварин та їх повне приручення; створення аквакультур риб і промислових безхребетних тварин, потужних риборозвідних комплексів тощо.

6. Забезпечення ефективності техногенної безпеки біосфери від забруднень внаслідок господарської діяльності людей.

Згідно з програмою Організації Об'єднаних Націй з проблем навколишнього природного середовища (ЮНЕП), усю різноманітність глобальних екологічних проблем можна розподілити за такими напрямками:

- зміна атмосфери й клімату;
- зміна гідросфери;
- зміна літосфери; проблеми, пов'язані з використанням земної поверхні, а також з видобутком і використанням корисних копалин;
- зміна біоти;
- зміни в сільському й лісовому господарстві;
- демографічні проблеми, в тому числі проблеми виробництва продуктів харчування;
- урбанізація, проблеми населених пунктів;
- вплив навколишнього середовища та його змін на здоров'я людей;
- проблеми розвитку промислового виробництва;
- проблеми, пов'язані з виробництвом і споживанням енергії;
- проблеми, пов'язані з розвитком транспорту;
- проблеми розвитку природоохоронної освіти й розуміння громадськістю проблем навколишнього середовища;

- проблеми, пов'язані з впливом на навколишнє середовище воєн та їхні можливі екологічні наслідки.
- Отже, досягнення екології пов'язані з вирішенням низки найактуальніших завдань сучасності. Екологічні принципи поступово проникають у все ширше коло проблем діяльності людини. Зокрема, досягнення сучасної екологічної науки потрібно враховувати при створенні штучних екосистем, оволодінні глибинами Світового океану й Космічного простору, розвитку будівництва міст майбутнього, створенні автоматичних виробничих комплексів з штучним мікрокліматом, розробці планів господарювання із забезпеченням раціонального природокористування.

1.7. КОДЕКС ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕТИКИ СПЕЦІАЛІСТА

Перед загрозою всесвітньої екологічної катастрофи людство врешті-решт збагнуло, що воно існує й розвивається за рахунок природи. Тому від природи потрібно не безмежно брати, а тісно з нею співіснувати, постійно дбаючи про її відновлення та самовідтворення з метою забезпечення існуючої стійкої динамічної біологічної та екологічної рівноваги. Вся діяльність людства має бути спрямована на розвиток гармонійного співіснування з Матір'ю-Природою. Для всіх інженерів, зайнятих професійною діяльністю, Всесвітня федерація інженерних організацій розробила Кодекс екологічної етики. Сім заповідей, що входять до цього кодексу, мають стати своєрідною «клятвою Гіппократа» для інженерів, які беруться за активне опанування рідного Дому – планети Земля:

1. Повною мірою використовуючи свої здібності, виявляйте сміливість духу, ентузіазм і самовідданість у досягненні найвищих технічних результатів, які сприятимуть розвитку людства.

2. Досягайте кінцевої мети вашої роботи при якомога меншому споживанні сировини й енергії з мінімумом відходів і будь-яких забруднень.

3. Особливу увагу приділяйте осмисленню наслідків ваших пропозицій і дій: умисних і випадкових, поточних і довгострокових, враховуючи при цьому їхній вплив на здоров'я людей, додержання соціальної справедливості та прийнятої системи цінностей.

4. Ретельно вивчайте навколишнє середовище, на яке буде спрямовано вплив; аналізуйте всі зміни, що можуть виникнути в екосистемах, вибирайте оптимальне з еколого-економічного погляду вирішення.

5. Сприяйте вжиттю заходів для відновлення і, якщо можливо, поліпшення стану навколишнього середовища. Включайте ці заходи до ваших розробок.

6. Відхиляйте будь-які пропозиції, що завдають шкоди природі, приймайте найкраще соціальне й політичне рішення.

7. Пам'ятайте, що принципи взаємозалежності екосистем, збереження ресурсів та взаємної гармонії є основою нашого подальшого існування, вони – межа, яку переступати не можна.



Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:

- 1) пояснити зміст і значення курсу загальної екології взагалі і прикладної зокрема;
- 2) знати історію розвитку екології;
- 3) перелічити завдання та проблеми сучасної екології;
- 4) пояснити зв'язок екології з охороною навколишнього природного середовища та іншими науками;
- 5) охарактеризувати екологічний стан в Україні;
- 6) керуватися в повсякденній роботі Кодексом екологічної етики спеціаліста.



Запитання і завдання для самостійної роботи

1. У чому полягають завдання загальної теоретичної (біоекології) і прикладної екології? Наведіть приклади.
2. Які основні етапи можна виділити у формуванні науки «екологія»? Який внесок українських учених у становлення цієї науки?
3. Як пов'язана екологія з біологічними та іншими науками?
4. На які рівні організації живої матерії поширюється компетенція екології?
5. Який структурний склад екології і які питання вивчає кожний із структурних підрозділів?
6. Що є спільного і в чому полягає відмінність між загальною екологією та її підрозділом «Охорона навколишнього природного середовища»? Відповідь поясніть на прикладах.
7. Схарактеризуйте екологічний стан в Україні та сформулюйте основні завдання щодо покращення екологічної ситуації в країні.
8. Що призвело до екологічної кризи в Україні?
9. Сформулюйте екологічні проблеми сучасності. Вирішення яких завдань вони потребують?
10. У чому полягає, сутність Кодексу екологічної етики спеціаліста та на вирішення яких завдань він спрямований?

Розділ 2 ВСЕСВІТ, ЗЕМЛЯ І БІОСФЕРА

2.1. ВСЕСВІТ І ЗЕМЛЯ

Всесвіт

Під Всесвітом ми розуміємо все, що нас оточує: Сонце і планети Сонячної системи – Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон та супутник Землі – Місяць, зірки та їх сполучення, газові хмари і галактики. Всесвіт нескінченний у просторі і в часі. Найбільшим об'єктом Всесвіту є галактики, що являють собою зоряні системи, в яких налічують сотні мільярдів зірок. До складу нашої Галактики входить близько 150 млрд зірок, у тому числі Сонце. Схожим на нашу Галактику є скупчення зірок Туманність Андромеди. Галактики та їх сукупності перебувають у постійному русі. Також постійно рухаються і планети Сонячної системи нашої Галактики. Зірки – розжарені тіла, що випромінюють світло.

Наша планета Земля, на якій ми живемо, рухається навколо Сонця з швидкістю 30 км/с. Її орбіта наближається до правильного кола діаметром близько 300 млн км. Навколо Сонця рухаються всі інші планети Сонячної системи. Найближчими планетами до Землі є Венера і Марс. Планетою земної групи певною мірою вважають супутник Землі – Місяць, який знаходиться на відстані 874 тис. км від неї. Його середній радіус дорівнює 1738 км. Маса Місяця становить 1/82 маси Землі, на ньому немає води і атмосфери. За сучасними уявленнями, життя існує тільки на одній планеті Сонячної системи – Землі. На всіх інших планетах умови непридатні для життя.

На Землю падає сонячне випромінювання потужністю 1,36 кВт на квадратний метр поверхні, або 200 000 млрд кВт на всю поверхню земної кулі. Більшу частину цієї енергії Земля відбиває в космічний простір. Завдяки рівновазі між поглинутою і відбитою сонячною енергією на Землі підтримується більш-менш стала температура, за якої існує життя. Вчені підраховали, що енергія Сонця, накопичена у водні, дає йому змогу світити з нинішньою інтенсивністю близько 100 млрд років. Проте, якщо врахувати, що Сонце складається тільки на 70 % з водню і що ядерна реакція починає затухати при витратах 20 % ядерного палива, то Сонце може існувати близько семи мільярдів років.

Земля

За даними сучасної науки, розміри Землі такі: екваторіальний радіус – 6 378 245 м, полярний радіус – 6 356 863 м, площа поверхні – 510 млн км², об'єм – 10⁹ км³. Земля має форму геоїда (дослівно означає «землеподібний»), який стиснутий з полюсів і меншою мірою – по екватору. Маса Землі дорівнює 5,98 · 10²⁴ кг, щільність порід – 5520 кг/м³ і щільність більшості поверхневих порід – 2500-3000 кг/м³. У центрі Землі надзвичайно великий тиск -3,5 млн МПа. Ядро Землі, як вважають учені, складається і) заліза, тому наша планета має магнітні властивості. Магнітне поле Землі неодноразово змінювало свій напрям і її магнітні полюси не збігаються з географічними. Магнітне поле Землі утворює *магнітосферу* – ділянку навколосемного простору, в якому напруженість її електромагнітного поля перевищує напруженість такого самого поля космічного простору. Спостерігаються закономірні зміни магнітного поля, а також відомі магнітні бурі, які починаються раптово і можуть тривати декілька днів.

На планеті Земля розрізняють кілька геосфер: літосферу, гідросферу, атмосферу (рис. 2.1). *Літосфера* (грец. «літос» – камінь) – зовнішня тверда оболонка земної кулі, складається з осадових, вивержених і метаморфічних порід. Товщина літосфери на континентах і під океаном різниться і становить у середньому відповідно 25-200 і 5-100 км. Земля складається з трьох оболонок – кори, мантії та ядра. Мантія і ядро поділяються на внутрішні й зовнішні частини. Земна кора – тонка верхня оболонка Землі, яка має товщину на континентах 40-80 км, під океаном – 5-10 км і становить близько 1% маси Землі.

Температура на поверхні Землі змінюється від 100 °С (пустелі) до 70...-80°С (Антарктика). З глибиною температура поступово стабілізується і на певній глибині від поверхні є пояс сталої температури, що дорівнює середньорічній температурі місцевості. Нижче від поясу сталої температури під впливом внутрішньої теплоти Землі температура поступово підвищується на 1°С на кожні 33 м глибини.

Основні елементи Земної кори – кисень, силіцій, водень, алюміній, залізо, магній, кальцій і натрій, які утворюють 95 % її маси. На континентах земна кора має три прошарки: верхній – осадові породи, середній – граніти, гнейси, лабрадорити і габро, нижній – базальти. Під океанами два прошарки: осадові породи, що залягають на базальтах. Літосфера є середовищем усіх мінеральних ресурсів. У верхній частині континентальної земної кори утворені ґрунти. Залежно від кліматичних і геолого-географічних умов ґрунти мають товщину від 15-25 см до 2-3 м.

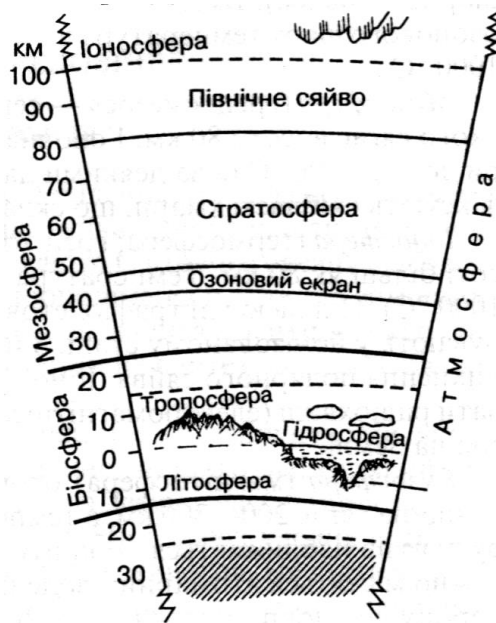


Рис. 2.1. Геосфера Землі

Атмосфера (грец. «атмас» – пара) – це газова оболонка Землі, маса якої становить $5,15 \cdot 10^{15}$ т. Упродовж трьох мільярдів років з моменту виникнення атмосфери її склад і властивості неодноразово змінювалися, однак упродовж останніх 50 млн років, за припущенням учених, вони стабілізувалися. Якби атмосфери не існувало, то коливання добової температури сягали б ± 200 °С. Атмосфера простирається вгору на 100 км. В ній виділяють тропосферу, стратосферу, мезосферу, іоносферу та екзосферу. Крім того, за хімічним складом атмосферу Землі поділяють на нижню (до 100 км) – гомосферу, яка має склад, подібний до приземного повітря, і верхню – гетеросферу неоднорідного хімічного складу.

Тропосфера (грец. «троп» – зміна) – це нижня частина атмосфери, яка прилягає до літосфери і в якій знаходиться понад 80 % усієї маси. Її висота визначається інтенсивністю вертикальних потоків повітря, викликаних нагріванням земної поверхні. Тому на екваторі її висота сягає 16-18 км, у помірних широтах – до 10-11 км, а на полюсах – до 8 км. З висотою температура повітря закономірно знижується в середньому на 0,6 °С на кожні 100 м і на висоті 10-15 км досягає -60...-70 °С. Цей шар атмосфери істотно впливає на клімат Землі. У ньому містяться значні маси води (у вигляді водяної пари і хмар), пилу й диму, що переміщуються повітряними потоками на великі відстані.

Стратосфера (лат. stratum – шар) знаходиться вище від тропосфери і простягається на висоту 50-55 км над Землею. У ній міститься озоновий шар (25-40 км). Вміст озону в атмосфері є до 70 км. Завдяки наявності озонового шару температура в стратосфері зростає залежно від висоти до 1000 °С.

Мезосфера (грец. «мезос» – середній) – шар атмосфери, верхня межа якого сягає висоти 80 км. Головна її особливість – зниження температури до -75...-90 °С (а за деякими даними -120 °С) у її верхній частині. Тут фіксують сріблясті хмари, що складаються з кристаликів льоду.

Іоносфера (термосфера; грец. «термес» – теплий) розміщується на висоті більш як 80 км. Температура в цій зоні значно підвищується (понад 1000 °С). Під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця гази перебувають у йонізованому стані. З йонізацією пов'язане світіння газів і виникнення полярного сяйва. Іоносфера має здатність багаторазово відбивати радіохвилі (електромагнітні хвилі), що забезпечує дальній радіозв'язок на Землі.

Екзосфера (магнітосфера) оточує Землю на висоті понад 800 км. Її товщина сягає 200-300 км, а температура перевищує 2000 °С. Швидкість руху газів наближається до критичної величини – 11,2 км/с. У ній переважно містяться атомарний водень і гелій, які утворюють навколо Землі корону, що поширюється на висоту 20 тис. км.

Атмосфера Землі відіграє величезну роль в існуванні біосфери. Проте не менш важливе значення для життя, зокрема процесів його зародження (і рої витку, має водна оболонка Землі – гідросфера).

Гідросфера (грец. «гідор» – вода) – це водна оболонка Землі, яка включає Світовий океан, води суші (ріки, озера, болота, льодовики) та підземні води. На частку Світового океану припадає 631 млн км² поверхні земної кулі, тобто 70,8 %. Температура океанської і морської води постійно змінюється як на поверхні, так і в глибині, і залежить переважно від клімату й погоди. В екваторній зоні вона становить близько 30-35 °С, а в полярних морях знижується до 0...-2 °С. Велика маса океанічних вод, які перебувають у постійному русі завдяки неоднаковій інтенсивності прогрівання поверхні на різних широтах, має велике значення для формування клімату та інших екологічних факторів. Океанічні й морські води мають приблизно однаковий хімічний склад. Крім солей, у морській воді розчинені гази (оксид вуглецю (IV), кисень, азот). Загальну кількість води на планеті оцінюють від 1,5 до 2,5 млрд м³.

На один гектар земної поверхні припадає 30-50 млн м³ води. Об'єм підземних вод становить близько 60 млн км³. На частку льодовиків припадає 1,74 % загальних запасів води III планети і 68,7 % – загальних запасів прісної води, об'єм яких перевищує 35 млн км³.

Гідросфера не є суцільною, оскільки в багатьох місцях її переривають материки і континенти, що виступають над рівнем Світового океану. На земній поверхні протікають сотні тисяч річок, що поповнюються дощовими опадами і підземними водами. Річки займають загальну площу 148,2 млн км², але об'єм води не перевищує $1,2 \cdot 10^3$ км³, що становить 0,0001 % загального запасу і 0,006 % запасу прісної води. Води в атмосфері приблизно в 12 разів більше, ніж у річках Землі, – $1,4 \cdot 10^4$ км³.

2.2. ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Походження життя

Згідно з уявленнями О. Опаріна і Дж. Холдейна, на початку геологічної історії під впливом сонячної радіації, вулканічної теплоти, розрядів блискавок та інших факторів у водах первісного Світового океану відбувся абіогенний синтез органічних сполук і біополімерів з простих хімічних сполук. Складні молекули амінокислот об'єднувалися в пептиди, які були початком утворення первинних білків. З останніх синтезувалися первісні живі організми мікроскопічних розмірів.

Ця гіпотеза, як і багато інших їй подібних, має істотний недолік, який полягає в тому, що до останнього часу немає жодного факту, який би підтвердив можливість абіогенного синтезу на Землі хоча б найпростішого живого організму з неорганічних сполук. Нині серед учених широко підтримується принцип Реді: «Живе – лише від живого». Не підтверджують цієї гіпотези й геологічні дослідження. Нині палеонтологи виявили в породах, вік яких 3,8 млрд років і близький до часу утворення планети Земля (4 – 4,5 млрд років тому, за сучасними оцінками), викопні рештки досить складних організмів – бактерій і синьозелених водоростей. В. Вернадський вважав, що життя – така сама вічна основа Космосу, якими є матерія та енергія. Земна форма життя тісно пов'язана з гідросферою. Про це свідчить той факт, що вода є основною складовою маси будь-якого земного організму. Так, маса людини більш ніж на 70 % складається з води.

Отже, всі відомості, якими на сьогодні володіє наука, стверджують, що життя на Землі виникло з початку її існування «від всепроникної загальногалактичної живої системи» (Ч. Вікрамасінхе).

Біосфера

Біосфера (грец. «біос» – життя, «сфера» – сфера, куля) – уявна оболонка Землі, яка включає частини атмосфери, гідросфери і літосфери, заселені живими організмами. З усіх сфер Землі літосфера і гідросфера найтісніше пов'язані з життям. Так, осадові породи Світового океану і ґрунти літосфери є сумішшю живої й неорганічної речовин. Ця суміш спостерігається в усіх сферах Землі і утворює найактивнішу плівку життя, яку називають біосферою. Остання охоплює верхню частину літосфери, всю гідросферу і нижню частину атмосфери – тропосферу (див. рис. 2.1). Нижня межа життя проходить по літосфері на глибині 2-3 км, верхня – на верхній частині тропосфери – 20-22 км. Межі біосфери зумовлюються цілою низкою факторів. Важливою причиною нерівномірного розміщення живих організмів в атмосфері є наявність сил гравітації та космічне випромінювання. Існуванню живих організмів на великих глибинах літосфери заважає висока температура земних надр. У гідросфері живі організми зустрічаються і на максимальних глибинах.

Центральною ланкою біосфери виступають живі організми, включаючи людину. Перші уявлення про біосферу як «зону життя» належать французькому натуралісту Ж. Б. Ламарку (1802). Термін «біосфера» вперше запропонував у 1875 р. австрійський геолог Е. Зюсс. Науково обгрунтував учення про біосферу в 1926 р. видатний український учений, засновник і перший президент Академії наук України В. І. Вернадський. Він довів, що живі організми мають вирішальний вплив на всі геологічні процеси, які формують обличчя Землі. Саме життєдіяльністю живих організмів зумовлюється хімічний склад атмосфери, концентрація солей у гідросфері, утворення й руйнування гірських порід, утворення ґрунтів тощо. Живі організми не тільки пристосовуються до умов зовнішнього середовища, а й активно їх змінюють.

Усю сукупність живих організмів у біосфері В. І. Вернадський назвав «живою речовиною», яка складає єдину термодинамічну систему (оболонку, простір) та в якій зосереджується життя і відбувається постійна взаємодія всього живого з абіотичними умовами середовища. Як основні характеристики живої речовини він розглядав масу (біомасу), хімічний склад і енергію.

Основними компонентами біосфери є:

- 1) жива речовина – рослини, тварини та мікроорганізми;
 - 2) біогенна речовина – органічні та органомінеральні продукти, створені живими організмами впродовж геологічної історії: кам'яне вугілля, горючі сланці, торф, нафта та ін.;
 - 3) нежива (косна) речовина – гірські породи неорганічного походження і вода, які являють собою субстрат або середовище для проживання живих організмів;
 - 4) біокосна речовина – результат синтезу живої та неживої речовин: осадові породи, кора вивітрювання, ґрунти, мули (підводні ґрунти);
 - 5) радіоактивне, електромагнітне та інші види випромінювання; космічна речовина (метеорити та ін.).
- Згідно із законом *фізико-хімічної єдності живої речовини* (сформульованим В. І. Вернадським), уся

жива речовина має єдину фізико-хімічну природу.

На основі узагальнення досліджень у геології, палеонтології, біології та інших природничих наук В. І. Вернадський дійшов висновку, що в біосфері «встановилася рівновага в основних своїх рисах ... з археозою і не імінно діє впродовж 1,5-2 млрд років.» Стійкість біосфери за цей час виявляється в сталості загальної маси (10^{19} т), енергії, зв'язаної живою речовиною ($4,21 \cdot 10^{18}$ кДж), і середнього хімічного складу всього живого. Дії унікальних особливостей живої речовини, які зумовлюють високу перетворювальну діяльність, належать такі:

1. Здатність швидко освоювати весь вільний простір. Це пов'язано як з інтенсивним розмноженням, так і зі здатністю організмів інтенсивно збільшувати поверхню свого тіла або утворених ними співтовариств.

2. Рух не тільки пасивний (під дією гравітаційних сил тощо), а й активний. Наприклад, проти течії води, сили гравітації, руху повітряних потоків тощо.

3. Стійкість за життя і швидке розкладання після смерті (включення в колообіги).

4. Висока здатність пристосовуватися (адаптація) до різних умов і в зв'язку з цим освоєння не лише всіх середовищ життя (водного, наземно-повітряного, ґрунтового і організменого), а й надзвичайно важких за фізико-хімічними параметрами умов.

5. Надзвичайно велика швидкість перебігу реакцій. Вона на кілька порядків (у сотні, тисячі разів) більша, ніж у неживій речовині. Наприклад, гусінь деяких комах переробляє за день поживи в 100-200 разів більше за масу їхнього тіла. Дошові черв'яки за 100-200 років пропускають через свої організми весь однометровий шар ґрунту. За уявленнями В. І. Вернадського, практично всі осадові породи завтовшки до 3 км на 95-99 % перероблені живими організмами. Навіть такі колосальні запаси води, що містяться в біосфері, розкладаються в процесі фотосинтезу за 5-6 млн років, карбонатна кислота проходить через живі організми в процесі фотосинтезу кожні 6-7 років.

6. Висока швидкість оновлення живої речовини. Підраховано, що в середньому для біосфери оновлення живої речовини становить 8 років, тоді як для суші – 14 років, а для океану, де переважають організми з коротким періодом життя (наприклад, планктон), – 33 дні. В результаті високої швидкості оновлення живої речовини за всю історію існування життя загальна маса живої речовини, яка пройшла через біосферу, приблизно в 12 разів перевищує масу Землі. Тільки незначна її частина (частки відсотка) законсервовані у вигляді органічних решток (за В. І. Вернадським, «пішла в геологію»), решта ж включилась у процеси колообігу.

Усі перелічені та інші властивості живої речовини зумовлюються концентрацією в ній значних запасів енергії.

Уся діяльність живої речовини в біосфері зводиться до кількох основоположних функцій. Це насамперед *енергетична*, яка пов'язана з накопиченням енергії в процесі фотосинтезу, передавання її по ланцюгу живлення та розсіюванням. *Газова функція* – це здатність змінювати й підтримувати певний газовий склад середовища проживання. Так, включення вуглецю в процеси фотосинтезу, а потім у ланцюги живлення зумовлюють акумуляцію його в біогенній речовині (органічні рештки, вапняки тощо). В результаті цього відбувається поступове зменшення вмісту вуглецю та його сполук, передусім оксиду карбону (IV) в атмосфері з десятків відсотків до 0,03 %. Це саме стосується й накопичення в атмосфері кисню, синтезу озону та інших процесів.

Окисно-відновна функція пов'язана з інтенсифікацією під впливом живої речовини процесів як окиснення, завдяки збагаченню середовища киснем, так і відновлення, насамперед у тих випадках, коли відбувається розкладання живих речовин за дефіциту кисню. Відновлювальний процес зазвичай супроводжується утворенням і накопиченням гідрогенсульфіду, а також метану. Це робить нежиттєпридатними глибинні прошарки боліт, а також значні природні товщі вод (наприклад, у Чорному морі).

Концентраційна функція пов'язана зі здатністю організмів концентрувати в своєму тілі розсіяні хімічні елементи. Це сприяє підвищенню їх вмісту порівняно з навколишнім середовищем на кілька порядків. Наприклад, у тілі окремих організмів вміст мангану збільшується в мільйони разів. Наслідком концентраційної діяльності організмів є утворення покладів горючих копалин, вапняків, рудних родовищ тощо.

Деструктивна функція – це руйнування організмами та продуктами їх життєдіяльності, в тому числі й після їх смерті, як власне решток органічної речовини, так і косної речовини. Основний механізм цієї функції пов'язаний з колообігом речовин. Найістотнішу роль тут виконують редуценти – деструктори (гриби, бактерії).

Транспортна функція пов'язана з перенесенням речовини та енергії в результаті активного руху організмів. Такі перенесення можуть здійснюватися на великі відстані, наприклад під час міграцій тварин.

Середовищеутворювальна функція значною мірою є інтегративною (результат спільної дії інших функцій). З нею пов'язана зміна фізико-хімічних параметрів середовища. В широкому розумінні результатом цієї функції є все природне середовище, яке створене живими організмами і підтримується ними у відносно стабільному стані в усіх геосферах. У вузкому плані ця функція виявляється в утворенні ґрунтів, очищенні повітря від забруднень тощо. Серед інтегративних функцій автори виділяють ще одну – *споживально-відтворювальну*, яка визначає швидкість (інтенсивність) процесів життя живої речовини біосфери. Дія цієї функції визначає динаміку споживання та відтворення відновних природних ресурсів, а також стійкість екосистем зокрема та біосфери в цілому. На оптимальних значеннях цієї функції базується раціональне природокористування, за якого споживання

природних ресурсів має прагнути до мінімуму, а відтворення їх – до максимуму.

Розсіювальна функція виявляється через трофічну і транспортну діяльність організмів та в процесі здійснення антропогенних ресурсних циклів. Наприклад, розсіювання речовини при виділенні організмами екскрементів, загибелі організмів під час переміщень у просторі, зміна покривів, перероблення первинної сировини на продукти та їх споживання тощо.

Важливою є також *інформаційна функція* живої речовини, яка виражається в тому, що живі організми та їх співтовариства накопичують певну інформацію, закріплюють її в спадкових структурах і потім передають наступним поколінням. Це один з проявів адаптаційних механізмів.

Біосфера належить до *відкритих систем*, існування якої не уявляється без надходження енергії ззовні. Вона зазнає дії космічних сил, передусім сонячної активності. А. Л. Чижевський уперше довів, що багато явищ на Землі та в біосфері пов'язані з активністю Сонця. Існує також думка, що сонячна активність діє на різні геологічні процеси (катаклізми, катастрофи), а також на соціальну активність людського суспільства.

Біосфера є *саморегулювальною системою*, для якої, як зазначав В. І. Вернадський, характерна організованість. Цю властивість на сучасному етапі називають гомеостазом, маючи на увазі здатність повертатися у вихідний стан, гасити збурення, що виникають, включенням ряду механізмів. Біосфера за свою історію пережила чимало таких збурень, багато з яких були значними за масштабами (виверження вулканів, зустрічі з астероїдами, землетруси, гороутворення тощо). Проте вона справлялася з ними за допомогою гомеостатичних механізмів. Згідно з *законом історичної необоротності*, розвиток біосфери й людства як цілого не може відбуватися під пізніших фаз до початкових, загальний процес розвитку однонаправлений.

Біосфера характеризується великим різноманіттям, що зумовлюється річними середовищами життя (водне, наземне – повітряне, ґрунтове, організмене), різноманіттям природних зон з їх різними кліматичними, гідрологічними, ґрунтовими, біотичними та іншими властивостями, а також наявністю регіонів, які різняться за хімічним складом. Головне ж полягає в тому, що в біосфері поєднується величезна кількість елементарних екосистем з властивим їм видовим різноманіттям. На сьогодні описано близько 2 млн видів (приблизно 1,5 млн видів тварин і 0,5 млн – рослин). Гадають, що їх число на Землі в 2-3 рази більше, ніж описано. Не враховано багато комах і мікроорганізмів, що проживають у тропічних лісах, глибинних частинах океанів та інших малодоступних місцях.

Усі функції живих організмів у біосфері можуть виконуватися тільки завдяки їх величезному різноманіттю, яке є основною умовою стійкості будь-якої екосистеми та біосфери загалом (*закон Ешбі*).

Важливою властивістю біосфери є наявність у ній механізмів, які забезпечують колообіг речовин і пов'язану з ним невичерпність окремих хімічних елементів та їхніх сполук. Якби не було колообігу, за короткий проміжок часу був би вичерпаний основний «будівельний матеріал» – вуглець, який практично один здатний утворювати міжеlementні (карбон-карбоніві) зв'язки і створювати величезну кількість органічних сполук. Тільки завдяки колообігам та постійному притоку сонячної енергії забезпечується безперервність процесів у біосфері.

В. І. Вернадський сформулював основний *закон константності біосфери*: «Кількість живої речовини є планетною константою з часів архейської ери, тобто за весь геологічний час». Упродовж цього часу живий світ морфологічно безперервно змінювався, але такі зміни помітно не вплинули ні на кількість живої речовини, ні на її середній валовий склад, що пояснюється надходженням сталої кількості сонячної енергії на планету Земля.

Середовище

Середовище – всі тіла, явища, з якими організм має прями чи опосередковані взаємозв'язки. Сукупність усіх умов, що діють на організм, популяцію чи біоценоз, викликають відповідну реакцію, забезпечують їх існування, обмін речовин та потік енергії. Середовище включає всі екологічні чинники і є складовою частиною біогеосистеми. Розрізняють середовище абіотичне, біотичне і антропогенне. *Абіотичне середовище* – це всі тіла і явища неживої природи, які створюють умови проживання рослинних і тваринних організмів, чинячи на них прями чи опосередкований вплив. До абіотичного середовища можна віднести материнську природу ґрунту та її хімічний склад і вологість, сонячне світло, воду, повітря, природний радіаційний фон та ін.

Біотичне середовище – це сукупність живих організмів, які своєю життєдіяльністю впливають на інші організми. Одні з них можуть бути живленням для інших (трав'яна рослинність – для копитних) або середовищем проживання (хазяїн – для паразита), впливати хімічно, механічно чи іншим чином та сприяти розмноженню (комахи – запилювачі квіткових рослин). На відміну від факторів абіотичного середовища дія факторів біотичного середовища виявляється у взаємному впливі організмів різних видів у найрізноманітніших формах.

Антропогенне середовище – це природне середовище, яке прямо або опосередковано змінене внаслідок антропогенної (людської) діяльності. До антропогенних середовищ належать відкриті родовища, магістральні канали, рекреаційні зони та зони будівництва великих споруд тощо.

Спеціалізована установа ЮНЕСКО, що належить до Організації Об'єднаних Націй, сформулювала визначення *наркологічного середовища*, яке включає комплекс природних, антропогенних та соціальних факторів життя людини. До нього близькі за змістом поняття «техногенне середовище», «промислове середовище», «антропогенне середовище».

Під терміном «середовище життя» розуміють усе оточення, в якому відбувається розвиток живої

речовини з неживої матерії. При цьому мається на увазі вся сукупність абіотичних, біотичних та антропогенних факторів, в яких знаходиться особина, популяція, вид чи екосистема. Відносно біосфери під середовищем розуміють усі фактори, які діють на планеті Земля, в тому числі й космічні. До середовища життя людини належить усі вищезгадані фактори, а також соціальні компоненти, що включають соціальні, юридичні та морально-етичні відносини. В останньому випадку виділяють середовище природне та соціальне. *Соціальне середовище* – це сукупність матеріальних, суспільних і духовних факторів існування та діяльності людини.

Важливим параметром оцінки якості середовища є його стійкість, що визначається стабільністю всіх природних факторів, тобто гомеостазом. Різкі відхилення природного середовища від його звичайного стійкого стану розглядаються як стихійне лихо або катастрофа (повінь, урагани, пожежі, виверження вулканів тощо).

Для забезпечення нормальних умов життя живих істот, у тому числі й людини, потрібні умови природного середовища певної якості. Людина як соціальна істота намагається відокремитись від несприятливих факторів і створити власне антропогенне середовище.

Середовище динамічно змінюється під впливом усіх факторів взагалі і живих організмів та людини зокрема. В природоохоронній діяльності поняття «середовище» дещо звужується і здебільшого розглядається дія тільки абіогенних та деяких абіотичних факторів. Це не відтворює справжнього стану природного середовища і призводить до небажаних наслідків. При цьому складається ілюзорне уявлення про його стійкість.

2.3. ЕВОЛЮЦІЯ БІОСФЕРИ

Усі еволюційні теорії, включаючи і теорію Ч. Дарвіна, базуються на уявленні про розвиток від простого до складного. В ранньому архейі (4- 5 млрд років тому), як вважають учені, сформувалася сонячна система, утворилася планета Земля з осадовими та іншими стародавніми твердими породами, відбулася конденсація океану. Атмосфера майже не містила кисню (максимум 0,1 % сучасного вмісту), проте була багата на оксид карбону (IV), метан та різними сполуками нітрогену, тобто існувала відновна атмосфера.

У ранньому докембрії (2,5-3 млрд років тому) відбулося зледеніння, нашарування покладів заліза. В гідросфері утворилися перші з відомих прокариотів (ймовірно, синьозелені водорості). Вода почала насичуватись киснем, який утворювався з оксидів феруму в аеробному середовищі. Особливих змін склад повітря зазнав у середньому докембрії (приблизно 2 млрд років тому), коли утворилися перші фотосинтезуючі організми і фіксатори азоту (рис. 2.2). Цей процес розвивався до появи через 0,5 млрд років еукаріотів. В результаті значна кількість кисню почала надходити в повітря, яке одночасно збіднювалось на вуглекислий газ.

Припускають, що приблизно 1 млрд років тому в атмосфері уже містилося близько 1 % сучасної кількості кисню, одночасно з'являється атмосферний озон. У цей період важливу роль відіграла фотосинтезуюча активність фітопланктону, який швидко накопичувався в біосфері. В літосфері відбувалася інтенсивна вулканічна діяльність, а також докембрійське зледеніння. Кількість утвореного озону вже була достатньою для затримання надлишку ультрафіолетової сонячної радіації. Це сприяло подальшому розвитку органічного життя в поверхневому шарі вод Світового океану.

Понад 700 млн років тому (палеозойська ера) з'явилися багатоклітинні організми, вміст кисню в атмосфері збільшується до 3-10 % сучасного. Понад 600 млн років тому в біосфері розпочався найважливіший еволюційний процес і заселення материків живими істотами. Першими були нижчі автотрофні рослини. Однак вирішальним, фундаментальним чинником була поява близько 500 млн років тому судинних рослин. Голонасінні рослини з'явилися у девонському періоді (350 млн років тому), квіткові (покритонасінні) рослини та тварини – ссавці – наприкінці юрського періоду (100 млн років тому). Поширення вищих рослин і тварин на суші супроводжувалось різким збільшенням кількості кисню в атмосфері, вміст якого збільшився до 50 % сучасного на початку крейдового періоду.

Сучасна біосфера створилася в результаті тривалої еволюції завдяки сприятливому поєднанню космічних, геохімічних та геофізичних факторів. Однак вирішальну роль відіграв біологічний фактор з появою організмів, здатних здійснювати фотосинтез. Завдяки останньому за наявності сонячної радіації з вуглекислого газу, води та мінеральних елементів синтезувались усі органічні субстанції, які були необхідні для життя. Поява хлорофільних рослин на суші відіграла істотну роль не лише в різкому збільшенні вмісту кисню в атмосфері. Поряд з кліматичними факторами діяльність судинних рослин і тварин була вирішальною в процесі утворення ґрунтів.

Упродовж геологічних періодів значні маси органічних речовин були «напрацьовані» автотрофними організмами. Більша частина органічної продукції не брала участі в колообігу, а накопичувалася в континентальних осадових породах і ґрунтах. Свідками масштабності цих явищ є потужні родовища викопного палива (кам'яне й буре вугілля, нафта). Ці родовища створювались впродовж сотень мільйонів років. Наслідком цього було збіднення первинної атмосфери на вуглекислий газ та збагачення її на кисень. З цієї самої причини весь кисень, вироблений автотрофними прокариотами на початку докембрії, не залишався в атмосфері, а вступав у хімічну взаємодію з мінералами та гірськими породами, які лежали на поверхні.

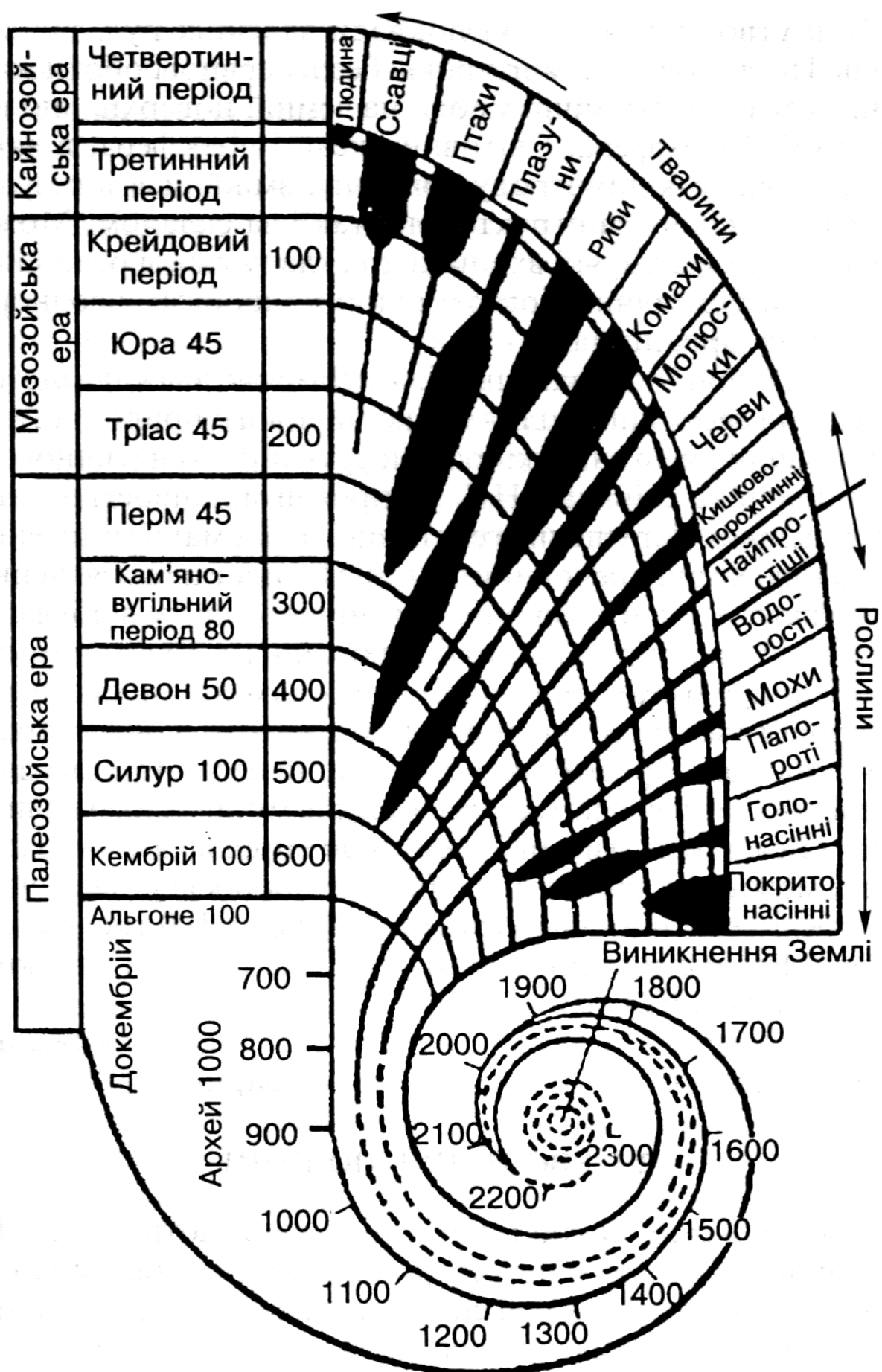


Рис. 2.2. Спіраль часу (за Л. Ф. Кейраном)

Так утворилися великі поклади залізних руд, вік яких сягає 2 млрд років. Поступово за 2 млрд років безперервної роботи живих організмів змінилися фізико-хімічні умови на земній поверхні, що існували в ранньому археї. Атмосфера, Світовий океан і літосфера, в якій осадові породи мають багатокілометрову товщину, змінилися в результаті біогеохімічних процесів як за структурою, так і за складом. Можна стверджувати, що всі елементи, які входили до складу живої речовини, беручи участь у численних складних біогеохімічних колообігах, неодноразово побували в різних організмах.

Французький природознавець Ж. Б. Ламарк вважав, що основною рушійною силою еволюції є вплив навколишнього природного середовища. Як установили вчені завдяки розшифруванню генетичного коду, носієм якого є подвійна спіраль ДНК, усі прояви мінливості організмів відбуваються внаслідок порушення генетичної інформації мутагенними факторами (радіація, хімічні речовини тощо). На підставі досягнень генетики можна стверджувати, що еволюція органічного світу відбувається в результаті мутацій, які спричинюють відхилення в генетичному коді під впливом активних мутагенних факторів навколишнього середовища. Якщо нові властивості сприятливі для організму, вони закріплюються природним добром. Проте більшість мутацій несприятлива для організмів. Так, особини, що з'являються на світ після мутагенного впливу радіації та хімікатів, є нежиттєздатними і поступово вироджуються. Загалом процес еволюції можна розглядати як збільшення обсягу генетичної інформації. Так, обсяг генетичної інформації у ссавця в 100 тис. разів більший, ніж у бактерії. Велике значення мають не лише розміри (довжина і маса) генного ланцюжка, а й його структура.

Отже, в процесі еволюції відбувалося поступове виникнення і розвиток все більш високоорганізованих рослин і тварин.

2.4. ЕВОЛЮЦІЯ ЛЮДИНИ

Сучасні дослідження антропологів підтверджують думку Ч. Дарвіна про те, що найближчими нашими родичами є людиноподібні мавпи. Перші примати лінії антропоїдів еопітеки з'явилися в міоцені приблизно 10 млн років тому, коли вміст кисню в атмосфері був близьким до сучасного і відбулося значне збільшення видового різноманіття рослинного й тваринного світу. Нашими рідними братами, як показали генетичні дослідження, були шимпанзе та горили. Молекули ДНК їхніх організмів і людини різняться лише на 2 %. Згідно з розрахунками генетиків, людина відокремилась від людиноподібних приматів близько 5 млн років тому. Скелетні залишки австралопітеків – попередників людини – знайдені в східній Африці (Танзанія, Ефіопія), за анатомічною будовою дуже близькі до карликового шимпанзе. Ці примати, невисокі на зріст, жили приблизно 4,5 млн років тому. Об'єм їх мозку, за розрахунками, становив 400-600 см³.

Еволюція людини відбувалася надзвичайно стрімкими темпами і не має аналогів серед інших видів тваринного світу. Так, коню на його еволюцію від палеогенового предка гіпаріона до сучасного стану знадобилося близько 60 млн років.

На еволюцію людини значний вплив мали різні мутагенні фактори (підвищений радіаційний фон та ін.), які спричинили перебудову організму гомінід. Зміни в будові черепа призвели до втрати ікол. Нижні кінцівки перетворилися на ноги, що призвело до зменшення швидкості лазання по деревах. Мутанти були набагато тендітнішими за своїх попередників гомінід із західної Африки – шимпанзе та горил. І тільки використання знарядь праці для добування їжі допомогли їм вистояти в боротьбі за своє існування. Використання кам'яних знарядь (рубила та ін.), їх обробка та вдосконалення зумовили вдосконалення самих людиноподібних гомінід.

На зміну австралопітекам понад мільйон років тому прийшли представники роду гомо габіліс (*Homo habilis* – людина вміла), потім на зміну їм приходять людина гомо еректус (людина випрямлена) та архантропи (неандерталець і синантроп). Проте за сучасними уявленнями антропологів, ніхто з них, навіть неандерталець, не були нашими предками, як це вважалося раніше. Вони були тупиковими відгалуженнями еволюційного дерева людини.

Новітні дослідження з використанням розшифровки інформації, що міститься в макромолекулах білків і нуклеїнових кислот, зокрема в молекулах ДНК (внаслідок мутацій ДНК змінює свою структуру впродовж 1 млн років на 3 %), дали змогу встановити, що перші люди сучасного типу (*Homo sapiens* – людина розумна) з'явилися приблизно 200 тис. років тому. Порівняння ДНК різних расових груп свідчать, що найстаріша вона у африканців (200 тис. років), азіатська – 100 тис. років і європейська – 50 тис. років. Отже, можна зробити висновок що первісна сучасна людина з'явилася в Африці і потім розселилася в Азію, Європу та по інших материках. Паралельно з гомо сапієнс упродовж тривалого часу жили більш примітивні архантропи – неандертальці. Гомо сапієнс поступався їм фізичною силою, але переважав за рівнем інтелекту і вмів виготовляти досконаліші знаряддя. На думку деяких антропологів, неандерталець не мав також такої переваги, як членороздільна мова, якою володів гомо сапієнс.

Еволюція людини відрізнялася своєю незвичайністю, яка полягає в тому, що на відміну від інших організмів вона не пристосовувалася до природи, а прагнула ніби відокремити її від себе. Про це свідчать використання одягу, житла, вогню, знарядь праці тощо. За допомогою останніх вона немовби відгороджується від навколишнього середовища і створює своє. В процесі еволюції людина дедалі більше змінює навколишнє середовище і вдосконалює власне. Нині зміни зовнішнього середовища стають загрозливими для існування самої людини. Якщо взяти до уваги, що мозок сучасної людини, як вважають учені, використовує не більше 2 % своїх можливостей, то можна собі уявити, які можливості самовдосконалення має гомо сапієнс у потенціалі і яких висот він може досягти в розвитку свого інтелекту. Тільки важливо, щоб ці здобутки були спрямовані на гармонізацію взаємовідносин з

природою, а не на її завоювання.

2.5. ЕВОЛЮЦІЯ АНТРОПОГЕННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ВЗАЄМОВІДНОСИН ЛЮДИНИ З БІОСФЕРОЮ

Упродовж багатомільйонної історії людства на Землі його взаємовідносини з навколишнім природним середовищем були неоднаковими і безперервно змінювалися. До відносно недавнього часу жодна з численних живих істот не загрожувала гомеостазу біосфери. І тільки з появою нашого предка гомо габліса (наприкінці третинного періоду, близько 1,5-1,7 млн років тому) ці взаємовідносини почали істотно змінюватися. Процес еволюції людини тривав понад мільйон років, перш ніж наші далекі предки палеоантропи взяли гору в конкурентній боротьбі з іншими ссавцями. Перші людиноподібні примати майже нічим не виділялись серед інших живих істот і жили в злагоді з навколишнім середовищем. Вони харчувалися частинами дикорослої рослинності, комахами та дрібними тваринами, тобто задовольнялися їжею, яку продукувала природа. Чисельність їх під кінець нижнього палеоліту сягала близько 125 тис. особин з густиною населення 0,00425 мешканця на один квадратний кілометр.

З появою гомо сапієнс близько кількох сотень тисяч років тому (за деякими даними близько 200 тис. років) розпочався новий (*перший*) етап у взаємовідносинах між ними та навколишнім природним середовищем, їхній вплив на біосферу починає створювати потенційну загрозу рівновазі в природі. Чисельність населення невпинно зростає, а з нею постійно, причому випереджаючими темпами зростають потреби в харчуванні, одязі тощо. Для задоволення потреби в їжі людина розпочинає полювати на великих диких тварин, одомашнює тварин і займається скотарством. Швидко відбувається розселення людей по всій території земної кулі. Чисельність населення 100 тис. років тому досягла 1 млн, а його густина становила вже 0,012 мешканця на один квадратний кілометр.

Вогонь був першим технічним завоюванням людини. Доти, доки людина не оволоділа вогнем, вона з екологічного погляду жила в злагоді та гармонії з природою. Вплив на природу наших далеких предків у палеоліті був обмеженим. Вони були, як і всі інші види, дітьми природи, що брали участь у колообігу речовин та енергії. Однак щойно первісні мисливці оволоділи вогнем, вони розпочали руйнівний наступ на навколишню природу. Використання вогню для загону й вилову дичини спричинило 100 тис. років тому виникнення першої екологічної кризи в біосфері, яка пов'язана з руйнуванням рослинного й тваринного світу в різних районах земної кулі. На місці лісів у західній частині Африки та Південно-Східної Азії з'явилися савани. Так само близько 10 тис. років тому індійці Північної Америки створили прерії- випалили ліси під пасовиська для бізонів. При цьому відчутно збіднювався і видовий склад великих хребетних, які населяли різні райони Землі. Так, близько 50 тис. років тому було знищено більше половини великих ссавців, що пережили далекий третинний період. Близько 12 тис. років тому мисливці верхнього палеоліту винищили понад 60 % великих ссавців, які населяли район Магрибу. В палеоліті індійці Північної Америки винищили мамонтів і стародавніх бізонів. У Південній Америці без допомоги людини були винищені гіліптонти та гігантські птахи.

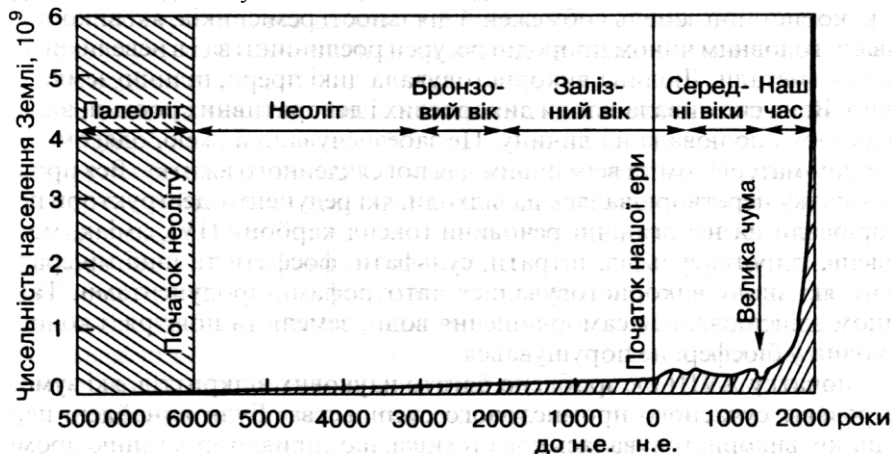


Рис. 2.3. Зростання чисельності населення земної кулі

На початку неоліту (рис. 2.3), близько 6 тис. років тому, з виникненням сільського господарства, стався нечуваний демографічний вибух. Чисельність населення досягла 26,5 млн чоловік, а його густина – одного чоловіка на квадратний кілометр. Безперечно, це була друга технічна революція в історії людства, завдяки якій закладаються основи класової структури суспільства, що збереглася в деяких країнах і до цього часу. Отже, розпочався *другий етап* в еволюції людського суспільства. Розвиток осілого землеробства спричинив перші істотні антропогенні потрясіння біосфери. Відбулося винищення великих представників фауни, яких пастухи вважали небажаними конкурентами свійських тварин у боротьбі за пасовиська. Однак особливо вплинуло на зміну екосистем землеробство. Лісові біоми спочатку замінюються пасовиськами, а потім полями сільськогосподарських культур. Ця технологія триває і до нашого часу. Розвиток сільського господарства супроводжується викориненням рослинного

покриву на значних площах і замінюється невеликим числом відібраних людиною видів, які найбільш придатні для харчування. Це призвело до бездумного і невиправданого масового винищення лісів на величезних територіях. Так, тільки в Китаї нині 5 % площі вкрито лісами, тоді як на початку неоліту вони займали не менш як 90 % території. Для сільського господарства відбирається невелике число видів рослин і тварин, що істотно збіднює різноманіття флори і фауни. Багато тварин використовують як тяглову силу. Відбувається значний приріст продуктів харчування за рахунок збільшення продуктивності полів і кількості механічної енергії, яка опиняється в розпорядженні людини.

Запровадження землеробства сприяло веденню осілого способу життя, значному збільшенню густоти населення і утворенню перших поселень – прообразу міст. Тоді як для мисливця палеоліту для задоволення життєвих потреб була необхідна площа 20 км², що потребувало значного розсосередження населення, землеробу палеоліту було достатньо кількох гектарів землі. Навчившись зберігати зерно, люди змогли створювати запаси їжі і перейшли до осілого способу життя. Невміле використання земель, зрошення непридатних для цього ґрунтів і нищівне випасання на пасовиськах мали катастрофічні наслідки для врожайності землі. Це сприяло перетворенню родючих земель на безплідні пустелі.

Незворотні зміни навколишнього середовища в багатьох районах Землі відбувались аж до початку нашої ери. Нині там, де була колись колиска нашої цивілізації (південь Палестини, північні райони Сирії і Месопотамії до східної частини Ірану) і ще 10 тис. років тому буяли родючі ниви та пасовиська, поступово були винищені ліси, деградували ґрунти і утворилися пустелі.

До недавнього часу, незважаючи на видатні досягнення науки і техніки, майже всі суспільні формації мали спільну економічну основу, яка будувалася на землеробстві. Ні інтенсивна індустріалізація, ні зростання міст істотно не впливали на зміну способу життя. Більшість населення існувала за рахунок сільського господарства. При цьому не змінився колообіг речовин і енергії. Людина завжди залишалась складовою частиною природних екологічних процесів. З часів зародження землеробства і до середини XIX ст. нашої ери – *третьої етап* – екосистема людини базувалась на використанні земель і обмеженій діяльності ремісників, які використовували головним чином природні ресурси рослинництва і в невеликій кількості – метали. Людина використовувала дикі прерії, цілині землі, ліси тощо. Вона споживала плоди дикорослих і декоративних рослин, випасала худобу і полювала на дичину. Це забезпечувало її їжею, одягом, будівельним матеріалом та всім іншим для повсякденного вжитку. Вся продукція вжитку перетворювалася на відходи, які редуценти-деструктори перетворювали на неорганічні речовини (оксид карбону (IV), аміак, метан, водень, гідрогенсульфід, нітрати, сульфати, фосфати та інші мінеральні солі), які знову використовувалися автотрофами-продуцентами. Таким чином здійснювалося самоочищення води, земель та повітря, і колообіг речовин у біосфері не порушувався.

З початку XVIII ст. зроблено багато наукових відкриттів, які зумовили розквіт сучасного промислового суспільства. Були винайдені перші машини, використовувалась нова техніка, що сприяло зростанню промисловості. Запроваджено нові, продуктивніші рослинні культури, що сприяло підвищенню ефективності землеробства й тваринництва. Це привело до стрімкого зростання чисельності населення, яка на початок XIX ст. досягла 1 млрд чоловік, а його густина – 6,2 чоловіка на один квадратний кілометр. У другій половині XIX ст. – *четвертій етап* – разом з появою сучасної індустрії зміни стали ще істотнішими. Кількість біоценозів, які використовує людина, значно зменшується. В сільській місцевості вирощують монокультури. Будуються великі міста, знищуються залишки дикої рослинності, ліси й болота, некорисні з погляду людини. Дикі тварини майже повністю витісняються. Таким чином, катастрофічно зменшується видове різноманіття рослин і тварин, що є однією з основних причин порушення екологічної рівноваги в природі.

Порушується споживально-відтворювальна функція біосфери. Людина споживає більше ресурсів, ніж може їх відтворити природа. Порушується колообіг речовин, оскільки кількість утворених людиною відходів не здатні мінералізувати деструктори. Діяльність мікроорганізмів у воді й ґрунті все частіше гальмується токсичними забруднювальними речовинами. В промисловості утворюється значна кількість речовин, які не розкладаються біологічним шляхом. Ці речовини накопичуються в гідросфері, атмосфері й ґрунті, порушуючи функціонування багатьох екосистем. Порушуються біохімічні цикли речовин, колообіг яких людина поповнила багатьма штучними речовинами, не властивими природі.

Значно зростає споживання енергії. Так, у США в 1970 р. на кожного мешканця витрачалося 964 000 кДж, яку отримували головним чином за рахунок викопного палива. Отже, людина почала використовувати енергію, яку природа накопичувала мільярди років, і протягом одного року спалювала те, що накопичувалося природою впродовж мільйона років. Використання у все більшій кількості викопного палива викликало глибокі зміни колообігів вуглецю й сірки та дещо меншою мірою порушило колообіг азоту. Крім того, з літосфери видобувають різні мінеральні речовини для виробництва добрив, металів (залізо, алюміній, титан, цинк, свинець, ртуть та багато інших), які в значних кількостях розсіюються в повітрі, воді та ґрунті.

Саме завдяки використанню концентрованих запасів енергії (вугілля, нафти, природного газу) людина змогла істотно підвищити за останні десятиріччя продуктивність сільського господарства. Механічна тяга (трактори, комбайни, автомобілі) дали змогу використати для сільського господарства величезні площі земель, які раніше були пасовиськами для тяглого скота. Для збільшення продуктивності полів у великих кількостях використовують добрива й пестициди. Для виробництва останніх та для механізованого обробітку землі витрачається багато енергії, отриманої переважно за рахунок викопного палива. Ріст споживання енергії впродовж останнього сторіччя відбувається настільки інтенсивно, що вже постає питання про вичерпність резервів нафти і природного газу.

Споживання енергії відбувається за експоненціальним законом. З 1850 р. воно збільшувалось щороку приблизно на 2,5 %, а в 1969 р. – на 9 %. Отже, до проблем зменшення видового різноманіття рослин і тварин, забруднення біосфери додається не менш важлива проблема виснаження невідновних природних ресурсів. Крім того, ці кризові явища посилюються демографічним фактором – посиленням зростанням населення планети (рис. 2.4). Так, чисельність населення земної кулі в 1999 р. досягла 6 млрд чоловік, а його густота – 40 мешканців на один квадратний кілометр. У табл. 2.1 показано, як, починаючи з доісторичної епохи, змінювався час, необхідний для подвоєння чисельності населення планети.

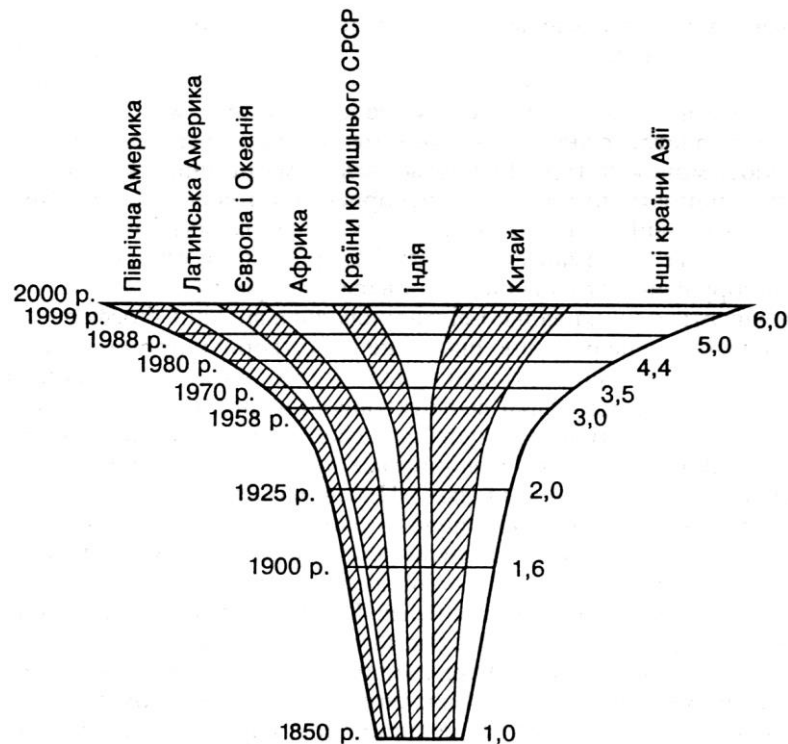


Рис. 2.4. Зміни зростання чисельності населення земної кулі до 2000 р.

Зважаючи на демографічне зростання, яке спостерігалось у 1969- 1971 рр., треба думати, що в наш час подвоєння чисельності населення відбувається впродовж 32-35 років і десь у 2033 р. вона становитиме близько 12 млрд чоловік. Про збільшення темпів зростання чисельності населення свідчить також зменшення термінів, необхідних для збільшення населення планети на 1 млрд (табл. 2.2). З цієї таблиці випливає, що для збільшення населення нашої планети на перший мільярд знадобилося близько одного мільйона років, тоді як для другого – всього 75 років.

Таблиця 2.1. Час, необхідний для подвоєння чисельності населення

Час	Чисельність населення	Час подвоєння чисельності населення, років
35 тис. тому	$2,5 \cdot 10^6$	Близько 25 000
10 тис. тому	$5,3 \cdot 10^6$	Близько 2000
2 тис. тому (початок н. е.)	$133 \cdot 10^6$	Близько 800
1650 р.	$500 \cdot 10^6$	200
1850 р.	$1 \cdot 10^9$	100
1925 р.	$2 \cdot 10^9$	75
1950 р.	$2,5 \cdot 10^9$	75
1975 р.	$4 \cdot 10^9$	50
1988 р.	$5 \cdot 10^9$	38
1998 р.	$6 \cdot 10^9$	38

Таблиця 2.2. Час, необхідний для збільшення чисельності населення земної кулі на 1 млрд чол.

Збільшення чисельності населення, $\times 10^9$, млрд чол.		Роки	Час, років
Від	До		

	1	-10 ⁶ -1850	Близько 10 ⁶
1	2	1850-1925	75
2	3	1925-1958	33
3	4	1958-1979	21
4	5	1979-1988	9
5	6	1988-1999	11

Привертає увагу той факт, що зростання останнього мільярда відбувалося 23 роки, що на 8 років більше, ніж попереднього. А це свідчить про деяке сповільнення темпу зростання чисельності населення в наш час.

Тому є надія, що, можливо, чисельність населення стабілізується і становитиме приблизно 10-12 млрд чоловік. Проте й така кількість населення буде надзвичайно великою. Спостерігається значне перенаселення планети. За цим показником рекорд належить Єгипту, де на площі 35000 км² (долина Нілу) проживає 35 млн чоловік, що відповідає густоті населення 1000 мешканців на 1 км². У Нідерландах, Японії, Індонезії, Бангладеш густота населення становить понад 300 мешканців на 1 км².

Катастрофічне зростання населення планети може призвести до масового голодування. Вже нині майже кожний четвертий мешканець планети голодує, щороку від голоду помирає близько 20 млн дітей. У багатьох районах не вистачає питної води. Вирубування лісів, ерозія ґрунтів, катастрофічне забруднення біосфери невинно супроводжуватимуться вимиранням та зникненням багатьох видів тварин і рослин. А інакше бути не може, оскільки, згідно з законом константності біосфери В. Вернадського, кількість живої речовини в біосфері стала і при збільшенні чисельності людей (одного виду) зменшуватиметься чисельність інших видів.

Якщо люди й надалі споживатимуть більше, аніж продукують природні екосистеми, частиною яких вони є, тобто «з'їдати» не лише відсотки, а й основний капітал, вони будуть приречені на вимирання. Отже, потрібно докорінно змінити своє ставлення до Годувальниці-Природи: брати від неї поменше, рівно стільки, щоб не порушити біологічну й екологічну рівновагу, щоб відновні ресурси своєчасно відтворювалися, а невідновні споживалися в мінімальній кількості. Тобто потрібно, щоб споживчо-відтворювальна функція біосфери перебувала в оптимумі і сприяла динамічній рівновазі та забезпечувала стійкий гомеостаз глобальної екосистеми – біосфери.

2.6. НООСФЕРА

Упродовж тривалої еволюції біосфери в ній склалася стійка динамічна рівновага, яка визначалася споживально-відтворювальною функцією, тобто спожиті природні ресурси постійно і своєчасно (в межах одного або кількох вегетаційних періодів) відтворювалися. Це забезпечувало сталість живої речовини в біосфері. З появою гомо сапієнс ця динамічна рівновага природи постійно порушувалася. Однак доки чисельність населення зростала повільними темпами, в природі за рахунок самовідтворення та наявності ще не вичерпаних резервів живої речовини відбувалося відновлення динамічної рівноваги.

З кожним етапом значного зростання чисельності населення все відчутнішими ставали порушення рівноваги в біосфері. Це пояснюється зростанням випереджаючими темпами споживання природних ресурсів, на що вперше у 1798 р. вказав Т. Мальтус. Він стверджував, що чисельність населення нашої планети зростає в геометричній прогресії, а природні ресурси, необхідні для задоволення потреб людства, – в арифметичній. Отже, голод завжди супроводжував і супроводжуватиме людське суспільство через нестачу природних ресурсів для задоволення його споживчих потреб.

У конкурентній боротьбі за подолання голоду виникали війни й хвороби, що були гальмівними факторами зростання чисельності населення. Чим більшою була чисельність населення, тим жорстокішими й масштабнішими були війни та епідемії різних хвороб. Про це свідчить багатовікова історія людства. Небувалі темпи зростання науково-технічного прогресу дали в розпорядження людству надмогутню термоядерну зброю, яка здатна знищити не лише біосферу, а й саму планету Земля. Тому фактор війни для вирішення конфліктів людства став непридатним. Людство почало розуміти, що для вирішення своїх проблем слід використовувати величезні досягнення науково-технічного прогресу.

Надпотужна техногенна діяльність людства істотно змінює біосферу Землі, яка, за визначенням В. І. Вернадського, перетворюється на ноосферу (грец. «ноос» – розум), тобто сферу розумного життя. Цей термін запропонував французький філософ Е. Ларуа, а природознавець П. Тейяр де Шарден та В.І. Вернадський наповнили його змістом. Особливо значний внесок у вчення про ноосферу зробив В. І. Вернадський. За сучасними уявленнями, ноосфера – це сфера гармонійної взаємодії природи і суспільства, у межах якої розумна діяльність стає головним, вирішальним фактором розвитку біосферних процесів. Особливу роль в усвідомленні свого значення на Землі відіграв вихід людини у відкритий Космос, коли вона побувала на Місяці, запустила космічні апарати на Марс і до Сонця, оволоділа таємницями термоядерної енергії, побудувала космічні станції, навчилася штучно вирощувати організми і клонувати тварин. Могутність людини здається безмежною. Результати її діяльності у деяких випадках прирівнюються до геологічних сил. Так, випромінювання енергії в радіочастотному діапазоні (на метрових хвилях) наземними передавачами (радіостанції, релейні лінії) більше, ніж те, що Сонце посилає на Землю.

У межах ноосфери нині виділяють *антропосферу* – сукупність людей як організмів і *техносферу* – сукупність штучних об'єктів антропогенної діяльності та природних об'єктів, змінених цією діяльністю. Крім того, виокремлюють ще соціосферу, під якою розуміють сферу суспільної виробничої діяльності,

охопленої людською працею. Якщо основою існування біосфери є живлення, головна її функція – забезпечення колообігу речовин, відносини МІЖ компонентами – трофічні, то для соціосфери цими показниками і відповідно праця, соціальний обмін речовин і суспільні відносини.

Перехід до ноосфери слід вважати ідеальним варіантом майбутнього, в основі якого лежить складний процес гармонізації відносин між біосферою та господарською діяльністю людини. Визначальним чинником має бути не стихія природного розвитку, а високий інтелект людини. Розум і мудрість повинні стати гарантом подальшого розвитку. При цьому потрібно розв'язати конфлікт між циклічним і безвідходним характером біогенних процесів обміну речовин та енергії в біосфері і затратним характером виробництва з його величезними витратами сировини та енергії, тобто забезпечити оптимальні значення споживчо-відтворювальної функції.

Основою ноосферного процесу має стати перехід людства до соціальної автотрофності, тобто самозабезпечення енергетичними ресурсами й сировиною на базі цілісності суспільного виробництва і біотехнології. Природні й синтезовані людиною речовини та матеріали потрібно багаторазово повторно використовувати і тільки незворотні втрати слід поповнювати П рахунок первинних природних ресурсів. На превеликий жаль, нині наш споживацький підхід до природи, консерватизм мислення й існуючі технології виробництва поки що далекі від ноосферних принципів господарювання. Однак іншої альтернативи, беручи до уваги кризовий стан довкілля, як перейти до розумного, раціонального господарювання на своїй планеті, в людства немає. Люди прагнуть і повинні жити в світі без війн та соціальних катаклізмів, у світі матеріального достатку, екологічно безпечних продуктів, незабрудненого навколишнього природного середовища.



Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:

- 1) пояснити за сучасними уявленнями будову Всесвіту і планети Земля;
- 2) виходячи з сучасних уявлень, пояснити походження життя на Землі;
- 3) дати визначення понять «біосфера», «соціосфера», «техносфера», «ноосфера»;
- 4) назвати структурні компоненти біосфери та властивості живої речовини і пояснити сутність різних їх функцій;
- 5) пояснити, чим визначається стійкість (гомеостаз) біосфери;
- 6) дати визначення середовища взагалі та абіотичного, біотичного, антропогенного і природного зокрема;
- 7) проаналізувати сутність еволюційних процесів у біосфері, еволюцію рослинного й тваринного світу та людини;
- 8) схарактеризувати еволюцію антропогенної діяльності та взаємовідносин людини з природою;
- 9) обґрунтувати сучасні екологічні проблеми та проаналізувати роль «демографічного вибуху», пов'язаного з різким зростанням чисельності населення в останні десятиріччя;
- 10) «прогнозувати розвиток екологічних проблем на найближче майбутнє та розвиток біосфери.



Запитання і завдання для самостійної роботи:

1. Як пов'язана Земля з іншими планетами сонячної системи та Місяцем?
2. Опишіть будову нашої Галактики.
3. Яка будова планети Земля та як зародилося на ній життя?
4. Дайте визначення поняття «біосфера» та назвіть її склад. Які її особливості?
5. Яка роль кожної із сфер Землі в життєдіяльності живих організмів?
6. Дайте визначення поняття «природне середовище». Яка його роль у житті живих організмів?
7. Які основні функції живої речовини біосфери ви знаєте, у чому полягає їх суть?
8. Як зародилося та розвивалося життя на Землі?
9. Що таке жива речовина та які її особливості?
10. З яких основних компонентів складається біосфера?
11. Що таке гомеостаз біосфери і в чому полягає його суть?
12. Як еволюціонувала біосфера? Назвіть найважливіші етапи.
13. Як відбувалась еволюція людини?
14. Які складались взаємовідносини людини з навколишнім природним середовищем і як вони змінювались в процесі еволюції антропогенної діяльності?
15. Як змінювалась чисельність населення в історичному розвитку і що таке «демографічний вибух»?
16. Зробіть аналітичний прогноз зростання чисельності населення Землі до 2050 року.
17. У чому полягає суть ноосфери? Які її характерні ознаки? Що треба зробити, щоб побудувати ноосферне суспільство на нашій планеті?
18. За добу людина споживає 500 л кисню. На кожну людину нині припадає одна свійська тварина, яка споживає кисню в 5 разів більше. На скількох людей і свійських тварин вистачить повітря в атмосфері, якщо не брати до уваги інших живих організмів?

3.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

Природні ресурси – це найважливіші компоненти навколишнього природного середовища, які використовують для задоволення матеріальних і культурних потреб людини. Під потребами людини розуміють потребу або нестачу в чому-небудь необхідному для підтримання життєдіяльності організму, людської особистості, соціальних груп. М. Ф. Реймерс (1994) виділяє шість основних груп потреб людини: біологічні, психологічні, етнічні, трудові, економічні, соціальні.

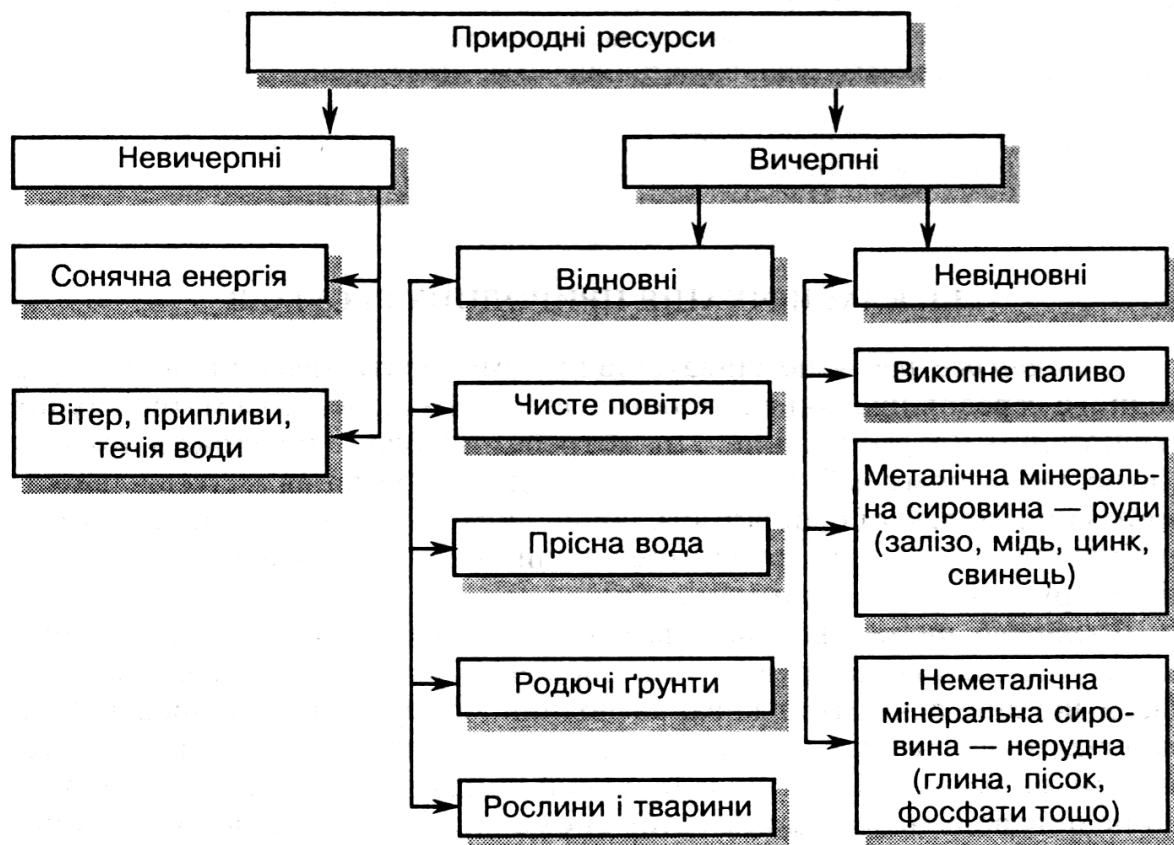
До потреб, що задовольняються природними ресурсами, належать біологічні, психологічні, трудові та економічні. До *біологічних* належать потреби, що забезпечують виживання людини та збереження її здоров'я. Вони включають велику кількість різних факторів природного середовища: тепловий, радіаційний, магнітохвильовий комфорт; склад води й повітря, які не призводять до фізіологічних аномалій тощо. До фізіологічних потреб належать: збалансована за енергетичною цінністю та хімічним складом їжа, повітря, вода та ін. До *психологічних* потреб належать ті, що зумовлюють душевний спокій людини з урахуванням факторів зовнішнього середовища (комфортність житла, стан погоди, звуки, світло, випромінювання тощо).

Трудові потреби людини забезпечують еколого-соціально-економічну адаптацію людини до умов природного й соціального середовищ з урахуванням її індивідуальних уподобань і сімейно-традиційних передумов. Природні умови та природні ресурси є одними з об'єктів і передумов прикладання праці.

Економічні потреби – це група потреб людини для матеріального забезпечення її існування (їжею, одягом, житлом, предметами вжитку, знаряддями праці, рекреації, джерелами інформації тощо).

Природні ресурси, які використовують для задоволення потреб людського суспільства (ресурси рослинного й тваринного світу, земельні, водні, рекреаційні та ін.), досить різноманітні, як і можливості їх застосування в господарстві та побуті. Згідно з *законом обмеженості природних ресурсів*, усі природні ресурси в умовах Землі вичерпні. Їх поділяють на дві великі групи – невичерпні і вичерпні, які, в свою чергу, поділять на невідновні та відновні:

Основні типи природних ресурсів



Оскільки відтворення відновних природних ресурсів відбувається повільніше, ніж їх споживання, з одного боку, а невідновні ресурси перетворюються на форми, непридатні для подальшої експлуатації через значну розсіяність потрібних елементів або нову хімічну структуру, – з іншого, то відбувається вичерпність багатьох природних ресурсів.

Ще до недавнього часу людство вважало природні ресурси невичерпними, а тому прагнуло взяти від природи якнайбільше, нічого не віддаючи. Нині переконалися, що практично невичерпних ресурсів, крім сонячної енергії та космічного випромінювання, теплоти земних надр, сил гравітації та обертання Землі, енергії вітру, припливів і талої води, у природі більше не існує. *Умовно невичерпними* поки що, на даному етапі розвитку суспільства, можна вважати загальні запаси кисню в атмосфері та води в гідросфері. Однак через нерівномірний розподіл та антропогенне забруднення вже нині в окремих районах Землі відчувається гостра їх нестача, особливо чистої питної води.

Вичерпні – це ресурси, кількість яких невинно зменшується відповідно до їх добування або вилучення з природного середовища. Їх, у свою чергу, поділяють на відновні (чисте повітря, вода, родючі ґрунти, рослинність, тваринний світ) і невідновні (мінеральні ресурси). Мінеральна сировина належить до невідновних ресурсів, і найголовніші з них (вугілля, нафта, природний газ, залізо, манган, поліметали) нині вичерпані або майже вичерпані.

У господарській діяльності ресурси поділяють щодо використання їх у сфері матеріального виробництва та невиробничій сфері. Ресурси матеріального виробництва – це промислові і сільськогосподарські. Ресурси невиробничої сфери – це ресурси прямого й непрямого споживання. З практичною метою ресурси кожного класу поділяють на дрібніші групи. Так, промислові ресурси – на енергетичні (нафта, вугілля, природний газ), ресурси для металургійної промисловості (залізна, манганова, титанова руди тощо), сировину для одержання предметів безпосереднього споживання (деревина) та продуктів харчування (гриби, фрукти, ягоди та інші дари ланів, садів, городів і лісів).

Біосфера Землі є замкнутою системою з відносно сталою масою і обмінюється з космічним простором лише енергією. Тому людство має враховувати її здатність самовідтворювати свою біопродуктивність та вичерпність запасів невідновних ресурсів. Потрібно економно і раціонально використовувати природні ресурси, свідомо відмовившись від надлишків. Подальший розвиток життя на Землі залежить від наявності природних ресурсів, простору для життя і об'єктів для задоволення культурних та інших потреб.

3.2. ВОДА

Вода, як косна речовина біосфери і середовище, з якого зародилося й продовжує функціонувати життя, є головною складовою частиною гідросфери. Тому вона є насамперед середовищем для проживання багатьох рослин і тварин. Призначення її як природного ресурсу полягає в забезпеченні життєвих потреб рослинного й тваринного світу та людини. Вона є «будівельним матеріалом» для організмів і необхідна для забезпечення їхніх життєвих функцій. Тіла всіх живих організмів складаються переважно з води: в рослинах вміст води становить до 90-95 %, а в організмах тварин – 70 % і більше. Частка біологічної води, що входить до складу живих організмів, становить 0,003 % загальних запасів гідросфери. Людина для задоволення своїх життєвих потреб щодоби споживає 2-2,5 л чистої прісної води.

У виробничій і господарській діяльності люди використовують воду як сировину (приготування страв і напоїв), реагент для здійснення різних хіміко-технологічних процесів, теплоносії в теплоенергетичних процесах та для охолодження обладнання і матеріалів, а також використовують для очищення, миття, зрошення полів і поливання рослин, гідротранспортування тощо. З океанів, морів, річок і водойм виловлюють рибу та інших тварин, з підводних родовищ видобувають різну сировину (манган, нікель, кобальт, залізо та ін.) і паливо (нафту, газ, газогідрати), збирають водяні рослини. Водне середовище використовують для транспортування вантажів (водний транспорт), а також для місць відпочинку і туризму (рекреаційне призначення).

Залежно від вмісту солей воду поділяють на прісну, солону, солонувату та слабкосолонувату. До прісних належать води, в яких міститься до 1 г/л розчинних солей. Води з високим вмістом солей (понад 1 г/л) називають солоними, які, в свою чергу, поділяють на слабкосолоні з вмістом розчинних солей 10 г/л, солоні і дуже солоні – 10-50 г/л та розсоли (ропа) – понад 50 г/л. До солонуватих належать природні води, солоність яких становить 16-40 г/л. Води океанів, морів та деяких озер належать до солоних вод з різним вмістом солей (до 40 г/л і більше – води Червоного моря). Люди для задоволення своїх потреб, а також для виробничих і господарських цілей використовують в основному прісну воду.

Маса прісної води на земній кулі становить 31 млн км³, основна кількість якої (96 %) зосереджена в льодовиках Гренландії, Антарктиди, гірських масивів, в айсбергах та зоні вічної мерзлоти. З усієї кількості прісної води тільки близько 1 % використовується людством для задоволення своїх потреб. Значні запаси прісної води, яка входить до складу мінералів, зосереджені у верхній частині земної кори на різних глибинах. Точні запаси цієї води визначити важко. За підрахунками В. І. Вернадського, її запаси становлять 1,3 млрд км³, що дорівнює запасам вод Світового океану. В атмосфері вода перебуває у вигляді водяної пари і конденсату (краплі води й льоду). Підземні води становлять 4 %, води льоду й снігу – 2 %, рік, озер та боліт – 0,4 % загальних запасів Землі.

Основним джерелом водопостачання для людей є річковий стік. Найбільший стік має річка Амазонка в Бразилії. Вода та її споживання розподілені на території Землі та по окремих регіонах нерівномірно. Найбільші запаси прісної води (до 80 %) зосереджені в озері Байкал (Росія). Нині понад мільярд чоловік

на планеті не мають задовільного водозабезпечення. Тяжка ситуація склалася в Азійсько-Тихоокеанському регіоні (Бангкок, Таїланд, Південна Корея, Японія), у басейнах рік Нілу, Тигру та Свфрату. А в Об'єднаних Арабських Еміратах та деяких інших країнах п'ють опріснену морську воду.

Середньорічні водні ресурси України становлять близько 87,1 км³; місцеві, тобто ті, що формуються в межах країни, становлять 52,4 км³ (в середній за водністю рік). Річковий стік України становить приблизно 83,5 млрд м³, а в посушливі роки зменшується до 48,8 млрд м³. На території країни цей стік розподілений також нерівномірно. До 70 % стоку припадає на Південно-Західний економічний район, в якому проживає до 40 % населення. Головним постачальником прісної води є Дніпро, воду якого використовують до 60 % населення. Ріки Південний Буг, Західний Буг, Тиса, Дністер, Прут та інші забезпечують близько 35 % населення. Стан води і повноводдя в цих ріках залежить від стану їхніх приток і малих річок, яких налічується близько 63 тис. Стан останніх викликає тривогу, оскільки 20 тис. з них уже висохли. Висихання малих річок призводить до деградації великих рік. Тому слід оздоровляти і зберігати ці річки.

До складу водних ресурсів України належать і підземні води. Загальна величина прогнозованих запасів підземних вод становить близько 57,2 млн м³/добу, з яких 15,6 млн м³/добу є затвердженими. Територіальний розподіл цих вод досить нерівномірний: їх максимальна кількість (8 402 тис. м³/добу) знаходиться в Чернігівській області. Великі запаси підземних вод мають Київська, Полтавська, Херсонська, Харківська, Рівненська, Львівська, Сумська та Луганська області (від 3 046 до 4 186 тис. м³/добу).

Ресурси прісної води України, які включають річковий стік і підземні води, використовуються повністю, а в деяких південних районах відчувається нестача води. Для ліквідації останньої побудували канали: Південно-Кримський, Дніпро-Кривий Ріг, Сіверський Донець-Донбас та водосховища. Характерною ознакою природного розподілу водних ресурсів на території України є те, що місцям розташування найпотужніших споживачів води відповідають найменші запаси водних ресурсів (Донбас, Кривбас, Автономна Республіка Крим та інші південні регіони).

3.3. АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Атмосферне повітря є косною речовиною біосфери і середовищем існування живої речовини – рослин, тварин і людей. Атмосферне повітря забезпечує рослинний і тваринний світ і людей життєво необхідними газуватими речовинами (вуглекислий газ, кисень), захист Землі від дії метеоритів, космічного опромінення, процеси виробничої діяльності людини киснем, азотом, воднем та інертними газами.

Атмосферне повітря використовують у промисловості як реагент для спалювання палива, теплоносії для нагрівання й охолодження продуктів, обладнання та приміщень, для добування зріджених газів (кисню, азоту, інертних газів). Атмосферний кисень є умовою життя людей і багатьох тварин. Без їжі людина може прожити до двох місяців, без води – тиждень, а без повітря – кілька хвилин. За добу людина споживає 500 л кисню, пропускаючи через легені 10 тис. літрів (12 кг) повітря, а їжі й води – всього 1,5-2 кг.

Для спалювання палива, виробництва металургійної та хімічної продукції, на додаткове окиснення різних відходів щороку в усьому світі витрачається 10-20 млрд т кисню. На початок ХХІ ст. ця величина має зрости до 50 млрд т. Підвищення витрат кисню, спричинене активізацією антропогенної діяльності людини, становить не менш як 10-16 % щорічного біогенного утворення, що викликає наш неспокій і змушує бити на сполох.

Таблиця 3.1 Хімічний склад атмосферного повітря

Компонент	Вміст	
	% за масою	% за об'ємом
Азот	72,52	78,09
Кисень	23,15	20,94
Аргон	1,28	0,93
Оксид карбону (IV)	0,046	0,033
Неон	0,0012	0,0018
Гелій	0,000072	0,00052
Криптон	0,00033	0,0001
Ксенон	0,000039	0,000008
Оксид нітрогену (II)	0,0025	0,00025
Водень	0,0000035	0,00005
Метан	0,0008	0,00015
Оксид нітрогену (IV)	0,00008	0,000015
Озон	~ 0,000001	0,000002
Оксид сульфур (IV)	-	0,000002
Оксид карбону (II)	-	0,00001
Аміак	-	0,000001

Атмосферне повітря в нижніх шарах тропосфери складається переважно з азоту, кисню, аргону і

оксиду карбону (IV) (табл. 3.1). У невеликих кількостях містяться неон, гелій, криптон, ксенон, оксиди нітрогену (II) і (IV), водень, метан, озон, оксид карбону (II) і аміак.

3.4. ЕНЕРГІЯ

Енергія – це загальна міра руху при всіх матеріальних процесах і видах взаємодій. Якби процеси не відбувалися, якби перетворення форм руху не здійснювалися, завжди загальна кількість енергії залишалася незмінною. Відповідно до закону збереження й перетворення енергії, вона за будь-яких процесів в ізольованій системі зберігається, перетворюючись лише в чітко певній кількості з одного виду на інший.

Джерелом енергії на Землі є сонячне випромінювання, кінетична енергія обертання планети Земля та її супутника Місяця і енергія земних надр. Кінетична енергія виявляється в морських припливах. Енергія земних надр підтримується розпадом урану і торію. Сонячна енергія виникає в результаті термоядерного перетворення водню на гелій і надходить на Землю у вигляді променистої енергії з довжиною хвиль 0,3-2,0 мкм. На поверхню атмосфери нашої планети постійно надходить потік енергії в кількості 8,09 Дж/см² за 1 хв. Ця величина відхиляється від середнього значення на 0,1--0,2 %. Річний потік сонячної енергії на Землю становить 10 500 МДж/м², 40 % якої відбивається в космічний простір, 15 % поглинається атмосферою, 20 % витрачається на підтримання геологічного циклу, 0,06 % – на фотосинтез. В атмосфері основну кількість променистої енергії поглинає водяна пара, в гідросфері – вода, а в літосфері – гірські породи і ґрунти.

Поглинута біосферою сонячна радіація витрачається на здійснення роботи для забезпечення процесів життєдіяльності рослинного й тваринного світу та людського суспільства, частково розсіюється в космічний простір. Основні перетворювачі енергії в біосфері – живі організми. Рос-цями та чемна поверхня поглинають енергії в середньому 5000 МДж/м² за рік. Перенесення енергії в живій речовині біосфери характеризується низькою ефективністю. Перенесення від продуцентів до консументів I порядку становить 10 %, а від консументів I порядку до II – 20 %.

Для організації матеріального виробництва людина також використовує енергію, яку вона виробляє з вичопного палива та добуває з природних джерел. Кількість енергії, що виробляється в світі, невпинно зростає одночасно із зростанням потреб людини. В 60-70-х роках ХХ ст. кількість споживаної енергії подвоювалась упродовж 15 років, у 80-х роках – 10 років, тоді як останнє подвоєння чисельності населення відбулося впродовж 38 років. Отже, виробництво енергії відбувається випереджаючими темпами.

На початку 80-х років щорічне споживання енергії в світі наблизилось до 10 млрд т умовного палива (близько 2 т на людину). Доступного для добування вуглецю є 10-20 тис. млрд т. Якщо поділити величину резервів вуглецевого палива на видобуток, то нафти вистачить на 30-35 років, вугілля – на 200, газу – на 40-50 років.

Нині енергетичний потенціал Землі становить 1 млн МВт, надходження сонячної енергії – 173 000 ТВт. На початок ХХІ ст. очікується зростання енергетичного потенціалу до 100 тис. ТВт, що наближає нас до критичної межі, бо може призвести до перегрівання Землі. Нині в Україні виробляють 278,7 млрд кВт · год електроенергії.

На перших етапах свого розвитку людство задовольнялося в основно-сонячною енергією. Більше того, надлишкова частина використаної енергії відкладалася у вигляді покладів вугілля, нафти, газу і торфу. Із зростанням чисельності населення та його потреб кількість споживаної енергії зростала і людство почалося з XVIII-XIX ст. «залізи в природну комору». Воно почало використовувати спочатку деревину, потім природні запаси вугілля, нафти і газу, а також енергію води, вітру та інших природних джерел. Нині енергію добувають різними шляхами. У 1980 р. 70 % світової кількості енергії вироблено спалюванням нафти и й газу, 20 % – вугілля, 3 % – гідроелектростанціями, 2 % – атомними електростанціями. Решта 5 % припадає на нетрадиційні джерела енергії. Нині одна людина споживає в Японії 1,5-5 т, у США – близько 7 т, а в країнах, що розвиваються, – 0,15-0,3 т енергії в нафтовому еквіваленті.

Усі види енергетичних ресурсів можна розподілити на первинні і вторинні. До первинних належать невідновні (нафта, вугілля, сланці, природний газ, газогідрати) та відновні (деревина, гідроенергія, енергія вітру, сонячна енергія, геотермальна енергія, торф, термоядерна енергія) енергоресурси. До вторинних енергоресурсів належать проміжні продукти збагачення і сортування вугілля, гудрони, мазут та інші залишкові продукти переробки нафти; тріски, пні, сучки, що утворились в процесі заготівлі деревини; горючі гази (доменний, коксовий); теплота відхідних газів; гаряча вода із системи опалення; відпрацьована пара силових промислових установок.

Більша частина вичопних запасів органічного палива знаходиться в країнах Північної Америки (40 %) і Азії (35 %), менші запаси в Західній Європі (12 %), Африці (7 %), Південній Америці та Океанії (по 3 %). Запаси палива в надрах складаються з вугілля, нафти, газу і уранової руди. Світові запаси вугілля оцінюють у 9-11 трлн т умовного палива при видобутку понад 4,2 млрд т за рік. Запаси розвіданих родовищ вугілля становлять, млрд т: США – 430; країни СНД – 290; ФРН – 100; Австралія – 90; Англія – 50; Канада – 50; Індія – 29; Україна – 150.

Світові запаси нафти оцінюють у 840 млрд т умовного палива, з них 10 % – достовірні і 90 % – вірогідні запаси. Основним постачальником нафти на світовий ринок є країни Близького та Середнього Сходу. Вони мають 66 % світових запасів нафти, Північна Америка – 4 %, Росія – 8-10 %. В Україні запаси нафти становлять 125 млн т; нині щороку добувають 4,9 млн т. Немає родовищ нафти в Японії,

ФРН, Франції та багатьох інших країнах.

Запаси природного газу оцінюють в 300-500 трлн м³. Найбільші запаси знаходяться в Іраку, Саудівській Аравії, Алжирі, Лівії, Нігерії, Венесуелі, Мексиці, США, Канаді, Австралії, Англії, Норвегії, Голландії. Росія має 30 % світових запасів і щороку видобуває 800-850 млрд м³ природного газу. В Україні запаси газу становлять понад 4100 млрд м³. Крім того, є досить великі запаси горючих сланців (2 млрд т) і торфу (3,5 млрд т). До невідновних видів палива належать газогідрати (CH₄ • «H₂O»), родовища яких відкриті в багатьох районах світу. В Україні родовища газогідратів розташовані в Чорному морі.

Очікують, що на початок XXI ст. частка атомної енергії в загальному енергозабезпеченні становитиме 15 %. В окремих країнах її частка значно вища вже нині, %: у США – 24, Франції – 65, Швеції – 40, ФРН – 25, Японії – 23, Україні – близько 40. Потреба в урані при цьому становить 135 тис. т. Запаси урану в надрах становлять понад 4 млн т, з них 50 % – достовірні. На початок 1986 р. у світі діяло 350 енергетичних реакторів загальною потужністю понад 250 млн кВт. У 1985 р. в СРСР частка АЕС у загальному обсязі виробництва електроенергії становила близько 14 %. Було побудовано 10 великих АЕС, на яких працювало 40 енергоблоків загальною потужністю 22 млн кВт, а в 1990 р. – 47 енергоблоків. В Україні нині працюють 5 АЕС.

Перспективними є реактори на швидких нейтронах. В них з урану-238 утворюється вторинне паливо – плутоній-239, причому уран використовується повністю. У звичайних реакторах на теплових нейтронах, які працюють на урані-235, уран використовується неповністю. Ведуться дослідні роботи в галузі термоядерної енергетики. В результаті термоядерної реакції що відбувається за температури близько 100 млн градусів, атоми водороду перетворюються на атоми гелію. Для того щоб цей процес був стійким, таку високу температуру плазми слід витримувати впродовж 1-2 с. Тривалість цього процесу в сучасних камерах «Токамак» сягає лише десятків часток секунди.

Згідно з прогнозом, до 2030 р. відновні джерела енергії замінять близько 2,5 млрд т умовного палива. Їх частка в загальному балансі теплоти і енергії становитиме близько 8 %. Використання цих джерел енергії викликає екологічними проблемами. Ресурси відновної енергії наведені в табл. 3.2.

Крім рослин і торфу, всі інші джерела називають ще нетрадиційними. Сонячна енергія за 22 сонячних дні за сумарною потужністю еквівалентна всім запасам органічного палива на Землі. В США протягом 1984-1988 рр. побудовані термоелектричні установки загальною потужністю 650 МВт. Термоелектричні установки меншої потужності побудовані в Іспанії та Йорданії. Вартість добутої в них енергії становить 10 центів за 1 кВт · год.

Фотоелектроенергія виробляється напівпровідниковими приладами, що перетворюють сонячне випромінювання на електричний струм. Сонячна батарея з коефіцієнтом корисної дії 12 %, площею 40 м², побудована на південному боці даху, здатна забезпечити всі побутові потреби в електроенергії будинку. Сонячне теплозабезпечення використовують у багатьох країнах. Тільки в США експлуатують сонячні колектори площею 10 млн м², що економить 1,5 млн т палива на рік.

Енергію вітру використовують при його швидкостях понад 5 м/с. В Україні освоюють виробництво вітроенергетичних установок потужністю до 1-2 МВт. Перетворення енергії вітру на електроенергію у 80-ті роки в усьому світі становило 1660 МВт.

Таблиця 3.2. Ресурси відновної енергії

Первинна енергія	Джерело енергії	Світові ресурси, 1 млрд ТВт · год/рік
Механічна	Стік рік	0,028
	Хвилі морські	0,005-0,05
	Припливи і відпливи	0,09
	Вітер	0,5-5,2
Теплова	Гradient температур: води океанів і морів	0 1-1
	повітря	0,001-0,01
	земних надр (вулканів)	0,05-0,2
Промениста	Сонячне випромінювання: на поверхні Землі	200-280
	повна енергія	1570
Хімічна	Рослини і торф	10

Геотермальні теплові електростанції (ГеоТЕС) використовують як енергію природні парогідротерми, що залягають на глибині до 5 км. Цей вид енергетики достатньо інтенсивно розвивається в США, Мексиці, Італії, Японії, Росії та на Філіппінах. Потужність найбільшої ГеоТЕС, побудованої в США, становить 50 МВт.

Для виробництва електричної і теплової енергії в лісопромисловості широко використовують біомасу – енергоспоживач рослинного походження, що утворюється в процесі фотосинтезу. Так, у Бразилії при використанні біомаси з винокурень утворюється настільки великий надлишок електроенергії, що її реалізація робить спирт дешевшим за нафту. Тільки з цукрової тростини можна добувати 50 % енергії, що виробляється нині у 80 країнах, які вирощують цю культуру. Річний обсяг органічних відходів (біомаси) в країнах СНД дорівнює 500 млн т. Її використання може зекономити 6 млн т органічного палива щороку, а до 2010 р. – у 3 рази більше.

Океани мають потенційну енергію у вигляді теплоти, енергії течії, хвилі, і припливів. Енергопотенціал припливів оцінюють у 780 млн кВт. У Канаді працює припливна станція потужністю 20 МВт, в Росії – 400 кВт. Розробляється проект станції потужністю 87 млн кВт. Гідроенергетика, за прогнозами, збереже 3 % загального обсягу енергії, що виробляється, приблизно до середини наступного століття. В Україні майже повністю вичерпані можливості побудови гідралічних електростанцій (ГЕС). У 1987 р. у колишньому СРСР на ГЕС вироблялось близько 300 млрд кВт · год електроенергії.

Потенційні гідроенергетичні ресурси річок такі: у Карпатах 250-500, у басейні Дніпра – 100-250 тис. м³ · год/км². Найменші потенційні гідроенергетичні ресурси на Причорноморській низовині – менш як 10 тис. м³ · год/км².

Перспективним та екологічно чистим паливом є водень. Він має втричі більшу теплоту згоряння, ніж нафта. Світове виробництво водню перевищує 200 млрд м³ за рік. Більше половини його використовують для виробництва аміаку й близько третини – на нафтопереробних заводах. Водень добувають з природного газу, нафти і вугілля за реакцією $C + H_2O = H_2 + CO$. Нині в усьому світі вчені працюють над проблемою добування водню з води. Електролізом добувати водень з води поки що дорого. В Японії працює дослідна установка, на якій водень добувають з води термохімічним методом.

Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) – це енергія різних видів, яка залишає технологічний процес чи установку і використання якої не є обов'язковим для здійснення основного технологічного процесу. Вона являє собою побічну продукцію, що за відповідного рівня техніки може бути частково або повністю використана для потреб нової технології чи енергозбереження інших процесів на тому самому підприємстві або за його межами. Нині особливо великі витрати теплоти на електростанціях, у металургійній, хімічній, нафтопереробній та нафтодобувній промисловості, у сільському господарстві та інших галузях господарства. За розрахунками, до 50 % виробленої теплоти в Україні втрачається.

ВЕР поділяють на три основні групи: надлишкового тиску, горючі і теплові. *ВЕР надлишкового тиску* – це потенційна енергія відходів, газів, води, пари з підвищеним тиском, яка може бути використана перед викидом в атмосферу. Такі ВЕР використовують для отримання механічної і електричної енергії. *Горючі ВЕР* – це горючі гази і відходи одного виробництва, які можуть бути застосовані у вигляді палива в інших виробництвах (тріски, тирса, стружка в деревообробній промисловості, доменний газ у металургійній, тверді й рідкі паливні відходи в різних галузях промисловості). *Теплові ВЕР* – фізична теплота відхідних газів, основної та побічної продукції виробництва, попелу і шлаків; гарячої води й пари; робочих тіл систем охолодження технологічних процесів. Теплові ВЕР можна використати для отримання теплоти, холоду, електроенергії в утилізаційних установках. Об'єм теплоенергії, виробленої за рахунок теплових ВЕР, становить близько 25 % у структурі теплоенергетичного балансу. Використання ВЕР у багатьох випадках економічно ефективно, оскільки питомі капітальні вкладення в установку для утилізації теплових ВЕР, віднесені до 1 т заощадженого палива, нижчі, ніж ціна на паливо з урахуванням його транспортування.

3.5. СИРОВИНА

Сировина – це природні ресурси, які використовують у виробництві промислових продуктів. Вона є одним з основних компонентів технологічного процесу, який значною мірою визначає технологію виробництва, його економічність, якість продукту та екологічне навантаження на навколишнє природне середовище. У разі, коли вихідним матеріалом виробництва є сировина, яка вже зазнала промислової переробки, її називають *напівфабрикатом*. Як сировину використовують також відходи та побічні продукти інших виробництв.

За походженням сировину поділяють на мінеральну, рослинну і тваринну. Близько 70 % світової промислової продукції виробляють з мінеральних копалин, які видобувають з надр. За агрегатним станом розрізняють *тверду* (руда, вугілля), *рідку* (нафта, розсоли) і *газоподібну* (атмосферне повітря, природний газ) сировину. Мінеральну сировину, в свою чергу, поділяють на *рудну*, *нерудну* і *горючу* (органічну). *Рудною мінеральною сировиною* називають гірські породи або мінеральні агрегати, які містять метали, що можуть бути економічно вилучені в технічно чистому вигляді. Домішки в рудах, які не використовують у виробництві для отримання продуктів, називають *пустою породою*.

Нерудною (неметалевою) називають усю неорганічну сировину, яку використовують у виробництві хімічних, будівельних та інших неметалічних матеріалів, але яка не є джерелом добування металів. *Горюча мінеральна сировина*, тобто органічні копалини – вугілля, торф, нафта, сланці тощо – використовуються як енергетичне паливо і як хімічна сировина.

Мінеральні ресурси належать до невідновних і характеризуються *рудним резервом*, під яким розуміють мінеральний матеріал, придатний для розробки в даний час. Резерви поділяють на визначені, передбачувані і прогнозовані. *Визначені* – це *резерви*, обсяг яких обчислено на підставі геологічної розвідки. *Передбачувані-резерви*, обсяг яких визначено шляхом екстраполяції даних геологічної розвідки. *Прогнозовані* – *резерви*, кількісна оцінка яких ґрунтується на геологічному характері родовища.

Показником виснаження ресурсів є видобуток на душу населення, який розраховують шляхом ділення загальної кількості видобутих ресурсів на чисельність населення країни або світу (світові запаси). Світові витрати ресурсів розподілені нерівномірно і їх можна характеризувати *індексом використання ресурсів (ІВР)* – коефіцієнтом витрати резервів за рік. Використання більшості металів становить 0,4--6 %. Якщо ІВР якогось металу становить 5 %, то його запаси будуть виснажені протягом $100 : 5 = 20$ років. Найбільшу тривалість «життя» серед металів мають залізо – 177, алюміній – понад 200

і титан понад 300 років, найменше – золото, олово, свинець – близько 20 років, срібло – 14 років.

За ІВР ресурси поділяють на групи:

1) ресурси з великою швидкістю виснаження – ІВР >1,7 % (золото, срібло, ртуть, олово, свинець, цинк, уран, мідь, стибій, вольфрам та ін.);

2) ресурси з малою швидкістю виснаження – ІВР <1,3 % (молібден, нікель, титан, залізо, манган, кобальт, хром, алюміній та ін.).

Запаси руд у багатих родовищах на верхніх горизонтах Землі майже вичерпані. Нині видобувають бідніші руди (з меншим вмістом металів, родовища яких залягають на більшій глибині і в складніших геологічних умовах).

Подовжити термін використання мінеральних ресурсів можна прискоренням пошуку нових родовищ, вдосконаленням технології видобутку руд, економічною та раціональною переробкою сировини, повторним використанням металів (переробка брухту) та пошуком заміників металів.

Балансові запаси залізних руд в Україні становлять 2 млрд т. Загальна кількість манганових руд – близько 2 млрд т, що становить 66 % світових запасів. На території країни є поклади хроміту, силікатів, уранових, нікелевих, титанових руд, ртуті, олова тощо. До нерудних належать родовища графіту – найбільші в Європі, фосфоритів, солей, доломітів, вогнетривких глин, пісків, кам'яних будматеріалів – граніту, мармуру, вапняку і крейди. В Україні зосереджені найбільші поклади каолінових глин для фарфоро-фаянсової та інших галузей промисловості.

Значним і поки що невикористаним резервом природних ресурсів є Світовий океан. Вже нині з морської води добувають калій, магній, бром, йод, кухонну сіль тощо. Геологи вважають, що в океанах більше, ніж на суші: мангану в – 1,5 раза, нікелю – в 3, кобальту – в 30 разів. У США, Бразилії, Австралії та інших країнах з берегових моноцитових пісків добувають цирконій, титан і рідкісноземельні елементи. Розробляється технологія добування золота з морської води. У Червоному морі з розсолів починають добувати срібло. Біля островів Японії з морського дна видобувають вугілля й залізну руду.

Дно океану на досить значних площах покрите залізомангановими конкреціями, в яких міститься 25 % мангану, 10-15 % заліза та близько 30 % інших елементів: міді – 1,9 %, кобальту – 1,5 %, нікелю – 2 % тощо. Останнім часом в придонних осадах виявлено промислові запаси газогідратів. Світовий океан є великою коморою природних ресурсів рослинного й тваринного походження (водоростей, риби, молюсків, ракоподібних тощо).

3.6. ҐРУНТИ

Ґрунти належать до біокосного компонента біосфери і утворюють *педосферу*. За визначенням В. В. Докучаєва (засновника вчення про ґрунти), під *ґрунтами* розуміють орґано-мінеральний продукт багаторічної спільної діяльності живих організмів, води, повітря, сонячного тепла та світла, що утворився з гірських порід. Залежно від кліматичних і геолого-географічних умов вони мають товщину від 15-25 см до 2-3 м. Основна маса організмів і мікроорґанізмів літосфери зосереджена в ґрунтах на глибині не більше кількох метрів. Ґрунт забезпечує рослини поживними речовинами та водою. Він трансформує кліматичні фактори, відіграючи велику роль у колообігу речовин, води та вуглекислого газу. Ґрунт може підсилювати дію окремих абіотичних факторів (наприклад, зменшувати вплив атмосферної посухи за рахунок водоутримувальної здатності гумусу, руйнувати біологічно шкідливі токсичні речовини тощо).

Ґрунт, як елемент біосфери, покликаний забезпечити біологічне середовище для людини, тварин, рослин та інших організмів. Він має високу буферність та енергоємність, значний резерв механізмів самоочищення, які так важливі для підтримання збалансованої взаємодії ґрунтової біоти і людини. Тільки ґрунтом можуть бути забезпечені повноцінні умови для виробництва продуктів харчування і корму для тварин. Ґрунт перебуває в постійних обмінних взаємодіях з іншими елементами біосфери і залежить від їх стану. Він істотно впливає на прилеглі елементи біосфери та поверхневі й підземні води, атмосферне повітря тощо. Ґрунти перебувають під постійною дією клімату, флори і фауни та антропогенної діяльності. Ґрунт є середовищем існування багатьох комах.

У ґрунті можна виділити кілька основних горизонтів: гумусовий, в якому зосереджена основна маса орґанічної речовини (підстилка і перегнійний горизонт); ілювіальний, в якому накопичуються поживні речовини; материнська вивітрена гірська порода і незмінена материнська порода. Степові ґрунти містять до 12 тис. т гумусу на 1 га, а лісові – до 100 тис. т.

Процес переробки опадів рослин і решток тіл тварин називають *гуміфікацією*. У процесі гуміфікації мертвою орґанічною речовиною живляться детритофаги та редуценти (комахи, бактерії та гриби). Гумус запобігає вимиванню поживних речовин, поліпшує структуру ґрунту і забезпечує утримання вологи в своїй товщі. Одночасно з гуміфікацією відбувається процес мінералізації орґанічної речовини. В результаті цього процесу з орґанічних речовин виділяються йони фосфору, нітрогену, калію та інших мінеральних елементів, які є джерелом поживних біогенних речовин для рослин. Біогенні речовини поділяють на *макроелементи* (азот, фосфор, калій та ін.) та *мікроелементи* (манган, залізо, мідь, молібден, бор, кобальт та ін.).

Отже, гумус визначає родючість ґрунтів. Залежно від його вмісту розрізняють чорноземи, що містять 7-10 % гумусу, та підзолисті ґрунти з 2-3 % гумусу. Чорноземи є головним природним багатством країн. За співвідношенням у ґрунті піщаних і глинистих часточок їх поділяють на піщані, супіщані, суглинкові, глинисті та щербисті. Ґрунтові пори заповнені водою й повітрям. Вода необхідна для кореневих систем рослин та ґрунтових тварин. Повітря є джерелом кисню для дихання. Склад ґрунтового повітря

відрізняється від атмосферного підвищеним вмістом (до 26 %) вуглекислого газу, який виділяється під час дихання організмів, що знаходяться в ґрунті. Поступово вуглекислий газ виділяється з ґрунту (до 25 кг/га CO₂ за годину). Чим вища температура ґрунту, тим активніше він «дихає». Виділюваний активний вуглекислий газ є продуктом живлення для зелених рослин, особливо низькорослих. Вода та її розчини в ґрунті є ресурсом для живлення тварин і рослин. Крім того, вона транспортує мінеральні речовини в різні ділянки ґрунту.

Спостерігаються циклічні добові, сезонні та багаторічні коливання властивостей ґрунту. Змінюється вологість, вміст вуглекислого газу, концентрація мікро- та макроелементів, вміст гумусу. У різні сезони може навіть змінюватись тип ґрунту, наприклад, болотно-лучний трансформується в лучний. Проте порівняно з іншими компонентами екосистем ґрунт стабільніше зберігає свої властивості й структуру.

Таблиця 3.3. Структура земельного фонду України

Земельний фонд України	Площа	
	млн га	% від загальної площі
Сільськогосподарські угіддя, в тому	41,86	69,4
пілья	33,29	55,2
багаторічні рослини	1,07	1,8
сіножаті і пасовища	7,5	12,4
Ліси та лісосмуги	10,35	17,2
Земля під забудову, в тому числі:	2,4	4,0
під житлові будинки	0,42	0,7
промислові споруди	0,41	0,7
рудники(шахти)	0,14	0,2
Болота	0,93	1,5
Непридатні землі	1,29	2,1
Загальний земельний покрив	57,94	96
Вода, в тому числі:	2,42	4,0
штучні водоймища	1,15	1,9

Родючі ґрунти є важливим потенціалом для розвитку сільського господарства. В Україні найродючішими є чорноземи з вмістом гумусу 3- 7 % і товщиною гумусового шару 130-150 см. Вони займають понад 10 % території. Великі площі під сірими лісовими ґрунтами в Лісостеповій зоні та каштановими в Степу, що характеризуються високою якістю для сільськогосподарського виробництва.

Україна характеризується високим рівнем землезабезпечення. Земельний фонд її становить 60,3 млн га (табл. 3.3).

3.7. КЛІМАТ

Клімат – це статичний багаторічний режим погоди, який є однією з основних характеристик місцевості. Основні особливості клімату визначаються надходженням сонячної радіації, процесами циркуляції, характером підстилаючої поверхні. Впливають також широта й висота місцевості, наближення її до морського берега, рослинний покрив, наявність снігу та льоду, ступінь забруднення атмосфери. Ці фактори визначають широтну зональність клімату і сприяють формуванню місцевих різновидів (гірський, гумідний, арктичний, континентальний, морський, мусонний, субтропічний, тропічний, екваторіальний тощо). Клімат істотно впливає на водний режим, ґрунт, рослинний покрив та інші компоненти природи.

У змінах клімату виділяються циклічні процеси від 3-, 11-, 33-річного до вікового, а також спрямовані зміни. Циклічні процеси є проявом автоколивань, які виникають під впливом флуктуації сонячної радіації, прозорості атмосфери тощо.

Клімат України помірно континентальний. Південний берег Криму належить до субтропічного поясу. Сумарна сонячна радіація змінюється від 4022 на півночі до 5237 МДж/м² на півдні Криму. На її території переважають північно-західні повітряні переміщення. Впродовж року над територією країни відбувається в середньому 45 циклонів і 35 антициклонів. Найвищі середні температури спостерігаються в третій декаді липня (+20...25 °С), найнижчі – в третій декаді січня (-3...-10 °С). Кількість опадів становить від 1500 (ст. Турбат у Карпатах) до 300 мм/рік на Азово-Чорноморському узбережжі, близько 550-760 мм/рік – у Лісостепу.

Люди живуть в усіх кліматичних зонах. Проте в екстремальних умовах холодної Півночі чи спекотної екваторіальної Африки чисельність населення зменшується, що пояснюється більшими витратами сил і ресурсів. У зв'язку зі зменшенням енергоресурсів дехто з футурологів пророкує, що в майбутньому переважна частина населення Землі проживатиме в південних широтах з теплим кліматом. Тут менші витрати теплоти на опалення житла, не потрібен теплий одяг. Проте й середні широти з Помірним кліматом не залишаться безлюдними. З метою зменшення енерговитрат на опалення житло будуватимуть глибоко під землею. Це заощадить будівельні матеріали та енергію на обігрівання.

3.8. ПРОСТІР ДЛЯ ЖИТТЯ

Площа суші на земній поверхні становить 149 млн км², але тільки третина її придатна для життя. Всього обробляється та зайнято містами й селами 15,1 млн км², 30,5-луками й пасовиськами, 61,7 – скелями, пустелями й льодовиками, 41,6 – лісами. Нині суші для життя людей вистачає.

На сучасному історичному етапі в світі спостерігається демографічний вибух – різке зростання чисельності населення (див. рис. 2.5), яке в 1999 р. досягло 6 млрд чоловік. Кожних 4-5 днів населення Землі збільшується на 1 млн чоловік, а за кожний рік – на 85 млн. Передбачається, що в 2035-2040 рр. його чисельність становитиме близько 12 млрд чоловік, і ця величина має стабілізуватися. Для такої кількості населення вистачить придатної для життя площі. В цьому разі середня густина населення становитиме 240 чол/км² (десь на рівні Японії).

Україна розташована в центрі та на південному сході Центральної Європи і займає площу 603,7 тис. км² (це становить 31,5 % загальної площі центральноєвропейських країн). У країні проживає близько 49 млн чоловік, що становить 31 % населення Центральної Європи. Середня густина населення – 85,7 чол/км². Спостерігається тенденція до прогресуючого збільшення міського населення. Міста виникли близько 3 тис. років тому як найвища форма організації простору для життя людського суспільства. За прогнозами ООН, на початку XXI ст. половина населення мешкатиме в містах-гігантах з десятками мільйонів жителів. Найбільше місто в Україні – Київ, у якому проживає близько 3 млн чоловік. В Україні 425 міст і понад 900 селищ міського типу, в яких проживає 68 % міського населення. Всього в п'яти містах (Київ, Харків, Дніпропетровськ, Донецьк, Одеса) населення становить понад 1 млн чоловік. Густина сільського населення – 60-95 чол/км². Найбільша густина населення в Донецькій області – 200 чол/км². Порівняно з такими європейськими країнами, як Бельгія і Нідерланди, наша країна не є перенаселеною.

Як свідчить накопичений досвід, для збереження природного середовища великого регіону на рівні оптимуму (стабільність кліматичних умов, достатня кількість харчових продуктів та необхідні умови для відпочинку людей) треба залишити 30 % площі в природному стані без антропогенної діяльності (ліси, заказники, національні парки). Половина з тих 70 % площі, що залишається, має використовуватись під виробництво продуктів харчування. Зменшення площі незайманої природи призведе до негативних екологічних наслідків.

3.9. ПРОДОВОЛЬСТВО

Нині основну частку (до 98 %) продуктів харчування людей забезпечує суходіл, насамперед ґрунти. Для господарського використання при сучасному рівні техніки доступні 134 млн км², або 13,4 млрд га. З них пустельні й тундрові території становлять 17 млн км². На початок 70-х років XX ст. було розорано і оброблялося 1,5 млрд га, тобто 10,8 % придатної для сільськогосподарського використання суші. Луки й пасовиська займали майже 3 млрд га (22,3 %). У середньому на кожного мешканця планети припадає близько 1 га орних земель, луків і пасовищ, тоді як для мисливця палеоліту для задоволення його життєвих потреб потрібна була площа 20 км².

У зв'язку із зростанням чисельності населення та виходом частини угідь ч сільськогосподарського обороту (щороку 5-7 млн га) площа орної землі постійно зменшується. Так, у колишньому СРСР забезпеченість населення орними землями на душу населення знизилась з 1,4 га в 1965 р. до 0,76 га в 1985 р.

З майже 500 тис. видів рослин нашої планети людина використовує близько 23 тис. видів. Серед них близько 6 тис. видів – культурні рослини. З останніх у країнах СНД найпоширеніші 250 видів. До групи польових культур входить близько 90 найважливіших видів рослин, які забезпечують людей необхідними продуктами харчування, кормами для тварин і сировиною для технічної переробки. Серед квіткових рослин їстівних налічується 2897 видів. З найпоширеніших 1500 видів харчових, і технічних і лікарських культурних рослин М. І. Вавилов виділив 1000 найголовніших, які займають 90 % площі, що обробляється.

В Україні практичну цінність для задоволення потреб людини мають 65 % видів її флори. До них належать кормові – близько 1000, дикорослі їстівні – 150, ефіроолійні – 400, вітаміноносні – 200, медоносні – 500, дубильні – 100, фарбувальні – 150, волокнисті – 50 та лікарські – 800 видів.

Населення планети споживає 8,7 млрд т органічної речовини, виробленої сільським господарством. Біомаса земної кулі разом з гумусом і органічними рештками становить 5500 млрд т. Щорічне виробництво органічної речовини еквівалентне $1,5 \cdot 10^{17}$ кДж енергії, з якої на частку рослинних продуктів припадає 89 %.

Земляни вирощують понад 80 видів головних сільськогосподарських культур. У світовому виробництві продуктів харчування 60 % припадає на частку зернових культур, з яких більш як 40 % – рис і пшениця. Злакові забезпечують майже 50 % білка в раціоні харчування. Рис є основною їжею більш як 2 млрд чоловік і його виробництво в 1975 р. становило 325 млн т. Того року вироблено пшениці 360 і кукурудзи – 293 млн т. Щороку вирощується понад 300 млн т картоплі і 125 млн т бобових (гороху, сої, арахісу).

У 1989 р. в колишньому СРСР було вироблено: зерна – 211,1; цукрових буряків – 97,5; картоплі – 72,0; овочів – 33,5; плодів і ягід – 9,9; винограду – 4,9 млн т. Середня урожайність зерна в країні становила 18,8 ц/га. Вироблено 20,0 млн т м'яса, 108,1 млн т молока і 84,6 млрд штук яєць. Поголів'я

свійських тварин становило: великої рогатої худоби – 119,6; свиней – 78,1 та овець і кіз – 147,5 млн голів.

Україна в 1990 р. виробляла зернових і зернобобових культур – 18,7 млн т, цукрових буряків – 36,3; картоплі – 14,5; м'яса – 4,0; молока – 22,4; цукру-піску – 3,5 млн т; виловлювала риби і добувала морепродуктів 0,9 млн т та виготовляла 380,8 тис. т тваринного масла. В 1994 р. в країні було 21,6 млн голів великої рогатої худоби, 15,3 млн свиней і 6,9 млн овець.

Для задоволення харчового раціону людині щороку потрібно близько 4 млн кДж (~ 1 млн ккал) в енергетичному еквіваленті. В світі лише декілька країн (Австралія, Канада, Нова Зеландія, США і ПАР) забезпечують населення продуктами харчування власного виробництва. Нині примара голоду нависла над багатьма країнами Азії, Африки та Латинської Америки. Щороку від голоду помирає понад 20 млн чоловік, близько 800 млн – голодує. Майже половина населення Землі неповноцінно (без тваринних білків) харчується. Щоб прогодувати 6,5 млрд населення, треба збільшити врожайність полів у 2 рази, що цілком можливо, виходячи з порівняння середніх і рекордних урожаїв. Так, для пшениці середній врожай становить – 20,85 ц/га, рекордний – 145,26 ц/га, для картоплі – відповідно 266,8 і 941,5, для рису – 25 і 144 ц/га. З наведеного прикладу можна зробити висновок, що за рахунок інтенсифікації сільського господарства виробництво продуктів харчування можна збільшити за певних умов у 3-4 рази.

Раціон людини включає продукти тваринництва (м'ясо, молоко та ін.). Для відгодівлі тварин згодують 33-40 % рослинного фуражного зерна. Нині на кожного жителя планети припадає в середньому одна велика свійська тварина і один птах, які споживають у 5 разів більше їжі (в основному зерна), ніж людина. Трансформація біомаси з рослинної в тваринну зменшує її кількість у 10 разів, що потребує значного збільшення продуктивності від агросистем у разі введення значної частки продуктів тваринництва в раціон харчування. Отже, слід самообмежити себе в споживанні продуктів тваринництва і віддавати перевагу продуктам рослинництва.

Світові ресурси продовольства поповнюються продуктами Світового океану та інших водойм. Займаючи площу, що становить 71 % поверхні Землі, він сьогодні постачає 2 % продуктів (риба, ракоподібні, ссавці, криль та деякі рослини – ламінарія). В 1970-1990 рр. вилов риби в світі стабілізувався і становить 75 млн т за рік. Підраховано, що річний приріст риби в океані становить 230-250 млн т. З цієї кількості можна виловлювати близько 120 млн т. Важливим резервом поповнення ресурсів продовольства є аквакультура – розведення риби в ставках, особливо вирощування мідій, устриць. Мідії мають смачне м'ясо з повноцінним білком. У Франції вихід м'яса мідій на 1 га водойм становить 200-250 т за рік, тоді як з корів отримують 0,3 т, а розведенням курей – 2 т живої маси. Крім того, аквакультура економічно більш вигідна. Тому в Україні на березі Чорного моря варто вирощувати мідій у більших масштабах, про що свідчить досвід впровадження цього методу під Одесою та в Криму. За рахунок аквакультури внесок океану в забезпечення людини їжею може збільшитися до 5 %.

Наприкінці XX ст. відкрився ще один шлях поповнення ресурсів продовольчих продуктів – застосування біотехнологій. *Біотехнологія* – це мікробіологічний синтез за допомогою бактерій білка та інших органічних речовин на основі відходів сільського господарства, деревини чи нафтопродуктів. Бактеріальний синтез дає змогу отримати білки з повним складом амінокислот. Особливо важливими є висока швидкість розмноження бактерій – вони дають потомство кожні 30 хв. З однієї клітини за 5 год утворюється тисяча нових. Так, при вирощуванні кормових дріжджів з 1 м³ об'єму апарата за добу можна одержати 30 кг білка. Це еквівалентно кількості білка, яку можуть дати 100 корів за той самий час. Складність цієї проблеми полягає в традиції поглядів людей на продукти харчування. Уже створено штучну чорну ікру, лососину, м'ясо, курячий та м'ясний бульйони, мармелад тощо. Навчилися робити штучні ароматизатори з будь-яким запахом (часнику, цибулі, шинки, м'ясного бульйону, банана та ін.). В Японії, США та Англії вже зараз випікають «зелений хліб» з добавкою порошку з морських водоростей, який дуже корисний для здоров'я.

3.10. ГЕНЕТИЧНИЙ ФОНД ТА НАДБАННЯ ЛЮДСЬКОГО ІНТЕЛЕКТУ

Сукупність видів рослин і тварин Землі становить генетичний фонд. Рослинний світ планети утворює фітосферу (грец. *phiton* – рослинна сфера), до якої входить приблизно 500 тис. видів рослин. До складу основних груп рослин належить таке число видів:

Бактерії	1200	Зелені волопості	8000
Синьозелені водорості	2000	Інші водорості	1000
Діатомові водорості	1400-1600	Гриби	40 000-50 000
Жовто-зелені	300	Лишайники	20 000
Бурі водорості	1500	Мохоподібні	25 000
Червоні водорості	3800	Судинні спорові	11 000
1 Профітові водорості	1200	Голонасінні	600
Золотисті водорості	1000	Покритонасінні	260 000

До складу фауни входить близько 1,5 млн видів, у тому числі: комах – 1 млн, джгутикових – 8000, інфузорій – 6000, губок – 5000, коралів – 6100, нематод – 10 000, моховаток – 2700, червононогих моллюсків – 9000, двостулкових моллюсків – 15 000, ракоподібних – 25 000, павукоподібних – 35 000, риб – 20 000, земноводних і плазунів – 6000, птахів – 8590, ссавців – 4000-4500 та багато інших.

Рослинний і тваринний світ є дзеркалом, в якому відбивається ставлення людини до природи. Всі елементи живої речовини біосфери тісно пов'язані між собою трофічними ланцюгами (мережею). Зміни

в природі впливають на життєздатність, екологію та поширення окремих рослин і тварин. Екологічна рівновага в глобальній екосистемі – біосфері забезпечується біологічним розмаїттям. Зникнення будь-якого виду в біогеоценозі руйнує усталені віками зв'язки між окремими видами та іншими компонентами біогеоценозу (мікроорганізмами, комахами тощо). В природі кожний вид організмів відіграє певну і тільки йому властиву роль. Зникнення одного виду автоматично призводить до зникнення багатьох інших, об'єднаних спільним трофічним ланцюгом. Тому слід дбайливо оберігати генетичний фонд нашої планети.

Одним з найголовніших ресурсів людства є його розум. Сумарна маса мозку людства нині становить приблизно 9 млн т. Можливості розуму безмежні і потрібно розумно розпоряджатися цим багатством. Плоди його діяльності слід спрямовувати на служіння людям і користь усій нашій біосфері. Вже нині людське суспільство має величезні здобутки в галузі науки і техніки. Людина змогла розгадати таємниці мікро- і макросвіту, подолати сили гравітації Землі і вирватися в безмежні далі космічного простору. Вона неодноразово побувала на поверхні Місяця, запустила космічні апарати на деякі планети Сонячної системи і до Сонця; навчилася перетворювати хімічні елементи; використовує в господарстві величезні запаси атомної енергії; побудувала автоматично керовані штучні екосистеми, які функціонують і в Космосі.

Досягнення людського інтелекту слід спрямовувати не на війни за життєвий простір, не на підкорення народів, а на забезпечення гармонійного співіснування з біосферою, стійкої динамічної екологічної та біологічної рівноваги, підвищення добробуту людей та оптимальних умов існування природи.



Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:

- 1) знати класифікацію природних ресурсів;
- 2) пояснити сучасні тенденції споживання природних ресурсів;
- 3) обґрунтувати сучасний стан забезпеченості людського суспільства природними ресурсами;
- 4) виходячи з тенденцій сучасного споживання природних ресурсів, скласти перспективний прогноз їх споживання в світі; в країні;
- 5) проаналізувати сучасний стан задоволення потреб населення України в природних ресурсах;
- 6) скласти перспективний прогноз споживання природних ресурсів в Україні.



Запитання і завдання для самостійної роботи

1. Підрахуйте життєву потребу людини в атмосферному повітрі, якщо середня тривалість життя людини становить 63 роки.
2. На спалювання палива в усьому світі витрачається приблизно 10 млрд т кисню. Підрахуйте, скільки палива спалюється щороку в усьому світі, якщо це паливо – кам'яне вугілля.
3. Які енергетичні ресурси ви знаєте?
4. Обґрунтуйте, чому людство планети було змушене подвоювати споживання енергії останнім часом впродовж 10 років, тоді як у недалекому минулому це подвоєння відбувалося впродовж 20 років?
5. Як людство задовольнить власні енергетичні потреби в майбутньому?
6. Що називають рудною і нерудною мінеральною сировиною?
7. Дайте визначення «індексу використання резервів» та обчисліть його для вкопного палива, залізних руд.
8. Схарактеризуйте ґрунти як природний ресурс.
9. Які типи ґрунтів ви знаєте? Чим визначається їхня якість?
10. Підрахуйте, скільки вуглекислого газу виділяє садова ділянка площею 0,6 га за добу.
11. Схарактеризуйте клімат як природний ресурс.
12. Схарактеризуйте простір для життя як природний ресурс.
13. Нині в Україні проживає 49 млн населення. Яка буде густина населення, якщо кількість населення подвоїться? Скільки буде потрібно вкопного палива, якщо його витрати збережуться на сучасному рівні?
14. Які види продовольства споживає населення України?
15. Підрахуйте добові витрати населення України (49 млн чоловік) найважливіших видів продукції, якщо ці витрати збережуться такими, як у 1993 р.
16. Чи може нині Україна задовольнити свої потреби в продуктах харчування?
17. Схарактеризуйте генетичний фонд та надбання людського інтелекту як природні ресурси.
18. Підрахуйте, яка ділянка лісу потрібна, щоб переробити за допомогою фотосинтезу весь вуглекислий газ, який видихає населення України; населення всієї планети.
19. Яка маса оксиду карбону (IV) перетворюється на зелені рослини, якщо на один моль поглиненого вуглецю витрачається 477,7 кДж енергії?
20. Скільки сонячної енергії поглинає суша?

Розділ 4 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ЗАКОНИ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ

4.1. ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ

Вплив середовища на організми зазвичай оцінюють через окремі фактори. Поняття умов екологія замінила поняттям фактора. *Екологічний фактор* – це будь-який нерозчленований далі елемент середовища, здатний прямо чи опосередковано впливати на живі організми хоча б упродовж однієї з фаз їх індивідуального розвитку. Фактори поділяють на три групи: абіотичні (або фізико-хімічні), біотичні та антропогенні. До *абіотичних* належать кліматичні, атмосферні, ґрунтові (едафічні), геоморфологічні (орографічні), гідрологічні та ін. До *біотичних* належать фактори живої природи – вплив одних організмів або їх співтовариств на інші. Ці впливи можуть бути з боку рослин (фітогенні), тварин (зоогенні), мікроорганізмів, грибів тощо. *Антропогенні* – це фактори людської діяльності. Серед них розрізняють фактори прямого впливу на організми (наприклад, промисел) і опосередкованого – вплив на місце проживання (наприклад, забруднення середовища, знищення рослинного покриву, будівництво гребель на ріках тощо).

Визначення екологічного фактора характеризується такими ознаками:

1) нерозчленованість даного елемента середовища. Наприклад, глибину водойми не можна розглядати як екологічний фактор, тому що глибина впливає на мешканців водойми не безпосередньо, а через збільшення тиску, зменшення освітлення, зниження температури, збільшення солоності, зменшення вмісту кисню тощо. Саме температура, солоність, вміст кисню, освітленість, тиск та ін. виступають як екологічні фактори водойми, що впливають безпосередньо на живі організми;

2) дія екологічних факторів може бути не прямою, а опосередкованою, тобто в цьому разі вони діють через численні причинно-наслідкові зв'язки.

Розрізняють десять груп екологічних факторів (загальна кількість – близько 60), об'єднаних за певним показником: за часом – *фактори часу* (еволюційний, історичний, діючий), *періодичності* (періодичний і неперіодичний); *за середовищем виникнення* (атмосферні, водні, геоморфологічні, фізіологічні, генетичні, екосистемні); *первинні та вторинні*; *за походженням* (космічні, біотичні, абіотичні, природно-антропогенні, техногенні, антропогенні); *за характером* (інформаційні, фізичні, хімічні, енергетичні, термічні, біогенні, кліматичні, комплексні); *за спектром впливу* (вибіркової чи загальної дії); *за умовами дії*; *за об'єктом впливу* (летальні, екстремальні, обмежувальні, мутагенні, занепокоєння).

Прояв впливу факторів виражається в зміні життєдіяльності організмів. Це призводить до зміни чисельності популяції. При цьому слід зазначити такі закономірності:

1) за певних значень фактора складаються найсприятливіші умови для життєдіяльності організмів. Такі умови називають *оптимальними*, а відповідні значення фактора – *оптимумом* (рис. 4.1);

2) чим більше значення фактора відхиляється від оптимальних, тим сильніше пригнічується життєдіяльність особин. У зв'язку з цим виділяють зону їх *нормальної життєдіяльності*;

3) діапазон значень фактора, за межами якого нормальна життєдіяльність особин стає неможливою, називають *межею витривалості*. Розрізняють верхню і нижню межі витривалості. Діапазон значень фактора, за межами якого організм почувається пригнічено, називають *зоною пригнічення (песимуму)*.

Діапазон значень оптимуму й песимуму є критерієм для визначення *екологічної валентності (екологічної толерантності; лат. «толеранція» – терпіння) – здатності організму пристосовуватися до змін умов середовища*. Кількісно вона охоплює діапазон від нижнього песимуму (екологічний мінімум на шкалі фактора) до верхнього песимуму (екологічний максимум). У цьому полягає суть *закону екологічної валентності (екологічної толерантності)*, сформульованого В. Шелфордом (1913): *діапазон значень зміни фактора верхнього й нижнього песимумів, за яких організми здатні пристосовуватися до змін умов середовища, визначають межі витривалості*. Екологічна валентність різних видів може значно різнитися. Так, північні олені витримують коливання температури повітря від -55 до +20...+30 °С, а тропічні корали гинуть вже в разі зміни температури на 5-6 °С.

За екологічною валентністю організми поділяють на стенобіонти і еврибіонти. *Стенобіонти* (грец. «стенос» – вузький та «біос» – життя) – організми, що можуть жити при дуже незначній зміні факторів середовища (температури, кислотності, вологості, солоності тощо). До стенобіонтів належать орхідеї, далекосхідний рябчик, форель та ін. *Еврибіонти* (грец. «еврі» – широкий) – організми, що можуть жити при значних змінах факторів середовища (колорадський жук, пацюки, вовки, таргани, очерет тощо). Серед стенобіонтів і еврибіонтів залежно від конкретного фактора організми поділяють на стенотермні та евритермні (за реакцією на температуру), стеногалінні та евригалінні (за реакцією на солоність води), стенофоти та еврифоти (за реакцією на освітлення) тощо.

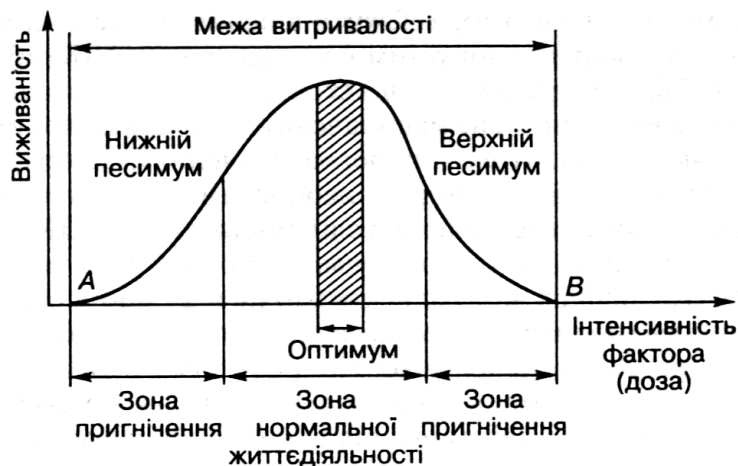


Рис. 4.1. Вплив інтенсивності фактора на життєдіяльність організму:

A — екологічний мінімум; *B* — екологічний максимум

Серед сукупності різних факторів виділяють *лімітуючі*, тобто такі, значення (рівень, доза) яких наближається до межі витривалості організму (значення фактора менше або більше від оптимуму). Поняття лімітуючого фактора започатковане *законами мінімуму Лібиха* (1840) і *толерантності Шелфорда*. Найчастіше лімітуючими факторами є температура, світло, тиск, біогенні речовини тощо.

Правило Лібиха, або інакше, *закон обмежувального фактора (правило мінімуму)*, має таке тлумачення: в комплексі факторів сильніше діє той, який ближче до межі витривалості.

Правило взаємодії факторів полягає в тому, що одні фактори можуть підсилювати або пом'якшувати силу дії інших факторів. Наприклад, надлишок теплоти може якоюсь мірою пом'якшувати зниження вологості повітря. Проте це не означає, що фактори можуть взаємозамінятися.

Закон лімітуючого фактора лежить в основі теоретичного обґрунтування величини гранично допустимої концентрації (ГДК) або дози (ГДД) забрудників. Цілком зрозуміло, що стосовно забруднювальних речовин нижня межа толерантності не має значення, а верхня не повинна збільшуватися ні за яких умов. Тому ті порогові значення фактора, за яких в організмі ще не відбувається жодних необоротних патологічних змін, які встановлюють експериментально, і слід приймати як ГДК (ГДД).

Потрібно брати до уваги *закон рівнозначності умов життя*: всі природні умови середовища, необхідні для життя, відіграють рівнозначні ролі. З нього випливає закон сукупної дії екологічних факторів. В природі екологічні фактори діють комплексно. Це треба пам'ятати, оцінюючи вплив хімічних забрудників, коли *«сумаційний» ефект* (на негативну дію однієї речовини накладається негативна дія інших, а до цього додається вплив стресової ситуації, шумів, різних фізичних полів — радіаційного, теплового, гравітаційного чи електромагнітного) дуже змінює умовні значення ГДК, наведені в довідниках.

Екологічні фактори на рівні особини, популяції, виду і екосистеми впливають по-різному. На рівні особин абіотичні фактори впливають насамперед на поведінку тварин, змінюють трофічні відносини з середовищем і характер метаболізму, діють на здатність розмножуватися і плодючість, значною мірою визначають розвиток, швидкість росту і тривалість життя і марин і рослин. На рівні популяції абіотичні фактори діють на такі параметри, як народжуваність, смертність, середня тривалість життя особини, швидкість зростання популяції та її розміри. Останні визначають характер динаміки чисельності популяції і просторовий розподіл особин у ній. На рівні виду абіотичні умови середовища проживання нерідко виступають як фактори, що визначають і обмежують географічне поширення.

Температурні умови можуть викликати географічну мінливість видів. Німецький фізіолог Карл Бергман (1847) встановив: теплокровним тваринам зі сталою і притому високою температурою тіла в жаркому кліматі корисно випромінювати, а в холодному, навпаки, утримувати теплоту (*правило Бергмана*).

Друге морфолого-географічне правило, або *правило Аллена*, може бути сформульоване так: у теплокровних тварин у напрямку до тропіків спостерігається подовження хвостів, вух, дзьобів, парних кінцівок і різного роду наростів — чубів, ріжків, комірців тощо. Це правило поширюється на підвиди одного виду або на близькоспоріднені види.

Різниця в значеннях вологості на різних ділянках поверхні Землі позначається не лише на характері поширення тварин і рослин, а й на забарвленні хребетних тварин, про що говорить *правило Глогера*: колір хребетних тварин, що проживають у країнах з вологим кліматом, як правило, темніший і яскравіший, ніж у географічних популяцій тих самих видів, поширених у країнах із сухим кліматом.

На рівні екосистеми будь-який абіотичний фактор, що впливає на окремих вид, який входить до складу екосистеми, впливатиме і на саму екосистему, на її визначальні властивості. Дія абіотичних факторів може призвести до загибелі особин, що зумовить зменшення густоти популяцій, які входять до складу екосистеми. Це в кінцевому підсумку позначиться на видовому різноманітті, просторовому розподілі видів в екосистемі, на характері їх взаємодії один з одним.

Біотичні фактори поділяють на дві групи: внутрішньовидові та міжвидові взаємодії. Під

внутрішньовидовими, або *гомотипічними*, *реакціями* розуміють взаємодію між особинами одного виду. *Ефект групи* – це вплив групи як такої і числа індивідів у групі на поведінку, фізіологію, розвиток і розмноження особин, зумовлений сприйняттям присутності особин свого виду за допомогою органів чуття. *Ефект маси*, на відміну від ефекту групи, не пов'язаний зі сприйняттям особинами одного виду присутності одна одної.

До гомотипічних реакцій крім групового і масового ефектів належить ще одна форма взаємодії між особинами одного виду – *внутрішньовидова конкуренція* – боротьба за можливість вижити, для чого необхідна енергія, яку отримують рослини у вигляді сонячного світла, а тварини у вигляді різної поживи. Тому в боротьбі за оволодіння джерелами енергії відбувається напружена конкуренція, виникає суперництво між особинами одного виду. Відносно всіх видів конкуренції існує правило: чим більше збігаються потреби конкурентів, тим жорстокіша конкуренція (*правило конкурентної боротьби*). Отже, основним результатом внутрішньовидової конкуренції є дивергенція особин, що завершується формуванням популяцій.

Розрізняють дві основні форми конкуренції – пряму і побічну. *Пряма конкуренція*, або *інтерференція*, здійснюється шляхом прямого впливу однієї особини на іншу, наприклад, шляхом агресивних зіткнень між тваринами або виділення токсинів (алелопатія) рослинами та мікроорганізмами. *Побічна конкуренція* не передбачає безпосередньої взаємодії між особинами. Вона відбувається опосередковано – шляхом споживання різними тваринами одного й того самого ресурсу, який обов'язково має бути обмеженим. Тому таку конкуренцію зазвичай називають експлуатаційною.

Міжвидові, або *гетеротипічні*, *реакції* – це взаємодії між особинами різних видів. Дві популяції або впливають або не впливають одна на одну. Якщо вплив є, він може бути сприятливим чи несприятливим. Якщо вплив між двома популяціями несприятливий, то взаємовідносини між ними мають характер конкуренції. Якщо дві популяції не впливають одна на одну, то має місце *нейтралізм* – випадок, який не становить особливого екологічного інтересу. Відносини, які мають взаємну користь, відносять до *мутуалізму*, якщо об'єднання двох популяцій облігатне (сторони не можуть існувати одна без одної). В такому разі говорять про *симбіоз*, а популяції називають *симбіонтами*. При *співробітництві* обидві популяції утворюють *співтовариство*. Воно не є обов'язковим, оскільки кожний вид може існувати ізольовано, проте життя в співтоваристві приносить користь обом.

У випадку *коменсалізму* популяції одного виду співтовариства (коменсал) мають користь із співжиття, а популяції іншого виду (хазяїн) не мають жодної вигоди. Відносини між коменсалами і хазяїнами характеризуються взаємною терпимістю. *Аменсалізм* – тип відносин, за яких одна популяція (аменсал) потерпає від пригнічення росту і розмноження, а друга (інгібітор) таких випробувань не зазнає. Аменсалізм спостерігається тільки у бактерій, грибів і рослин.

Хижацтвом називають таку взаємодію між популяціями, за якої одна з них, несприятливо впливаючи на іншу, дістає вигоду від цієї взаємодії. Хижак вбиває жертву і з'їдає її повністю або частково (винятком є ящірки, які залишають хижаку хвіст, і рослини, у яких трав'яні, наприклад, колорадський жук, об'їдають тільки листки). *Паразитизм* є, по суті, хижацтвом, проте хазяїн, як правило, не гине відразу, а деякий час використовується паразитом. А відтак, паразитизм можна розглядати як особливу форму хижацтва.

Вирішальне значення в природі має міжвидова конкуренція, оскільки вона більшою мірою, ніж інші гетеротипічні реакції, визначає роль видів в екосистемах. *Міжвидова конкуренція* – це така взаємодія, коли два види суперничають через одні й ті самі джерела існування – поживу, життєвий простір тощо. Причому вона виникає в тих випадках, якщо використання джерела ресурсів одним видом призводить до обмеженого використання його іншим.

Внутрішньовидова конкуренція сильніша від міжвидової, однак *правило конкуренції* поширюється на останню. Конкуренція між двома видами тим сильніша, чим ближчі їхні потреби. Два види з цілком однаковими потребами не можуть існувати разом: один з них через деякий час обов'язково буде витіснений (*принцип конкурентного витіснення*, або *принцип Гаузе*). Узагальненням конкурентної боротьби в екосистемах є *закон максимізації енергії*, сформульований Г. і Ю. Одумами та доповнений М. Реймерсом: у конкуренції з іншими системами зберігається та з них, яка найбільше сприяє надходженню енергії та інформації і використовує максимальну їх кількість найефективніше.

4.2. ЕКОЛОГІЧНА НІША

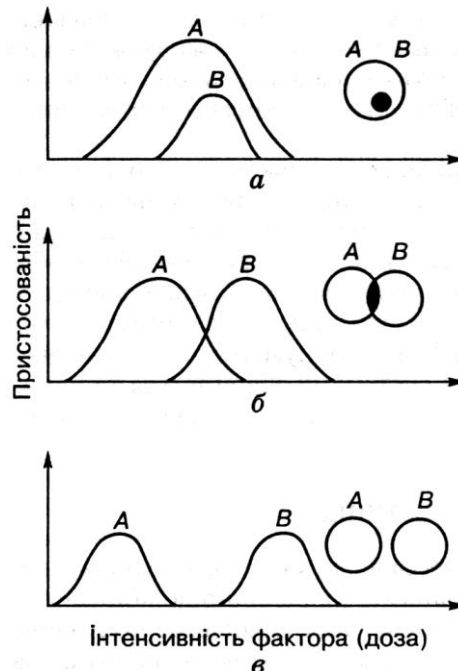
Місце проживання (біотоп) – це адреса виду, а екологічна ніша – це рід його заняття. *Екологічна ніша* – діапазон (відповідно до абіотичних та біотичних факторів) умов, за яких живе і відтворює себе популяція. Більш загальним є таке формулювання: *екологічна ніша* – це загальна сума всіх вимог організму до умов існування, включаючи простір, який він займає, функціональну роль у співтоваристві (наприклад, трофічний статус) та його толерантність відносно факторів середовища – температури, вологості, кислотності, складу ґрунту та ін.

Три критерії визначення екологічної ніші можна визначити як просторову, трофічну та багатовимірну ніші. *Просторова ніша*, або *ніша місце-проживання*, може бути названа «адресою» організму. *Трофічна ніша* характеризує особливості живлення і, відповідно, роль організму у співтоваристві, ніби його «професію». *Багатовимірна ніша* – це ділянка гіперпростору, вимірами якого є різні екологічні фактори. Вона охоплює діапазони толерантності з кожного фактора.

Розрізняють фундаментальну (потенційну) і реалізовану ніші. У *фундаментальній* організм займає її за відсутності конкурентів, хижаків та інших ворогів, у якій фізичні умови оптимальні. *Реалізована ніша*

– фактичний діапазон умов існування організму, який або менший, ніж у фундаментальній ніші, або дорівнює їй. Фундаментальну нішу називають ще прекоконкурентною, а реалізовану – постконкурентною.

Два види не можуть займати одну й ту саму екологічну нішу (*принцип Гаузе*). Цей принцип дав змогу збагнути, що для існування видів у конкурентних співтовариствах необхідні якісь відмінності їхніх екологічних ніш. Оскільки для кожної з конкуруючих сторін уникнення взаємодії вигідне, конкуренція відіграє роль потужного еволюційного фактора, що призводить до розподілу ніш, спеціалізації видів і виникнення видового різноманіття. Явище розподілу екологічних ніш у результаті міжвидової конкуренції називають *екологічною диверсифікацією*. Екологічна диверсифікація між існуючими разом видами здебільшого здійснюється за такими параметрами: просторовим розміщенням, раціоном живлення та розподілом активності в часі. Досить одного з перелічених параметрів, аби послабилась чи повністю зникла конкуренція.



4.2. Можливі взаємодії екологічних ніш видів А і В (за Піанкою)

Екологічна ніша може мати різну ширину за різними вимірами (трофічні зв'язки, просторовий розподіл тощо). Коли два організми різних видів використовують одні й ті самі ресурси, їхні ніші перекриваються. Перекривання може бути повним або частковим. Ніші можуть зовсім не перекриватися (рис. 4.2). Якщо ресурси є в недостатній кількості, то при перекриванні ніш виникає конкуренція. Остання тим інтенсивніша, чим більше це перекривання. Коли ніші повністю розділені (див. рис. 4.2, в), види, що їх населяють, не конкурують один з одним. Якщо екологічні ніші частково збігаються (див. рис. 4.2, б), види співіснують завдяки специфічності їхніх пристосувань (наприклад, особини одного виду займають схованки, недоступні для активнішого конкурента). Якщо ж ніша одного виду повністю включає в себе нішу іншого виду або ці ніші повністю перекриваються (див. рис. 4.2, а), відбувається конкурентне виключення одного з видів або витіснення домінуючим конкурентом свого суперника на периферію зони пристосування.

У природі особини кожного виду є об'єктами одночасно внутрішньовидової і міжвидової конкуренції. У разі посилення внутрішньовидової конкуренції відбувається диференціація виду. Останній займає більшу територію, поширюючись на менш сприятливі ділянки ареалу. Якщо переважає міжвидова конкуренція, то ареал зменшується до території з оптимальними умовами. Одночасно посилюється спеціалізація виду.

4.3. ЕКОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Основною функціональною одиницею біосфери є екологічна система (екосистема), до складу якої входять живі організми та абіотичне середовище. Причому кожна з цих частин впливають одна на одну та обмінюються речовиною і енергією. *Екосистема* – єдиний природний або природно-антропогенний комплекс, утворений живими організмами та середовищем їх існування, в якому живі й неживі компоненти поєднані між собою причинно-наслідковими зв'язками, обміном речовин та розподілом потоку енергії.

Р. Дажо (1975) дав математичне визначення екосистеми: екосистема (E) дорівнює сумі біотопу (Bm) і біоценозу (Bz), тобто $E = Bm + Bz$. Однак і таким математичним описом не можна погодитися, тому що $Bm \neq E - Bz$ і $Bz \neq E - Bm$, оскільки в математичному виразі екосистеми (E) не відображено обміну речовин та енергії, які впливають з визначення. А тому визначення екосистеми вірніше представити як

функцію біоценозу, біотопу та обміну речовин (P), енергії ($Eя$) та інших екологічних факторів

$$\left(\sum_{i=1}^n \Delta \delta \right):$$

$$E = f(Bз, Bт, P, Eя, \sum_{i=1}^n \Delta \delta)$$

Структуру біоценозу складають продуценти – виробники живої органічної речовини, консументи (рослиноїдні та м'ясоїдні тварини) – споживачі органічних речовин і редуценти – перетворювачі органічних речовин на прості мінеральні сполуки. *Продуценти* – автотрофні (хемо- та фототрофні) організми, що продукують органічну речовину з неорганічної. Продуценти є первинною ланкою ланцюгів живлення. *Консументи* – організми (їх сукупність), які споживають органічну речовину, створену продуцентами або перетворену консументами нижчих рівнів екологічної піраміди. Розрізняють консументи першого порядку (травоїдні), другого й вищих порядків (хижаки, паразити тощо). *Редуценти* – організми (переважно бактерії, гриби), які в процесі життєдіяльності перетворюють, розкладають органічні рештки на неорганічні речовини. Редуценти – заключна ланка ланцюгів живлення.

Залежно від способу добування і використання поживних речовин усі організми поділяють на автотрофи і гетеротрофи. *Автотрофи* – організми, що самостійно забезпечують себе їжею. Вони здатні утворювати органічні речовини з неорганічних за допомогою сонячного світла (фотосинтез) або енергії хімічних реакцій (хемосинтез). До автотрофів належать рослини та деякі бактерії. *Гетеротрофи* – організми, що живляться готовими органічними речовинами. Вони, на відміну від автотрофів, синтезують необхідні для їхнього життя речовини з готових органічних сполук. До гетеротрофів належать тварини, людина, деякі вищі паразитичні рослини, гриби та багато мікроорганізмів.

Основною структурною одиницею в системі живих організмів є вид. *Вид* (біологічний) – сукупність організмів із спорідненими морфологічними ознаками, які можуть схрещуватися один з одним і мають спільний генофонд. Види мають морфологічні, фізіолого-біохімічні, еколого-географічні (біогеографічні) та генетичні характеристики. Вид підпорядкований роду і поділяється на підвиди і популяції. *Популяція* – сукупність особин одного виду з однаковим генофондом, яка живе на спільній території впродовж багатьох поколінь.

У природі види рослин і тварин розподіляються не випадково, а завжди утворюють певні, порівняно сталі комплекси (угруповання) – біоценози. *Біоценоз* (грец. «біос» – життя та «койнос» – загальний) – стала система живих організмів, які населяють більш-менш однорідну ділянку суші чи води і пов'язані між собою. Стійкою екологічною системою є біогеоценоз (грец. «біос» – життя, «гео» – земля та «койнос» – загальний). *Біогеоценоз* – однорідна ділянка суходолу чи водної поверхні з певним складом живих (біоценоз) та неживих (приземний шар атмосфери, ґрунт, вода, сонячна енергія) компонентів, що динамічно взаємодіють між собою в процесі обміну речовин та енергії. Біогеоценоз є більш загальним поняттям і його складовими компонентами є біотоп і біоценоз. *Біотоп* – ділянка суходолу чи водойми з однотипними умовами рельєфу, клімату та інших абіотичних факторів, яку займає певний біоценоз. Біотоп – неорганічний компонент біогеоценозу. Отже, біоценоз – спільнота живих організмів, що мешкають у межах одного біотопу. Поняття «біоценоз» – умовне, оскільки поза середовищем існування організми жити не можуть. Цим поняттям зручно користуватися в процесі вивчення екологічних зв'язків між організмами. Залежно від місцевості, відношення до людської діяльності, ступеня насичення, повноцінності та інших факторів розрізняють біоценози суші, води, природні та антропогенні, насичені й ненасичені, повночленні та неповночленні.

У кожній екосистемі можна виділити такі компоненти: 1) неорганічні речовини (вуглець, азот, вуглекислий газ, вода та ін.), які вступають у колообіг; 2) органічні речовини (білки, вуглеводи, гумінові речовини, ліпіди та ін.), які об'єднують біотичну та абіотичну частини екосистеми; 3) клімат (температура, вологість, тиск та ін.); 4) продуценти – автотрофні організми (переважно рослини); 5) консументи – гетеротрофні організми (переважно тварини); 6) редуценти (деструктори) – гетеротрофні організми (переважно бактерії та гриби). Перші три групи – неживі компоненти, решта становить живу масу (біомасу). Розташування трьох останніх компонентів відносно потоку енергії, що надходить, являє собою структуру екосистеми (рис. 4.3). Продуценти перетворюють сонячну енергію, вуглекислий газ і воду в процесі фотосинтезу на органічну речовину і кисень, тобто на енергію хімічних зв'язків. Консументи, поїдаючи продуцентів, розривають ці зв'язки. Вивільнена енергія використовується консументами для побудови власного тіла. Редуценти руйнують хімічні зв'язки молекул органічних речовин, які розщеплюються, і будують своє тіло. В результаті вся енергія, яку засвоїли продуценти, використовується на підтримання життя, а частина розсіюється в навколишній простір. Органічні речовини розкладаються на неорганічні і повертаються до продуцентів. Таким чином, структуру екосистеми утворюють три рівні (продуценти, консументи, редуценти) трансформації енергії і два колообіги – твердих і газоподібних речовин. Згідно із законом *екологічної кореляції*, в екосистемі, як і в будь-якій іншій системі, всі види живої речовини і абіотичні екологічні компоненти функціонально відповідають один одному. Випадання однієї частини системи (виду) неминуче призводить до вимикання пов'язаних з нею інших частин екосистеми і функціональних змін.

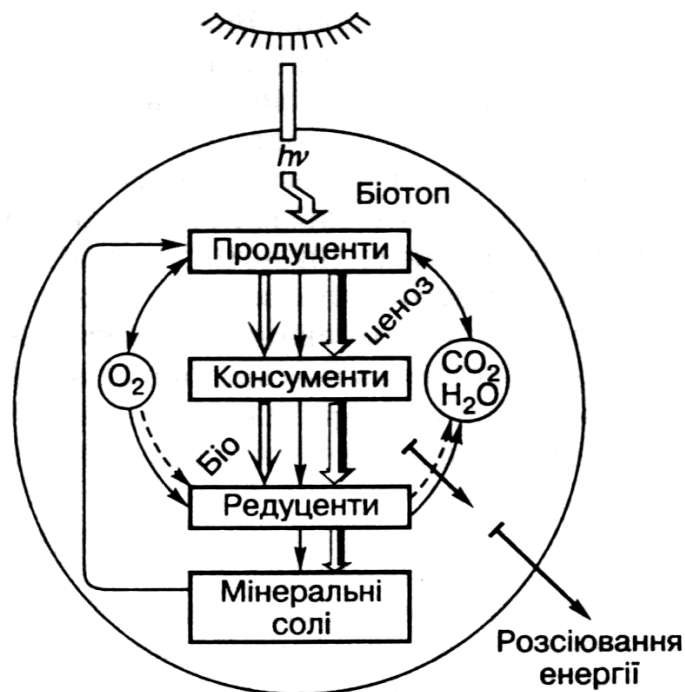


Рис. 4.3. Структура екосистеми, що включає потік енергії (\Rightarrow і \rightarrow) і два колообіги речовин [твердих (\Rightarrow) і газуватих (\rightarrow)];
 \dashrightarrow – участь у колообігу анаеробних бактерій

Виділяють мікроекосистеми (пеньок з грибами, калюжа, ставок), мезоекосистеми (садова ділянка, ліс, озеро) і макроекосистеми (континент, океан). Глобальною екосистемою є біосфера. Ці екосистеми належать до природних. Крім того, поняття екосистем поширюється і на штучно створені людиною об'єкти. А тому залежно від роду діяльності людини виділяють такі екосистеми, як агроценоз (сади, сільськогосподарські угіддя, тваринницькі ферми тощо), промислові екосистеми (вугільна шахта, металургійний завод, очисні споруди тощо). Всі вони об'єднуються в антропогенні екосистеми.

Екосистеми – відкриті функціонально цілісні системи, які існують за рахунок надходження з навколишнього середовища енергії та частково речовини і які саморегулюються та самовідтворюються. Проте антропогенні екосистеми, що створені людиною і функціонують за її безпосередньою участю, не здатні саморегулюватися і самовідтворюватися. Здатність екосистем до саморегуляції та самопідтримання називають *гомеостазом*. Екосистеми не слід розглядати як щось статичне. Система, що зберігає свою стійкість за відносної стабільності зовнішнього середовища, здатна до різних змін внаслідок змін у зовнішньому середовищі і в складі самої екосистеми. Так, у покинутому полі спочатку з'являються багаторічні трави, на зміну яким послідовно приходять чагарники і під кінець деревна рослинність.

Зміна екосистем може відбуватися з різних причин. Розрізняють алогенні та автогенні зміни. *Алогенні зміни* зумовлені впливом геохімічних сил, які діють на екосистему зовні (кліматичні та геологічні фактори: ерозія, утворення осадових порід, пожежі, гороутворення, вулканізм тощо). *Автогенні зміни* зумовлені дією внутрішньосистемних процесів (наприклад, евтрофікація водойм під впливом забруднення). Всі зміни, які відбуваються з екосистемами, підпорядковуються *закону оптимальності*: ніяка система не може звужуватися або розширюватися до нескінченності. Жоден цілісний організм не може перевищити певні критичні розміри, які забезпечують підтримання його енергетики. Ці розміри залежать від умов живлення та факторів існування. Внаслідок інтенсивного забруднення навколишнього природного середовища спостерігаються швидкі зміни природних екосистем, пов'язані зі зникненням багатьох видів тварин і рослин.

У підтриманні гомеостазу беруть участь не лише організми та продукти їхньої життєдіяльності, а й неорганічна природа. Абіотичні фактори контролюють життєдіяльність організмів. Організми, в свою чергу, різними способами впливають на абіотичне середовище. Життєдіяльність організмів постійно призводить до змін інертних речовин, постачаючи в середовище нові речовини і джерела енергії. Швидкість зміни хімічного складу навколишнього середовища в результаті життєдіяльності організмів, які синтезують і розкладають органічні речовини, на чотири порядки вища, ніж швидкість його зміни під впливом геологічних процесів.

4.4. СУКЦЕСІЯ

Сукцесія – це послідовна зміна біоценозів, що спадкоємно виникають на одній і тій самій території внаслідок природних чи антропогенних факторів. При визначенні сукцесії потрібно враховувати три аспекти:

1) сукцесія відбувається під дією співтовариства – біотичного компонента екосистеми. Діяльність

співтовариства спричинює зміни у фізичному середовищі, яке визначає характер сукцесії, її швидкість і межу, якої може досягти розвиток;

2) сукцесія – це впорядкований розвиток екосистеми, пов'язаний зі зміною видової структури та процесами, що відбуваються у співтоваристві;

3) завершенням сукцесії є утворення стабільної екосистеми, в якій досягаються максимальна біомаса і максимальна кількість міжвидових взаємодій на одиницю потоку енергії. Розрізняють сукцесії первинні і вторинні. *Первинні сукцесії* починаються на субстратах, які не зачепило ґрунтоутворення (скельні породи, водойми). При цьому формуються не лише фітоценози, а й ґрунт. *Вторинні сукцесії* відбуваються на місці сформованих біоценозів після їх порушення внаслідок ерозії, виверження вулканів, посухи, пожеж, вирубування лісів тощо. Сукцесії відбуваються внаслідок зміни умов проростання рослин під дією життєдіяльності організмів (*ендоєкогенетична сукцесія*) або зовнішніх причин, зокрема антропогенної діяльності (*екзоєкогенетична сукцесія*). Зміни одного фітоценозу іншим у ході сукцесії складають сукцесійний ряд, завершенням якого є утворення стійкого співтовариства. Це співтовариство перебуває у відносно стійкій рівновазі з середовищем.

До зміни екосистеми призводять висушування боліт, надмірні навантаження на ліси, розорювання земель, забруднення водойм тощо. Антропогенні дії часто призводять до спрощення екосистем. Такі явища називають *дигресіями* (лат. «дигресіон» – відхилення). Розрізняють, наприклад, пасовищні, рекреаційні та інші дигресії.

Сукцесії бувають автотрофні і гетеротрофні. В *автотрофних сукцесіях* центральною ланкою є рослинний покрив. До *гетеротрофних* належать *сукцесії*, що відбуваються в субстратах без живих рослин-продуцентів (беруть участь тварини та мертві рослини). Для сукцесій, особливо первинних, характерні такі ознаки:

- 1) на початкових стадіях малі видове різноманіття, біомаса та продуктивність;
- 2) з розвитком сукцесійного ряду збільшується взаємозв'язок між організмами. Ускладнюються ланцюги та мережі живлення;
- 3) інтенсифікуються процеси колообігу речовин, енергії та дихання екосистем;
- 4) зменшується кількість вільних екологічних ніш;
- 5) швидкість сукцесійного процесу більшою мірою залежить від тривалості життя організмів, які відіграють в екосистемах головну роль;
- б) у зрілій стадії клімаксного співтовариства біомаса досягає максимальних значень.

4.5. АНТРОПОГЕННІ І ШТУЧНІ ЕКОСИСТЕМИ

Антропогенні екосистеми є наслідком діяльності людини, спрямованої на задоволення її невинно зростаючих потреб, насамперед у продуктах харчування. Як відомо, основною властивістю природних систем є здатність до саморозвитку, і в першу чергу до самовідновлення, хоча б упродовж одного-двох поколінь. Тому деякі науковці вважають, що немає підстав розглядати антропогенні екосистеми, включаючи і агроценози, як біологічні екосистеми. Однак із загальноприйнятого визначення екосистеми випливає, що вони становлять «єдиний природний або природно-антропогенний» комплекс, утворений живими організмами і середовищем їх існування, в якому живі й неживі компоненти поєднані між собою причинно-наслідковими зв'язками, обміном речовин та розподілом потоку енергії». Усе це властиве і антропогенним екосистемам.

Щодо функцій самовідновлення і саморегулювання, то вони також не будуть властиві мікроекосистемам, якщо їх розглядати як системи, ізольовані від навколишнього природного середовища, від біосфери. Якщо розглядати, за сучасними уявленнями, систему (грец. *systema* – ціле, складене з частин, сполучення) як «множину елементів, що перебувають у відносинах і зв'язках один з одним і утворюють певну цілісність, єдність», антропогенна система відповідає цьому визначенню.

Отже, *антропогенні екосистеми* являють собою єдиний, цілісний природно-антропогенний комплекс, утворений людиною та середовищем її існування, в якому живі й неживі компоненти поєднані причинно-наслідковими зв'язками, обміном речовин та розподілом потоку енергії. Ці системи належать до штучних, в них обмін речовиною та енергією відбувається під впливом людини. А тому вони є відкритими незамкнутими системами, які не здатні до самовідновлення та саморегулювання. В антропогенних системах існує рівновага за умови постійного втручання людини.

Залежно від роду діяльності людини антропогенні екосистеми поділяють на промислові (екосистеми металургійного заводу, харчового виробництва та ін.), сільськогосподарські (агроценози, птахофабрики, тваринницькі ферми та ін.), міські екосистеми (екосистеми комунального господарства, житлового будинку та ін.) тощо.

Раніше від інших були створені людиною сільськогосподарські екосистеми з метою забезпечення її потреб у продуктах харчування – агроценози, тваринницькі ферми тощо. *Агроценози* (грец. «агрос» – поле і «ценоз» – загальний) – це ценози, що утворюються і підтримуються людиною завдяки розробленій нею системою агротехнічних та агрохімічних заходів. Вони характеризуються видовою бідністю і одноманітністю. Відповідно до закону ґрунтостомлення, поступове зниження природної родючості ґрунтів відбувається через тривале їх використання й порушення природних процесів ґрунтоутворення, а також внаслідок тривалого вирощування монокультур (у результаті накопичення токсичних речовин, що виділяються рослинами, залишками пестицидів та мінеральних добрив). В агроценозах здійснюється антропогенний обмін речовин, який є незамкненим і екологічно недосконалим. На вході в систему є природні ресурси та речовини, продуктовані людиною, а на виході –

сільськогосподарські продукти та різні відходи, які не повертаються до цієї системи.

Згідно із *законом сукупної дії природних факторів* (закон Мітчерліха-Тіннемана-Бауле), обсяг урожаю залежить невід окремого, нехай навіть лімітуючого фактора, а від усієї сукупності екологічних факторів одночасно.

В агроценозах регуляторні зв'язки дуже послаблені, що призводить до збільшення кількості шкідників і бур'янів. Тому вони не можуть довго існувати і в них не відновлюється внутрішня рівновага після будь-якого природного чи антропогенного впливу без втручання людини. Проте вони мають високу біопродуктивність одного або кількох видів рослин і тварин, які постачають людству до 90 % продуктів харчування

Останнім часом розроблені технології штучних екосистем екосфери. Вперше (1967) їх почав створювати співробітник Гавайського університету (США) К. Фолсом. Подібні роботи виконуються і в інших країнах. *Екосфера* – це замкнений об'єм, який містить морську воду, пісок і певний набір автотрофів (продуценти – водорості) та гетеротрофів (консументи – коловертки і редуценти – бактерії). Технічною проблемою при створенні екосфер є попереднє повне звільнення усіх живих організмів від патогенних інфекцій. Якщо цього не здійснити, то організми швидко гинуть внаслідок низького видового різноманіття в екосфері. Останнє не дає змоги переробити речовини в паралельних трофічних ланцюгах. Джерелом енергії в екосфері є сонячне випромінювання, але в деяких екосферах використовують штучне освітлення. Екосфери є прообразом системи життєзабезпечення космонавтів у тривалих космічних подорожах.

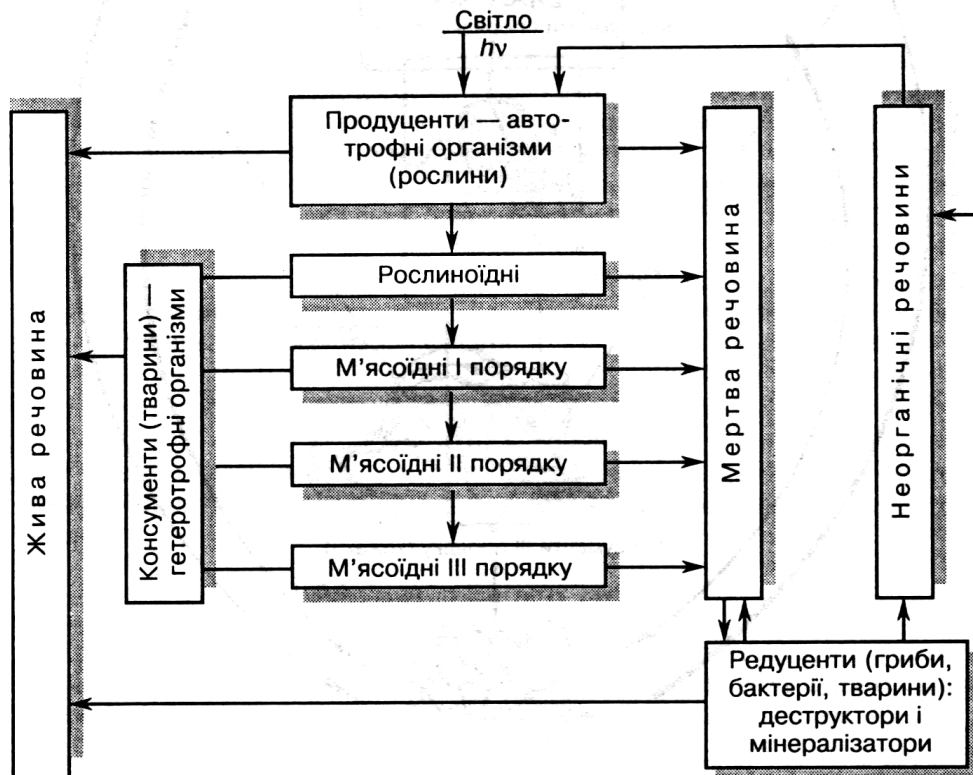
До штучних технічних екосфер можна також віднести виробництва з штучним кліматом у замкненому заводському приміщенні з працюючими робітниками, підводні човни, космічні кораблі та пілотовані космічні станції. У цих екосферах обмін речовиною та енергією здійснюється за участю людини. Існування таких об'єктів є штучним і нетривалим.

4.6. ТРОФІЧНІ ЛАНЦЮГИ (МЕРЕЖІ)

У природі відбувається безперервний колообіг біогенних речовин, необхідних для життя. Автотрофи за допомогою фотосинтезу створюють органічні речовини, якими живляться гетеротрофи, а редуценти знов їх мінералізують. Таким чином, у процесі еволюційного розвитку життя в екологічних системах склалися певні ланцюги живлення (трофічні; грец. «трофо» – живлення). *Ланцюг живлення (трофічний ланцюг)* – послідовність груп організмів, кожна з яких (ланка ланцюга) є поживою для наступної, тобто поєднана зв'язками їжа – споживач. На базі трофічних зв'язків виникають ланцюги живлення, що включають групи організмів, у яких одні поїдають інших. До будь-якої екосистеми входить кілька трофічних рівнів або ланок ланцюга. На основі ланцюгів живлення складається екологічна піраміда (рис. 4.4).

Ланцюг живлення, як правило, складається з 2-5 ланок і включає представників продуцентів, консументів і редуцентів:

Функціональна схема ланцюга живлення



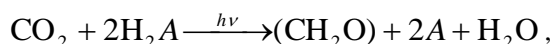
Перший рівень представлений автотрофними організмами (рослинами) – продуцентами, другий –

гетеротрофами (тваринами) – консументами першого порядку. їх ще називають фітофагами (грец. «фітон» – рослина і «фагос» – той, що поїрає), які поїдають рослини. Третій рівень (інколи четвертий, п'ятий) представлений хижаками (зоофагами), або консументами другого (третього, четвертого) порядку. Останній рівень представлений в основному організмами, поживою яких є мертва речовина. їх називають сапрофагами (грец. «сапрос» – гнилий), або редуцентами (лат. «редуцере» – повертати).

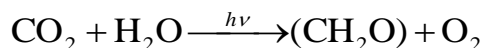
Головною властивістю ланцюга живлення є здійснення біологічного колообігу речовин і звільнення запасеної в органічній речовині енергії. Ланцюг живлення може бути не завжди повним. У деяких випадках у них немає рослин (продуцентів). Такими, наприклад, є ланцюги живлення, що формуються на основі розкладання трупів тварин або рослинних решток (лісова підстилка). В ланцюгу живлення часто відсутні або представлені невеликою кількістю тварини (гетеротрофи). Наприклад, у лісі відмерлі рослини відразу споживають редуценти, які розкладають органічні сполуки до мінеральних речовин і вуглекислого газу, завершуючи колообіг. У процесі кожного чергового перенесення енергії живлення з одного трофічного рівня на вищий більша частина (80-90 %) енергії втрачається, переходячи в теплоту.

Ланцюги живлення поділяють на два типи: ланцюги пасовиськ (від зеленої рослини до трав'яної тварини і далі – до хижаків, що поїдають рослиноїдних тварин) і детритні (ланцюги розкладання від детриту через мікроорганізми до детритофагів та їх споживачів – хижаків). Останнім часом вважають, що краще вживати термін «трофічна мережа», а не «ланцюг», оскільки до складу їжі кожного типу входить кілька видів. Кожен з цих видів, у свою чергу, може бути живленням для кількох інших видів.

Основним способом живлення рослин є фотосинтез, у процесі якого під дією сонячної енергії відбувається перетворення неорганічної речовини – вуглекислого газу на вуглеводи:



де А - донор електронів. У зелених рослинах (водорості, вищі рослини) донором електронів є вода. Тому в результаті фотосинтезу утворюється кисень:



У бактерій роль донора електронів можуть виконувати, наприклад, гідрогенсульфід та органічні речовини. Так, у зелених і пурпурних сіркобактерій відновлення оксиду карбону (IV) відбувається за схемою:



У процесі фотосинтезу світлова енергія вловлюється хлоропластами і перетворюється в кінцевому підсумку на енергію хімічних зв'язків вуглеводів. У розрахунку на один моль поглиненого вуглецю фіксується 477,7 кДж (114 ккал) енергії. В процесі фотосинтезу беруть участь як фотохімічні реакції, так і суто ферментативні (так звані темнові) реакції, а також процеси дифузії, завдяки яким відбувається обмін вуглекислим газом і киснем між рослинами та атмосферним повітрям. Кожний з цих процесів перебуває під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів і може обмежувати продуктивність фотосинтезу загалом.

Рослинна маса формується не тільки за рахунок продуктів фотосинтезу. Поряд з вуглецем, киснем і воднем вона містить у середньому 2-4 % азоту (в білкових речовинах – 15-19 %). Серед біоелементів азот за кількістю його в рослинах посідає четверте місце. Приріст рослинної маси нерідко лімітується кількістю азоту.

Крім світлового живлення рослинам необхідне мінеральне живлення. Вони потребують багато елементів, які або надходять з мінералів, або стають доступними в результаті мінералізації органічної речовини. Всі хімічні елементи поглинаються у формі йонів і включаються в рослинну масу, накопичуючись у клітковому соці. Життєво необхідними і незамінними є основні елементи мінерального живлення, які потрібні у великих кількостях: калій, фосфор, кальцій, магній, сірка, натрій, а також мікроелементи – залізо, мідь, цинк, мangan, молібден, бор і хлор. Крім того, існують елементи, потрібні тільки для деяких груп рослин: алюміній – для папоротей, силіцій – для діатомових водоростей і кобальт – для бобових.

Від наявності достатньої кількості живлення залежать усі форми життєдіяльності тварин. Особливості дії живлення як екологічного фактора для тварин полягає в тому, що екологічне значення має тільки нижня межа витривалості. У разі нестачі живлення вона є важливим лімітуючим фактором, тоді як його надлишок не лімітує розвиток особин. Як обмежувальний фактор нестача живлення впливає на плодючість і швидкість розвитку тварин. Підсумовуючи вищесказане, можна сформулювати такий принцип (А. К. Запольський): *рушійною силою розвитку організмів є наявність достатнього живлення*. Необхідна кількість кормів зростає зі збільшенням маси тварини. Географічне поширення тварин часто зумовлене фактором живлення. Добові, сезонні та інші регулярні міграції тварин здебільшого пов'язані з потребами живлення.

У процесі живлення тварини й рослини дістають енергію, необхідну для життєдіяльності, і поживні речовини, необхідні для побудови тканин тіла та виконання всіх фізіологічних функцій. Вимоги до живлення можуть значно змінюватися залежно від стану організму, пори року тощо. Для рослин і тварин

мають значення як кількість поживних речовин, так і їхній якісний склад.

Ефективність трофічних ланцюгів оцінюється величиною біомаси екосистеми та її біологічною продуктивністю. *Біомаса* – загальна маса живих організмів, яка нагромаджена в популяції, біоценозі чи біосфері на будь-який момент часу. Вона виражається в одиницях сухої маси або енергії на одиницю поверхні чи об'єму (гектар або квадратний чи кубічний метр). Найбільшу біомасу на суші серед гетеротрофів мають безхребетні та ґрунтові організми (біомаса дощових черв'яків може сягати 1000-1200 кг/га). Близько 90 % біомаси біосфери припадає на біомасу наземних рослин. Найбільшою є маса тропічних лісів (до 1700 т/га), а найнижчою – тропічних і субтропічних пустель (близько 2,5 т/га). Біомаса лучних степів становить 250 ц/га (наземна), лісової смуги Полісся – до 3500-4000 (наземна) і 960 ц/га (підземна).

4.7. ЕКОЛОПЧНА ПІРАМІДА

В екологічних системах (біогеоценозах) у процесі еволюції в ланцюгах живлення визначилась важлива закономірність, що дістала назву *правила екологічної піраміди*: кількість рослинної маси приблизно в 10 разів більша за масу рослиноїдних тварин, а маса трав'яїдних у стільки ж разів більша за масу хижаків (рис. 4.5). Завдяки тому, що при переході від однієї ланки трофічного ланцюга до іншої втрачається до 80-90 % зв'язаної енергії у вигляді теплоти, довжина ланцюгів невелика. Найефективнішим є передавання енергії від одного консумента до іншого, і тому ці ряди найдовші.

Співвідношення чисельності організмів, величини біомас або зв'язаної в біомасі енергії зображають у формі екологічних пірамід (рис. 4.6). Відповідно розрізняють піраміди чисельності, біомаси та енергії. В основі піраміди розміщують відповідні значення першого трофічного рівня екосистеми, а на вершині – останнього. Від основи піраміди до її вершини числові значення, як правило, зменшуються, тому вона спрямована вістрям догори. В енергетичних екологічних пірамідах таке звуження спостерігається завжди. Екологічні піраміди наочно характеризують не лише кількість біомаси, а й інтенсивність її переробки. Проте ця величина має в даному випадку тільки якісний характер.



Рис. 4.5. Екологічна піраміда

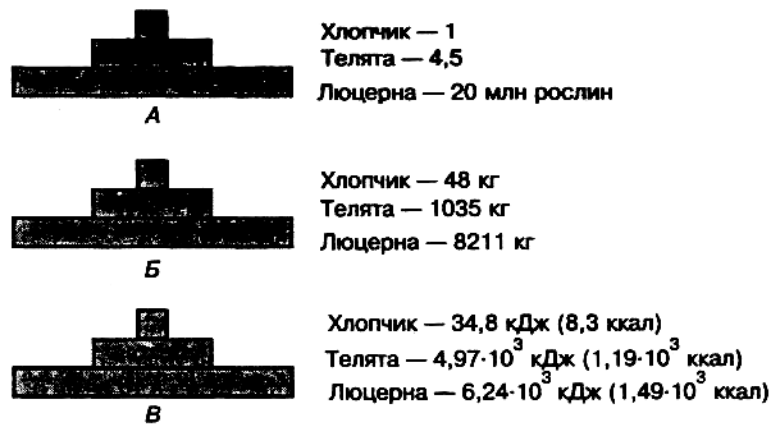


Рис. 4.6. Екологічні піраміди:

А – чисельності організмів; Б – біомаси організмів; В – зв'язаної енергії (за Ю. Одумом)

У трофічних ланцюгах усі речовини послідовно переходять від одного виду організмів до іншого. Проте якщо біогенні речовини активно засвоюються і беруть участь у біологічному колообігу, то ксенобіотики, синтезовані людиною і не властиві природі, накопичуються при переході від одного виду трофічного ланцюга до іншого. Оскільки величина біомаси в екологічних пірамідах закономірно зменшується приблизно в 10 разів при переході на новий трофічний рівень, концентрація ксенобіотиків на одиницю біомаси збільшується. Так, якщо концентрація пестициду ДДТ, який використовували для знищення комах, у тілі водяних комах становила 0,04 г на один кілограм біомаси, то у рослиноїдних риб вона дорівнювала 10, у хижих риб досягала 50 і у птахів, які харчувалися рибою, – до 75 г на один кілограм біомаси. Отже, впродовж чотирьох ланок трофічного ланцюга концентрація ДДТ зросла в 1875 разів. Аналогічно концентруються й інші ксенобіотики, проте числові значення їх відрізняються, але закономірно збільшуються від основи екологічної піраміди до її вершини.

Концентрування речовин у трофічних ланцюгах слід враховувати в разі забруднення біосфери ксенобіотиками, тому що при споживанні в їжу тварин і птахів концентрації цих забруднювальних шкідливих речовин можуть бути значними. Трофічні ланцюги виконують ще й бар'єрну функцію, що сприяє самоочищенню завдяки концентруванню речовин і виведенню їх з біологічного колообігу.

Кількість та інтенсивність збільшення біомаси характеризують біологічну продуктивність виду, угруповання або екосистеми. *Біопродуктивністю* називають швидкість продукування біомаси на певній площі за одиницю часу. Вона може бути *первинною* (продуктивність продуцентів) і *вторинною* (біомаса, продукована консументами та організмами, які розкладаються). Первинна продуктивність материків становить близько 53 млрд т органічної речовини, Світового океану – до 30 млрд т. На суші основним джерелом первинної біомаси є тропічні ліси, ліси Полісся та Сибіру, в океані – зони глибинних вод біля материків у тропіках, які збагачені фосфором і азотом, а також материкові мілини холодних морів.

Уся біомаса планети здатна прогодувати не більш як 7-10 млрд чоловік, за одними даними, і не більш як 12 млрд чоловік, за іншими. Уже нині щорічної біомаси, яку збирає людство, недостатньо для харчування населення Землі. Тому необхідно вирішити насамперед проблему регулювання чисельності населення Землі, підвищення продуктивності біосфери та її охорони від посиленого антропогенного тиску.

4.8. ПРИРОДНИЙ КОЛООБІГ РЕЧОВИН

У біосфері постійно здійснюється безперервний колообіг речовин, що сприяє перебігу всіх процесів життєдіяльності організмів. Нескінченна взаємодія абіотичних факторів середовища та живих організмів екосистем супроводжується безперервним обміном речовиною між біотопом і біоценозом у вигляді органічних та мінеральних сполук, які по черзі змінюють одні одних. *Колообіг речовин – це повторюваний процес взаємопов'язаного перетворення, переміщення речовин у природі, який має циклічний характер і відбувається за обов'язкової участі живих організмів.* Розрізняють малий, біологічний, і великий, геологічний, колообіги речовин, а також колообіги біогенних елементів. Малий, або біологічний (біотичний), колообіг відбувається в мікроекосистемах. Співіснування в кожній з таких екосистем живих організмів (продуцентів, консументів і редуцентів), пов'язаних обміном речовин, зумовлюють безперервно повторюваний колообіг основних елементів, необхідних для живої клітини (див. схему на с. 52).

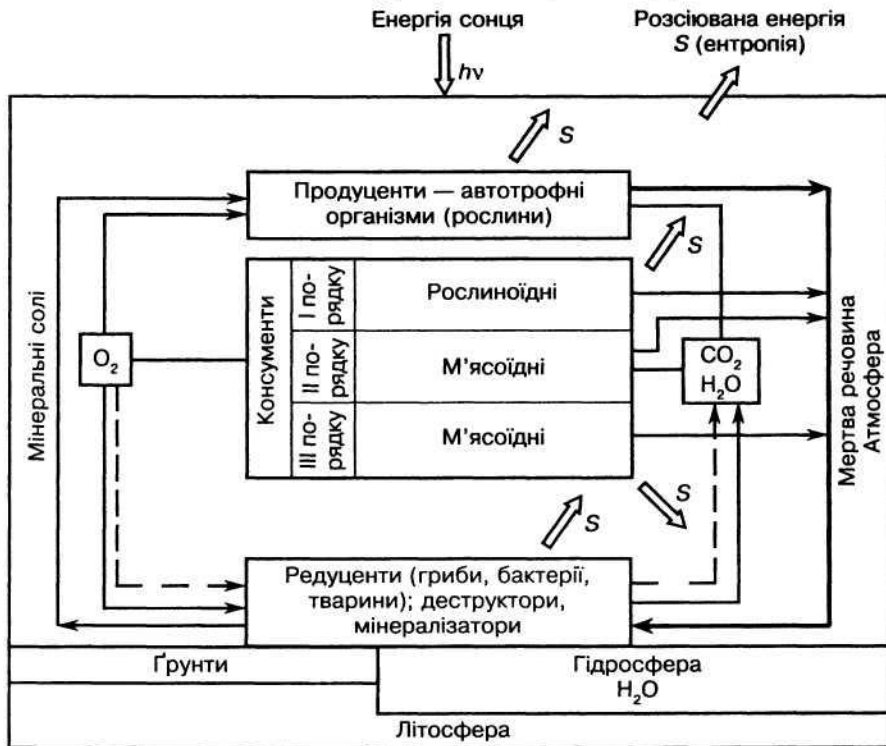
У кожній системі відбувається колообіг речовин, як результат взаємодії автотрофів і гетеротрофів у ланцюгу живлення. Різні види організмів споживають речовини, які необхідні їм для задоволення життєвих потреб: для підтримання процесів життєдіяльності, росту та відтворення. При цьому вони безперервно виділяють у навколишнє середовище більш або менш складні органічні та мінеральні продукти метаболізму.

Органогени – вуглець, кисень, водень, азот, фосфор, сірка та ще близько 30 елементів, які необхідні для побудови простої клітини (табл. 4.1), безперервно перетворюються на органічні речовини (ліпіди,

цукри і амінокислоти) або споживаються у вигляді неорганічних йонів автотрофними рослинами, а потім мікроорганізмами-деструкторами. Останні розкладають виділення, рослинні рештки та трупи на розчинні мінеральні елементи або газоподібні речовини (NH_3 , H_2S , CH_4 та ін.). Утворені неорганічні сполуки повертаються в ґрунт, воду та атмосферу. Таким чином здійснюється безперервна циркуляція біогенних елементів. Вони розчиняються в континентальних поверхневих водах, виносяться в моря та потрапляють в атмосферу. Між ґрунтом, водою та атмосферним повітрям відбувається постійний газообмін. Таким чином здійснюється великий (геологічний) колообіг між океанами і континентами в межах усієї планети.

Відповідно до закону біогенної міграції атомів, який сформулював В. І. Вернадський, міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері загалом здійснюється під переважаючим впливом живої речовини, організмів. Так відбувалося і в геологічному минулому, мільйони років тому, так відбувається і в сучасних умовах. Жива речовина або бере участь у біохімічних процесах безпосередньо, або створює відповідне, збагачене на кисень, вуглекислий газ, водень, азот, фосфор та інші речовини середовище.

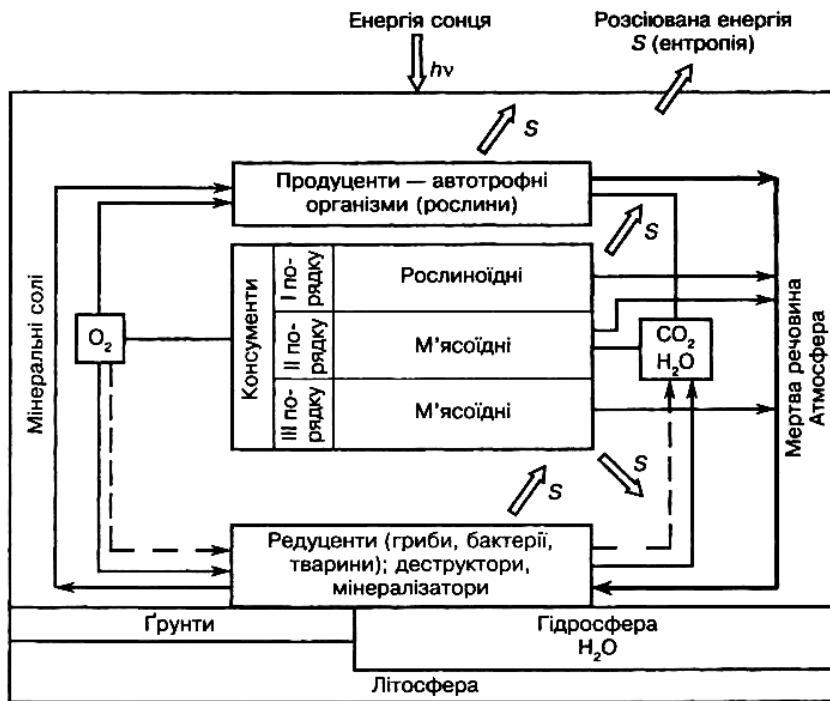
Схема колообігу речовин та енергії в біосфері



\Rightarrow — потік енергії; \rightarrow — колообіг твердої речовини; \rightarrow — газоподібної речовини;
 $-\rightarrow$ — участь анаеробних бактерій

З понад 90 хімічних елементів, що трапляються у природі, 30-40 необхідні живим організмам. Деякі з них (карбон, кисень, водень, нітроген) потрібні у значних кількостях, інші — в малих або зовсім малих. Всі ці елементи беруть участь у біогеохімічних колообігах. Під останніми розуміють обмін хімічних елементів у вигляді органічних речовин і неорганічних сполук між живими організмами та неорганічним середовищем.

Схема колообігу речовин та енергії в біосфері



⇌ — потік енергії; → — колообіг твердої речовини; → — газоподібної речовини;
 --> — участь анаеробних бактерій

Таблиця 4.1. Вміст хімічних елементів у біосфері й тілі людини

Елемент	Масова частка, %	
	у біосфері	у тілі людини
Гідроген (водень)	0,95	9,31
Карбон (вуглець)	0,18	19,37
Нітроген (азот)	0,03	5,14
Оксиген (кисень)	50,02	62,81
Флуор (фтор)	0,10	0,009
Натрій	2,36	0,04
Магній	2,08	0,001
Алюміній	7,30	Сліди
Силіцій	25,80	0,64
Фосфор	0,11	0,63
Сульфур (сірка)	0,11	0,18
Хлор	0,20	0,22
Калій	2,28	1,38
Кальцій	3,22	0,0001
Манган	0,08	0,005
Ферум (залізо)	4,18	0,006

Різні стадії цього колообігу відбуваються всередині екосистем між автотрофами й гетеротрофами. На шляху між останніми елементи потрапляють до так званого резервного фонду. *Резервний фонд* — це велика маса в основному не пов'язаної з організмами речовини, яка повільно рухається. На відміну від резервного, обмінний фонд являє собою швидкий обмін речовиною між організмами та її безпосереднім оточенням.

Розрізняють три основних типи біогеохімічних колообігів: 1) колообіг газоподібних речовин з резервним фондом в атмосфері або гідросфері; 2) осадовий цикл з резервним фондом у земній корі та 3) колообіг води. Резервний фонд в атмосфері й гідросфері більш доступний. Тому біогеохімічні колообіги, які пов'язані з цим фондом, стійкіші. Осадові цикли, в яких бере участь фосфор і залізо, менш стабільні. На них більше впливають різні місцеві зміни. Це пояснюється тим, що основна маса речовини знаходиться в малоактивному і малорухомому резервному фонді земної кори. Тому якщо надходження речовин з обмінного фонду в резервний здійснюється швидше, ніж їх вихід, то частина речовини вилучається з колообігу. Завдяки наявності в атмосфері та гідросфері резервного фонду вуглецю, азоту, кисню, сірки колообіги можуть швидко саморегулюватися. Існування біогеохімічних циклів сприяє саморегуляції всієї екосистеми та надає їй більшої стійкості.

Жива речовина, завдяки якій відбувається біологічний колообіг речовин в екосистемах, характеризується високою активністю (швидким колообігом). Уся жива речовина біосфери оновлюється в середньому впродовж восьми років. Фітомаса суші поновлюється приблизно за 14 років, біомаса Світового океану — за 33 доби, а його фітомаса — щодня.

Колообіг води

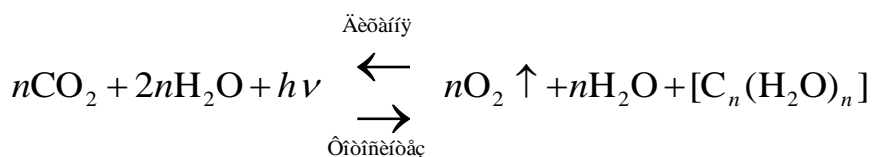
Вода належить до основних речовин, необхідних для життя, та найпоширеніших у біосфері. В організмі людини вода становить до 73 % маси тіла, грибів – 80, а деяких медуз – 98 %. Вода в трьох агрегатних станах (рідка вода, газоподібна водяна пара і твердий лід) присутня в усіх трьох складових біосфери: атмосфері, гідросфері та літосфері. Основну роль у біогеохімічному колообігу відіграє атмосферна вода – переважно у вигляді водяної пари. Розподілена вона в атмосфері дуже нерівномірно і її розподіл залежить від географічної широти.

Під дією сонячної радіації вода випаровується з поверхні Світового океану і піднімається в атмосферу. Вологе повітря піднімається вгору, де водяна пара конденсується і утворює хмари. Завдяки охолодженню хмар вода у вигляді опадів – дощу, снігу та граду або у вигляді роси, після конденсації вологи на холодній поверхні, повертається на сушу чи в океан. В океан випадає близько 80 % загальної кількості опадів. Отже, переважно колообіг води здійснюється між атмосферою та океаном. На суші вода фільтрується в ґрунт, випаровується в атмосферу та поповнює річковий стік. Вода, що потрапила в ґрунт, використовується для живлення рослин, у процесі інфільтрації надходить у водоносні горизонти та підземні ріки. З поверхні суші та зелених рослин вода виділяється в атмосферу. Коренева система рослин також сприяє надходженню ґрунтової води в атмосферу. Завдяки транспірації рослинного покриву випаровується значна кількість води. Так, культура, яка продукує 20 т біомаси з одного гектара, поглинає близько 2000 т води. На фотоліз молекули води при асиміляції її хлорофілом витрачається близько 0,15 % загальної маси води, яку поглинає рослина. Рослини виділяють води тим більше, чим краще вони забезпечуються нею. Гектар лісу випаровує від 20 до 50 т води за добу. Сумарне випаровування води рослинами та з поверхні ґрунту відіграє головну роль у колообігу води на суходолі. Водяний стік на суші поповнює її втрати внаслідок випаровування та просочування. Поверхневий стік і води підземних горизонтів забезпечують у кінцевому підсумку повернення води в гідросферу. Упродовж 2 млн років уся вода гідросфери зазнає фотолізу та повторного синтезу живими організмами.

Колообіг вуглецю

У колообігу вуглецю вирішальне значення відіграють CO і CO₂. Це найінтенсивніший з усіх біогеохімічних циклів. Вуглець активно циркулює між неорганічним середовищем та живими організмами ланцюгами живлення. У природі він існує у вигляді карбонатів біогенного походження і переважно у вигляді оксиду карбону (IV) (випокні вуглеводні – нафта, вугілля та ін. не беруть участі в природному колообігу). Використовуючи вуглекислий газ, що міститься в атмосфері, автотрофні рослини суходолу здійснюють первинне продукування біомаси. За деякими оцінками її величина становить приблизно 164 млрд т сухої маси на рік. Існують два резервних фонди вуглецю: газоподібного в атмосфері та розчиненого у водах Світового океану. Кількість оксиду карбону (IV) в океані у 50 разів більша від загального його вмісту в атмосфері. В континентальних водах вміст карбонатної кислоти незначний.

Циркуляція вуглецю в біосфері здійснюється завдяки фотосинтезу і диханню. Процеси фотосинтезу та дихання можна подати такою схемою:



де $h\nu$ – енергія фотона сонячного випромінювання з довжиною хвилі 0,65-0,70 мкм, що поглинається хлорофілом.

Живі організми (автотрофи й гетеротрофи) споживають енергію для здійснення хімічної та осмотичної, електричної (нервові клітини) та механічної (рух тварин) роботи, яка необхідна для їхнього росту, життєдіяльності та відтворення. Процес дихання є протилежним фотосинтезу, в результаті якого споживається кисень і виділяється вуглекислий газ. Цей процес характерний не тільки автотрофам і гетеротрофам. У кожній екосистемі органічна речовина споживається не тільки в ланцюгах живлення хижаків. Рослинні рештки, змертвілі рослини, виділення і трупи, що складають органічну субстанцію, в аеробних умовах окиснюються до повної мінералізації численними сапрофітами та ґрунтовими бактеріями. Розкладання органічних решток може відбуватися ще й шляхом ферментації в анаеробних умовах з виділенням вуглекислого газу.

Повний колообіг атмосферного вуглекислого газу відбувається дуже швидко. Його повне відновлення відбувається впродовж 300 років. Загальна маса вуглецю в біосфері становить $200 \cdot 10^{14}$ т і в тисячу разів перевищує кількість вуглецю, який циркулює між живими організмами, атмосферою, гідросферою та ґрунтами літосфери.

У ґрунті дуже часто вуглецевий цикл гальмується. Органічні речовини мінералізуються частково, трансформуючись у складний комплекс органічних кислот, які утворюють так званий *гумус*. Останній разом з глиною утворює вбирний комплекс ґрунту, який відіграє вирішальну роль у затриманні та циркуляції мінеральних солей – поживних речовин для рослин.

За будь-яких умов органічна речовина повністю не мінералізується аеробним шляхом і тому

накопичується в осадових породах. У результаті відбувається блокування колообігу вуглецю. Величезні поклади вугілля, нафти та інших вуглеводневих копалин і вапняків у водному середовищі є результатом блокування циклу вуглецю в далекому минулому. Незважаючи на значні розміри запасів цих копалин, у масштабах біосфери вони надзвичайно малі. До недавнього часу (до появи сучасного промислового розвинутого суспільства) колообіг вуглецю в біосфері був бездоганим. Більша частина біомаси розкладалася під час дихання живих організмів. Виділюваний вуглекислий газ повністю компенсував кількість вуглекислого газу, що поглинався з атмосфери в процесах фотосинтезу. Останнім часом, коли людина почала використовувати запаси викопних вуглеводнів, спостерігається збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері.

Колообіг кисню

Кисень є найпоширенішим елементом у біосфері і головною складовою живої речовини. В тілі людини міститься 62,8 % кисню і 19,4 % вуглецю. Колообіг кисню ускладнюється через його здатність утворювати численні хімічні сполуки. В результаті виникає багато епіциклів між атмосферою, літосферою та гідросферою.

Атмосферний кисень і кисень, що міститься в численних поверхневих мінералах (залізнi руди, осадові кальцити), мають біогенне походження. Спочатку в атмосфері Землі кисню не було. Його почали виробляти автотрофи. Фотосинтезуючі організми сприяли осадженню оксиду феруму в гідросфері, щоб позбавитися від кисню, який був побічним продуктом і токсичним відходом.

Формування в атмосфері озонового екрана, здатного затримувати сонячну радіацію, відбулося за вмісту кисню в атмосфері, що становив 1 % сучасного. Це сприяло інтенсивному розвитку автотрофних еукаріотів у верхніх горизонтах води, інтенсифікувало фотосинтез і відповідно утворення кисню. Колообіг кисню відбувається в основному між атмосферою і живими організмами. Частково кисень утворюється шляхом дисоціації озону під дією сонячної радіації у верхніх шарах атмосфери. Процес продукування та виділення кисню в процесі фотосинтезу протилежний процесу його споживання гетеротрофами під час дихання. Він супроводжується руйнуванням органічних молекул, взаємодією кисню з воднем, який відщеплюється від субстрату, і утворенням води.

Для повного відновлення всього атмосферного кисню потрібно 2000 років. Якщо не враховувати антропогенної діяльності, в наш час процеси фотосинтезу й дихання зрівноважені. Тому накопичення кисню в атмосфері не відбувається і його вміст залишається сталим. Кисень, фіксований літосферою у вигляді алюмосилікатів, кремнезему, карбонатів, сульфатів, оксидів феруму тощо, становить $590 \cdot 10^{14}$ т. У біосфері циркулює $39 \cdot 10^{14}$ т O_2 у вигляді газу чи сульфатів, розчинених в океанічних і континентальних водах.

Колообіг азоту

Основна частина азоту міститься в атмосфері. Колообіг азоту є одним з найскладніших. Величезна кількість живих організмів забезпечує швидку циркуляцію азоту в різних екосистемах. Азот разом з вуглецем бере участь в утворенні протеїнових речовин.

Газоподібний азот безперервно надходить в атмосферу завдяки діяльності денітрифікуючих бактерій. Бактерії-фіксатори разом з ціанофітами (синьозелені водорості) постійно поглинають його, перетворюючи на нітрати. Утворення нітратів неорганічним шляхом постійно відбувається в атмосфері в результаті електричних розрядів під час грози. Проте цей процес відіграє другорядну роль порівняно з діяльністю нітрифікуючих мікроорганізмів, головним чином аеробних, анаеробних та автотрофних бактерій.

Найактивнішими споживачами азоту є симбіотичні бактерії бобових. Рослини постачають бактеріям вуглеводи, а вони рослинам – органічний азот, який синтезують з газоподібного азоту атмосфери. Азотфіксуючі бактерії збагачують на азот не лише наземну частину бобових рослин, а й ґрунт. Як каталізатор для синтезу азоту ці бактерії використовують молібден. Встановлено, що середнє надходження нітритного азоту абіотичного походження осадженням з атмосфери в ґрунт не перевищує 10 кг/(рік · га), вільні бактерії синтезують 25, тоді як симбіоз з бобовими продукує його в середньому 200 кг/(рік · га).

У водному середовищі також існують різні види нітрифікуючих бактерій. Проте головна роль у фіксації атмосферного азоту належить численним видам фотосинтезуючих синьозелених водоростей. Нітритний азот, який виробляють численні наземні й водянi організми, поглинається рослинами і надходить у листя. Там він відновлюється до амонію. За наявності карбонових кислот амоній трансформується в азот амінів, а потім протеїнів.

Колообіг азоту відбувається також за участю деструкторів. Цей елемент міститься в біомасі і безперервно надходить у середовище в складі органічного детриту, виділень і трупів. Протеїни та інші форми органічного азоту, що містяться у відходах, зазнають дії біоредууючих мікроорганізмів (грибів, гетеротрофних бактерій і актиноміцетів). При цьому органічний азот перетворюється на аміак. Частина аміачного азоту може безпосередньо надходити в корені рослин і знову перетворюватися на азот протеїнів або використовуватися нітрифікуючими бактеріями.

Денітрифікація, що відбувається в ґрунтах, призводить до зменшення нітратів. Деякі бактерії, наприклад *Pseudomonas*, здатні розкладати йон до NO_3^- , N_2 , який повертається в атмосферу. Процес денітрифікації відбувається в анаеробних умовах. Здебільшого процес денітрифікації

завершується на стадії утворення нітритів або аміаку.

Азот може надходити в атмосферу від діючих вулканів, які компенсують втрати азоту, виключеного з колообігу внаслідок осадження його на дно океанів.

Біогеохімічні осадові колообіги характеризують усі інші біогенні елементи. Розглянемо як приклад тільки колообіги фосфору й сірки. Ці елементи мають велике значення для обміну речовин. Сірка відіграє особливу роль у побудові протеїнових структур, а фосфор – нуклеїнових кислот.

Колообіг фосфору

Фосфор належить до одного з основних елементів живої речовини і його запаси повністю зосереджені в літосфері. Основними джерелами неорганічного фосфору є вивержені та осадові породи (апатити, фосфорити). Неорганічний фосфор у земній корі розчиняється континентальною водою і поглинається рослинами суходолу. Таким чином він залучається до трофічних ланцюгів. Потім органічні фосфати разом з трупамі, виділеннями та відходами живих речовин повертаються в землю. Тут вони зазнають дії мікроорганізмів і перетворюються на мінеральні ортофосфати, які споживають зелені рослини та інші автотрофи.

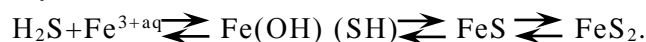
У водні екосистеми фосфор постачають ріки. Останні безперервно збагачують океани фосфатами, які використовуються фітопланктоном та іншими живими організмами. Повернення мінеральних фосфатів у воду відбувається за допомогою біовідновників.

У природі фосфор трапляється в розчинних і нерозчинних формах: органічні фосфати біомаси, які перетворюються на органічні фосфати переважно з мертвої неорганічної речовини, а потім на розчинні органічні фосфати. Останні трансформуються в розчинні мінеральні фосфати, які знову повертаються в біомасу у вигляді органічних фосфатів. Фосфорний цикл у природі повністю не замикається. Якщо в наземних екосистемах колообіг фосфору здійснюється в умовах, наближених до оптимальних, з мінімальними втратами на вилуження, то в океані відбувається безперервне осадження збагачених фосфатами органічних речовин. Фосфати, що відклалися на великих морських глибинах, виключаються з біосфери і більше не беруть участі в колообігах. Однак поступово за допомогою геологічних процесів фосфорні осади підіймаються на поверхню і знову залучаються до колообігів, тривалість яких вимірюється десятками й сотнями мільйонів років. Фосфор вноситься на суходіл з виловленою рибою та птахами, що живляться рибою. Проте кількість фосфору, яка щороку надходить на сушу за рахунок рибальства, незначна і не перевищує 60 000 т. Ця кількість значно менша за ту, що надходить внаслідок змивання мінеральних добрив, які вносять в агроекосистеми. Таким чином, у природних умовах повернення фосфору з океанів не здатне компенсувати втрати цього елемента на осадження. Людина прискорює цю тенденцію, постійно збільшуючи використання мінеральних фосфорних добрив.

Колообіг сірки

У природі сірка трапляється у вигляді водних розчинів неорганічних сполук (переважно сульфатів), газоподібних речовин (H_2S і SO_2 та різних осадів). Колообіг сірки відбувається головним чином за рахунок осадового механізму в ґрунті й воді. Основне джерело сірки, доступної для живих організмів, – це сульфати завдяки їх добрій розчинності у воді. Рослини поглинають їх, відновлюють і перетворюють на сірковмісні амінокислоти (цистин, метіонін, цистеїн).

Чорний намул, який трапляється на дні багатьох морів (наприклад, Чорного), озер та інших прісноводних водойм, багатий на організми, що розкладають сірковмісні речовини в анаеробних умовах. Деякі різновиди бактерій можуть відновлювати гідрогенсульфід до елементного сульфурі. Існують також хемосинтезуючі бактерії, що знову окиснюють сірководень до сульфатів, які використовують автотрофні продуценти. Ці бактерії здатні виробляти клітинну енергію без доступу світла за рахунок окиснення неорганічних сульфатів. Остання фаза колообігу сірки є осадовою. Вона полягає в осадженні сірки залізом в анаеробних умовах:



Таким чином відбувається повільне і поступове накопичення сірки в глибоко розташованих осадових породах. Ці породи в біосфері містять основні запаси сірки, яка трапляється переважно у вигляді піритів і сульфатів (гіпс). В атмосферу сірка може надходити також у результаті вулканічної діяльності.

4.9. ЕНЕРГЕТИКА ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

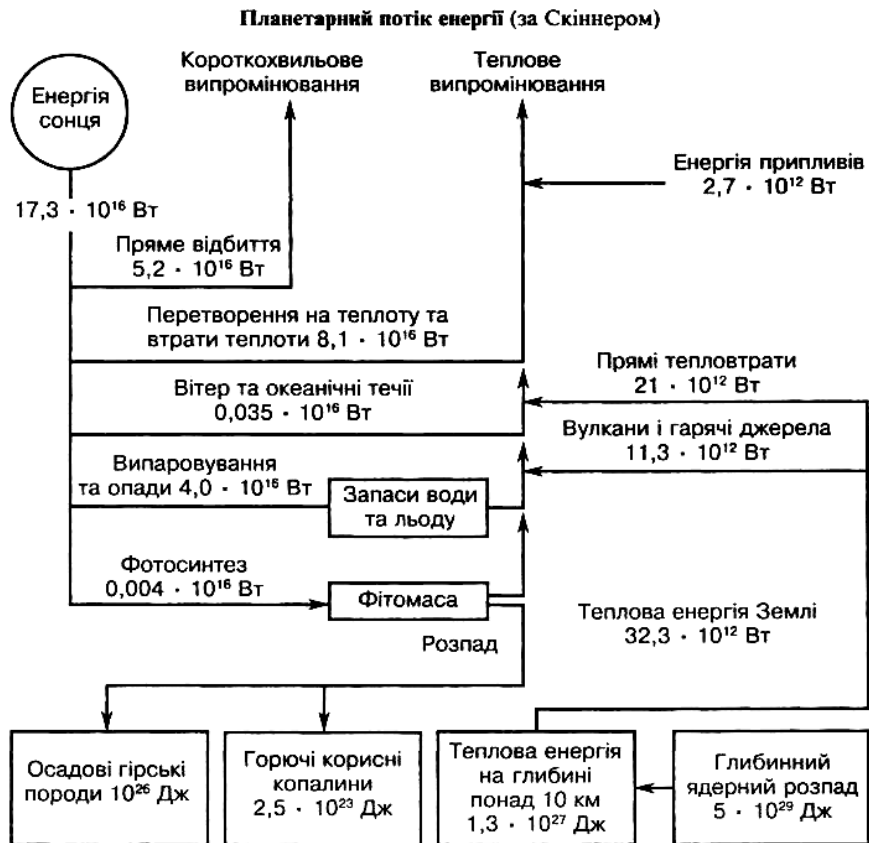
Єдиним джерелом енергії, яка підтримує життя в біосфері нашої планети, є сонячна радіація. Чим більше надходить на Землю сонячної енергії, тим інтенсивніший перебіг життєвих процесів за сталості інших екологічних факторів. Близько 99 % сонячної енергії припадає на випромінювання з довжиною хвиль 0,2-4 мкм. Майже половина цієї енергії – це хвилі видимого спектра (0,38-0,77 мкм), друга частина – хвилі ультрафіолетової та інфрачервоної ділянок спектра.

Понад 30 % сонячного випромінювання, яке досягає верхньої межі стратосфери, відбивається в космічний простір хмарами, 8 % – пилом повітря (див. схему на с. 56).

Понад 10 % усієї енергії поглинається водяною парою, озоном та іншими газами. Лише 52 % сонячної енергії досягає поверхні Землі, з якої близько 10 % відбивається (рис. 4.7). Отже, тільки приблизно 40 % сонячної енергії надходить до екосистем, з яких близько 25 % використовують рослини для здійснення

фотосинтезу.

Хлорофіл поглинає сонячну енергію з довжиною хвиль 0,4-0,5 мкм і 0,61-0,69 мкм, які знаходяться відповідно в голубій і червоній частинах спектра. І тільки 10 % енергії, отриманої рослинами, трансформується в біомасу. Таким чином, коефіцієнт корисної дії фотосинтезу дуже низький і знаходиться в межах 0,1-1,6%.



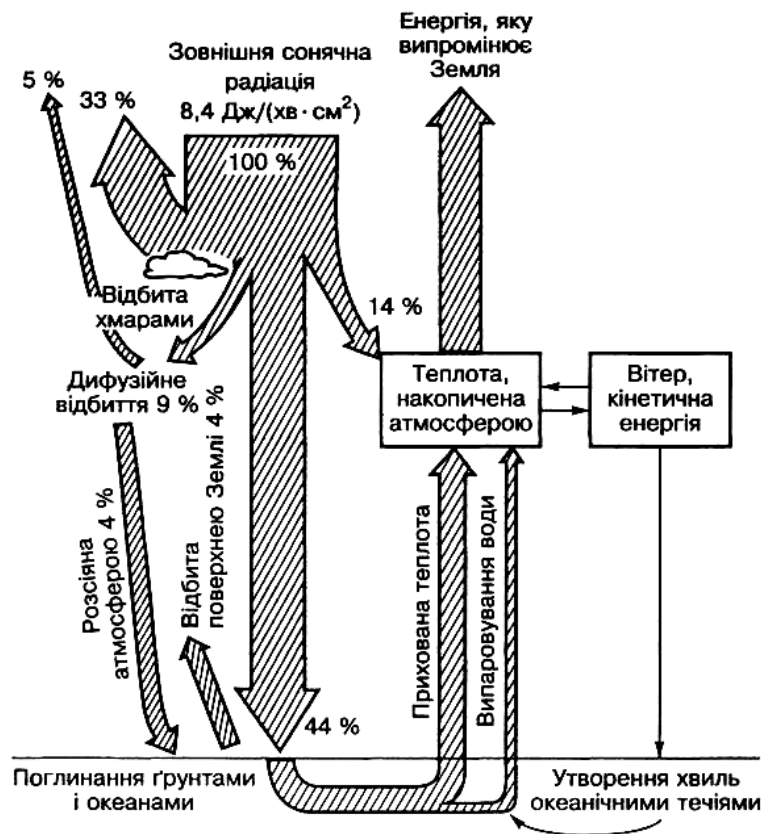


Рис. 4.7. Схема балансу сонячної енергії на поверхні Землі (за Амадом)

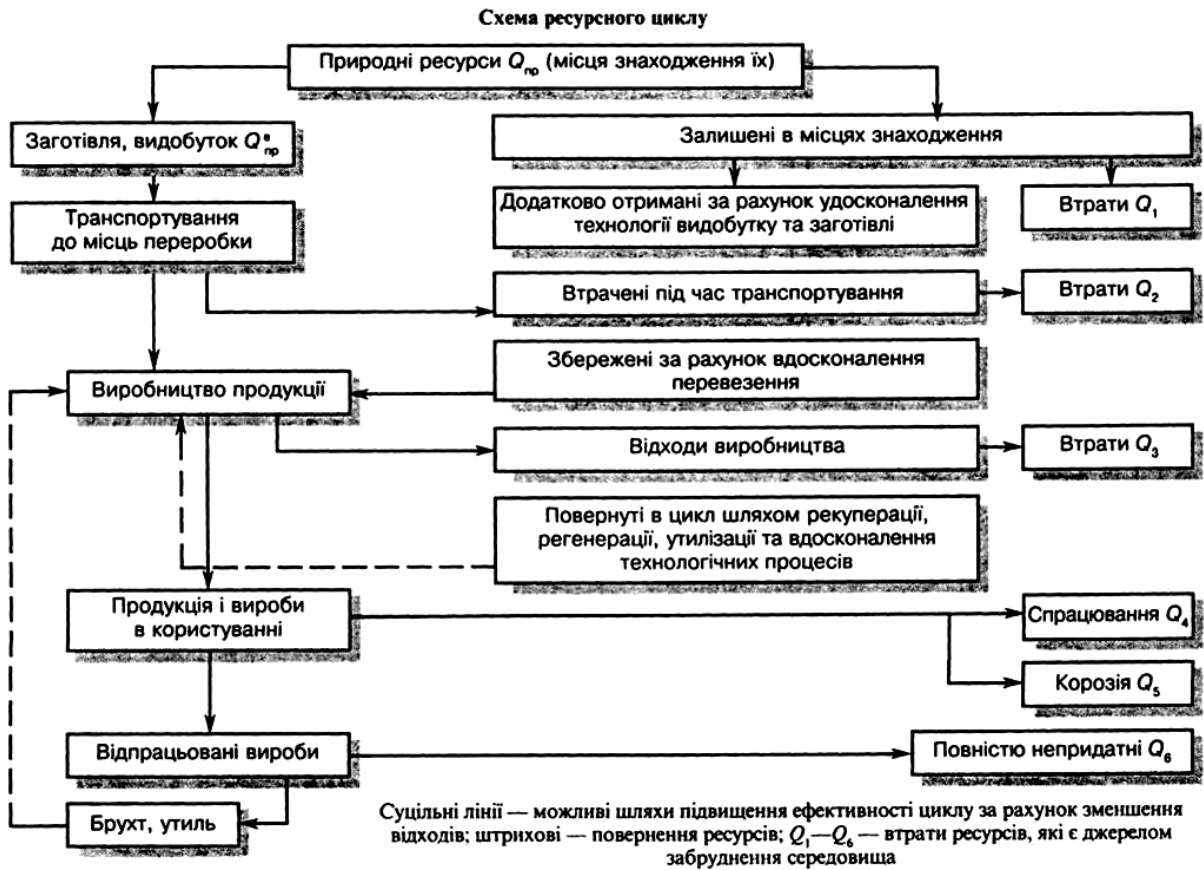
Енергія, яку споживають рослини, становить у середньому 1 % сонячної радіації, яка надходить на земну поверхню. Тільки невелике число рослин використовують до 3 % енергії. Отже, *рушійною силою розвитку живої речовини в будь-якій екосистемі є різниця в кількості енергії, яка надходила в систему і яка розсіялася нею в навколишнє середовище* (А. К. Запольський).

Відповідно до закону *однапрямленості потоку енергії*, енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їхньою біомасою незворотно передається консументами першого, другого, третього та інших порядків, а потім редуцентам, що супроводжується втратою певної кількості енергії на кожному трофічному рівні в результаті процесів, які супроводжують дихання.

4.10. РЕСУРСНИЙ ЦИКЛ В АНТРОПОГЕННИХ ЕКОСИСТЕМАХ

До недавнього часу, приблизно до середини XVIII ст., коли людина користувалась природними ресурсами, як і всі інші живі організми, її ресурсний цикл включався в загальний природний колообіг речовини та енергії і динамічна рівновага в біосфері не порушувалась. При цьому мали місце тільки втрати внаслідок недосконалої технології зберігання продуктів, що являли собою органічні речовини. Останні за допомогою редуцентів перероблялися на неорганічні речовини, які знову використовували рослини. Мінеральні сполуки, що не використовувалися живою речовиною біосфери, накопичувалися у вигляді родовищ мінеральних ресурсів у природних коморах.

Значне зростання населення планети супроводжувалось відчутним зростанням його потреб. Уже в середні віки сталися істотні зміни, коли для задоволення зростаючих потреб людина змушена була звернутися до природної комори – почала видобувати корисні копалини та організувала різноманітні виробництва для їх переробки. З цих ресурсів виготовляли певні предмети, які в кінцевому підсумку використовували як предмети виробництва або як готові вироби (машини, верстати, споруди, будинки, предмети побуту й культури тощо). У такий спосіб людина почала залучати природні ресурси до ресурсного циклу:



Під *ресурсним циклом* розуміють сукупність перетворень і просторових переміщень певної речовини або групи речовин на всіх етапах використання її людиною (включаючи її пошук, підготовку до експлуатації, добування з природного середовища, переробку, перетворення, повернення в природу). Слово «цикл» передбачає замкнутість процесу. Природний ресурсний цикл справді є відносно замкнутим. У ньому майже всі хімічні речовини (вода, гази, метали), що входять до складу живої речовини, рухаються по замкнутому циклу. Якби цей цикл не був замкнений, то речовини вичерпалися б як ресурс і перейшли б у якийсь інший стан. Якщо в природному колообігу речовин вуглець, спожитий рослинами у вигляді вуглекислого газу, в процесі синтезу зазнає ряду біохімічних перетворень на органічні речовини і в кінцевому підсумку за допомогою редуцентів знову перетворюється на вуглекислий газ і споживається тими самими рослинами, то в антропогенних екосистемах цього не відбувається. Добутий з родовищ вуглець у вигляді кам'яного вугілля спалюється людиною для отримання певного виду енергії, яку використовують для вироблення різних продуктів з природної сировини. В результаті спалювання вугілля отримують також вуглекислий газ, який включається в природний коло-обіг вуглецю і використовується рослинами, а не в антропогенному ресурсному циклі, оскільки для останнього потрібен вуглець у вигляді мінерального палива. А щоб утворилось кам'яне вугілля, знадобиться багато мільйонів років. Отже, споживання вуглецю в антропогенному ресурсному циклі відбувається значно швидше, ніж його відтворення в природі. Прискорити відтворення вуглецю з вуглекислого газу можна, якщо використовувати рослинне паливо у вигляді змертвої органіки або відновлювати вуглець з оксиду карбону (IV). Проте здійснення останнього процесу потребує багато енергії.

Таким чином, характерною ознакою ресурсного циклу в антропогенних екосистемах є його незамкнутість. Природні ресурси безперервно надходять у цикл, перетворюються на певний продукт, який споживає людина. Отже, для функціонування цього циклу необхідне постійне втручання людини, яка б здійснювала постачання природних ресурсів. За *законом розвитку довкілля*, будь-яка природна система розвивається лише за рахунок використання матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища. Абсолютно ізольований саморозвиток неможливий, про що свідчать закони термодинаміки. З цього закону випливають важливі наслідки:

- 1) абсолютно безвідходне виробництво неможливе;
- 2) будь-яка більш високоорганізована біотична система в своєму розвитку є потенційною загрозою для менш організованих систем;
- 3) біосфера Землі як система розвивається за рахунок внутрішніх і космічних ресурсів.

На кожному етапі ресурсного циклу (добування ресурсів, їх транспортування, перероблення) відбуваються неминучі втрати. Під час видобування частина сировини (Q_1) залишається в родовищах, а до відвалів потрапляє так звана «пуста порода», на видобуток та транспортування якої витрачається енергія. Значна кількість видобутих копалин втрачається під час транспортування до підприємств (Q_2), під час перевантажень і переробки на продукти (Q_3). Якщо ресурсом є паливо (наприклад, кам'яне

вугілля) для вироблення теплової або електричної енергії, то під час його спалювання утворюється значна кількість попелу, шлаків, різних оксидів, які видаляються в атмосферу з викидними газами або у відвали на поверхню землі. Вироблені продукція і вироби в процесі користування зазнають спрацювання та корозії, що також призводить до безповоротних втрат відповідно Q_4 і Q_5 . Відпрацьовані вироби можуть частково утилізуватися у вигляді утилю чи брухту і знову повернутися у виробництво як сировина. Проте частина з них (Q_6) втрачається. Отже, загальні втрати природного ресурсу в процесі його переробки дорівнюватимуть сумі всіх втрат $Q_1 \dots Q_6$, тобто $Q_B = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$. Якщо від загальної кількості природного ресурсу $Q_{пр}$, що знаходиться в місці його природної локалізації, відняти кількість втрат Q_B , то дістанемо кількість природного ресурсу, який використано. Отже, коефіцієнт корисної дії ресурсного циклу в антропогенній екосистемі (антропогенний ресурсний цикл) можна записати у вигляді такої формули:

$$\hat{E}\hat{E}\hat{A} = \frac{Q_{i\delta} - Q_{\hat{A}}}{Q_{i\delta}} \cdot 100, \%$$

З цієї формули випливає, що ККД антропогенного ресурсного циклу тим більший, чим менші втрати Q_B на всіх етапах переробки природного ресурсу. Якщо взяти до уваги, що всі втрати природного ресурсу призводять до забруднення навколишнього природного середовища, то чим меншими будуть втрати цього ресурсу, тим меншим буде забруднення довкілля.

У зв'язку зі значним зростанням чисельності населення на планеті постійно зростають потреби його в природних ресурсах.

Як стверджує закон зменшення енерговіддачі в природокористуванні, у процесі одержання з природних систем корисної продукції з часом (в історичному аспекті) на її виготовлення витрачається в середньому дедалі більше енергії (зростають енергетичні витрати на одну людину). Так, витрати енергії на одну людину за добу збільшилися майже в 60 разів, ніж кілька тисяч років тому. Розглядаючи еволюційний розвиток людського суспільства, можна дійти такого важливого висновку: *розвиток людського суспільства характеризується безперервним зростанням потреб*. Однак ці потреби слід оптимізувати. Особливо потрібно зменшити темп їх зростання.

Кількість ресурсів, що залучаються в антропогенний ресурсний цикл, наближається до тієї кількості речовин, які беруть участь у природному колообігу. Так, під час спалювання видобутого палива утворюється величезна кількість вуглекислого газу, який насичує атмосферне повітря. Якщо раніше весь вуглекислий газ, що утворювався під час дихання рослин і тварин і надходив в атмосферу, утилізувався тими самими рослинами, то нині спостерігається накопичення його в атмосфері. Різка збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері мало б сприяти накопиченню біомаси рослинами. Проте цього не спостерігається, оскільки, з одного боку, процес фотосинтезу рослин еволюційно скоординований з певною відносно сталою величиною сонячної енергії, а з другого – енергоємність хлоропластів (де здійснюється фотосинтез) також є величиною сталою, з певною кількістю фотосинтетичної роботи. Фактично ж збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері супроводжується зниженням загальної фотосенергоємності біосфери, оскільки більш продуктивні лісонасадження поступаються місцем менш продуктивним окультуреним екосистемам, а фотосинтетична активність водних продуцентів зменшується внаслідок забруднення океану. Оскільки підвищення вмісту вуглекислого газу не компенсується інтенсивністю його асиміляції, колообіги не лише вуглецю, а й інших біогенних елементів (азоту, фосфору, сірки) не збалансовані внаслідок антропогенної діяльності.

4.11. БІОЛОГІЧНА ТА ЕКОЛОПІЧНА РІВНОВАГА

Стійкість екологічних систем зокрема і біосфери загалом значною мірою залежить від біологічного різноманіття. Чим воно більше, тим стійкіші екосистеми. *Біологічне різноманіття* – це інтегральне поняття, що описує варіабельність, властиву всім видам екосистем (водних та суходолу). Розрізняють генетичне, внутрішньовидове та видове різноманіття. *Генетичне різноманіття* – різноманіття генотипів рослин і тварин, *внутрішньовидове* – наявність різновидностей та популяцій у межах виду, *видове* – кількість та різноманіття видів на певній території. Біологічне різноманіття визначається різноманіттям окремих організмів за віком, статтю та життєвим станом, популяцій за структурними типами, генотипів, угруповань та екосистем. Основою стійкого існування екосистем є біологічне різноманіття. У 1992 р. була прийнята Міжнародна конвенція про збереження біологічного різноманіття на Землі, а в 1998 р. – закон України про збереження біологічного різноманіття в країні.

Згідно з *законом внутрішньої динамічної рівноваги*, речовина, енергія, інформація, динамічні якості окремих природних систем та їх ієрархії тісно пов'язані між собою, так що будь-яка зміна одного з показників неминуче призводить до функціонально-структурних змін інших, однак при цьому зберігаються загальні якості системи – речовинно-енергетичні, інформаційні та динамічні.

Стабільність і стійкість біо- та екосистем визначається *принципом Ле Шательє* (1884), згідно з яким будь-які зовнішні впливи, що виводять систему з рівноваги, викликають у цій системі процеси протилежного напрямку, що прагнуть послабити зовнішній вплив і повернути систему в початковий рівноважний стан. Так, біота Світового океану поглинає майже половину вуглекислого газу атмосфери, компенсуючи підвищене надходження цього газу антропогенного походження. На превеликий жаль,

біота суходолу не здатна компенсувати надходження антропогенного оксиду карбону (IV), тобто екосистеми не можуть повернутись у початковий рівноважний стан. А отже, виникає загроза існуванню самих екосистем, спричинена порушенням біологічної та екологічної рівноваги. Під біологічною розуміють рівновагу, що склалася між рослинним і тваринним світом, тобто між живою речовиною, а під екологічною – рівновагу, що склалася в екосистемах і біосфері між живою речовиною та навколишнім природним середовищем.

Відповідно до *закону максимуму біогенної енергії (закон Вернадського-Бауера)*, будь-яка біологічна та «біонедосконала» система з біотою, що перебуває в стані «стійкої нерівноваги» (динамічно рухливої рівноваги з довкіллям), збільшує, розвиваючись, свій вплив на середовище. Бауер стверджує, що живі системи ніколи не перебувають у стані рівноваги і виконують за рахунок своєї вільної енергії корисну роботу проти рівноваги.

У природі в процесі еволюційного розвитку відбувається безперервна зміна внаслідок вимирання як окремих особин, так і цілих видів. На зміну приходять інші види, більш пристосовані до умов існування. При цьому видове різноманіття зростає, а отже, підвищується і стійкість екосистем. Головним фактором стійкості біосфери є наявність живої речовини з великою різноманітністю форм життя. За *законом генетичної різноманітності*, усе живе генетично різне і має тенденцію до збільшення біологічної різноманітності. Різноманітність форм живлення різних організмів відтворює різноманіття дублюючих один одного енергетичних потоків та колообігу речовин. Це сприяє швидкому і адекватному реагуванню екосистем на зміни різних факторів і відновленню динамічної, біологічної та екологічної рівноваги. Проте процеси антропогенного впливу, що спостерігаються останнім часом, стали настільки грандіозними і відбуваються так інтенсивно, що природа часто не здатна відновлювати цю динамічну рівновагу. Не виключено, що подальше збільшення антропогенного впливу може спричинити незворотні катастрофічні зміни в біосфері.



Опрацювавши цей розділ, ви повинні вміти:

- 1) дати визначення екологічного фактора і пояснити на прикладі вплив різних факторів;
- 2) пояснити зміст закону екологічної толерантності та його практичне значення;
- 3) розкрити суть правила взаємодії факторів та правила конкурентної боротьби;
- 4) сформулювати визначення екологічної ніші і пояснити зміст цього визначення на прикладах;
- 5) дати визначення термінів «екосистема», «біоценоз» та «біотоп»;
- 6) пояснити суть трофічного ланцюга та його значення для функціонування екосистеми;
- 7) розкрити зміст закону концентрування речовин у трофічних ланцюгах;
- 8) пояснити суть автотрофного та гетеротрофного живлення;
- 9) пояснити, в чому полягає відмінність між природними, антропогенними та штучними екосистемами;
- 10) розкрити фізико-хімічну суть процесу живлення рослин;
- 11) розкрити зміст правила екологічної піраміди;
- 12) пояснити суть процесів колообігу речовин та ресурсного циклу в антропогенних екосистемах;
- 13) пояснити суть біологічної та екологічної рівноваги в екосистемах.



Запитання і завдання для самостійної роботи

1. Які екологічні фактори ви знаєте і в чому виражається їх прояв?
2. Як визначають гранично допустиму концентрацію, наприклад вмісту нітратів у воді, за допомогою закону лімітуючого фактора? Скористайтесь рис. 4.1.
3. Що таке стенобіонти і еврибіонти? Як їх поділяють залежно від конкретного фактора?
4. У чому полягає суть лімітуючого фактора?
5. Розкрийте зміст «сумарного» ефекту в разі комплексного впливу екологічних факторів.
6. Дайте пояснення правил Бергмана, Аллена і Глогера.
7. Що таке гомотипічні й гетеротипічні реакції?
8. У чому полягає принцип конкурентного витіснення (принцип Гаузе)?
9. Що таке екологічна ніша? Дайте визначення і наведіть приклади.
10. Які критерії визначення екологічної ніші ви знаєте?
11. Що таке фундаментальна і реалізована ніші?
12. Що називають екологічною диверсифікацією?
13. Що називають екосистемою? Як можна математично обґрунтувати це визначення?
14. Опишіть структуру найпростішого біоценозу.
15. Що називають біоценозом, біотопом, біогеоценозом, видом, популяцією?
16. Що таке автотрофи і гетеротрофи?
17. Які види екосистем ви знаєте? Наведіть приклади.
18. У чому полягає суть сукцесії?
19. Що називають трофічним ланцюгом (мережею)?
20. За допомогою правила екологічної піраміди та закону константності речовини зробіть розрахунки, скільки людей може прогодувати біосфера, якщо середня маса людини дорівнює 60 кг.
21. Від чого залежить біомаса біосфери, екосистеми?
22. Як впливає наявність кількості їжі на розвиток популяції?
23. Чим визначається біопродуктивність?
24. У чому полягає суть колообігу речовин (води, вуглецю, кисню, азоту, фосфору, сірки)?

25. За допомогою рівняння реакції фотосинтезу зробіть розрахунок споживаної сонячної енергії 1 га пшеничного лану, якщо його загальна біомаса становить 100 т.
26. Чим відрізняється ресурсний цикл у природній і антропогенній екосистемах?
27. Що є рушійною силою розвитку живої речовини в екосистемі?
28. У чому полягає суть біологічної та екологічної рівноваги в біосфері?