



В. С. ЧАЙКА

ЕКОЛОГИЯ

502.3(075)
4-15

В.Є.Чайка

ЕКОЛОГІЯ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів*

*



Вінниця – 2002

ББК 28.081 Я 73

Ч 15

УДК 577.4.07.3: 574: 58.07: 910.3: 634.1

Віддруковано за сприяння Вінницької філії Відкритого міжнародного Університету розвитку людини «Україна» та Вінницького аграрного університету.

Рецензенти:

Г.К.Палій, доктор медичних наук, професор, академік АН ВШ України, заслужений діяч науки і техніки України (Вінницький державний медуніверситет).

С.Д.Рудишин, кандидат біологічних наук, доцент Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна».

Чайка В.Є., Чайка В.В.

442 284

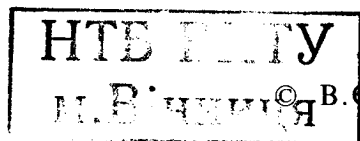
Ч 15 Екологія. – В.: «Книга-Вега», 2002. - 408с.; іл.

В книзі висвітлено основні концепції, поняття, проблеми та питання сучасної екології. Послідовно розглядаються характерні особливості різних екологічних рівнів організації – від індивідуумів та видів до біосфери. Особливу увагу приділено радіоекології, результатам впливу людини на біосферу, системній екології; даються аналіз та рекомендації щодо екологічно-раціональної діяльності людини, економічних питань.

Розрахована на широке коло читачів, і в першу чергу – студентів вищих навчальних закладів, викладачів та учнів середніх шкіл.

Гриф видано Міністерством освіти і науки України
7.06.2002 р., № 14/18 2 – 1200.

ISBN 966-7763-2414-9



В.Є. Чайка



ВСТУП

Людина цікавилася екологією із самого початку своєї історії. Щоб вижити, кожний індивідуум повинен був мати певне уявлення про оточуюче середовище – про рослини, тварин, сили природи тощо.

Цивілізація виникла з використанням вогню, за допомогою якого людина вже могла змінювати середовище свого існування. Сьогодні для збереження своєї цивілізації людина більше, ніж будь-коли потребує повних знань про оточуюче середовище, оскільки основні закони природи діють так же, як і раніше. Незнання цих законів, екологічна безграмотність призвели до того, що сьогодні, у вік вражаючого науково-технічного прогресу, вчені вимушені бити в набат. Набат – це вісник біди. Нагальної, смертельної. Для кожного зокрема і людства взагалі. Бо ж уперше перед загрозою повного знищення опинився рід людський. Уперше на плаху лягає доля усього живого довкруги. І хронометр трагедії неблаганно стрімкий. Уже в кінці нашого століття Земля може обернутися на безлюдну пустелю. Якщо суспільство не змінить свого ставлення до природи, ресурсів, біосфери вистачить лише на кілька десятиліть. Такого висновку дійшли авторитетні вчені США і СНД в результаті ретельних досліджень.

Взяти хоча б Україну. Займаючи ледве 2,7% території колишнього Союзу, республіка приймала на себе чверть усіх промислових забруднень СРСР. Уже половина хлібної ниви - 18 мільйонів гектарів - еродована. Чого не було протягом усієї п'ятитисячної історії землеробства в українському лісостепу. Загинули тисячі річок. Через забруднення вод деградують Чорне і Азовське моря. Втратили половину лісового покриття Карпати. Гинуть цінності, які природа творила мільярди років. Гинуть повітря, земля, води, рослинність.

Драматизм ситуації полягає не лише в тому, що, піднявши руку на природу, ми стали поколінням самогубців, що зневажено святині народу, які зберігали одвіку. Уперше в історії ми стали поколінням грабіжників дітей і внуків, убивцями нащадків. Бо ж, збільшуючи кількість продовольства ціною отруєних земель пестицидами і міндобривами, прирікаємо на голод тих, хто житиме після нас на деградованій землі. Ми прикрашаємо побут цивілізованими зручностями, від виробництва яких наростає мертвотна повільність промислових викидів, а, отже, позбавляємо дітей і внуків наших ковтка чистого повітря і води. Бо ж сховища радіоактивних відходів, які ми безпорадно закопуємо в землю, то безліч чорнобилів завтрашнього дня. На кого ж ми перетворюємося, цивілізовані нації з гуманними ідеалами, покоління, в якому освічених людей більше, ніж у сотнях попередніх поколінь разом узятих? Чому самі завдаємо землі своїй руйнувань значніших, ніж найжорстокіші завойовники?

На жаль, тривалі роки відповіді на ці питання приховувались від населення, а в нашій країні ще й понині є чимало охочих применшити масштаби біди, сховати тривогу за рожевими декораціями вічно бадьорих чиновницьких завірянь та обіцянок, за туманом псевдонаукових реляцій. Але настав час правди без прикрас та ілюзій. Настав час сказати врешті про те, що 80-90% ракових пухлин спричиняється забрудненням навколишнього середовища, що внаслідок екологічної кризи, наприклад, в Україні зростає дитяча захворюваність, частішають випадки народження калік, розумово неповноцінних, мертвих дітей, що під тиском промислових забруднень деформуються генетичні структури людського організму і невідомо, які ще жахи принесуть спричинені цим спадковості. Пора знати про те, що війна, розв'язана нами проти природи, загрожує катастрофою не меншою, ніж термоядерна. Але якщо проти атомної зброї ми боремось і маємо надію відвести її згубу, то безшумні екологічні бомби вже вибухають.

Більшості людей сьогодні уже ясно, що час «покорення природи» безповоротно пройшов. І начебто почався період глибокого пізнання її закономірностей. Але що ж ми маємо у більшості випадків на практиці? Відповіддю можуть бути загальновідомі дані: зараз виробництво споживає з користю для себе лише мізерну частину природної речовини, яка залучається у природничий оборот, а 95-98% цієї речовини викидається в оточуюче середовище, що часто наносить йому непоправну шкоду. Немає поки що корінного перелому ні у використанні вторин-

них ресурсів, ні у відношенні виробничників до цієї проблеми. Об'єми відходів в Україні зростають у три рази швидше, ніж об'єми виробництва та чисельність населення.

Розуміння цих проблем повинно стати частиною світогляду кожної сучасної людини. Сьогодні вже недостатньо стверджувати: глобальна екологічна криза неможлива тому, що у людства повинно бути майбутнє. За це майбутнє необхідно боротися щоденно на всіх рівнях - від станка робітника та трактора у полі до стола міністра. Тільки ця боротьба повинна бути усвідомленою, грамотною, а не механічно спрямованою циркулярами та постановами. А для цього необхідна екологізація усієї освіти. Тільки тоді вона увінчається успіхом.

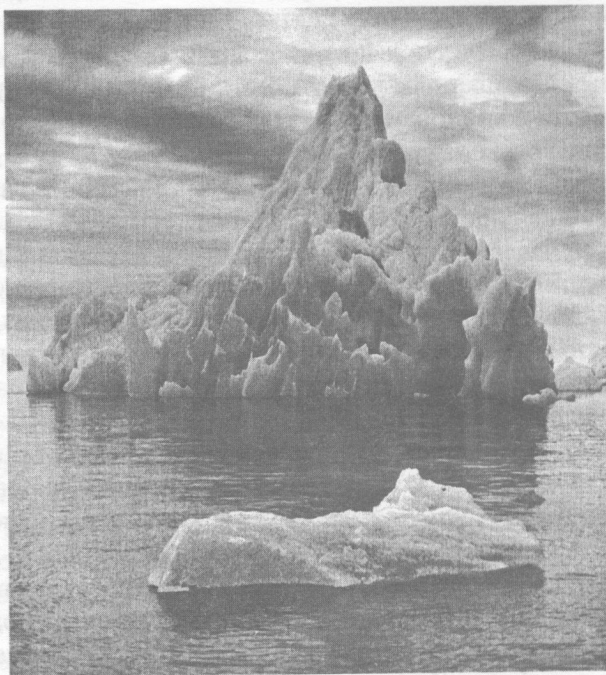
Предмет екології відомий кожному, на відміну від інших наук, оскільки більшість із нас спостерігає природу і є свого роду екологом. Але наукова екологія не проста - у неї є свої тонкощі і складнощі. Вона по своєму підходить до кожного із трьох чітко виділених рівней біологічної ієрархії - до індивідуумів, популяцій особин і утворених популяціями угруповань. Стикаючись з іншими, вона вбирає досягнення біохімії, етології, кліматології, геології тощо, і сама впливає на наші уявлення про біологічні явища.

Ще одна чудова особливість екології у тому, що перед нею простягається світ неповторного: мільйони різноманітних видів, міриади генетично відмінних індивідуумів - і всі вони живуть і взаємодіють у різноманітному і постійно мінливому світі. Чарівність екології - вона кидає виклик. Виклик - у необхідності осягнення ґрунтовних, очевидних проблем. Осягнути їх необхідно так, щоб, признаючи неповторність і складність усіх частин природи, у той же час у складності не потонути, а знайти закономірності і навчитися робити передбачення. Як відмітив Л.Бьорч, в екології дуже доречна порада фізика Уайтхеда: «Шукай простоту, але не довіряй їй».

У цій книзі наводяться основні питання та концепції сучасної екологічної науки, без знання яких неможливо ні засвоїти та достатньо зрозуміти саму суть екології, ні розібратися у тих помилках та хибах ведення господарства, які призвели до численних бід, неможливо починати вивчення курсу охорони природи та грамотно вести господарство. Побіжно дається коротка правдива характеристика екологічної ситуації в Україні, про землі якої ходили у світі легенди і яка стала батьківщиною Чорнобиля.

ПЕРЕДМОВА

Праці Гіппократа, Арістотеля містять відомості суто екологічного характеру. Але термін «екологія» був запропонований німецьким біологом Геккелем порівняно недавно - у 1869 році, та довгий час цей термін не використовувався.



Як самостійна наука екологія сформувалася близько 1900 року, але лише в останні два десятиріччя це слово набуло особливої популярності.

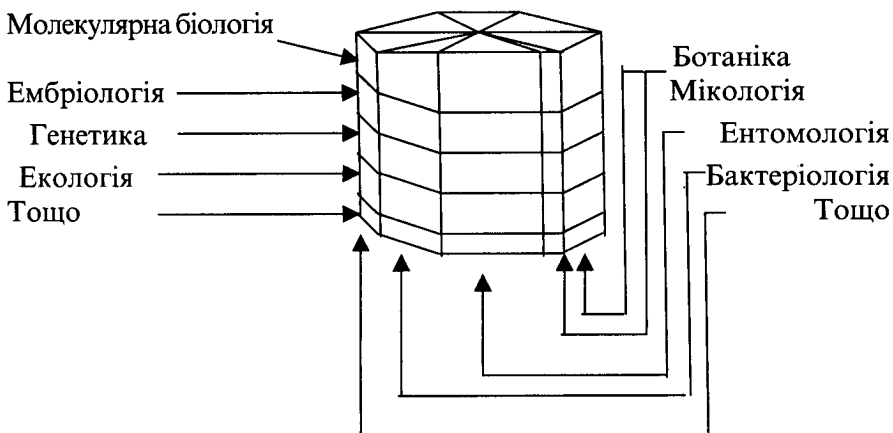
«Екологія», від грецького «ойкос» – дім, житло. У буквальному значенні екологія – це наука про організми «у себе вдома». Визначають цю науку, як науку про відношення організмів до оточуючого середовища, або як науку про взаємовідносини між живими організмами та середовищем їх проживання. Коротке визначення екології – «біологія оточуючого середовища».

Щоб краще зрозуміти предмет і задачі екології, розглянемо її відношення до інших «логій».

Перш за все згадаймо, як підрозділяється наука про життя – «біологія». Структуру біології зручно показати у вигляді шаруватого пирога:

Фундаментальні
підрозділи

Таксономічні
підрозділи

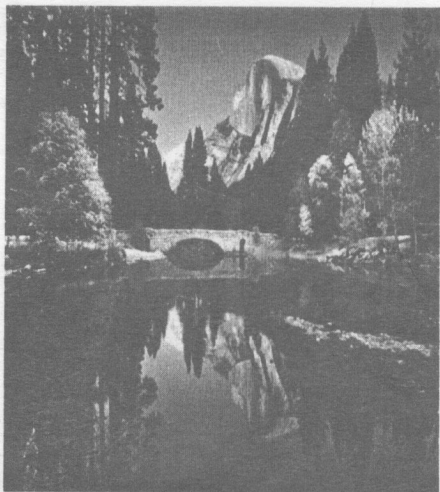


Якщо «пиріг біології» ділити по горизонталі – маємо фундаментальні науки, у тому числі і екологію, які вивчають фундаментальні властивості живого, не обмежуючись окремими групами організмів. Поділ по вертикалі дає таксономічні підрозділи біології. Не можна обмежуватися дослідженням якоїсь однієї систематичної групи, бо ж окремі групи організмів потребують різних методів досліджень (порівняйте дослідження зайця та бактерії), або тому, що окремі групи мають більш важливе значення для людини.

Визначити зміст екології краще всього можна виходячи з концепції рівней організації:

Гени – Клітини – Органи – Організми – Популяції – Суспільства.

Це головні рівні організації життя. Екологія вивчає ті системи, які вище рівня організмів. Термін «екосистема» майже аналогічний терміну «біогеоценоз», але більш емний. Найбільша екосистема, що найбільш близька до ідеалу, — це біосфера Землі. Вона самозабезпечена.



Щодо питання про специфічні

ознаки, характерні для кожного рівня зокрема, то не можна вважати буцімто якийсь рівень легше або важче піддається кількісному вивченню. Дані по вивченню одного рівня допомагають вивченню іншого рівня, але з їх допомогою не можна з'ясувати повністю явищ, що відбуваються на іншому рівні. Наприклад, властивості води не можна передбачити по характеристиці водню й кисню. Так і властивості екосистеми неможливо передбачити на основі відомостей про окремі популяції – вивчати треба і ліс (ціле), і дерева (частини цього цілого).

Таким чином, в екології діє важливий принцип функціональної інтеграції, згідно з яким при ускладненні структури виникають додаткові властивості.

Екологія підрозділяється на аутекологію, демекологію і синекологію. Аутекологія вивчає окремі індивідууми, або окремі види. Демекологія вивчає популяції, а синекологія має справу з угрупованнями та екосистемами. Наприклад, вивчення одного дуба або сороки і їх відношення до середовища – це аутекологія, а вивчення лісу, де росте цей дуб, або живе ця сорока – це синекологія.

Екологія може бути розділена на таксономічні підрозділи – екологія рослин, екологія комах тощо. При цьому зосереджується увага на специфічних рисах групи організмів, що допомагає осмислюванню матеріалу та дає загальне направлення у спеціалізації.

СТАНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЇ ЯК НАУКИ

Ще в стародавні часи люди цікавилися і вивчали питання суто екологічного характеру. Але ЕКОЛОГІЯ як наука сформувалася лише в ХІХ столітті. Стало зрозумілим, що не тільки будова та розвиток організмів, але й їх взаємовідносини з оточуючим середовищем підлягають певним закономірностям. Термін «екологія» увів у науку німецький біолог Е.Геккель у 1869 р. За Геккелем, екологія є наука про «домашній побут» живих організмів і повинна вивчати усі ті взаємовідносини, які Ч.Дарвін умовно назвав «боротьбою за існування». Маючи багату передісторію, екологія продовжує і зараз інтенсивно розвиватися. Сучасна екологія є теоретичною базою раціонального природокористування і стратегії взаємовідносин природи і суспільства людей.

Ще в ІV столітті до н.е. Арістотель описав понад 500 видів тварин і їх поведінку. Його учень Теофраст навів численні дані про своєрідність будови та розвитку рослин в залежності від ґрунту і клімату.

Новий поштовх розвитку наук про природу надали великі географічні відкриття епохи Відродження. Екологічні відомості становили значну частку праць по вивченню окремих груп організмів (А.Цезальпін, Д.Рей, Ж.Турнефор та ін.). Такі дані містять праці А.Ремюра про комах (1734), Л.Трамбле про гідр та мшанок (1744).

У ХVІІІ ст. великий внесок у розвиток екології зробили російські вчені - географи, натуралісти (С.П.Крашенінніков, І.І.Лепехіна. П.С.Паллас). У своїх працях вони вказували на взаємозв'язок між кліматом, іншими умовами і рослинним та тваринним світом в різних частинах величезної Росії.

Ж.Бюффон (1707-1788) вважав, що у видоутворенні головними причинами є температура, клімат, якість їжі і одомашнювання.

Ж.Ламарк (1744-1829), автор першого еволюційного вчення, вважав, що вплив зовнішніх обставин - найважливіша причина еволюції тварин і рослин.

На початку ХІХ ст. виникла наука біогеографія. Праці А.Гумбольдта (1807) визначили новий екологічний напрямок у географії рослин. Гумбольдт увів в науку уявлення, що «фізіономія» ландшафту визначається зовнішнім виглядом рослин. З'явилися праці, присвячені впливу кліматичних факторів на розповсюдження і біологію тварин. Це книги К.Глогера про змінення птахів під впливом клімату, датчанина Т.Фабера про особливості біології північних птахів (1826), К.Бергмана про географічні закономірності у зміні розмірів теплокровних тварин (1848). А.Деканоль в «Географії рослин» (1865) де-

тально описав вплив окремих факторів середовища на рослини. Професор Московського університету К.Ф.Рульє (1814-1858) широко пропагував необхідність всебічного вивчення та пояснення життя тварин і їх складних взаємовідносин з оточуючим світом; він розробив широку систему екологічного дослідження тварин - «зообіологію». Праця учня Рульє Н.А.Северцева (1827-1885) «Періодичні явища у житті звірів, птахів і гадів Воронежської губернії» була першою в Росії щодо глибокого вивчення тваринного світу окремого регіону.

У 1859 р. з'явилася книга Ч.Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору, або збереження сприятливих порід у боротьбі за життя», в якій автор показав, що боротьба за існування у природі є рушійною силою еволюції.

Термін «екологія» прижився у науці не зразу. А.Н.Бекетов (1825-1902) вказував на значення фізіологічних досліджень в екології. А.Ф.Міддендорф поклав початок застосуванню вчення Гумбольдта до зоологічних об'єктів. Д.Аллен (1877) виявив ряд загальних закономірностей у змінні вигляду тіла північних тварин і птахів у зв'язку із географічними змінами клімату.

У кінці 70-х років в екології виникло нове направлення. У 1877 р. німецький біолог Мьобіус обґрунтував уявлення про біоценоз, як закономірне сполучення організмів в певних умовах середовища. Вчення про рослинні угруповання відокремилася в окрему галузь ботанічної екології. Велику роль в цьому відіграли праці російських вчених С.І.Коржинського та І.К.Пачоського, які назвали нову науку фітосоціологією; пізніше вона була перейменована на фітоценологію, а потім - на геоботаніку. Основні положення цієї науки були розроблені Г.Ф.Морозовим та В.Н.Сукачовим.

На початку ХХ століття сформувалися екологічні школи гідробіологів, фітоценологів, ботаніків і зоологів. На III ботанічному конгресі у Брюсселі у 1910 р. екологія офіційно розділилася на екологію особин (аутекологію) і екологію угруповань (синекологію). У 1913 - 1920 рр. були створені екологічні наукові товариства, засновані журнали і введена навчальна дисципліна в університетах.

У розвитку ідей загальної біогеоценології велику роль відіграли фітоценологічні дослідження В.Н.Сукачова, В.А.Келлера, В.В.Альохіна, Л.Г.Раменського, А.Л.Шеннікова, а також Ф.Клементса в Америці, К.Раункієра в Данії, І.Браун-Бланке в Швейцарії.

В 30-40-х роках з'явилися нові праці з екології тварин з теоретичними проблемами загальної екології. Д.Н.Кашкаров у 1938 р. видав перший в СРСР підручник з основ екології тварин.

У 30-х роках сформувалася нова галузь екологічної науки - популяційна екологія. Її засновником вважається англійський вчений Ч.Ельтон. Уявлення про популяції особливо швидко почали розви-

ватися після появи популяційної генетики, а в систематиці почали розглядати вид як складну систему.

Великий внесок у розвиток популяційної екології в СРСР зробили С.А.Северцев, С.С.Шварц, Н.П.Наумов, Г.Л.Вікторов, роботи яких багато в чому визначили сучасний стан цієї науки.

Велика заслуга у виникненні і розвитку багатоплідної концепції «екологічних ніш», яка тісно пов'язує екологічні і еволюційні питання, належить західним вченим Д.Гріннеллу, Ч.Т.Ельтону, Р.Макартуру, Д.Хатчинсону та Г.Ф.Гаузе.

У розвиток морфологічної та еволюційної екології тварин великий внесок зробив М.С.Гіляров. Він висунув тезу про те, що ґрунт був перехідним середовищем у завоюванні суші членистоногими. Ідеї еволюційної екології знайшли відображення і в працях С.С.Шварта.

Виникла палеоекологія, задачею якої є відновлення картин життя вимерлих організмів.

У 1935 р. англійський вчений Теслі висунув поняття екосистеми, а в 1942 р. В.Н. Сукачов обґрунтував уявлення про біогеоценози. Почалися дослідження по точному обрахуванню продуктивності водних угруповань. У 1942 р. американець Р. Ліндемман опублікував працю по основних методах розрахунку енергетичного балансу екосистем. Стали принципово можливими розрахунки і прогнозування продуктивності біоценозів в конкретних умовах. Основним інструментом екологічних досліджень стають методи кількісного аналізу. Екологія стає точною наукою. Математичне моделювання дає можливість науковому прогнозу. У цьому беруть участь вчені різних країн, особливо Г.Одум, Ю.Одум, Р.Уітеккер, Р.Маргалєф та інші.

Розвиток екосистемного аналізу привів до відродження на екологічній основі вчення про біосферу. В.І.Вернадський набагато випередив сучасну йому науку, представляючи біосферу як глобальну екосистему, функціонування і стабільність якої ґрунтується на екологічних законах забезпечення балансу речовини і енергії.

Такий підхід обумовив виникнення у 1864 р. Міжнародної біологічної програми (МБП). Вчені у рамках МБП змогли підрахувати максимальну біологічну продуктивність усієї нашої планети і максимально можливі норми вилучення продукції для потреб зростаючого населення Землі. Проблема охорони природи, її раціонального використання на основі екологічних законів стає однією із найважливіших задач сучасного людського суспільства. Теоретичною базою вирішення цієї проблеми є екологія.

Сьогодні екологія представляє собою розгалужену систему наук. Вона поділяється на загальну екологію, яка вивчає закономірності зв'язків із середовищем, притаманним усім групам організмів, і на

прикладні направлення. В ній виділяються аут-, син- і демекології, фізіологічна екологія, біохімічна екологія, палеоекологія, еволюційна, морфологічна екології. Виділяють також екологію наземних екосистем, екологію ландшафтів тощо. Особливу галузь представляє математична екологія (математичне моделювання). Виникли новітні галузі екології - урбоекологія, агроєкологія, екологія людини.

В бібліотеках нашої країни є досить обширна наукова, навчальна та науково-популярна література з екології. Але на українську мову перекладені лише деякі праці і підручники; ще менше праць і підручників на рідній мові вітчизняних вчених.

ВІДПОВІДНІСТЬ МІЖ ОРГАНІЗМАМИ І СЕРЕДОВИЩЕМ

Екологія вивчає організми і середовище їх існування, тому важливо розуміти зв'язок між ними. Різні організми розподілені за різним місцемешканням не безладно – між організмами і середовищем є відповідність. Яка ж природа цієї відповідності?

В основі теорії еволюції шляхом природного добору, яку запропонував Чарлз Дарвін у 1859 році, лежить декілька припущень.

1. Індивідууми, які утворюють популяцію, не тотожні: вони відрізняються за розміром, швидкістю розвитку, за реакцією на температуру тощо.

2. Ці відмінності, хоча б частково, передаються по спадковості. Тобто, властивості індивідуума у якійсь мірі визначаються його генетичною конституцією.

3. Потенційно будь-яка популяція здатна «заповнити землю»; так воно й було б, якщо б кожний індивідуум виживав і до того ж створював максимальне число нащадків. Але такого не трапляється: багато особин гинуть, не встигнувши залишити потомство, а більшість розмножується зі швидкістю далеко не максимальною.

4. Різні особини залишають різне число нащадків.

5. Число потомків даного організму у значній мірі залежить від результатів взаємодії між цими організмами і середовищем.

В одних умовах організм виживає і розмножується, в інших – ні. Тільки у цьому, досить приблизному розумінні, і можна вважати, що природа здійснює добір. І, саме у цьому розумінні, певні місцемешкання можуть бути названі сприятливими, чи несприятливими, і в тому ж розумінні одні організми можуть вважатися пристосованими, а інші – ні. Оскільки одні особини залишають більше потомків, ніж інші, спадкові властивості популяції можуть у ряду поколінь змінюватися. У цьому випадку кажуть, що має місце еволюція шляхом природного добору.

Особини даного покоління адаптовані умовами, в яких жили попередні покоління. Умови минулого – фільтр, через який деякі сполучення ознак просочилися у теперішнє; але організми адаптовані до умов теперішніх лише настільки, наскільки останні подібні до умов минулого. Організми, не адаптовані ні до сучасного, ні до майбутнього, ні до сучасного, ні до майбутнього не призначені. Вони являють собою живі наслідки власного минулого. Вони адаптовані своїм минулим.

Пристосованість

Пристосованість – це відносний вклад особин в чисельність майбутніх поколінь. Найбільшою пристосованістю володіють ті особини популяції, які залишають найбільше число потомків.

Але пристосованість – поняття не абсолютне, а відносне. Число утвореного рослиною насіння, або відкладених комахою яєць не є прямою мірою їх пристосованості; не є нею і само по собі число утворених нащадків. Пристосованість індивідуума скоріше визначається тим відносним вкладом, який він вносить в чисельність майбутніх поколінь: найбільш пристосовані особини популяції ті, чисельність потомства яких найбільша у порівнянні з чисельністю потомства, залишеного іншими, менш пристосованими особинами тієї ж популяції. Особини ж, що вносять найбільший відносний вклад в чисельність утворюваного популяцією потомства, проявляють і найбільший вплив на її спадкові ознаки.

Жодна популяція не в змозі вмістити усіх можливих генетичних варіантів, які могли б існувати, впливаючи при цьому на пристосованість. Отже, природний добір навряд чи призведе до виникнення досконалих, «максимально пристосованих» індивідуумів. Він сприяє особинам, найбільш пристосованим із числа існуючих, а такий вибір може виявитися надто обмеженим. Могутність рушійних сил еволюції далеко не безмежна. Теорія Дарвіна не передбачає досконалості – навіть у середовищі, яке залишається із покоління в покоління незмінним. Із неї виходить лише те, що деякі особини звичайно залишають більше потомків, ніж інші, і з цієї причини найбільше впливають на формування складу майбутніх поколінь. Сама суть природного добору така, що організми досягають пристосованості до середовища мешкання через стан «найбільш пристосованих із числа існуючих», або «найбільш пристосованих із числа, таких, що існували»; вони ні в якому разі не «кращі із можливих».

Окрім того, способи пристосування і ступінь пристосованості організмів до оточуючого середовища підкоряються й іншим обмеженням та умовам.

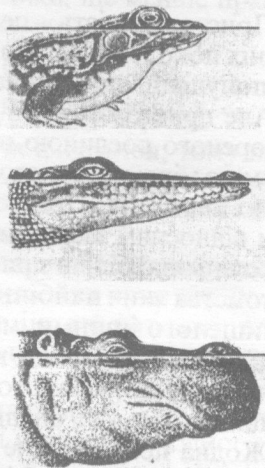
Конвергенція і паралелізм

Відповідність між організмами і середовищем нерідко проявляється у подібності будови і способу життя організмів, які мешкають в подібних умовах, але належать до різних філетичних ліній (до різних гілок філогенетичного дерева). Явища такої подібності до того ж спростовують уявлення про те, що начебто кожному типу середовища проживання відповідає один і тільки один варіант «досконалого організму».

Свідчення виникнення подібності особливо переконливі, коли відповідні філетичні лінії віддалені, а подібними функціями наділені структури абсолютно різного еволюційного походження, тобто структури аналогічні (подібні зовнішньою будовою, або функцією), а не гомологічні (походять від одних і тих же структур, які були у загальних предків). Коли спостерігається таке явище - це *конвергентна еволюція*.

Великі водні хижаки виникли у чотирьох абсолютно різних групах: серед риб, плазунів, птахів і ссавців. Подібність зовнішньої будови тим більш незвичайна, що вона приховує різницю внутрішньої будови і обміну речовин, які свідчать про глибоку різницю еволюційної історії, зображених на мал. 1 організмів.

Насіння багатьох вищих рослин розповсюджується птахами. Птахів приваблює наявність м'якоти цукристої тканини, яку вони поїдають і перетравлюють. У цю тканину занурено насіння, захищене товстими оболонками. Воно проходить через травний тракт неушкодженим, а деколи перебування в ньому навіть стимулює його проростання. У різних представників рослинного царства м'якоть плодів веде своє походження від абсолютно різних структур. Наприклад, тис – голонасінна рослина, а яблуна, ожина, шовковиця – покритонасінні. Втім, навіть в межах однієї родини розових для утворення привабливої м'якоти насіння «задіяні» вельми різноманітні структури. Суниця, яблуна, персик – усі вони утворюють привабливу для птахів м'якоть і захищають своє насіння абсолютно різними способами.



Мал. 1. Три характерних профілі – типовий приклад конвергентної еволюції.

Отже, в результаті дії однонаправлених селективних сил одна і та сама властивість виходить із абсолютно різних стартових еволюційних позицій.

Існує і інший, який можна співставити з першим, ряд прикладів. Приклади такого ряду можна використати для демонстрації паралелей еволюційної історії філогенетично родинно-близьких груп, що породили різноманітні форми вже після того, як вони розійшлися.

Класичний приклад такого роду паралельної еволюції – адаптивна радіація плацентарних і сумчастих ссавців. Сумчасті потрапили в Австралію в крейдовий період (близько 90 млн. років тому), коли єдиними там місцевими ссавцями були своєрідні групи однопрохідних, або яйцекладних (зараз єдиними представниками їх є східна та качконіс). Потім в їх еволюції наступило виникнення безлічі форм (радіація), яке багато в чому в точності повторює процеси еволюційної радіації ссавців на інших континентах. Так, і зовнішня будова, і спосіб життя сумчастих і плацентарних тварин повторюються з такою ж вражаючою детальністю, що мимоволі виникає відчуття, начебто середовища мешкання плацентарних і сумчастих ссавців склалися із «екологічних ніш», в які еволюція акуратно вставила відповідні екологічні еквіваленти.

Певні труднощі при визначенні характеру еволюції виникають через те, що явища конвергенції і паралелізму частіше всього визначаються вражаючою подібністю зовнішньої будови. І хоча сумчастий кролячий бандикут і плацентарний кролик дуже схожі і обидва влаштовують нори, бандикут споживає головним чином тваринну їжу (личинок, комах), а плацентарний кролик – рослинну. В протилежність цьому кенгуру своєю зовнішністю навряд чи нагадує вівцю, але при цьому кенгуру, як і вівця – крупні травоядні тварини, які при сумісному проживанні харчуються майже однією і тією ж їжею.

Для позначення групи видових популяцій, що споживають однотипові ресурси, Рутон (Rut, 1967) введений термін «гільдія». Популяції малоподібних кенгуру і овець входять до складу одних і тих же, або аналогічних гільдій. Кролик і бандикут набули зовнішню схожість, але їх популяції належать до абсолютно різних гільдій. Інакше кажучи, є всі підстави стверджувати, що в певному розумінні відповідність між організмами і середовищем деколи проявляється не стільки в зовнішній подібності, скільки в подібності трофічній.

Плацентарні		Сумчасті
Хижачи собачого типу		
Вовк		Сумчастий гасманський вовк
<i>Хижачи кошачого типу</i>	Оцелот	Сумчаста куниця
<i>Деревна летяга</i>	Летяга	Сумчаста летяга
Мешканці нір, які харчуються рослинами		
	Бабак	Вомбат
Мірмікофаги, які розкопують мурашники		
	Мурахоїд	Сумчастий смугастий мурахоїд
Тварини, які ведуть підземний спосіб життя і живляться рослинами		
	Звичайний кріт	Сумчастий кріт

Мал. 2. Паралельна еволюція сумчастих і плацентарних ссавців. Тварини співставлених видів нагадують одне одного як зовнішнім виглядом, так і способом життя.

Екотипи

Організми не тільки самі адаптуються до зовнішніх фізичних факторів, але й дещо змінюють умови середовища, щоб послабити лімітуючу дію факторів (світла, температури, води тощо). Така компенсація факторів особливо ефективна на рівні угруповання, але можлива і на рівні виду. Види з широким географічним ареалом утворюють адаптовані до місцевих умов популяції, які називаються екотипами. Компенсація у відношенні до різних факторів може супроводжуватися появою генетичних рас, або простою фізіономічною акліматизацією. Генетичні раси дуже часто обумовлюють невдачі в інтродукції рослин і тварин.

Термін «екотип» був вперше використаний по відношенню до деяких рослин – для опису внутрішньовидових генетично визначених локальних відповідностей між організмами і середовищем. Вирощуючи рослини із різних місцемешкань в одному спільному, дослідники виявили значні внутрішньовидові відмінності між цими рослинами.

Приклади різниці між внутрішньовидовими «расами» - екотипами наведені в таблиці I.

По стійкості до забруднення токсичними металами (свинець, цинк, мідь, кобальт тощо) у рослин просторовий масштаб локальної спеціалізації може бути надзвичайно малим. На краях ділянок, які виявилися в результаті розробки рудних родовищ забрудненими, інтенсивність відбору проти сприйнятливих генотипів різко змінюється, і популяції, що займають забруднені ділянки, можуть дуже сильно відрізнитися ступенем стійкості до важких металів, будучи при цьому розділеними, незважаючи на те, що вітер і комахи без перешкод переносять пилок через ці межі. В деяких випадках вдалося встановити час, з якого почався вплив відбору на стійкість до підвищених концентрацій важких металів. Тривалість такого періоду набування стійкості різний. Вдавалося навіть одержати популяцію рослин, стійку до забруднення важкими металами у результаті добору, що діяв протягом одного покоління. У порівнянні з могутнім тиском добору, потік генів з його нівелюючим впливом досить слабкий; на користь цього свідчать як швидкість добору, так і чіткі просторові межі між екотипами.

Приклади відмінностей між екотипами вищих рослин

Особливості будови або життєвого циклу	Різниця між екотипами	Довідник
Форми росту	Різка відмінність прямостоячої форми <i>Plantago maritima</i> від сланкої	Gregor, 1930
Потреба у воді Початок вегетації Річний цикл росту	Різка відмінність між альпійською, субальпійською та долинною формами <i>Poa alpina</i> . Різкі широтні відмінності між формами з різними строками цвітіння і плодоношення (наприклад, у <i>Hemizonia</i> , <i>Achillea</i>)	Turesson, 1922 Clansen Keck, Hiessey, 1941
Тривалість життя і «сила росту»	Різкі відмінності між формами трав'янистих рослин, які зростають на луках і пасовиськах різних типів	Stapledon, 1928
Термін цвітіння	Географічні відмінності по періодичності освітлення, необхідній для цвітіння	McMillan, 1957
Реакції на біогенні елементи	Внутрішньовидові відмінності реакцій на азот, фосфор, кальцій і т.п у лучної і повзучої конюшини	Snaydon, Bradshaw 1969
Стійкість до токсичних металів	Різкі відмінності між формами, зростаючими на рудничних відвалах та в інших місцях	Antonovics, Dradshaw, 1970

Генетичний поліморфізм

Генетичний поліморфізм – це співіснування в межах одного і того самого місцемешкання двох або більше внутрішньовидових форм, які виразно розпізнаються, причому, в таких співвідношеннях, що постійна присутність найрідкішої із цих форм не може бути віднесена тільки на рахунок безперервного мутагенезу та імміграції. Далеко не всі прояви такої мінливості відображають відповідність між організмами і середовищем; навпаки, буває так, що за деякими із них стоять очевидні невідповідності. Ці невідповідності можуть виникати через те, що розселювальні стадії однієї спеціалізованої форми проникають в місцемешкання іншої. Вони можуть виникати і тоді, коли при зміні умов одна форма витісняється іншою, краще пристосованою до змінених умов. Такий поліморфізм називається скороминущим. Оскільки усі угруповання завжди змінюються, дуже багато в природі явищ поліморфізму мають саме такий минулий характер – в тій мірі, в якій жодна популяція ніколи не встигне за зміною умов існування і ніколи не буде у стані ці зміни попередити.

І все ж у багатьох випадках внутрішньопопуляційний поліморфізм активно підтримується природним добром, причому, найрізноманітнішими способами.

А. У деяких випадках гетерозиготи мають підвищену пристосованість, але через мендельське розщеплення вони постійно поповнюють популяцію породженими ними життєздатними гомозиготами. Приклад такого «гетерозису» - існування серповидної анемії в популяціях людини, що знаходяться в осередках малярії. Індивідууми, гетерозиготні по відповідному локусу, страждають легким малокрів'ям, але рідко захворюють малярією; при цьому вони безперервно породжують гомозиготних індивідуумів, або вражених важким малокрів'ям, або сприйнятливих до малярії.

Б. Інтенсивність добору може змінюватися в межах деякого діапазону, причому на одній із його меж добір може сприяти одній формі (морфі), а на іншій межі – другій. При проміжній інтенсивності добору можуть виникати поліморфні популяції.

В. Інколи добір буває частотно залежним: будь-яка із внутрішньовидових форм найбільш життєздатна тоді, коли вона зустрічається рідше за інших. Саме так виглядає справа із забарвленими формами жертв: вони життєздатні тому, що хижаки їх не впізнають і не чіпають.

Г. Дрібномасштабна просторова структура популяції і місцемешкання буває дуже складною, і в різних частинах цієї «клаптевої ковдри» добір може діяти у різних напрямках. Підтримання відповідності між організмами і середовищем у такій ситуації неминуче залежить від розсіяння численних розселювальних стадій: якщо чисельність їх достатньо висока, то достатньо висока і ймовірність того, що частина їх укорінюється саме у тому «клапті», де відповідна форма найбільш стійка. Можливий і інший варіант: організм може бути довговічний і здатний переміщатися, використовуючи при цьому умови і ресурси найбільш відповідних «клаптів».

Вражаючий приклад поліморфізму природної популяції виявлений у результаті ряду праць, присвячених вивченню конюшини повзучої. Результати переконливо свідчать на користь того, що різноманітні генотипічні різновиди конюшини розташовані на пасовиську таким чином, що кожна з них відповідає локальним біотичним умовам існування.

На тому ж полі Дирзо і Харпер (Dirzo, Harper, 1982) вивчали розподіл форм конюшини *Trifolium repens*, які відображають наявність ще одного специфічного типу поліморфізму. Він полягає у тому, що при ушкодженні (наприклад, при обкушуванні) одні рослини виділяють синильну кислоту, а другі – ні. Відомо, що молюски звичайно не поїдають ціаногенну конюшину, і між розподілом ціаногенної форми конюшини і ділянками з підвищеною кількістю слимаків був виявлений високо-істотний зв'язок.

Зрозуміло, що мінливість конюшини на цьому полі хоча б частково обумовлена генетично і відображає відповідність між організмами і середовищем.

Прикладом поліморфізму у тварин може слугувати поліморфізм у популяціях равлика *Saraca nemoralis*. Равлики малорухомі, а їх популяції займають найрізноманітніші місцемешкання, які різко відрізняються фізичними умовами і ступенем тиску хижаків. Ця обставина обумовила локальну внутрішню популяційну диференціацію за зовнішнім виглядом раковини. Будь-яка із популяцій равлика поліморфна хоча б по одній зі своїх ознак: кольору раковини і наявності на ній малюнка у вигляді смуг. Чисельні співвідношення різних форм у різних місцемешканнях неоднакові, але у кожному місцемешканні для найбільш звичайної форми характерна візуальна відповідність своєму оточенню.

Життєві форми організмів – один із проявів екологічної адаптації



Серед різноманітних способів і проявів пристосування тварин і рослин до оточуючого середовища важливе значення мають і морфологічні адаптації, тобто такі особливості зовнішньої будови, які сприяють виживанню і успішній життєдіяльності організмів у звичних для них умовах. Морфологічний тип пристосування організмів до основних факторів місцезнаходження і певному способу життя називають життєвою формою організму.

Життєві форми спочатку були виділені у рослин. Ще Теофраст виділяв серед них чагарники, напівчагарники і трави.

Термін «життєві форми» вперше запропонував Вармінг (1884). Як синонім, часто вживають термін «екобіоморфа», «біологічний тип»,

«епіморфа». Для класифікації життєвих форм рослин датський ботанік Раункієр вибрав лише одну ознаку – розміщення бруньок чи верхівок пагонів протягом несприятливого періоду року по відношенню до поверхні ґрунту і снігового покриву. Ця класифікація зараз є універсальною для Землі.

Усі рослини Раункієр розділив на п'ять типів.

1. Фанерофіти (Ph) – бруньки відновлення відкриті або закриті, розташовані над поверхнею ґрунту високо (вище 30 см). Підрозділяються на 15 підтипів.

2. Хамефіти (Ch) – бруньки відновлення біля поверхні ґрунту (не вище 30 см); 4 підтипи.

3. Гемікриптофіти (Hk) – бруньки відновлення на поверхні ґрунту, або у самому поверхневому його шарі, часто прикритому підстилкою; 3 підтипи.

4. Крптофіти (K) – бруньки відновлення сховані у ґрунті (геофіти), або під водою (гелофіти і гідрофіти); 7 підтипів.

5. Терофіти (Th) – відновлення після несприятливої пори року тільки насінням.

Процентний розподіл видів за життєвими формами в рослинних угрупованнях на певній території називається біологічним спектром. Для різних зон і країн вони можуть слугувати індикаторами клімату.

В архітектоніці життєвих форм рослин вирішальне значення мають вегетативні органи.

Звичайно в класифікації життєвих форм рослин мають на увазі дорослу генеративно нормально розвинену особину виду. Але в онтогенезі рослин відбуваються неодноразові зміни життєвих форм.

Подібні форми рослин виникли конвергентно в різних систематичних групах. Наприклад, в умовах аридного клімату пустель одна і та ж життєва форма стеблових сукулентів є у кактусів (неотропис) і молочаїв (палеотропис). Одну і ту ж життєву форму можуть мати як близькородинні види, так і види, що далеко відстоять один від одного. В той же час у одного виду в межах його ареалу в різних географічних і екологічних умовах, в різних ценопопуляціях (сукупність особин одного виду в межах одного фітоценозу), або навіть в одній ценопо-

пуляції зустрічаються дорослі особини, які представляють собою різні життєві форми.

Просторова диференціація виду у рослин дуже складна. У північно-казахстанських степах в ценопопуляціях підмаренника руського зустрічаються дві життєві форми: довгокореневищно-стержнекоренева і дерновинно-стержнекоренева. Перша переважає на більш пухких ґрунтах, друга – на більш щільних. У штучних фітоценозах газонного типу кульбаба лікарська зустрічається як стержнекоренева, так і коренево-паросткова. Багато видів дерев в межах ареалу утворюють чагарникові, нерідко сланкі форми (смерека звичайна на крайній півночі, смерека сибірська на Південному Уралі). Компактні деревовидні життєві форми липи переважають на півдні і в центрі ареалу (в Україні), а сланкі – близько північно-східної межі на Середньому Уралі. В межах одного фітоценозу можуть зустрічатися всі життєві форми липи, вона зустрічається при сильному затіненні, приурочена до схилів, днищ ярів. Такі екземпляри не цвітуть, мають висоту до 4 метрів, створюють підлісок. Подібні варіанти зустрічаються і у черемхи звичайної, клена. Лимонник китайський в лісах Далекого Сходу в різних екологічних умовах росте то як ліана, то як чагарник.

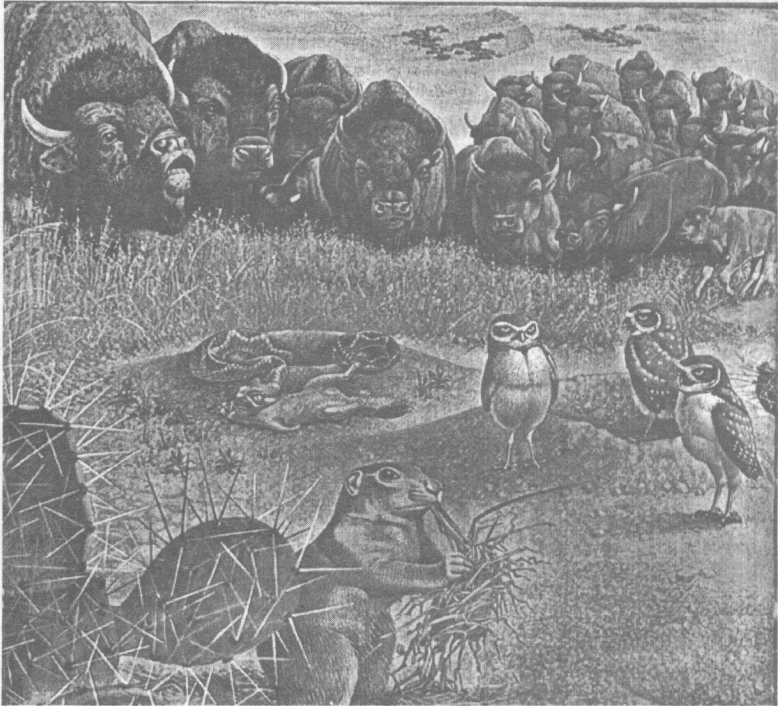
Значна частина покритонасінних у процесі еволюції піддалася соматичній редукції. Від крупних дерев з добре розвиненим стовбуром і розгалуженою кроною виникли небагатостовбурні дерева, а потім чагарники, і різні трави. Але деякі родини із самого початку склалися із трав'янистих видів, з яких виникли найбільш спеціалізовані деревні форми, наприклад, бамбуки із родини злаків.

Трав'яністі рослини часто вегетативно рухомі, з великою насінневою продуктивністю, краще пристосовані до різноманітних місцемешкань, деколи з дуже суворими умовами. Тому різноманітність життєвих форм у наземних трав'янистих рослин надзвичайно велика.

У подібних умовах як серед деревних, так і серед трав'янистих рослин конвергентно виникли ліановидні, сукулентні, сланкі, подушковидні форми, які складають паралельні ряди. Наприклад, подушковидні форми деревні і трав'яністі часто зустрічаються в умовах доброї освітленості, але при низьких температурах повітря і ґрунту, при крайній сухості ґрунту і низькій вологості повітря, при частих і сильних вітрах.

Життєві форми тварин

Класифікація життєвих форм тварин дуже різноманітна в залежності від її принципів. В.Н.Формозов за характером пересування в різних середовищах серед ссавців виділив такі адаптивні типи: 1) наземні форми; 2) підземні (землеріючі); 3) деревні; 4) повітряні і 5) водні. Між типами є переходи.



В межах кожної групи пересування і характеру життя утворюються більш пристосувальні форми. Так, наземні ссавці пересуваються переважно шляхом ходьби, бігу або стрибків, що проявляється у їх зовнішньому вигляді. Наприклад, стрибаючі тварини - кенгуру, тушканчики, пригунчики, кенгурові шури відзначаються компактним тілом з подовженими задніми кінцівками і значно прикороченими передніми. Дуже розвинені м'язи - розгиначі спини, які збільшують потужність поштовху. Довгий хвіст відіграє роль балансира і керма, що дозволяє різко змінити

напрямок руху. У сидячих тварин він слугує додатковою точкою опори. Подібний тип пересування і зовнішній вигляд мали і деякі вимерлі динозаври мезозою. Життєві форми виразно виділяються в межах будь-якої крупної таксономічної групи тварин.

У зовнішньому вигляді птахів у найбільшій мірі проявляється приуроченість їх до певних місцезнаходжень і характеру пересування при добуванні їжі. У зв'язку з цим виділяють птахів: 1) деревної рослинності; 2) відкритих просторів суші; 3) боліт і мілин; 4) водних просторів. У кожній із вказаних груп виділяють специфічні форми: а) добувають їжу шляхом лазіння (голуби, папуги, зозулі, дятли, горобині); б) добувають їжу у польоті (в лісах - сойки, козодой; на відкритих просторах - довгокрилі, ранкові; над водою - трубконосі тощо; в) годуються при пересуванні на землі (лісові - більшість куриних, казуари, ківі тощо; на відкритих просторах - нанду, страуси, журавлині); г) добувають їжу за допомогою плавання та пірнання (пінгвіни, гагари, поганки, гусині, веслоногі).

Життєві форми таких дрібних ґрунтових членистоногих, як коллемболи, виділяють, ґрунтуючись на їх приуроченості до певних шарів ґрунтового профілю, бо в ґрунті з глибиною різко змінюється увесь комплекс умов: освітленість, розмір порожнин, гідротермічний режим і т.п.

Атмобіонти – види, що населяють верхні шари підстилки і здатні підніматися на нижні частини рослин, характеризуються більш крупними розмірами, розвиненими очима, відносно довгими придатками (антенами, ногами), добре вираженою пігментацією.

Едафічні види – мешканці мінеральних тонкопорових шарів ґрунту. Відзначаються дрібними розмірами, сильним укороченням придатків, відсутністю очей і пігменту.

Геміедафічні форми – характеризуються проміжними рисами: частковою редуцією очей, розсіяним пігментом, укороченою вилкою тощо.

Серед саранових за формою (конфігурація тіла, структура голови, будова кінцівок, літального апарату, тип забарвлення) добре відрізняються еремобіонти – на пісках і петробіонти – на кам'янистих ділянках з розрідженою рослинністю.

Подібні життєві форми зустрічаються в подібних умовах життя в різних зоогеографічних областях і на різних материках (наприклад, тушканчики Євразії, кенгурові щури Австралії, стрибунчики Африки). Життєва форма наочно свідчить про спосіб життя виду.

Фактори середовища

Закони Лібіха і Шелфорда

У 1840 р. Ю.Лібих встановив, що урожай зерна часто обмежується тими речовинами, яких потрібно в малих кількостях, але яких мало і в ґрунті. Він сформулював закон мінімуму: «Речовиною, яка знаходиться у мінімумі, управляється урожай і визначається величина та стійкість останнього в часі». Тейлор (1934) розширив це положення, включивши в нього, окрім поживних речовин, ще й фактори.

З часом до цього закону додалися ще два принципи. Перший - обмежувальний: закон Лібіха суворо діє лише в умовах стаціонарного стану, тобто коли притік енергії і речовини збалансовується відтоком. Другий принцип стосується взаємодії факторів. Так, дія якого-небудь фактору або речовини може змінити споживання мінімальної поживної речовини. Деколи організми здатні хоча б частково замінити дефіцитну речовину іншою. Наприклад, в місцях, де багато стронцію, слимаки частково замінюють кальцій стронцієм. Це явище спостерігається і з людиною: при радіоактивному забрудненні нестача в їжі кальцію викликає накопичення у скелеті стронцію. Деяким рослинам потребується менше

цинку, якщо вони ростуть у затінку, а не на яскравому сонячному освітленні.

Але лімітуючим фактором може бути не тільки нестача, але й надлишок речовини, чи якогось фізичного фактору. Тобто, організми характеризуються екологічним мінімумом і екологічним максимумом, а діапазон між цими величинами становить межі толерантності. В. Шелфорд (1913) сформулював закон толерантності.



Згодом були сформульовані додаткові до закону толерантності положення: організми можуть мати широкий діапазон толерантності стосовно одного фактору і вузький діапазон толерантності стосовно іншого;

організми з широким діапазоном толерантності до усіх факторів розповсюджені найширше;

якщо умови по одному екологічному фактору не оптимальні для виду, то може звужитися діапазон толерантності до інших екологічних факторів. Наприклад, при лімітуючому вмісті азоту знижується сухостійкість злаків; при високому тисковій підвищується чутливість мікроорганізмів до температур;

користуватися оптимальними фізичними умовами середовища багатьом організмів заважають міжпопуляційні взаємовідношення (конкуренція, паразитизм тощо);

межі толерантності особин, що розмножуються, для насіння, ембріонів, личинок, проростків вужчі, ніж для дорослих організмів, що не розмножуються. Так, дорослий кипарис може рости і на сухому нагір'ї, і у воді, але розмножуватися здатен лише там, де є вологий, але не затоплюваний ґрунт для розвитку проростків.

Для вираження ступеню толерантності в екології прийнято ряд термінів з приставками «стено» (вузький) та «еврі» (широкий):

стенотермний – еврїтермний (стосовно температури);

стеногідричний – еврїгідричний (стосовно води);

стеногалінний – еврїгалінний (стосовно солоності);

стенофагний – еврїфагний (стосовно їжі);

стеноойкний – еврїойкний (стосовно місцемешкання).

Наприклад, риба водоймищ пустель еврїтермна і еврїгалінна, бо витримує температури від 10 до 40 градусів і широкий діапазон солоності (від прісних вод – до більш солоних, ніж морська).

На рівні угруповання компенсація факторів здійснюється зміною видів по градієнту умов. Наприклад, у зоопланктоні прибережних вод видовий склад веслоногих рачків змінюється при зміні пори року. В лісі різні види трав займають галявини і гущавину. Тому криві залежності метаболізму від температури для екосистем у цілому більш пологі, ніж для окремих видів. Це ще один приклад гомеостазу на рівні угруповання.

Отже, в природі організми залежать від: 1) вмісту необхідних речовин і стану критичних факторів; 2) від діапазону толерантності самих організмів до цих (та інших) компонентів середовища.

Клейгс (1942) розробив простий метод визначення оптимальних районів вирощування сільськогосподарських культур. Враховується не тільки середній урожай за декілька років, але й коефіцієнт варіації урожаю. Район з найвищим середнім урожаєм і найнижчим коефіцієнтом варіації (неурожаї рідкі) і є оптимальним.

Мендель і Райтер (1961) провели досліді з метою визначення поживних речовин, які обмежують продуктивність фітопланктону у Саргасовому морі. Це були класичні експерименти по збагачуванню. Лімітуючими факторами виявилися залізо, азот і фосфор.

Найголовніші екологічні фактори, які часто бувають лімітуючими

Температура. Температурні умови в біосфері різноманітні. Більше 80% поверхні Землі належать до постійно холодних. Середня температура ґрунту в помірній кліматичній зоні становить 12 градусів за Цельсієм. 75% поверхні Землі займає світовий океан, 90% об'єму якого має температуру нижче 5 градусів. Температурні межі, в яких можуть існувати відомі нам організми – від -200 до +100 градусів. Правда, не так давно виявили бактерії в Тихому океані на глибині 2560 м, де вони існують в «чорних гейзерах» при температурі +250-300 градусів і тисковій воді 255 атм. Припускають, що прокаріоти можуть існувати скрізь, де є вода в рідинному стані і достатня кількість поживних речовин.

Але більша частина видів і більша активність приурочені до вузького діапазону температури. Тому температура являє собою дуже важливий і часто лімітуючий фактор.

Ступінь мінливості температури дуже важливий для екології. Температура, що коливається від 10 до 20 градусів з середньою 15 градусів, діє на організми не так само, як постійна температура в 15 градусів. Організми, які в природі підлягають дії перемінних температур, гірше переносять постійну температуру.

Для більшості видів зараз встановлені і оптимальні, і критичні температури. Тому термін «теплове забруднення зовнішнього середовища» має абсолютно реальний зміст.

Світло. По відношенню до світла організми стоять перед дилемою: з одного боку пряма дія світла на протоплазми смертельна, а з другого – світло служить першоджерелом енергії, без якого неможливе життя на нашій планеті. Таким чином, світло не тільки життєвий фактор, але й лімітуючий. Для екології це найцікавіший фактор.

Сонячне випромінювання, що проходить через атмосферу і досягає земної поверхні, складається із електромагнітних хвиль довжиною від 0,3 до 10 мкм, або 300 – 10000 нм. Видима людським оком частина спектру охоплює діапазон 390-760 нм.

Для екології важливі якісні характеристики світла (довжина хвилі, колір), інтенсивність та тривалість впливу (довжина дня). Кольоровий зір добре розвинений у деяких видів членистоногих, риб, птахів та ссавців. Інтенсивність фотосинтезу змінюється зі зміною довжини хвилі світла. В наземних екосистемах якісні характеристики світла мало змінюються. При проходженні ж світла через воду червона та синя частини спектру відфільтровуються, а зеленувате світло, що залишається, слабо поглинається хлорофілом. Та червоні водорості мають пігмент фікоеритрин, який дозволяє їм використовувати сонячну енергію і жити на

великій глибині, де не можуть жити зелені водорості. Інтенсивність світла (надходження енергії), що падає на автотрофний ярус, управляє всією екосистемою через первинну продуктивність. У всіх рослин фотосинтез пов'язаний з інтенсивністю світла лінійною залежністю до оптимального рівня світлового насичення, за яким слідує падіння фотосинтезу. При високій інтенсивності світла фотоокислення ферментів знижує синтез, а активне дихання приводить до витрачання продуктів фотосинтезу. Особливо зменшується синтез білка. Ось чому у тропіках важко отримати високі урожаї, багаті на білок.

Вода. З екологічної точки зору вода виступає лімітуючим фактором як для наземних, так і для водних організмів, там, де дуже коливається її кількість, або солоність. Кількість опадів, вологість, доступна площа водного запасу, висушуючі властивості повітря – ось основні параметри характеристики цього екологічного фактору – води.

Розподіл опадів по сезонах року вкрай важливий лімітуючий фактор. Нерівномірний розподіл опадів протягом року зустрічається в тропіках, де добре виражені вологий та сухий сезони. В тропіках цей сезонний ритм вологи регулює сезонну активність організмів, особливо розмноження, таким же чином, як сезонний ритм температури регулює активність організмів у помірній зоні. У помірних широтах опади розподіляються, як правило, рівномірно протягом року. Ось які угруповання – клімаксні екосистеми – будуть результатом екогенезу у залежності від кількості опадів у помірних широтах:

0 – 250 мм	- пустеля
250 – 750	- степ, савана, рідколісся
750 – 1250	- сухий ліс
понад 1250	- вологий ліс

Вологість – це кількість водяної пари у повітрі (маса води в одиниці маси повітря). Оскільки у природі існує добовий ритм вологості по вертикалі і горизонталі (вона підвищується вночі і знижується вдень), вона, як світло і температура, відіграє важливу роль у регулюванні активності організмів та їх розповсюдженні.

Особливо важлива вологість тим, що змінює ефекти температури.

Висушуюча дія повітря – це важливий екологічний фактор, особливо для наземних рослин. Її визначають за допомогою евапориметра, або атмометра. Тварини самі можуть регулювати свою поведінку, щоб запобігти дегідратації: переходять у захищені місця, переносять свою активність на нічні часи; вода, що надходить в рослини, майже вся (97-99%) випаровується через листя. Це явище – транспірація – унікальна риса енергетики наземних екосистем. Ріст рослин пропорційний транспірації. Відношення чистої первинної продуктивності до кількості транспірованої води називається ефективністю транспірації і ви-

ражається у грамах сухої речовини на 1000 г транспірованої води. Для більшості сільськогосподарських культур ефективність транспірації рівна 2 (на кожний грам сухої речовини витрачається 500 г води). Засухостійкі культури можуть мати ефективність 4. Виявилася одна цікава деталь: у рослин пустелі ця ефективність не набагато вища; їх унікальна адаптація полягає у здатності припиняти ріст при відсутності води (непустельні рослини в цих умовах загинули б). У різних видів діапазон толерантності різний.

Температура і вологість мають таке загальне значення у наземних місцемешканнях і так взаємопов'язані, що їх, як правило, вважають найголовнішими екологічними факторами. Температура має більш лімітуючий вплив на організми, коли вологість близька до критичної: або вона дуже низька, або дуже висока. Так само і вологість відіграє більш критичну роль, коли температура близька до критичної. Великі водоймища пом'якшують клімат суші, оскільки для води характерна значна прихована теплота пароутворення і танення. Ось чому виділяють два типи клімату – континентальний і морський. У цілому ж класифікація типів клімату, що ґрунтується на комбінації температури і вологості, що враховує кількість опадів і потенційну евапотранспірацію, добре узгоджується із сільськогосподарськими зонами та зонами рослинності.

Зручним способом зображення взаємозв'язку температури і вологості є побудова клімаграм. На вісі ординат відкладають середні місячні величини температури, а по вісі абсцис – середньомісячні величини кількості опадів, або вологості. Місяці позначаються цифрами. Отримані дванадцятикутники дають уявлення про умови температури та вологості і дозволяють графічно співставляти одну сукупність умов з іншою, порівнювати різні райони; корисними вони можуть бути і при прогнозуванні можливостей інтродукції та нашість шкідників (мал. 3).

Атмосферні гази. Склад атмосфери в межах біосфери вражаюче постійний. І все ж концентрація вуглекислого газу (0,03%) та кисню (21%) є лімітуючою для багатьох вищих рослин. Так, зниження концентрації кисню до 5% дає змогу збільшити фотосинтез на 50%. У водоймищах із високим вмістом органічних речовин кисень є лімітуючим фактором першорядного значення. В 1 л повітря міститься 210 см³ кисню, а в 1 л води – всього 10 см³. Розчинність кисню у воді збільшується при зниженні температури і зменшується при підвищенні солоності. Запас кисню у воді поновлюється двома джерелами: за рахунок дифузії із повітря та завдяки фотосинтезу водних рослин.

Вміст вуглекислого газу у воді сильно коливається, але його екологічна роль мало вивчена. Він добре розчиняється у воді, надхо-

дить із атмосфери та від дихання і розкладання. На відміну від кисню, вуглекислий газ реагує з водою, утворюючи вуглекислоту, яка, реагуючи з вапном, утворює карбонати і бікарбонати.

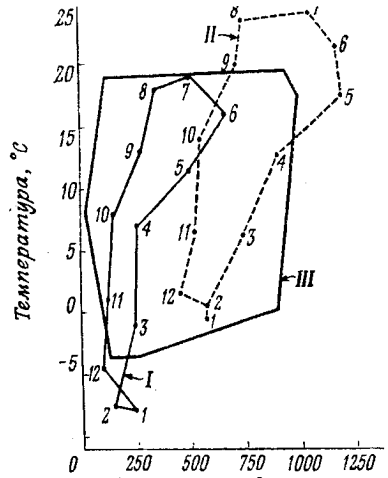
Основним резервуаром вуглекислого газу в біосфері є карбонатна система океанів. Ці сполуки служать не тільки джерелом поживних речовин, але й буфером, що пітримує реакцію середовища близькою до нейтральної. Невелике підвищення концентрації вуглекислого газу може бути лімітуючим фактором для тварин, бо це обов'язково пов'язано з низьким вмістом кисню; при високому вмісті цього газу у воді багато видів риб гине.

Макроелементи і мікроелементи. Життєво необхідні організмам солі називають біогенними солями. Якраз їх мав на увазі Лібих, коли формулював свій закон мінімуму. В першу чергу еколог звертає увагу на наявність солей азоту та фосфору. Відношення кількості фосфору до кількості інших елементів в організмах звичайно вище, ніж в тих же джерелах, з яких організми беруть необхідні елементи.

Значення калію, кальцію, сірки та магнію дещо менше, ніж значення фосфору та азоту. Магній входить до складу хлорофілу, без якого не існує екосистеми; кальцій в особливо великих кількостях споживають молюски та хребетні. Елементи, або сполуки, які потрібні організмам у великій кількості, називають макроелементами.

Мікроелементи необхідні організмам у дуже малих кількостях, але вони входять до складу життєво важливих ферментів. А оскільки мікроелементів дуже мало також і в середовищі, то вони можуть бути лімітуючими факторами.

В природних умовах нестача мікроелементів, що є причиною різних захворювань організмів, часто пов'язана зі специфічною геологічною історією місцевості, а також з необдуманною господарською діяльністю людини.



Мал. 3. Клімаграма «температура – вологість».

Середні місячні температури і кількість опадів в одному регіоні, де з успіхом інтродукований один вид (I) і умови другого регіону, де не вдалося добитися його акліматизації (II); для порівняння наведена клімаграма для природного ареалу цього виду (за Тумі, 1936).

Ресурси

Ресурси живих істот – це переважно речовини, з яких складаються їхні тіла, і енергія, яка використовується в процесі життєдіяльності, а також місця, де протікають ті чи інші фази їх життєвих циклів. Тіло зеленої рослини створюється із неорганічних іонів і молекул. Ці іони і молекули – його харчові (пластичні) ресурси, тоді, як уловлюване рослинами при фотосинтезі сонячне випромінювання, ресурс енергетичний. Самі зелені рослини є згустком ресурсів для хижаків. Тіла живих істот стають також харчовим ресурсом для паразитів, а після їх загибелі – для мікробів-сапрофітів і для детритофагів. Значна частина екології присвячена вивченню біосинтезу зелених рослин на основі неорганічних молекул при фотосинтезі, а також розкладанню його продуктів і вторинного біосинтезу, який відбувається на кожній із наступних стадій мережі харчових взаємодій. У цьому і є різниця між екологічним та економічним (господарським) поняттям ресурсів.



Згідно з Тилманом (Tilman, 1982), все, що організм споживає, складає його ресурси. Виникає питання: що розуміти під терміном «споживає»? Значення цього слова не передати ні просто словом «поїдає», ні оборотом «включає до складу свого тіла»: дійсно, дупел ні бджоли, ні білки не їдять і до складу свого тіла не включають. І все ж дупло, кимось зайняте, іншим вже недоступне. Дупло спожите у тому розумінні, що наявний запас скоротився. Таким чином, це не

умови, а ресурси: за ними стоять кількості, які внаслідок діяльності організму можуть зменшитися.

Тилман розробив і класифікацію ресурсів. Суть його системи така. Для завершення життєвого циклу кожна рослина потребує 20-30 окремих ресурсів і більшість рослин потребує один і той же набір ресурсів. Кожний із ресурсів приходиться добувати незалежно від інших, причому різними способами: один у вигляді іонів, другий - у вигляді молекул; один - у розчинному стані, інший - у газоподібному. Вуглець неможливо замінити азотом і т.і. Лише дуже небагато необхідних рослинам ресурсів можна замінити повністю чи частково. Більшість рослин здатні засвоювати азот і в нітратній, і в амонійній формах, але сам азот замінити нічим. У хижих тварин картина протилежна: майже будь-яку їхню здобич можна замінити іншою здобиччю такої ж величини. Отже, є ресурси незамінні і взаємозамінні.

Два ресурси називаються незамінними, коли жоден із них не може замінити другий. При цьому швидкість росту, якої можна досягнути при забезпеченні організмів ресурсом 1, буває чітко обмежена кількістю ресурсу 2. Саме так виглядає справа з такими необхідними для росту зелених рослин ресурсами, як азот і калій; те ж саме стосується і двох облігатних господарів паразита, або патогенного мікроорганізму, змушеного міняти господарів у ході свого життєвого циклу.

Два ресурси називаються повністю взаємозамінними, якщо один із них можна повністю замінити другим.

У більшості зелених рослин саме так співвідносяться два джерела азотного живлення – нітрат-іони і іони амонію. Так само співвідносяться пшениця і ячмінь у раціоні курчат, а зебри і газелі – в раціоні лева. Звичайно, обидва раціони не рівноцінні. Буває, що у відсутності ресурсу 2 організмам знадобиться порівняно невелика кількість ресурсу 1, проте у відсутності 1 – порівняно велика кількість ресурсу 2.

Взаємозамінні ресурси називаються взаємодоповнюючими, якщо при сумісному споживанні обох ресурсів їх у сукупності знадобиться менше, ніж при роздільному споживанні. Коли разом з рисом споживають в'їжу насіння деяких бобових, останні можуть на 40% підвищити вміст в раціоні засвоєного білка. Боби, багаті на лізин – не замінні амінокислотою, якої дуже мало у рисі, тоді як рис збагачений сіркомісткими амінокислотами, яких зовсім мало у бобах.

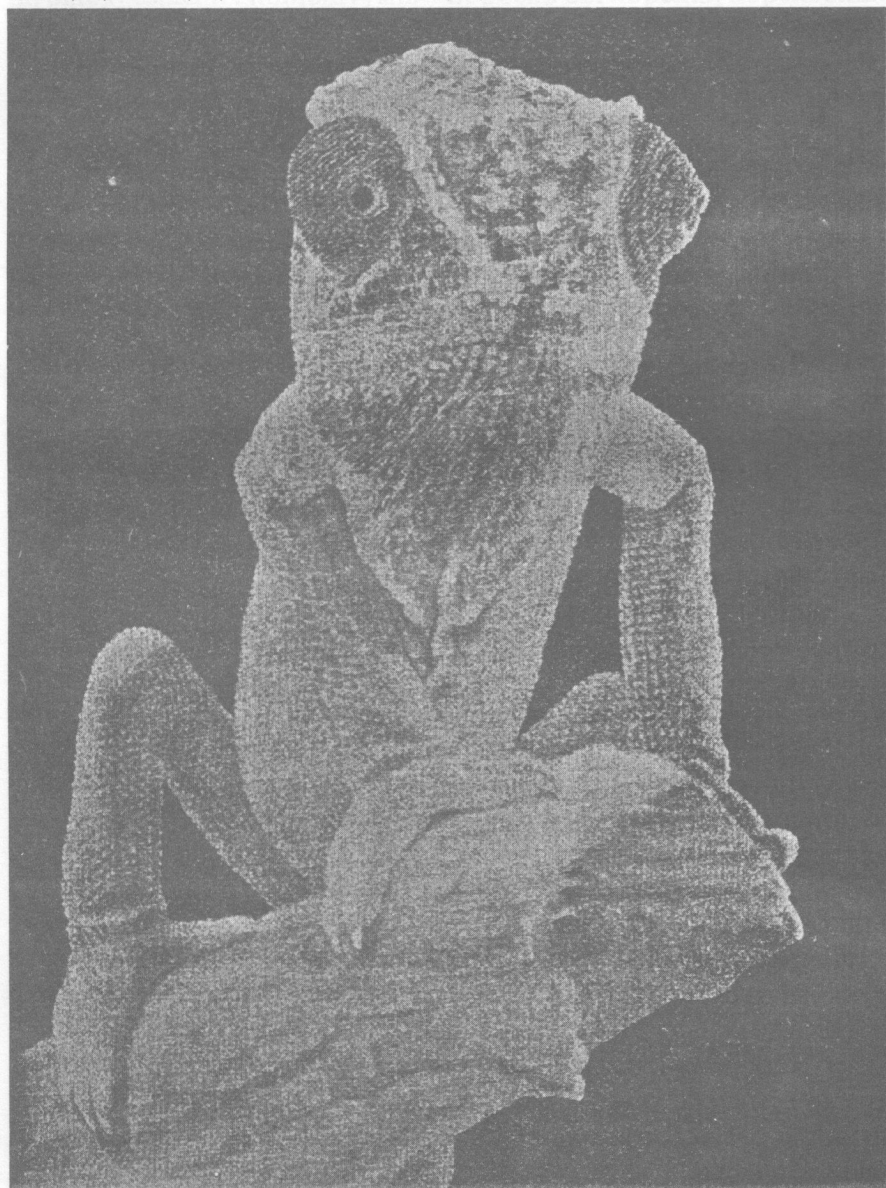
Два взаємозамінних ресурси називають антагоністичними, якщо при сумісному споживанні обох ресурсів на підтримання заданої швидкості росту цих ресурсів витрачається більше, ніж при роздільному їх споживанні. Така ситуація може виникнути, коли різні харчові ресурси містять різні токсичні сполуки, що справляють на споживача обох ресурсів синергічну дію, що перевищує просте додавання.

Отже, мають місце ситуації, які можна спостерігати при високій забезпеченості ресурсами; вони називаються явищами інгібування. Так, і двоокис вуглецю, і вода – елементи мінерального живлення (наприклад, заліза) – вкрай необхідні для фотосинтезу, але в надмірній кількості будь-який із них викликає летальну дію. Те ж саме і у відношенні до освітленості – дуже висока освітленість може затормозити ріст. Це саме той випадок, коли те, що на одному кількісному рівні представляє собою *ресурс*, а на другому рівні перетворюється у лімітуючу *умову*.

Перевірте себе

1. Аутокологія, демекологія, синекологія – що це за «екології»?
2. Хто і коли написав перший підручник з екології в СРСР?
3. Чи ідентичні поняття «біогеоценоз» і «екосистема»? Якщо ні, то у чому різниця між цими поняттями і хто автори цих термінів?
4. Коли виникла МБП і які її головні задачі?
5. Природний добір – адаптація чи абаптація?
6. Що таке пристосованість?
7. Пристосованість – поняття абсолютне чи відносне?
8. Чи передбачає теорія Дарвіна виникнення досконалості?
9. Наведіть приклади конвергентної і паралельної еволюції.
10. Що таке екотипи?
11. Що таке генетичний поліморфізм виду?
12. Що таке скороминущий генетичний поліморфізм?
13. Життєві форми – це морфологічна чи фізіологічна адаптація?
14. Які ви знаєте життєві форми рослин, тварин?
15. Як називаються закони Лібіха і Шелфорда?
16. Ресурси живих істот – що до них відноситься?
17. Взаємодоповнюючі і антагоністичні ресурси – поясніть на прикладах.
18. Яка різниця між ресурсами і умовами?
19. Наведіть класифікацію ресурсів за Тилманом.

ІНДИВІДУМ І ВИД В ЕКОСИСТЕМІ



Що таке особина?

Організми унітарні і модулярні

Різні особини можуть знаходитися на різних стадіях життєвого циклу. Крім того, особини різноякісні. Майже всі організми протягом життя проходять через ряд стадій: яйце перетворюється у личинку, личинка – у лялечку, а лялечка – в імаго. Насіннина рослин розвивається у проросток, з якого виростають фотосинтезуючі рослини. Найбільша різниця проявляється між особинами (однієї стадії) у розмірах тіла і в кількості накопичених речовин.

Генетично визначається будова унітарних організмів: собака має чотири ноги, будь-яка риба – один рот і т.д. Ідеальний приклад унітарного організму – людина. Життя людини починається з моменту утворення внаслідок запліднення яйцеклітини сперматозоїдом зиготи. У віці 6 тижнів у плоді виділяються всі органи зовнішньої будови, які зберігаються до смерті людини. З народження до 18 років людина росте – розміри її тіла суттєво змінюються, будова ж – незначно (виключно лише у зв'язку із статевим дозріванням). Услід за репродуктивним періодом (у жінок це приблизно 30 років, у чоловіків – більше) настає старіння.

Яскравий приклад модулярних організмів – рослини. Із зиготи розвивається модуль, яка породжує нові модулі. Окремі модулярні організми складаються із найбільш основних конструктивних елементів і їх розвиток не визначений жорсткою генетичною програмою, а дуже залежить від оточуючого середовища. До модулярних організмів відносяться також гриби, корали, колоніальні асцидії і т.ін.

У цих організмів із однієї зиготи утворюється набір фізіологічно відокремлених індивідуумів – поросль від коренів, кореневищ, столонів і т.ін. Потомство одної й тої самої зиготи називається клоном. Клональні рослини розпадаються на частини. Відокремлені модулі цих рослин, породжених єдиною зиготою, забивають цілі річки та озера.

Дерево відрізняється від трав тим, що окремі модулі зв'язані до купи і ці зв'язки не згнивають, а дерев'яніють. Можна виділити декілька рівнів модулярності. Перший рівень – листок з пазушною брунькою, другий – пагін, на якому розташоване листя, третій – уся система гілок. Загальна будова тіла визначається кутами між модулями і довжиною стебел, що їх з'єднують.

Кількість унітарних організмів, що знаходяться на певній ділянці землі, визначається досить просто. Наприклад, підрахувати кількість вух у кролика на полі і поділити на два. Результат – це число зигот, що вижили. У випадку ж модулярних організмів величину популяції можна встановити лише частково. Кейс і Харпер запропонували термін «генет» – генетичний індивідуум, тобто все те, що вийшло із однієї зиготи. Модуль, таким чином, є частиною генета. Тому важливо визначити як число генетичних індивідуумів (генетів), так і число модулів. Таким же чином і вікову структуру популяції модулярних організмів можна описати двояко: або вік генетів, або вік модулів, з яких генети складаються.

Число особин певного виду у даному місцемешканні в наступний час (N_p) дорівнює числу особин, що були там раніше (N_n), плюс число особин, що народилися протягом спливаючого часу (B), мінус число загинувших за той же період особин (D) і плюс число іммігрантів (C) мінус число емігрантів (E):

$$N_p = N_n + B - D + C - E.$$

Цей вираз описує демографічний процес для унітарних організмів. Відповідно до модулярних організмів цей непорушний екологічний факт включає у своє визначення ще одне рівняння:

Число модулів у даний час = Число модулів у минулому + Число відроджених модулів – Число відмерлих модулів.

Місцемешкання і екологічна ніша

Місцемешкання даного організму – це місце, де він живе і де його можна знайти. Отже, місцемешкання організму – його «адреса».

Екологічна ніша – це фізичний простір, який займає організм, функціональна роль цього організму і його положення відносно градієнту зовнішніх факторів. Таким чином, еконіша включає в себе просторову та трофічну ніші. Іншими словами, еконіша організму – це його «професія». Місцемешкання організму – це те, що включає як абіотичне середовище, так і інші організми. Місцезнаходження угруповання – це тільки середовище.

Якщо в нашому, людському суспільстві ми хочемо з кимось познайомитися, то для початку ми визнаємо, де його знайти, тобто його ад-ресу. Але щоб взнати людину, цього мало. Потрібно взнати, чим вона займається, коло її знайомих, роль, яку вона відіграє в суспільстві. Такі ж справи і з іншими організмами. Місцемешкання – початок. Потім ми повинні взнати про їх живлення, про активність, швидкість росту, метаболізм та про те, як вони впливають на основні процеси в екосистемі.

Ніші мають ряд характерних ознак, які можна виразити кількісно. Так, при порівнянні ніш можна скористатися вимірюванням морфологічних ознак великих рослин та тварин. Наприклад, довжина і ширина дзьоба у птахів вказують на широту ніші. Коефіцієнти варіації цих показників більші в острівних птахів, ніж у тих же видів на материку. Це вказує і на велику різноманітність їжі в острівних птахів.

Конкуренція усередині виду знижується, якщо різні вікові стадії займають різні ніші. Наприклад, головастики – рослиноїдні, а дорослі жаби у тому ж ставку – хижаки.

Видова чисельність у межах угруповання вказує на взаємозв'язок ніш. Так, якщо найчисленніший вид удвоє більший за наступний за ним, а той удвоє чисельніший наступного і т.д., то відклавши по вісі абсцис послідовність по чисельності, а по вісі ординат - логарифми чисельності видів, отримаємо пряму геометричної прогресії. Така пряма відповідає характеру ніш, що не перекриваються. Ця ситуація характерна для рослинних угруповань в суворих умовах. Тут найбільш численний вид займає 50% всього простору ніш, другий – поло-

вину того, що залишилося і т.д. Якщо ж ніші розділені на випадкові ділянки, що не перекриваються, характер розподілу видів буде дискретним, і ніші не будуть стикатися. Це крайні випадки. Частіше ж в екосистемах спостерігається перекривання ніш, і розподіл описується S-кривою.

Невеликі відміни у розташуванні різних видів одного роду, що мешкають в одних і тих же місцемешканнях, визначається мікростаціями.

Наприклад, 7 видів багатоніжок, що мешкають в одному місцемешканні – в підстилці кленово-дубового лісу – належать до одного трофічного рівня – детритноїдних. Але кожен вид домінує в одній певній мікростації: серцевина упалої гілки, зовнішня частина деревини, під гілкою на її поверхні, під гілкою на ґрунті, посеред листя підстилки, під підстилкою. Вони використовують різні джерела енергії, бо ступінь розкладання, мікрофлора та інші фактори змінюватимуться вздовж градієнту від центру гілки до поверхні ґрунту.

Організми, що займають одну й ту ж, або близькі екологічні ніші в різних географічних районах, називаються екологічними еквівалентами. В залежності від географічної віддаленості екологічні еквіваленти бувають, або не бувають близькородинними. Так, степовий тип екосистеми розвивається всюди, де степовий клімат. Але види злаків і тварин можуть бути зовсім різними в різних областях Землі. Наприклад, австралійський кенгуру – екологічний ек-вівалент бізона у Північній Америці, зебри в Африці, або антилопи в Азії.

Класифікація місцемешкань

Певний життєвий цикл, якому сприяє природний добір, залежить від місцемешкання певного організму і, таким чином, формується під ви-рішальним впливом цього місцемешкання. Але місцемешкання і життєвий цикл кожного організму унікальні. Отже, встановлюючи між ними зв'язок, необхідно класифікувати місцемешкання, описуючи їх в єдиних термінах. Більше того, самі терміни повинні бути розділеними і класифіковані з точки зору певного організму. Невеликий лісок може бути неоднорідним місцемешканням для

жуків, які нападають на скопичення попелиці, однорідним для гризунів і лише частиною неоднорідного місцемешкання для великих хижаків, які живуть на більш обширних просторах. Таким чином, тип місцемешкання повністю залежить від того, хто ним користується. Ось чому є певні підходи до класифікації місцемешкань.

Просторово-часова класифікація. Одну із загальних класифікацій місцемешкань запропонував Саутвуд (Soutwood, 1977), який розглянув способи їх зміни у просторі і часі. У часі із позицій організму місцемешкання може бути *незмінним* (умови середовища нескінченно довго залишаються сприятливими, або несприятливими), *передбачено сезонним* (регулярна зміна сприятливих і несприятливих періодів), *непередбаченим* (сприятливі періоди різної тривалості чергуються з також мінливими несприятливими періодами), або *ефемерними* (передбачуваний короткий сприятливий період змінюється нескінченно довгим несприятливим).

У просторі місцемешкання може бути *безперервним* (сприятлива територія ширша за ту, яку може освоїти організм), *плямистим* (сприятливі і несприятливі території чергуються, але організми легко переходять із однієї сприятливої зони в іншу), або *ізолюваними* (обмежені розміром сприятливі зони розташовані далеко одна від одної і переміщення організмів між ними якщо і можливі, то надто рідкісні і випадкові). На основі цих просторово-часових характеристик виділено 12 типів місцемешкань. Десять із них придатні для життя, два у цьому плані досить проблематичні – це безперервні та ізолювані ефемерні місцемешкання.

Місцемешкання можна класифікувати за впливами розмірів на остаточну репродуктивну цінність, хоча такий спосіб дає лише порівняльні результати. Альтернативний, або, скоріше, комплементарний метод класифікації місцемешкань опирається на вплив розміру організму на його виживаність і майбутню плодовитість, тобто остаточну репродуктивну цінність (ОРЦ). При цьому можна виділити такі місцемешкання:

1. *Сприятливі стосовно розміру.* В організмів, які їх займають, ОРЦ швидко зростає зі збільшенням розміру. У цьому випадку відмічаються значні репродуктивні витрати, оскільки розмноження приводить до дрібнішого, ніж можливо, розміру, а це в свою чергу обумовлює зниження ОРЦ.

2. *Нейтральні або несприятливі стосовно розміру.* Тут ОРЦ

організмів мало змінюється, або падає зі збільшенням розміру. Отже, репродукційні витрати у цьому випадку незначні.

3. *Сприятливі стосовно розміру потомства.* Репродукційна цінність потомства швидко зростає зі збільшенням його розміру.

4. *Нейтральні і несприятливі стосовно розміру потомства.*

Таким чином, будь-яка популяція займає місцемешкання, або сприятливе, або нейтральне (чи несприятливе) по відношенню до розміру як самого організму, так і його потомства. Отож ці місцемешкання можна об'єднати у чотири типи. Найважливішою властивістю цієї класифікації є її порівняльний характер. Місцемешкання може бути сприятливим стосовно розміру, якщо порівняти його тільки з іншим місцемешканням, яке в даному випадку, припустимо, виявиться нейтральним стосовно розміру. Задача такої класифікації - виявлення різниці між місцемешканнями, а не описання їх в абсолютних величинах.

Дуже важливе розуміння різних причин, що обумовили виникнення того чи іншого місцемешкання. Так, сприятливими стосовно розміру вони будуть по двох основних причинах. По-перше, значний розмір дасть перевагу при наявності інтенсивної конкуренції, коли виживають і розмножуються тільки найбільші організми-конкуренти. Гарний приклад цьому – самці благородного оленя, серед яких тільки конкурентоздатні мають гареми. Не виключено також, що, наприклад, саме величина великих двостулкових молюсків запобігає їх виїданню крабами та гагами.

Місцемешкання нейтральні чи несприятливі стосовно розміру по трьох основних причинах. 1. Значна частка смертності може бути не вибірковою і неминучою незалежно від розміру. Наприклад, при висиханні тимчасових водоймищ більшість організмів, що їх населяють, гине незалежно від накопичених соматичних запасів. 2. У відсутності конкуренції умови можуть бути такі сприятливі, що висока вірогідність вижити і висока чисельність потомства властиві всім місцевим мешканцям незалежно від їх розмірів. Це справедливо у меншій мірі для перших колоністів, що заселяють щойно виниклі біотопи. І, нарешті, місцемешкання може бути несприятливим до розміру просто тому, що до загибелі в ньому особливо чутливі найбільші організми. Наприклад, в Амазонці хижі птахи нападають, переважно, на найбільших представників карпозубих риб.

Аналогічні розмірковування стосуються місцемешкань сприятливих, нейтральних і несприятливих стосовно розміру потомства.

Внутрішньовидова конкуренція

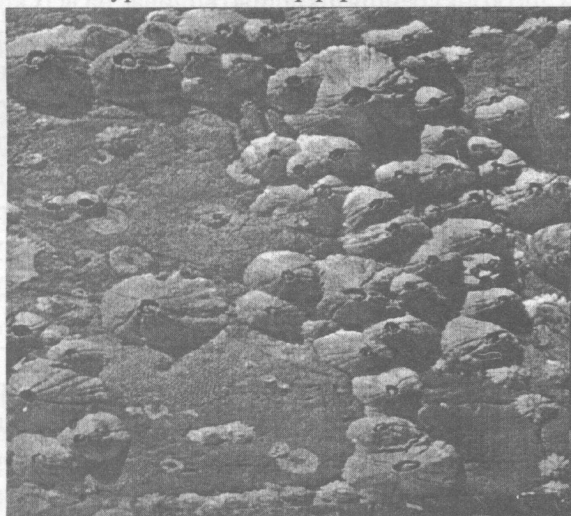
Особини одного виду мають подібні потреби, задовольняючи які вид забезпечує виживання, ріст і розмноження. Але їх сумарні потреби в якому-небудь ресурсі можуть у певний момент перевищувати його запаси. У такому випадку особини конкурують за ресурс і природно, що деяка їх частина цього ресурсу позбавляється. Отже, конкуренція - це така взаємодія між особинами, яка викликана подібними потребами в обмеженому ресурсі і приводить до зниження виживаності, швидкості росту і розмноження конкуруючих особин.

У випадках внутрішньовидової конкуренції існує ряд загальних рис. По-перше, кінцевим результатом конкуренції є зменшення внеску в наступне покоління, тобто зменшення у порівнянні з тим внеском, який міг би бути при відсутності конкурента. Конкуренція приводить до зменшення швидкості споживання ресурсу з розрахунку на одну особину, знижує швидкість індивідуального росту чи розвитку. Це у свою чергу знижує виживаність і плодовитість. По-друге, при внутрішньовидовій конкуренції ресурс, за який особини конкурують, повинний бути обмежений. Кисень, наприклад, абсолютно необхідний для життєдіяльності, але не є таким ресурсом, за який організми конкурують, бо він відновлюється швидше, ніж споживається. Конкуренція за світло, їжу, простір, або інший ресурс існує тільки тоді, коли їх запаси обмежені.

У багатьох випадках конкуруючі особини безпосередньо не взаємодіють одна з одною, але реагують на зменшення ресурсу через присутність і життєдіяльність інших особин. Так, на трав'янисті рослини при конкуренції несприятливо впливають найближчі сусіди тому, що зона, з якої ця рослина отримує свої ресурси (світло, вода, поживні речовини), перекривається «зонами вилучення ресурсу» сусідніх рослин. У таких випадках конкуренцію називають експлуатаційною, оскільки кожна особина отримує ту кількість ресурсу, яка залишилася після вилучення цього ресурсу конкурентами.

Однак у багатьох випадках конкуренція приймає іншу форму, відому під назвою інтерференційної. Ця форма конкуренції передбачає безпосередню взаємодію особин, так що одна із них дійсно перешкоджає тому, щоб друга зайняла частину місцемешкання і використовувала наявні

там ресурси. Інтерференція зустрічається, наприклад, серед рухомих тварин, які охороняють свою територію; в результаті територія набуває статусу ресурсу. Інтерференційна конкуренція зустрічається також і серед прикріплених організмів. Наприклад, присутність на камені морського жолудя заважає іншій особині цього виду зайняти те ж саме місце, хоча обидві вони можуть бути забезпечені їжею. У природі інтерференція дуже широко розповсюджена серед «сидячих» тварин і рослин, які населяють скельні береги: це часто виражається в тому, що одна особина випереджає в рості іншу. У таких випадках результати конкуренції становляться виразнішими, тоді, як у багатьох випадках експлуатаційної конкуренції вони виражені значно слабкіше. По суті інтерференція завжди супроводжується елементами експлуатації, хоч, звичайно, існує багато випадків експлуатаційної конкуренції без інтерференції.



По-третє, характерною рисою внутрішньовидової конкуренції вважається те, що конкуруючі особини по суті рівноцінні, але насправді це далеко не так. Сам факт віднесення цих особин до одного виду означає, що багато їх істотних характеристик подібні, і можна очікувати, що вони використовують однакові ресурси і багато в чому однаково реагують на умови середовища. Та існує багато прикладів, коли у внутрішньовидовій конкуренції спостерігається добре виражена асиметричність: сильний ранній проросток буде затіняти низькорослий екземпляр, що

з'явився пізніше. Крім того, причиною несиметричних конкурційних взаємовідносин можуть бути і спадкові відмінності між особинами. Наприклад, генетично високий злак затінятиме і пригнічуватиме низькорослу рослину того ж виду. Отже, ми не можемо стверджувати, що конкуруючі особини одного виду повністю рівноцінні. Ми можемо говорити лише про те, що особини одного виду з більшою ймовірністю, ніж представники інших видів, потребують однакових ресурсів і однаково реагують на присутність одна одної.

При наявності інтенсивної конкуренції сильний конкурент може фактично внести більший внесок в наступне покоління, ніж при повній відсутності конкуренції (тобто, коли самець і самиця продовжують розмножуватися тоді, коли інші навкруги перестають). Отже, неправильно стверджувати, що конкуренція шкідливо впливає на всіх конкурентів.

Врешті, четвертою характерною рисою внутрішньовидової конкуренції є те, що її можливий вплив на будь-яку особину тим сильніший, чим більше конкурентів взаємодіє. Тому результати внутрішньовидової конкуренції слід вважати залежними від щільності.

При найнижчих значеннях щільності народжуваність від неї не залежить, але з ростом щільності та виникненні внутрішньовидової конкуренції народжуваність знижується, причому, спочатку так, що не компенсує цей ріст. Потім зниження народжуваності суворо компенсується, а при високих щільностях стає настільки низькою, що чи-сельність популяції починає падати.

Інтенсивність внутрішньовидової конкуренції, яку відчуває окрема особина, насправді не залежить від щільності популяції в цілому. Скоріше вона залежить від того, наскільки ця особина витісняється і пригнічується найближчими сусідами. При зростанні щільності встановлюватиметься характерний рівень скупченості. Але якщо щільність в межах популяції змінюється, то багато особин опиняться в умовах, які істотно відрізняються від характерного рівня: різні особини стикаються і взаємодіють з різним числом конкурентів. Щільність, таким чином, є абстрактним поняттям, яке можна застосувати до популяції в цілому, але не обов'язково стосується кожної особини цієї популяції. Просто, деколи щільність – найзручніший показник для вираження міри скупченості організмів.

Еколого-географічні та антропогенні фактори розселення видів на планеті

У наш час, коли кофе називається «колумбійським», а яблука – «вашингтонськими», недовго і забути, що ні яблуні, ні кофейні дерева ніколи не росли у Новому Світі і були завезені в Америку людиною. Мало хто, окрім ботаніків, розуміє, що дуже багатьом рослинам, які ростуть на американських луках і пасовиськах, не кажучи вже про ті, які вирощуються на полях, Америка зобов'язана Старому Світові. Фактично скрізь людина оточила себе завезеними із дальніх країн рослинами, хоч часто ці рослини, як дикі, так і культурні, настільки поширилися, що їх стали вважати місцевими.

Там, де немає людини, а у деяких випадках, незважаючи на її втручання, усі рослини і тварини з'єднані одне з одним тонкою сіткою взаємовідносин. Різноманітні механізми ізолюють одні види від інших; такі ізоляційні механізми є однією із найважливіших властивостей виду, бо зрештою саме вони визначають сукупність особин, яка представляє собою вид; запобігають схрещуванню різних видів і тому визначають унікальний образ того чи іншого виду рослин чи тварин. З іншого боку, усі живі істоти здатні до необмеженого розселення, і в життєвому циклі будь-якої із них є мінімум одна стадія, на якій вони розселяються. Тенденція до необмеженого розповсюдження лімітується як зовнішніми, так і внутрішніми бар'єрами.

Можливості розселення можуть обмежуватися і взаємопов'язаністю організмів; гарний приклад тому дають деякі дерева. Більшість лісових деревних порід тісно пов'язані з певними ґрунтовими грибами, які ростуть в коренях і на їх поверхні та значно збільшують здатність дерев до поглинання поживних речовин із ґрунту. Такий взаємозв'язок одночасно служить і перепорою до розселення дерев – вони не можуть рости там, де немає цих грибів. У 30-ті роки, коли створювалися лісосмуги, численні саджанці не прижилися на нових місцях, доки в ґрунт не були штучно внесені необхідні гриби.

Зрозуміло, що у рослин, прив'язаних кореннями до землі, або у дрібних ссавців, не здатних до тривалих мандрювань, можливості розселення обмежені. А як справи у птахів? Деякі із них вільно перетинають океани, і, здавалося б, із того часу, як 150 млн. років тому придбали крила, вільні летіти куди завгодно. Але більшість птахів мешкає немов би у невидимих

клітках, і навіть у деяких перелітних видів маршрути дальніх польотів обмежені порівняно вузькими коридорами. У нашому уявленні білі куріпки асоціюються з тундрою, райські птахи – з островами Меланезії, колібрі – із Новим Світом. Один із найрозповсюдженіших птахів – північноамериканський болотний лунь; він невимогливий до їжі і легко пристосовується до різноманітних умов, але навіть він зустрічається лише в певному ландшафті – у вологих лісах. У Південній Америці нараховується близько 300 видів колібрі, а в Африці, тропічні ліси якої такі схожі з південноамериканськими, колібрі зовсім немає, хоч ці птахи прекрасні літуни. В'юрки, які зустрічаються навіть на віддалених океанічних островах, повністю відсутні в Австралії. Сейшельська вівсянка гніздиться тільки на острові Сейбл у Новій Шотландії; найкрихітніший ареал, мабуть, у лайсанського чирка – він мешкає на території площею близько п'яти квадратних кілометрів, яка представляє собою узбережжя заболоченої лагуни одного з острівців Гавайського архіпелагу. Рідким виключенням із загального правила є домовий горобець і сипуха: екологічно пов'язані з людиною, вони розповсюдилися дуже широко.

Деякі причини такого обмеженого розповсюдження птахів очевидні: непереборними перешкодами для розселення морських птахів можуть явитися континенти, а «сухопутних» – відповідно океани. Наприклад, Анди, які виникли порівняно недавно, відрізали птахів Колумбії від птахів Еквадору. У наш час нащадки цих птахів населяють протилежні схили гір, вони ізольовані одні від одних і розвиваються незалежно, що у майбутньому може привести до виникнення нових рас чи навіть видів. У деяких птахів така диференціація вже почалася: наприклад, на звернених до Тихого океану, з одного боку, і до Амазонки – з іншого, схилах Анд мешкають різні підвиди скельного півника.

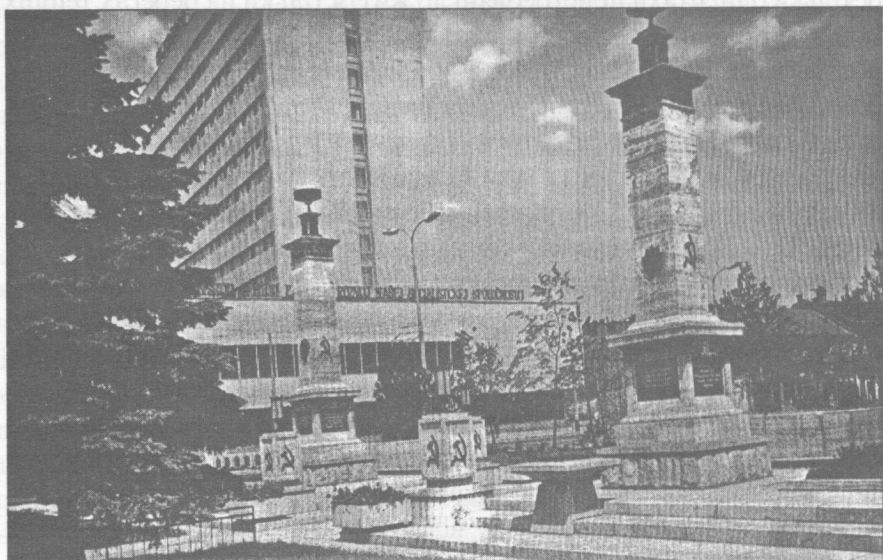
Однак існують і більш тонкі екологічні причини обмеженості ареалів. Бурий карібський пелікан – це морський птах, який не ризикує надто віддалятися від берега. Спосіб полювання пелікана визначає місце його мешкання – райони з чистою, прозорою водою. Каламутні води, які виносяться в Атлантику Амазонкою, непридатні для пелікана і тому визначають південну межу його розповсюдження. Можна, однак, передбачити, що якщо коли-небудь пелікани здолають цю перешкоду, то в південній Бразилії вони знайдуть відповідні умови для життя.

Океан може бути перешкодою для розселення навіть морських птахів, оскільки одні птахи пристосовані до життя тільки на берегах теплих морів, інші – тільки на берегах холодних морів. Велика крачка широко розповсюджена в теплих водах. Вона мешкає на Атлантичному узбережжі Америки від Вірджинії до Аргентини, тобто її ареал простягається від 40 градусів південної широти до 40 градусів північної широти. В Північній півкулі розповсюдженню крачки далеко на північ сприяє Гольфстрім, а в південній півкулі сприятливі умови створюються теплою Бразильською течією. Зовсім інша ситуація на тихоокеанському узбережжі. Там розселенню крачки перешкоджають холодні Каліфорнійська та Перуанська течії, і її ареал простягається з півночі на південь вузькою смугою протяжністю лише 30 градусів, від півдня Каліфорнії до Екватору. Важливим кліматичним фактором, обмежуючим розселення видів, можуть бути навіть тумани. Виявлено, наприклад, що в затоці Фанди пташенята широко розповсюдженої полярної крачки додають у вазі лише в сонячні дні, а в туманні, коли їхні батьки позбавлені можливості добувати їжу, худнуть. Можливо, відсутність гнізд полярної крачки на узбережжі Берінгова моря і пояснюється саме частими туманами.

Окрім таких перешкод, як моря, гори, клімат, відсутність необхідної їжі, або тварин чи рослин, з якими тісно пов'язаний даний вид, існують ще і чисто психологічні бар'єри, які ізолюють види. Деякі птахи – відмінні літуни, але вони терпіти не можуть пересікати навіть відносно вузькі водні перепони; такі широко розповсюджені в Північній і Центральній Америці птахи, як тукани, славки, лінивки і манакини, повністю відсутні на островах Вест-Індії, тоді як інші види зустрічаються лише на одному, або двох островах. Крайній випадок являють собою деякі раси бородавки, межами ареалів яких служать широкі притоки Амазонки. Білоглазка – дрібна пташка, яка мешкає на центральних Соломонових островах, відсутня на островах, віддалених від місць її мешкання протоками шириною всього лише в декілька кілометрів водного простору, який відділяє Тасманію від Нової Зеландії.

Діють і інші фактори. Так, два близьких види метеликів, здатних схрещуватися і давати нормальне потомство, в природних умовах не схрещуються. Це відбувається через те, що вони вилуплюються із коконів в різні пори року, тому статевозрілі особини різних видів ніколи не зустрічаються.

Флора і фауна великого міста



Флора будь-якої місцевості представлена видами, які сформувалися в цьому районі у процесі еволюції – (автохтонні види) та видами, які потрапили в цей район з інших областей земної кулі (аллохтонні види). Якщо «чужі» види опинилися на цій території недавно, їх називають адвентивними. Рослини переселяються на великі території як за допомогою природних агентів – вітру, води, тварин тощо, так і за допомогою господарської діяльності людини. Види, які розповсюджує людина, називаються антропоморфними.

Походження міської флори. Навіть неспеціалісту кидається в очі той факт, що в містах переважають види рослин немісцевого походження. Це і зрозуміло: ще при заснуванні міста місцева рослинність витісняється, знищується, «виганяється» із території міста. Відбувається це внаслідок вирубування лісів, розчистки території, переміщення ґрунтів, штучного покриття земельних ділянок асфальтом, бруківкою та ін. Крім того, умови в міських агломераціях різче відрізняються від тих, що там були, і від сусідніх місцевостей. Тому повернутися назад рослинам із сусідніх територій надто важ-

ко. Адвентивні ж види вливаються у міста широким потоком, оскільки саме в містах пересікаються шляхи анемохорного розповсюдження рослин. Які головні фактори діяльності людини сприяють такому переміщенню?

Велике значення в минулому і зараз має торгівля. Різними торговельними шляхами на великі відстані людина перевозила вантажі, і саме цими шляхами разом з вантажами та транспортом переправлялися через різні географічні широти і бар'єри діаспори рослин.

З появою залізничного транспорту протягом тисяч і десятків тисяч кілометрів уздовж залізничного полотна виникали своєрідні смуги «залізничної» флори, в результаті розсіювання завезених діаспор, які проростали і знаходили сприятливі умови для росту.

Великі водні простори – моря, океани – завжди були міцним бар'єром для розповсюдження різних організмів. Але з виникненням морського та океанічного флоту діаспори стали дуже легко долати величезні відстані між материками, на яких знаходили аналогічні кліматичні умови. Так сформувався інтенсивний обмін флорою між Європою та Північною Америкою.

Ось декілька цифрових ілюстрацій. У районі річкової пристані м. Ульяновська було знайдено 264 види рослин на площі лише 15 га, в той час, як по всій заплаві Волги у межах області підраховано лише 250 видів.

Внаслідок переміщення на великі відстані мас людей і транспорту під час воєн дуже швидко переміщалися і рослини. Встановлено, що полин Сіверса під час другої світової війни переміщався зі швидкістю 250 км за рік. Російськими військами у 1813 р. в околиці Парижа були занесені «російські» бур'яни. Там же з'явилися і два види бур'янів, занесених німецькими військами із Центральної Європи під час війни, а дещо пізніше з'явилися північноамериканські рослини в результаті маневрів з участю іноземних армій. Наслідки останніх двох світових воєн виявилися настільки значними, що навіть з'явилася нова галузь флористики – «стратоботаніка».

Але адвентивні види рослин з'являються на певній території

не тільки поза бажанням людини. Велике значення у формуванні рослинності міст відіграє свідомо діяльність людини по інтродукції та акліматизації нових видів, завезених із інших областей Земної кулі.

Інтродукцією людина займалася із давніх давен, адже цілий ряд сільськогосподарських культур – іноземного походження. В містах задача інтродукції обмежена, як правило, декоративними якостями екзотів. Майже повністю на інтродукції базується міське квітництво. Ще в стародавніх містах Ассирії, Єгипту, Древнього Риму завезені рослини використовували для створення садів та озеленення вулиць.

У Росії «заморські» рослини почали вирощувати в містах з XV століття. Велика заслуга у цьому Петра I. Для озеленення своєї столиці він виписав із Голландії каштан, граб, бук, із Сибіру – сосну кедрову. Після капітуляції шведів у 1710 р. в м. Ризі він заклав сад, в якому росли каштан, квіти та духмяні трави. Відома його діяльність щодо створення «аптекарських городів» в Москві і Петербурзі, де проходили акліматизацію лікарські рослини.

Особливий розмах акліматизації почався в XIX столітті. Наприклад, в Ризі «Комітет по спорудженню декоративних насаджень у передмістях» пропонував 489 видів і 268 форм декоративних рослин. Почали з'являтися колекції і ботанічні сади. Наслідки цього можна зустріти в багатьох містах. Наприклад, в Ужгороді на вулицях ростуть такі екзоти, як сакура (японська вишня), туя, гінкго та інші екзоти. В Каліфорнії є вулиці повністю озеленені екзотами, а всього використано 700 видів декоративних дерев та чагарників, і лише 20% із них – місцеві види.

В наш час інтродукція та акліматизація є звичайним явищем і проводиться на науковому рівні в ботанічних садах та розсадниках. В Україні в містах культивується 439 видів дерев, чагарників та ліан, а в місцевій флорі їх усього 300. В містах посушливих регіонів набір видів більш обмежений, але і в них вдається вирощувати численні екзоти.

Для наочності наводимо невеликий список звичайних для наших міст іноземців (за Т. К. Горишиною, 1991).

Дерева

Смерека колюча (форма срібляста)	Північна Америка
Туя західна	Північна Америка
Каштан кінський	Північна Америка, Балкани
Клен ясенелистий	Північна Америка
Горіх маньчжурський	Далекий Схід
Біла акація (наукова назва - робінія псевдоакацієва)	Північна Америка
Тополя бальзамічна	Північна Америка

Чагарники

Бузок звичайний	Південна Європа
Карагана деревовидна (акація жовта)	Монголія
Шипшина зморшкувата	Далекий Схід
Кизильник блискучий	Східний Сибір
Сніжноягідник білий	Північна Америка
Жасмин звичайний	Південна Європа
Хеномелес звичайний (айва японська)	Японські острови

Ліани

Дикий виноград (партеночи́сус)	Північна Америка
Виноград амурський	Далекий Схід

Квіти

Нарцис, левкой, резеда, ротики, нагідки, горошок духмяний	Середземномор'я
Флокс, золотарник, люпин, рудбекія, лілія, годеція, ешольція	Північна Америка
Настурція, іпомея, осмея, петунія, чорнобривці	Тропічна Америка
Півонія, айстра, дицентра, спаржа	Китай, Японія, Маньчжурія
Гладіолус, пеларгонія, монтебреція	Південна Африка

Є ще рослини – утікачі із культури. Це ті види, які були акліматизовані, а потім проникли в склад природної флори нового для них району і почали розмножуватися без допомоги людини. Так, Петербурзький Аптекарський город необережно випустив у світ одну із північноамериканських диких ромашок – ромашку непахучу, яка зараз масово розповсюдилася на міських пустирях, смітниках, узбіччях доріг, а потім вийшла і на сільськогосподарські угіддя як надокучливий бур'ян. Розповсюдилася вона на усій території Європи, в Сибіру, на Далекому Сході. Агресивним виявився клен ясенелистий: він не тільки проникає на культурні території, у сади, парки, але й часто витісняє місцеві види. Міська флора Києва за останні 200 років збагатилася декоративними «утікачами» – маргаритками, бріонією, матіолою, аквілегією та ін.

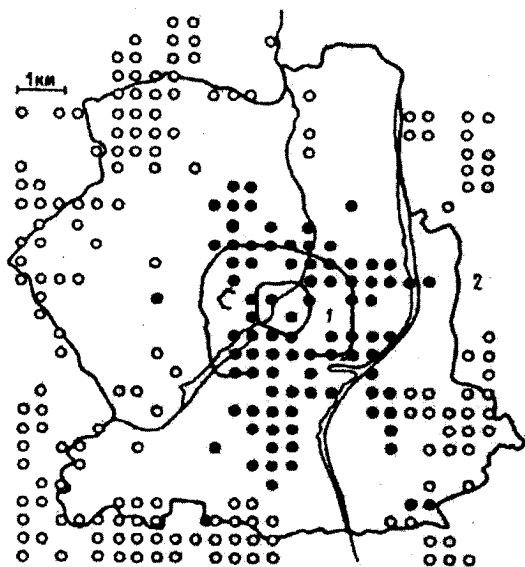
Наскільки велика різноманітність у світі флори міст? Повні списки міської флори деяких міст нараховують сотні видів: у Казані – 914, у Познані – 551, у Бірмінгемі – 547, у Дуйсбурзі – 252 тільки уздовж доріг.

Яке співвідношення у міській флорі між інтродуцентами та видами місцевої флори? Загальної картини тут немає. В одних випадках міська флора помітно бідніша від місцевої, в інших – навпаки. Ті види, які нормально існують у природному рослинному покриві даної місцевості, але охоче переходять на антропогенні місцемешкання, називаються *апофітами*, ті види, що з'явилися в даній місцевості разом з людиною, називаються *антропофітами*. Число апофітів значне в молодих містах, де умови ще не дуже змінилися. Із зростанням урбанізації їх доля зменшується, і вони поступаються місцем витривалішим і часто агресивнішим антропофітам.

Аналіз показує, що у складі міської флори, як правило, зростає частка більш південних елементів. Це добре видно на прикладі м. Казані, яка стала своєрідним флористичним полігоном для колишнього СРСР, бо флористичні дослідження там проводяться уже багато років. У флорі цього міста на Волзі помітне місце займають такі далекі та чужі елементи, як вірмено-курдський, індо-гімалайський та японо-китайський. Серед адвентивних видів прибалтійського польського міста Щецина багато рослин середземноморських, азійських і навіть африканських. У молодому місті Воркуті (виникло в 30-х роках) взагалі усі чужинці – з південних районів СНД. В міських флорах, у порівнянні з місцевими, посилюються позиції екологічних типів, що краще пристосовані до дефіциту вологи (ксерофіти), засоленості ґрунту (галофіти), збільшується доля нітрофільних видів.

Різноманітні види рослин поселяються в різних зонах міста та місцемешканнях, причому, з певними закономірностями. Найменше видів у центрі міста. Вони непогано переносять міські умови, в тому числі і промислові забруднення. Від центра до околиць міста

число видів рослин зростає. Особливо багата флора околиць; вона часто багатша видами, ніж зональна флора, бо тут збільшується і склад генофонду, і число місцемешкань, в тому числі і екотипів – граничних зон між різними екосистемами. На околицях багато урбанофобних видів – мешканців природних фітоценозів, нездатних існувати в міських умовах (мал. 4).



1 — центр міста; 2 — міська границя;
чорні кільця — урбанофільний вид ячмінь мишачий,
який поселяється на стінах, у тріщинах асфальту;
білі — урбанофільний вид примула висока.
Мал. 4. Розповсюдження двох видів рослин, які
по-різному відносяться міського середовища у
м. Мюнстері (Німеччина) (за Т. К. Горішиною).

південних видів. В цілому флора набула рис, більш властивих степовій зоні, а не лісостеповій, в якій знаходиться Казань. Місто за складом флори «пересунулося» на південь на 200 км.

Особливо нестабільна флора в молодих містах. Так, у Пушино відносно мало завезених видів (віддаленість від шосейних доріг), але за короткий проміжок часу відбувся відбір видів, стійких до міських умов. В околицях зареєстровано 855 видів вищих рослин, а в місті – 302 види. Всього 12% видів місцевої флори знаходиться в межах міста. Найбільше представлені

Флора міст дуже динамічна на відміну від природної флори. Вона часто змінюється за короткі проміжки часу в залежності від розвитку міста. Так, у Щедині при порівнянні списків за 1900 і 1941 рр. «загубилося» близько сотні видів флори і з'явилося стільки ж нових. У Казані за сто років збільшилася загальна кількість видів, але зменшилася частка голонасінних та папоротевих, які найбільш чутливі до міського середовища, знизився процент апофітів, збільшилася частка

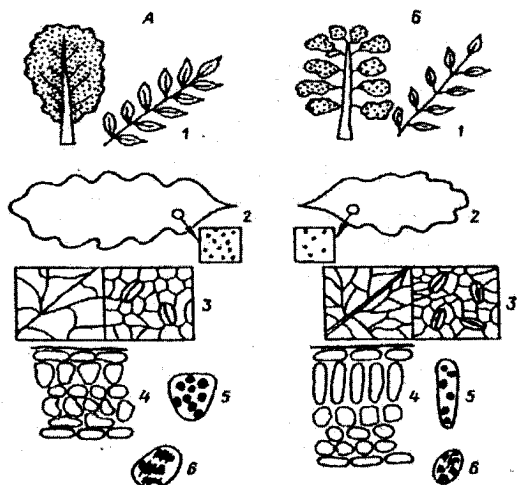
у флорі міста родини айстрових, капустяних, лободових, а в місцевій флорі ці родини представлені значно бідніше. Ці ж родини найбільш представлені й в інших містах.

На прикладі міських флор добре помітні такі прояви синантропізму, як зміна вузькорозповсюджених видів космополітами, зміна стенотопних евритопними видами, вологолюбивих – ксерофільними. Взагалі процес синантропізації у глобальному масштабі веде до зменшення різноманітності флори, до вирівнювання географічних, екологічних та історичних відмінностей.

Екологічні особливості міських рослин

Світловий режим в містах залежить не тільки від географічної широти, але й від стану міської атмосфери. Забрудненість атмосфери міст і часті тумани затримують частину сонячної радіації. Наприклад, в Токіо надходження сонячної радіації на 10-20% нижче, ніж у сільській місцевості. Підраховано, що місто у середніх широтах взагалі недоотримує в середньому 15% сонячної радіації. Крім того, в містах рослини відчувають нестачу

світла в результаті прямого затемнення на вулицях і особливо в районах багатопверхової забудови. Але є ще одна особливість світлового режиму: в містах – це додаткове освітлення вулиць у вечірні та нічні години. Це штучне продовження світлового дня. Але змінюється не тільки кількість світла, а і його якість, тобто його спектральний склад. В містах сонячне світло містить не тільки менше ультрафіолетових променів, але, що особливо важливо, менше фотосинтетично-активних променів. Тобто, міські рослини відчувають нестачу фотосинтетично-активної радіації (ФАР).



1 — крона; 2-5 — лист, його клітинний пластидний апарат; 6 — хлоропласт.
Мал. 5. У порівнянні з лісовим (А) у дерев у місті (Б)

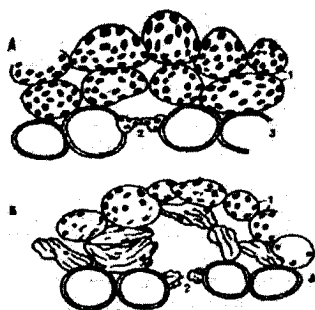
під впливом несприятливих умов гірш розвинені фотосинтезуючі структури на усіх рівнях організації фотосинтетичного апарату (за А. Фроловим і Т. Горишиною).

Якщо порівняти розвиток фотосинтетичного апарату, виявляється, що у дерева, яке росте в місті, він має набагато меншу потужність і працездатність, ніж у того ж виду, що росте в природних умовах. У міського дерева більш розріджена крона, дрібне листя і вони містять менше «робочих одиниць» – хлоропластів (мал. 5).

Під впливом міських забруднювачів в рослинах менше і фотосинтезуючого пігменту – хлорофілу. Так, на вулицях Москви у 25-річних лип фотосинтез удвічі слабший, ніж у таких же дерев у приміському парку. Подібні експериментальні матеріали одержані іноземними авторами. Згідно з математичною моделлю англійських вчених фотосинтез парків і газонів в місті середньої величини становить близько 50% від фотосинтезу за міської рослинності, а в місті з високими будинками – лише 10%.

Під впливом пилу, диму та інших забруднювачів у міських рослин закурюються продиhi і порушуються різні ланки складних біохімічних процесів, що негативно впливає не тільки на фотосинтез, а і взагалі на газообмін – зменшується інтенсивність поглинання вуглекислоти при фотосинтезі, а дихання, особливо в нічні години, біля нагрітих за день кам'яних стін, навпаки протікає інтенсивно, з великою втратою накопичених енергетичних речовин. Тому у міських рослин створюється менше біомаси, про що свідчать біометричні аналізи (приріст пагонів, збільшення стовбура в товщину тощо).

Основним джерелом вологи для рослин є атмосферні опади. Над містом їх випадає нерідко на 10-15% більше, ніж над сусідніми територіями. Але при цьому міські рослини отримують вологи менше. Це стосується в першу чергу вуличних насаджень. З водонепроникного асфальту води стікають в каналізаційну мережу, тому значна частина вологи для рослин втрачається. Навіть в містах з вологим кліматом великі джерела часто знаходяться в умовах ґрунтової засухи. В суху погоду вологість ґрунту під вуличними посадками часто падає до рівня запасу, який вже недоступний рослинам.



1 — клітини фотосинтезуючої тканини;
2 — продиhi; 3 — клітини нижнього епідермісу.

Мал. 6. На зрізі листка тонконогого однорічного із району із чистим повітрям (А) ушкодження відсутні, а у тонконогого із забрудненого району видно ушкодження, викликані міським повітрям.

Руйнуються клітини, а продиhi паралізуються і втрачають здатність регулювати поглинання повітря (за Т. Горішиною).

Стікання води поза ґрунтом приводить до зменшення рослинної транспірації, а це відображається на мікрокліматі міста. Міські ботаніки виявили, що в жарку погоду вологість повітря в місті може знижуватися до 22%, тобто до рівня атмосферної засухи.

Нестача ґрунтової вологи, сухість повітря, перегрівання запилених листків створюють умови для порушення водного балансу. Перший сигнал такого порушення – зменшення вмісту води в тканинах. Так, якщо листя липи в лісі містять 70-80% води, то на вулицях великого міста жарким літом її вміст падає до 50%. Звідси часте зв'янення листя міських зелених насаджень.

Водний режим ускладнюється ще й тим, що під впливом забруднювачів порушується цілісність продихових клітин (мал. 6). Клітини, що замикають продихи, втрачають здатність регулювати ширину продихових щілин, тому продихи часто бувають постійно відкритими, що приводить до надмірної втрати води.

Ґрунтові умови у великому місті найбільш змінені у порівнянні з іншими факторами. В більшості випадків природний ґрунт взагалі відсутній, ґрунти порушені, верхній шар насичений різноманітними домішками (частіше всього – будівельним сміттям), а в техногенних зонах це не ґрунт, а субстрат з укладених на поверхню гірських порід. Навіть у випадках збереження природного ґрунту він підлягає постійному впливу різноманітних промислових емісій. Дуже небезпечним для рослин є штучне засолення від застосування різних солей для швидкого звільнення дорожнього покриття від снігу взимку. Отже, в містах з'являються засолені ґрунти. Про це сигналізує сама рослинність. Так, у Великобританії в останні роки на узбіччях доріг почали у великій кількості розповсюджуватися типові приморські рослини-галофіти. Але галофіти пристосовані до засолення ґрунтів, в той час, як міські інші рослини таких пристосувань не мають. Тому зараз розробляються і випробовуються різні замітники солей для снігозгону. Оригінальне рішення запропонували японські вчені: резервуари з культурою бактерій, які в процесі життєдіяльності виділяють багато тепла, закладають під тротуарами.

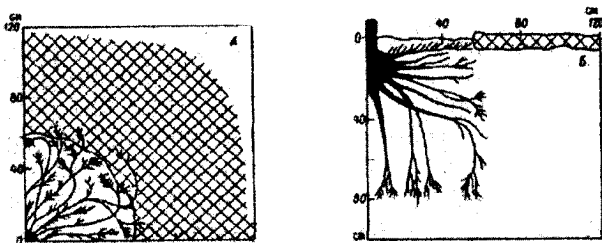
Є ще одна завада для нормального живлення і газообміну міських рослин. Це обмеженість площі живлення. Великі дерева, оточені невеличкою лункою, ростуть практично в умовах діжкової культури. Ще меншим об'ємом ґрунту доводиться задовольнятися рослинам у бетонних вазах і у випадкових поселеннях: в тріщинах бруківки, на міських стінах, будинках. Такі рослини можна порівняти з літофітами - мешканцями скельних та кам'янистих ґрунтів на високогір'ях або гранітних оголеннях.

Ось чому мінеральне живлення рослин в місті затруднене: необхідних поживних речовин часто не вистачає, зате можуть накопичуватися сторонні сполуки. Особливу роль відіграє хлористий натр, який дуже широко застосовують для снігоочищення.

У міських рослин лист щільніший, в його тканинах гущіша мережа жилок, дрібніші і чисельніші продихи. Такі риси характерні для ксерофітів. У кроні дерева в лісі ксероморфні риси мають лише верхні листки, а більша частина листя знаходиться в глибокому затіненні. У міських дерев «світлові» листки переважають у кроні, а «тіньові» теж більш ксероморфні, ніж «світлові» в лісі.

Великі зміни форми відбуваються і з підземними органами. Розкопки корневих систем показують, що вони незвичайної форми. Якщо дерево росте на краю газону поблизу асфальту, його коренева система асиметрична: у бік газону виростають довші і поверхневі корені, добре розгалужені, а з протилежного боку корені в основному йдуть у глибину і галузяться лише до межі асфальту; крім того, у дерев і чагарників у місті взагалі пригнічений розвиток дрібних коренів, які виконують найбільш активну всисну роботу (мал. 7).

Вплив міського середовища проявляється і на тонких деталях будови рослин. У хвойних, наприклад, відмічені порушення внутрішньої структури



На горизонтальній проекції кореневої системи (А) і на вертикальному зрізі (Б) видно, що живі кінці коренів зосереджені у пристовбуровій ямці, «утікаючи» від асфальтового шару (він заштрихований; за В. Ву, 1968).

Мал. 7. Розвиток корневих систем ясена звичайного на асфальтованій вулиці.

ри хлоропластів, недорозвинення пилку, зменшення товщини воску на хвої тощо.

В особливо важких умовах міста порушення в будові рослин мають вже характер ушкоджень: підсихання листя по краю, поява некротичних плям, скручування та засихання листя. Отже, міські умови важкі і на них чітко реагують рослини. Зовнішній вигляд рослин змінюється і внаслідок безпосереднього впливу людини – формування крони, стрижка. Декоративна стрижка відома із давнини. Часто стрижка викликана надмірним розростанням крон і порушенням архітектурного задуму. Проводиться вона з

чисто технічних причин – через лінії електропередач, освітлення вулиць і т.ін.

Для рослин стрижка – це порушення нормальних ростових процесів і співвідношення між надземною і підземною масами. Вона різко зменшує робочу поверхню фотосинтезу, і цим порушується баланс органічних речовин. У газонних трав, які постійно стрижуть, зовнішні зміни проявляються у збільшенні кущіння, кількості пагонів на одиницю площі. Зменшення фотосинтезуючої поверхні не дає змоги накопичити достатню кількість запасних поживних речовин, тому газони, на відміну від луків, наприклад, потребують постійної підтримки і відновлення.

Вважають, що у міських рослин немає механізмів пристосування до оточуючих умов, а використовуються ті захисні та адаптивні механізми, які були вироблені еволюцією раніше.

Тепловий режим в містах дуже своєрідний. Спостерігається потепління міст: тут і шершаві поверхні будівель, і виробництво власного тепла, і запиленість. В центрі Парижа, наприклад, за останні 100 років мінімальна температура піднялася на 4 градуси, а середня – на 1,9 градуси; в Санкт-Петербурзі за 230 років середня температура зросла на 2,1 градуси у холодний період року і на 0,05 градуси – у теплий. В містах Північної Америки за останні 47 років відбувається потепління із середньою швидкістю 0,012 градуси за рік. Швидкість потепління прямо пов'язана з темпами урбанізації. В одному з американських міст – Феніксі, який швидко розвивається і де населення за останні роки збільшилося в 10 разів, середня температура в літні місяці збільшилася на 4,4 градуси.

Проявляється цей процес і в структурі самого міста: температура зменшується від центру до передмістя: ця різниця в Москві становить 2-5 градусів, в Лондоні – 4-6, у Парижі – 5-7, в Делі – 4-6, в Сеулі – 3-7 градусів. Взимку ця різниця температур ще більша – до 14 градусів. Над містом формується куполовидний шар теплого повітря висотою до 200 м (теплова шапка).

Тепловий режим впливає на рослини і через ґрунт. В Мінську, наприклад, при температурі повітря плюс 30 градусів температура ґрунту під асфальтом досягає 37 градусів, а на глибині 40 см – 23 градусів. А в цих шарах якраз і зосереджені активні кінцеві частини коренів. Особливо гарячим буває шар ґрунту безпосередньо під асфальтовим покриттям – температура тут досягає 55 градусів у стовбурних ямках під чавунними решітками. Тому поверхневі шари міських ґрунтів практично не містять коренів – основна маса кореневої системи «опускається» в містах до глибини 80 см.

Взимку температурний режим в містах теж достатньо суворий. В при-

родних фітоценозах зимове охолодження ґрунту пом'якшується шаром рослинних залишків та снігом. На вулицях міст листя прибирають, вулиці очищають від снігу, асфальт же має велику теплопровідність, тому ґрунт охолоджується до мінус 10-15 градусів, що часто приводить до промерзання коренів. Річний перепад температур в кореновому шарі ґрунту в містах становить 40-50 градусів, а в природних умовах для середніх широт – 20-25 градусів.

Окрім абіотичних факторів у містах специфічні і біотичні. В природних умовах рослини не живуть поодинокі, а знаходяться у складі природних угруповань, фітоценозів, склад яких сформувався історично. В містах же дерева та чагарники часто зовсім ізольовані – поодинокі, це так звані солітери, а на вулицях звичайними є рядові посадки. В природних умовах склад фітоценозів формується стихійно – за принципом відповідності видів один одному. В містах же насадження формуються по волі людини і далеко не завжди враховуються і природна відповідність, і алелопатичні взаємовідносини; головними факторами тут виступають економічні, декоративні якості рослин. Міські насадження мають спрощену структуру: газони утворюють одноярусний приземний килим замість багаторярусного високого травостою луків. В містах часто немає чагарникового підліску і підросту, а це значить, що у «бездітного» насадження немає майбутнього і потрібна постійна підтримка його людиною. Важливим фактором є і те, що в природних фітоценозах є шар підстилки – це і захисний екран, і резерв поживних речовин. В місті цього практично немає. Отже, рослини в місті не тільки переносять на собі цілий комплекс негативних впливів міського середовища, але й виявляються «вирваними» із природної системи біотичних зв'язків.

Наслідком впливу міських умов на міські рослини є різке зменшення тривалості їх життя. Так, в середніх широтах в лісі липа доживає до 400 років, ясен – до 300, в міських же парках відповідно 125-150, 60-80, а на вулицях – всього 50-80 і 40-50 років. Взагалі вважається, що межею довговічності дерев в місті при оптимальних умовах є 200 років.

Які закономірності розселення рослин по екосистемах міста? Перелік урбоекосистем наведений у відповідному розділі. І оскільки на всіх більш або менш культурних територіях міста рослинність сформована в основному по волі людини, коротко зупинимося лише на тих еконішах, де вони з'являються самостійно.

Як тільки де-небудь з'являється незайнятий шматок землі, тріщина в асфальті, в стіні і т.ін., такі ніші можуть бути місцем розвитку рослин, аби лише була змога прорости насінню та пустити корені. Так, в тріщинах

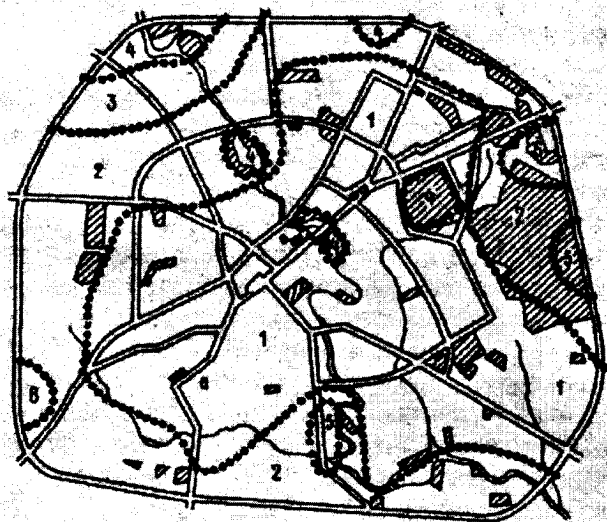
тротуарів і стін будинків рано навесні з'являються проростки різних трав. Це, як правило, багаторічні злаки – мітлиці, тонконоги, поселяються і кульбаба, гусяча лапка та інші мешканці луків і придорожніх територій. З'являються сходи деревних порід – клена, липи, тополі, але вони приречені, звичайно, на загибель. Проростають рослини і під асфальтом, зламуючи його.

Нерідко рослини живуть на кам'яних стінах та огорожах, особливо в старовинних містах, де збереглися фортечні башти та стіни. Одні поселення довговічні і формують стійкі угруповання, інші поселяються на короткий час. Наприклад, на фортечній стіні в м.Хана (Чехія) на невеликому шарі чорнозему, який утворився внаслідок вивітрювання, існують цілі групи з мо- лодила, очитків, кульбаб та інших багаторічників; між ними знаходять собі притулок ефемери та бур'яни. Багата настінна рослинність міст Італії, де древні стіни, огорожі садів, тераси вкриті строкатою мозаїкою рослинних асоціацій. Такі місцемешкання навіть знайшли своє відображення у назвах деяких рослин: пристінник, папороть баслені стінний, цим- балярія настінна тощо.

Деколи дерева і чагарники виростають на незвичайній для них висоті – на балконах, дахах, цегляних трубах.

Навіть у центрі міста, який ретельно прибирається, формуються хоч і короточасні, але досить постійні за видовим складом мікроасоціації. Це в основному кульбаба, розхідник, глуха кропива та інші.

Особливе місце у флорі міст займають спорові рослини - мохи, а також лишайники. В місті



Зони забруднення

- | | |
|------------------|-----------------|
| 1 — найбільшого; | 4 — помірного; |
| 2 — сильного; | 5 — слабого; |
| 3 — значного; | 6 — незначного. |

Штриховка означає зелені насадження, точечні пунктири — границі зон.

Мал. 8. За видовим складом і станом мохів як показник забрудненості повітря у Мінську виділено декілька зон (за А. Шукановим та ін., 1986)

їх можна знайти на стовбурах дерев (епіфіти), на камінні, цеглі та покрівлях, огорожах. Ці рослини дуже чутливі до несприятливих умов середовища і особливо - до промислового забруднення. Тому зрозуміло, що численність та різноманітність цих рослин як епіфітних, так і тих, що живуть на неорганічних субстратах, різко знижуються в найбільш несприятливих середовищах міста (мал. 8). Екологам Берліна вдалося скласти «Червоний список» міських мохів і виявилось, що за останні роки третина їх видів зникла, а чверть знаходиться на межі зникнення.

Чутливість лишайників вперше була виявлена в минулому столітті при вивченні ліхенофлори Люксембурзького саду в центрі Парижа. Вона була набагато біднішою, ніж на околицях. Після цього були виявлені численні факти неприймання лишайниками міського середовища. У 1980-х роках була вивчена ліхено-флора 100 міст світу і зафіксовані загальні закономірності, які зафіксовані на лишайникових картах. В типовому великому місті виділяються декілька концентричних зон з різною чисельністю лишайників. В центрі міст - «лишайникова пустеля», зона боротьби (лишайники утримуються на межі існування), на околиці - зона сприятливого існування. Від околиці до центру міста зменшується і число видів лишайників, їх ряснота. Обидва ці показники можна виміряти і на цій основі запропонувати «лишайникові формули», які дозволяють мати уяву про ступінь забруднення міської атмосфери. Висока чутливість мохів і лишайників до промислових токсикантів робить їх незамінними для моніторингу зовнішнього середовища. Склавши карту розповсюдження мохів і лишайників у великому місті, можна мати уяву (з великою ймовірністю) про стан повітряного середовища у різних його частинах. Це добре відображено на мал. 8.

Є досить цікаві приклади реакції лишайників на промислові забруднення. В Шотландії вивчали ліхенофлору на огорожах околиць заводів, що виплавляють алюміній. Стовпи огорожі були все «чистішими» з наближенням до заводів, а на території останніх зовсім вільними від лишайників.

Фінськими вченими ще в 1970-х роках був розроблений метод вивчення чистоти повітря, що ґрунтувався на вимірюванні швидкості зв'язування азоту одним із видів лишайників, що було показником ступеню забруднення повітря.

Лишайники здатні повернутися в місто при оздоровленні атмосфери. Уже через 8 років після закриття однієї із австрійських целюлозних фабрик поблизу неї поселилися 25 видів лишайників, так, як і в сусідніх чистих районах.

Острівні види

Очевидно, що найбільш різко ізольованість відбивається на мешканцях віддалених островів. Життя на островах характеризується рядом особливостей, не завжди притаманних іншим місцемешканням, але все ж екологічні взаємозв'язки між живими істотами і те, як істоти виби-рають собі місце для життя, яскравіше всього проявляється саме на островах. Капітан Кук, який відвідав в 1774 р. острів Пасхи, записав у щоденнику: «Природа дуже скупко наділила своїми щедротами цей куточок землі». Вражає, як взагалі сюди могли потрапити рослини і тварини, бо від найближчого острова його віддаляють 1,5 тисячі, а від берега Південної Америки – три тисячі кілометрів водного простору. До появи людини флора острова складалася приблизно із 50 видів квіткових рослин, папоротей і мохів; фауна острова нараховувала 5 видів тварин, 4 види комах і 1 вид равликів. Інші численні крихитні вулканічні острови, атоли Тихого океану, абсолютно мертві. Виключенням є лише Гаваї з їх багатою ендемічною флорою і багатством своєрідних птахів. Гаваї з усіх боків оточені океаном і близько не підходять до жодного континенту, тому вони так різко відрізняються наявністю там тварин. Якщо для комах місцемешканням може служити одна-єдина рослина, то травоїдні тварини потребують значної площі. Великих ссавців на океанічних островах, як правило, не буває. Їх не було навіть на найбільших островах Нової Зеландії. Там мешкали лише здатні до дальніх перельотів кажани. Океанські простори представляють собою абсолютно непереборну перешкоду для розселення прісноводних тварин, тому амфібії, прісноводні риби та водні комахи на океанічних островах або повністю відсутні, або дуже рідкісні. У випадку, коли який-небудь вид усе ж таки досягає самотнього острова, він дуже часто дає початок величезній різноманітності форм, що заповнюють безліч найрізноманітніших екологічних ніш. Один із своєрідних біоценозів у світі, який нараховує багато різних видів, біоценоз Гавайських островів, виник із небагатьох видів рослин і тварин, що зрідка заносяться на острови. Гавайський архіпелаг складається із декількох великих і чисельних дрібних островів. В такій ситуації потомство деяких імігрантів може дуже диференціюватися, утворюючи різні види, розселені на різних островах. Якби Гаваї представляли собою не архіпелаг, а суцільний масив суші, такої диференціації видів могло б і не бути. Як тільки декілька імігрантів, випадково занесених на ізольовані острови, опиняються відірваними від батьківської популяції, в їхньому потомстві починають накопичуватися ознаки, що відрізняють їх від побратимів, які залишилися на батьківщині. Якби такі вторгнення із материка повторювалися, то виниклі «острівні» риси могли б стиратися. Та на Гаваях цього не відбулося, бо надзвичайна ізольованість архіпелагу робить неможливим часті вторг-

нення. Виникаючі мутації приводили до виникнення нових видів, які формувалися під впливом місцевих екологічних умов, характерних для окремих островів.

Гаваї дають вражаючі приклади адаптації, яка приводить до заселення багатьох ніш. Так, личинки коромисел (бабок) скрізь ведуть водний спосіб життя, і тільки на Гаваях виявлено вид, пристосований до життя на суші. На Гаваях є і паразитичні види бджіл, які відносяться до групи, що веде в інших місцях вільний, непаразитичний спосіб життя. Нашадки елегантної златоглазки тут перетворилися в нездатних до польоту монстрів, закованих у схожі на панцир крила.

Ізольованість океанічних островів дає й інші наслідки. На віддалених островах можуть зберігатися види і форми, давно вимерлі на континентах. Так, на Азорських островах досьгодні зберігся равлик, всі най-ближчі родичі якого вимерли ще в третинному періоді.

Друга характерна риса островів – це обмеженість їх розмірів. На деяких із них життєвий простір настільки малий, що це впливає на розміри місцевих тварин. Так, оленю, щоб вільно жити і бути забезпеченим їжею, потрібні десятки гектарів лісу, а полюючому на трав'яних хижаків – незрівнянно більше. При цьому необхідно, щоб розміри острова забезпечували існування не окремих тварин, а популяцій, достатньо великих, щоб гарантувати стійке розмноження. Коли такі умови не виконуються, вид або вимирає, або дрібнішає, пристосовуючись до умов. Найменший в Азії острів, на якому мешкає популяція тигрів – Балі, має територію 6500 км². На маленьких островах, як правило, живуть дрібні ссавці. Відомі карликові острівні раси коней Шотландських островів, Ісландії і Японії. Карликовими бувають також острівні раси оленів, наприклад, японський плямистий олень і віргінські олені. Сірі лисиці, що мешкають на острові Каталіна біля узбережжя Каліфорнії, ніколи не досягають розмірів материкових лисиць того ж виду. З другого боку, на деяких островах мешкають великі рептилії, які збереглися ще з часів їх панування на Землі. Найбільші із сучасних черепах мешкають на Галапагоських островах, біля узбережжя Еквадору, а найбільші ящірки, комодські варани, зустрічаються лише на єдиному острові в Індонезії. На островах надзвичайно драматичними виявилися наслідки вторгнення рослин і тварин, чужих місцевій флорі і фауні. Тварини, які пристосувалися до життя на острові і втратили всілякі захисні адаптації через відсутність ворогів, виявилися абсолютно безпомічними перед чужаками. Здичавили собаки і коти, домові шури і миші, які потрапили на такі острови разом з кораблями першовідкривачів, спричинили жорстокі спустошення в тваринному світі островів, де завжди було мало хижаків. На острові Лорд-Хау, розташованому біля східного берега Австралії, водилися розкішні птахи. У 1918 р. з потерпілого аварію корабля на острів попали шури. За два роки всі птахи були знищені. Крихітні Маскареніві острови в Індійському

океані за останній час явилися ареною загибелі 36 видів тварин. Таке вимирання, або знищення видів відбувається, як правило, внаслідок несподіваної появи на острові сторонніх форм життя, які різко порушують рівновагу в місцевих екосистемах. Результатом цього є так званий «екологічний вибух» – небачене розмноження рослин чи тварин, які раніше обмежувалися фізичними перепонами чи присутністю інших живих істот. Екологічні вибухи бувають не тільки на островах, але тут вони проявляються особливо драматично.

Реальна небезпека виникла і тоді, коли на Нову Зеландію завезли щурів і собак. У 1870 р. серйозною проблемою стали кролики. З Англії було завезено 130 видів птахів, 30 з яких прижилися на новому місці. Найстрашнішим шкідником, який повністю об'їдав дерева, виявився австралійський опосум, якого завезли в 1858 р. з Австралії як промислового хутрового звіра.

Щодо рослин, на Нову Зеландію було завезено 400-600 видів. Деякі з них прижилися і почали витісняти місцеву флору. Так, європейський водяний крес (жерука) на батьківщині має скромні розміри, а на Новій Зеландії у нього виростають стебла товщиною в людську руку і довжиною до 3 м; буває, що ним повністю заростають річки. Більша частина новозеландських лісів загинула, перетворилася у степи, як правило, безплідні. Почалася нестримна ерозія; в минулому судноплавні річки, які текли в порослих лісами берегах, тепер перетворилися в жалюгідні струмки.

Нова Зеландія стала ареною непоодинокого екологічного вибуху, а серії вибухів, які спричинили величезні руйнування в первинній флорі і фауні. Приблизно те ж саме відбувалося і відбувається по всій земній кулі: на островах і континентах, в озерах і річках, в містах і пустелях, навіть в морських глибинах.

Список іноземних тварин, завезених в чужі для них біогеографічні області, дуже довгий, і в ньому нерідко зустрічаються тварини, які в наш час є типовими для того чи іншого ландшафту. Візьмемо для прикладу шпака. Це європейський птах, випущений на волю в Центральному парку Нью-Йорка в 1891 р. Зараз шпак розповсюдився по всій Америці від атлантичного до тихоокеанського узбережжя, і від Аляски до Мексики. В наш час в Європі мешкає декілька мільйонів ондатр. Завезені в Радянський Союз, вони розповсюдились по всій системі сибірських річок і рік півночі Союзу. Навіть в маленькій Фінляндії річний промисел ондатри сягає 240000 штук. Англійцям вдалося позбутися ондатр – вони знищили десятки тисяч звірків, але ціна цього позбавлення виявилася дуже високою. Величезна кількість безневинних звірів і птахів гинули в пастках, призначених для ондатр. Тільки на двох річках в Шотландії було знищено понад 1000 ондатр, але при цьому в пастки попалося 5783 інших ссавців і птахів.

Фактично в усіх країнах небезпечні шкідники – це не споконвічні ту-

тешні мешканці, а завезені з інших континентів комахи. Через відсутність своїх паразитів і хижаків вони позбавлені факторів, які б контролювали їх чисельність.

Ми живемо в час, коли йде інтенсивне перемішування багатьох видів, які походять із різних частин світу. Рослини і тварини прийшли в рух. Привезена із Бразилії вірусна хвороба міксоматоз вразила недавно кроликів Австралії, Британії, України і Росії. В останній час в Європу з Америки проник колорадський жук і наніс великі збитки врожаю картоплі. Скрізь відбуваються різкі зсуви в природних рівновагах. Ось уже більше ста років людина завозить різноманітні види в чужі їм біогеографічні області. Процес поступових змін в угрупованнях, розтягнутий раніше на мільйони років, в наші дні небачено прискорений людиною.

Острівний характер екосистем і місцемешкань у великому місті

Острівні місцемешкання в місті обумовлюються ізолюючою дією вулиць та споруд, які визначають межі екосистем і місцемешкань. Невеликі сквери, парки, пустоші, сади та городи часто ізолювані від основних екосистем. Ступінь ізоляції визначається віддаленістю від подібного біотопу та співвідношенням між площею «острова» та «материка». За Макартуром і Уїлсоном (McArthur, Wilson, 1967):

$$n_i = C \cdot W_i^2 \cdot e^{-d_i/\Delta}$$

де n_i - число імігрантів на острові;

C - константа географічних умов;

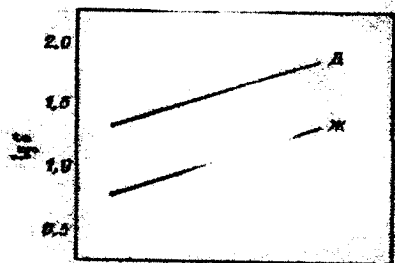
d_i - віддаленість острова від джерела біоти;

W_i - розміри острова;

Δ - середній радіус розселення певної групи тварин.

Багато авторів вважають, що екосистеми міста можна порівнювати з екосистемами справжніх островів. Від останніх вони відрізняються меншим ступенем ізоляції, менш вираженими межами та меншою площею, але в обох випадках спостерігаються подібні закономірності.

Надходження імігрантів внаслідок направленного переселення або випадкового занесення компенсуються на острові загибеллю, або еміграцією видів. Обидві ці перемінні залежать від кількості видів, тобто числа зайнятих на острові еконіш. Для біотопів великого розміру характерний більш стійкий видовий склад. Чим менший острів, тим менше число видів (мал. 9).



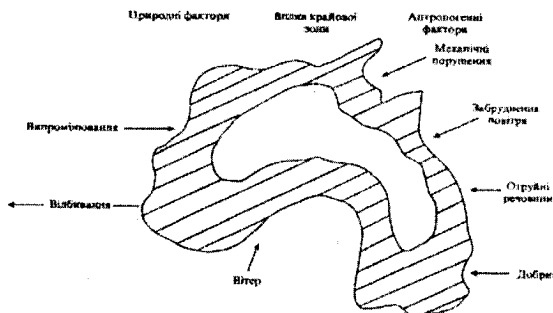
Мал. 9. Залежність між числом видів (S) і площею у двокрилих (D) та жуках (J) (за Eath, Kane, 1978). Одночасно у зв'язку з обмеженням ресурсів і зменшенням популяції зростає і смертність.

Стабільність зооценозів малих острівних екосистем невелика, бо більшість видів представлена дрібними популяціями і лише деякі домінують. Поряд з елементами вихідного зооценозу з'являються піонерні форми та «перебіжчики» із сусідніх мешкань. В конкурентній боротьбі з імігрантами первинна біота поступово піддається.

Насамперед зникають види з більшими територіальними вимогами (табл. 2).

У рослин озеленення та антропогенне розповсюдження діаспор значно зменшує острівний ефект у порівнянні з різними групами тварин.

Більш великі острівні екосистеми складаються з крайової та центральної зон (мал. 10). Чим менший острів, тим більша відносна площа крайової зони. Коли її вплив розповсюджується на весь острів, зонування втрачає сенс. Лісова екосистема діаметром менше 80 м вже не може вважатися окремим зоотопом для лісових тварин. Краєва зона підлягає особливо сильному краєвому впливу (вихлопні гази, пил, пестициди, механічні порушення, мікрокліматичні параметри). Глибина проникнення цих агентів всередину острова досить велика (в лісі - до 40 м).



Мал. 10. Поділ значного острівного місцемешкання на зони (по Mader, 1980).

Ряд авторів присвятили свої роботи вивченню генетичної диференціації в міських острівних місцемешканнях. Принцип засновника приводить до збільшення частоти певних комбінацій алелей в ізольованій популяції. Внаслідок цього проявляються певні ознаки і може початися процес утворення рас. Диференціація стосується перш за все видів, менш схильних до міграцій, для яких межа місцемешкання є майже непереборною перепорою. У зв'язку з дією принципу засновника та безперервним дрейфом генів природні генетичні процеси маскуються і становляться малоефективними. Мадер приймає за норму закріплення чи втрати окремої ознаки (тобто, зникнення гетерозиготності по ній) чверть популяції за покоління. Процеси видоутворення на островах повинні відбуватися швидше, бо припинення міжпопуляційного обміну генами може прискорити генетичну диференціацію. Завдяки ефекту «розбавлення» генофонду тут за певних обставин матимуть успіх алелі, які не дали б переваги при повній панміксії (підходить до міських умов).

Генетична диференціація в місті можлива для слимаків, сірого щура, жужелиць, п'ядениці, дрозофіли, польової миші.

Мінімальні гніздові території деяких птахів в місті (за Б.Клауснігером)

Мінімальна територія, га	Види
20	Зелений дятел, вівчарик-тріскун
5	Великий строкатий дятел
2	Зелена пересмішка, славка чорноголівка
1	Зорянка, зяблик
0,5	Славка-забріхушка, сіра славка

Симпатричне та аллопатричне видоутворення

Види, що зустрічаються в одній і тій же географічній області, називаються симпатричними, а види, розділені географічними просторами, називаються аллопатричними.

В природі спостерігається тенденція до посилення зміцнення ознак, або відмін між близькородинними видами при симпатрії (дивергенція). При аллопатрії, навпаки, зміцнення ознак зменшується (конвергенція).

Значення дивергенції подвійне: а) посилюється зсув ніш, що приводить до послаблення конкуренції; б) посилюється генетична ізоляція, що сприяє більшій видовій різноманітності в угрупованнях.

Але в тих випадках, коли на території, що зайнята двома близькими видами, конкуруючими в нішах, що перекриваються, вторгається третій вид, замість дивергенції відбувається конвергенція перших двох видів.

Аллопатричне видоутворення, тобто, виникнення нових ознак внаслідок географічного розділення популяцій, прийнято вважати головним механізмом виникнення нових видів. Від спільного предка внаслідок ізоляції на різних островах, наприклад, виникають цілі групи видів, які при повторному заселенні інших островів займають найрізноманітніші екологічні ніші і між собою при контакті вже не схрещуються.

Та в останній час накопичені дані, які свідчать про те, що симпатричне видоутворення розповсюджене ширше. Особливо чітко це проявляється у вищих рослин, що мають генетично ізолюючі механізми – поліплоїди, гібридизацію, самозапилення, безстатеве розмноження. Коли людина порушує географічну ізоляцію, може відбуватися майже моментальне видоутворення. Сильний тиск на ландшафти, знищення природної рослинності не тільки сприяє вторгненню екзотичних видів, але й створює можливості для швидкої еволюції нових бур'янів, адаптованих до нового середовища ще краще, ніж ті види, що проживали тут раніше. Так, внаслідок обробітку ґрунту, тобто порушення природного покриву, буйно розвивається амброзія, нетреба та інші так звані карантинні бур'яни.

Штучний добір. Одомашнювання



Вибір, який здійснює людина з метою пристосування рослини чи тварини до своїх потреб, називається штучним добіром. Людина помиляється, вважаючи, що одомашнюючи інший організм шляхом штучного добору, вона підкорює природу своїм цілям. Для одомашнювання необхідна взаємна адаптація одомашнюваного організму і domestikатора (людини). Кінцева мета одомашнювання може виявитися не досягнутою,

якщо ці мутуалістичні відношення не адаптовані на рівні екосистеми.

Людина діє на одомашнюваний організм подвійно: 1) вживає заходи запобігання дії природного добору на генофонд одомашнюваної популяції; 2) накладає на останню режим штучного добору, який визначає майбутній склад генофонду одомашнюваної популяції при відсутності природного добору.

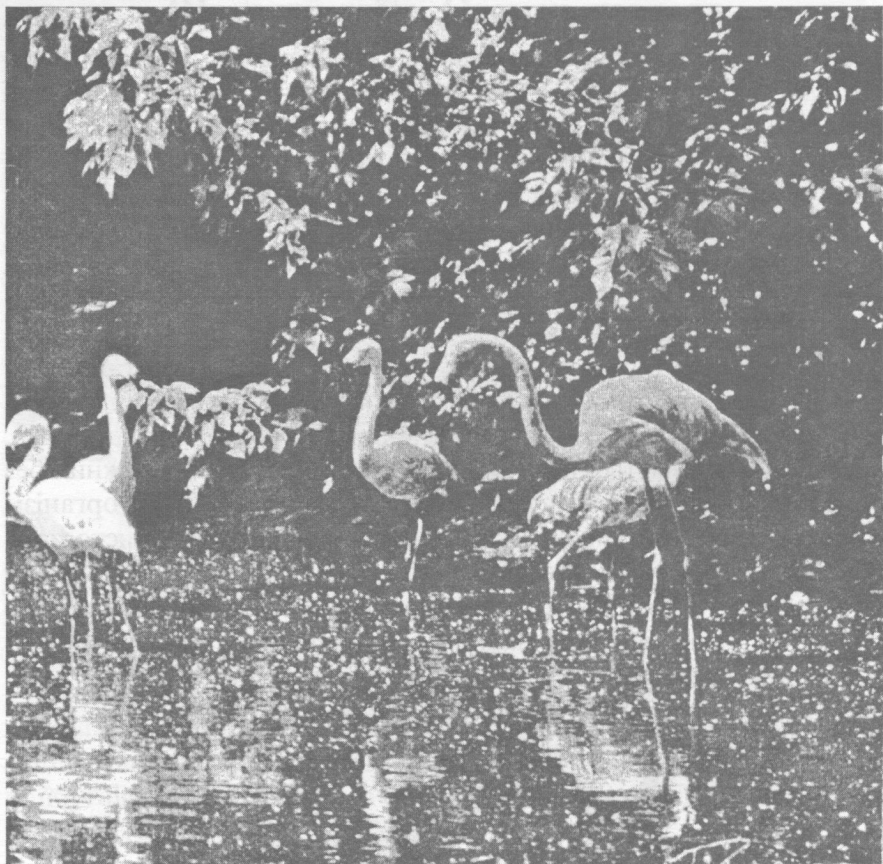
Одомашнювання – це палиця на два кінці. Воно викликає у людини такі ж суттєві зміни (нехай не генетичні, та у всякому разі, екологічні і соціальні), як і у одомашнюваного організму. Суспільство, господарство якого побудовано, скажімо, на кукурудзі, розвивається в культурному відношенні по-іншому, ніж суспільство, зайняте випасним скотарством. Людина в тій же мірі залежить від кукурудзи, худоби, машин, як і вони від людини. Це ще питання, хто у кого в рабстві.

Ефекти впливу популяції людини сумісно з ефектами впливу одомашнюваної популяції на популяцію domestikатора утворюють механізм зворотного зв'язку, який регулює міжпопуляційні відношення при одомашнюванні. Наприклад, на Тибеті у розведенні домашніх тварин існують три

різні тенденції стосовно оточуючого середовища: у високогірних районах розводять яків, у долинах – корів та ослів, а в перехідних – гібридні форми (дзо – як + корова, мул – кінь + осел). Ці популяції домашніх тварин накладають відбиток на популяції domestikаторів: гірські райони заселені дрог ба (кочівники), долини – ринг ба (фермери), а перехідні райони – сама дрог (проміжна група).

Взагалі одомашнювання – це особливий вид мутуалізму, що викликає глибокі зміни в екосистемі, бо він впливає на інші численні організми і процеси. Так, людина і корова порушують навколишнє середовище надмірним випасом доти, доки їх взаємовідносини не будуть регулюватися в цілому у масштабах екосистеми таким чином, що стануть істинно мутуалістичними, тобто взаємовигідними, а не споживацькими. До тих пір, поки даний ресурс (наприклад, пасовисько) вважається невичерпним і використовується кожним без обмеження, надмірна експлуатація його неминуча. Окремий організм отримує тимчасову вигоду і лише через деякий час особисто його починають торкатися загальні негативні наслідки. Якщо людина не регламентуватиме функціонування могутніх систем «людина-домашня тварина», «людина-машина», «людина-культурна рослина», то їй прийдеється зіткнутися з наслідками природного добору, який досить часто приводить до загибелі «непомірного виду».





ОРГАНІЗАЦІЯ НА ПОПУЛЯЦІЙНОМУ РІВНІ

Кожний вид на певній території представлений системою популяцій. Складність розчленування території ареалу виду сприяє відокремленню окремих популяцій. В межах одного виду популяції можуть бути представлені групами різного об'єму. Зв'язок між окремими популяціями підтримує вид як єдине ціле. Надто тривала і повна ізоляція популяцій приводить, як правило, до утворення нових видів.

Різниця між окремими популяціями виражена в різному ступені. Вона може торкатися не тільки групових характеристик, але і якісних особливостей фізіології, морфології та поведінки окремих особин. Ці особливості створюються в основному під впливом природного добору, який пристосовує кожен популяцію до конкретних умов її існування. Зайці-

біляки з різних частин ареалу відрізняються характером забарвлення, розмірами, будовою травної системи. Наприклад, довжина сліпої кишки у зайців півострова Ямал у два рази більша, ніж у представників Уралу. Це пов'язано з характером харчування. Середня величина виводка у середньоякутської популяції складає 7 зайчат на самку, яка дає приплід один раз на рік. У карельській частині ареалу зайчиха приносить зайчат двічі на рік, але середня величина виводка – 4 екземпляри.

Н.П.Наумов (Н.М.Чернова, А.М.Былова, 1988) розглядає вид як ієрархічну систему популяцій різних рангів. Він розробив класифікацію популяційних одиниць ландшафтно-біотопічного принципу. Найбільші одиниці територіального принципу – підвиди, або географічні раси. Ареали підвидів можуть бути досить великими. В їх межах на території з однорідними географічними умовами виділяються географічні популяції, які відрізняються спільністю пристосувань до клімату і ландшафту. Популяції нижчого рангу – екологічні, біотопічні, місцеві, локальні, елементарні і т.д.

У школі академіка С.С.Шварца розвинутий інший, історико-генетичний підхід. З точки зору популяції як генетичну єдність можна виділити тільки у видів із статевим розмноженням та перехресним заплідненням. Обов'язковою ознакою популяції вважається її здатність до самостійного існування на даній території протягом невизначено тривалого часу за рахунок розмноження, а не притоку особин іззовні. Тимчасові поселення різних масштабів не відносяться до розряду популяцій, а вважаються внутрішньопопуляційними підрозділами.

Існують і інші погляди на популяції та їх класифікації. Отже, популяції можна класифікувати за їх просторовою і віковою структурою та іншим екологічним критеріями. Різноманітність природних популяцій виражається в різноманітності типів їх внутрішньої структури.

Найбільш поширеним визначенням популяції є таке: популяція – будь-яка здатна до самовідтворювання сукупність особин одного виду, відносно ізольована у просторі і часі від інших аналогічних сукупностей того ж виду.

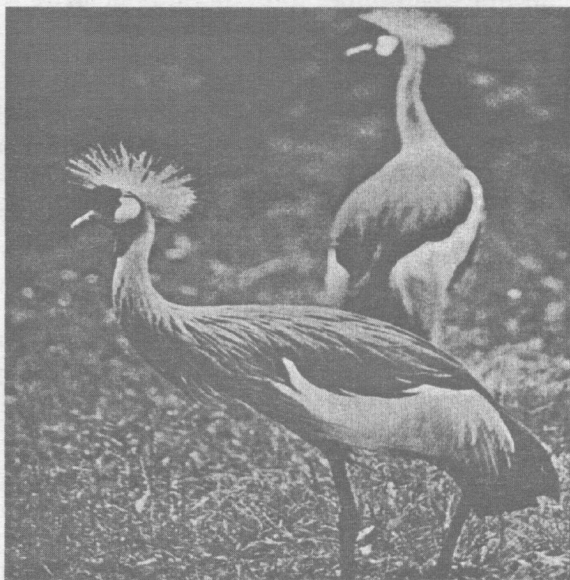
Отже, популяція – це група особин одного виду, що займає певний простір і характеризується багатьма загальними ознаками (народжуваність, смертність, тип простору, характер розподілу тощо).

При аналітичному вивченні популяції використовують дві групи кількісних показників – статичні і динамічні. Статичні виражають стан популяції в який-небудь момент часу t , динамічні характеризують процеси, які протікають в популяції за деякий проміжок часу t . До статичних показників відносяться загальна чисельність, щільність і різні характеристики популяційної структури (генетичної, просторової, вікової, статевої і деякі інші). До динамічних – народжуваність, смертність, тривалість життя, швидкість росту популяції.

Просторова структура популяцій

Розподіл особин популяції у просторі може бути випадковим, рівномірним і груповим. Випадкове розміщення в природі зустрічається рідко, там, де між особинами дуже сильна конкуренція, або антагонізм. Груповий розподіл зустрічається найбільш часто. Якщо особини прагнуть утворити пари (або вегетативні клони у рослин), то розподіл цих груп виявляється близьким до випадкового.

Так, личинки борошняного хрущика у своєму дуже однорідному середовищі розподілені випадковим способом. У паразитів та хижаків, наприклад, у павуків також випадковий розподіл. Такий же розподіл у слимаків. У лісових дерев розподіл рівномірний. Фруктові сади, поля зернових культур, лісові посадки - приклади рівномірного розподілу особин.



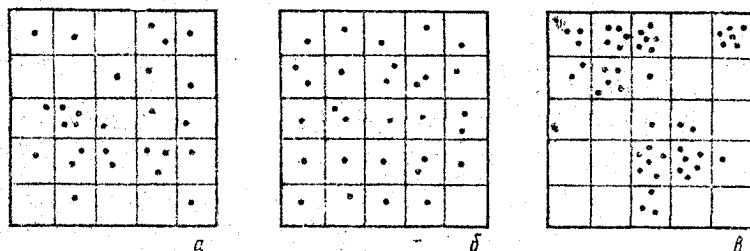
Бур'яни, вовки, кабани також розміщаються групами.

Тенденція до агрегації знаходиться у зворотній залежності від рухомості зачатків (спор, насіння тощо). Так, хурма, горіх, дуб - концентруються біля материнської рослини. А трави, сосна, смерека, насіння яких легко переносяться вітром, розподіляються по території відносно рівномірно.

Позитивний вплив агрегації на виживання видів у природі відмічений дуже широко, особливо він проявляється у тварин. Наприклад, риби в групі витримують більшу дозу отрути, введеної у воду, ніж поодинокі особини. Бджоли у скупченні виділяють і зберігають достатньо тепла для виживання. Правда, перенаселеність також сприяє зменшенню ви-

живання. Таким чином, ступінь агрегації, при якому спостерігається оптимальний ріст та виживання популяції, варіює у залежності від виду та умов, тому як недонаселеність (або відсутність агрегації), так і пере-населеність можуть чинити лімітуючий вплив. Це принцип Оллі. Він цілком придатний і для людини. Міська агрегація, очевидно, сприятлива для людини, але до певної величини. На порядку денному стоїть питання про визначення оптимальної величини міст. Міста так же, як колонії термітів і бджіл, можуть виявитися (і вже виявляються) собі на шкоду дуже великими.

Три основних типи розподілу, або «внутрішньої дисперсії» представлені на мал. 11.



Мал. 11. Типи внутрішньої дисперсії популяцій.

У кожному чотирикутнику однакове число особин. При груповому розподілу (в) групи можуть бути однакового чи різного розміру і розподіляться випадково, рівномірно, або у свою чергу, об'єднуються у групи другого порядку, між якими знаходяться більш незайняті проміжки. Тобто, можна виділити 5 типів розподілу: 1) рівномірний, 2) випадковий, 3) випадковий груповий, 4) випадковий негруповий, 5) груповий з утворенням скупчень груп. Випадковий розподіл характеризується так званою нормальною кривою. Такий тип розподілу в природі там, де на популяцію одночасно діють численні і незначні за величиною фактори. Частіше ж трапляється так, що домінує лише декілька факторів, і розподіл буде груповим (випадковим чи рівномірним).

Для випадкового розподілу характерне те, що дисперсія (V) дорівнює середньому (m), якщо дисперсія більша чи менша середнього, то розподіл буде груповим, або рівномірним (регулярним). Таким чином,

при випадковому розподілі ($V/m = 1$; стандартна помилка дорівнює кореню квадратному з $2/p-1$). Якщо за допомогою стандартного статистичного аналізу встановлено, що відношення дисперсія/середнє достовірно більше одиниці, це значить, що розподіл є груповим; якщо це відношення достовірно менше одиниці, то має місце рівномірний розподіл, а якщо воно рівне одиниці - випадковий розподіл.

Детальніше про стандартний аналіз просторового розподілу див. у Грейг-Сміта (1957) і у Скеллама (1952).

Фактори, що сприяють ізоляції у просторі особин, пар, або других груп, які складають популяцію, менш розповсюджені, ніж фактори, які сприяють агрегації, але вони важливі для регуляції розмірів популяції. Ізоляція виникає як наслідок: 1) конкуренції за їжу між особинами при її нестачі, або 2) прямого антагонізму. В обох випадках це може призвести до випадкового, або рівномірного розподілу особин. Активність особин, пар, чи сімейств у хребетних і вищих безхребетних обмежується певною зоною, яка називається індивідуальною, або сімейною ділянкою. Якщо ця ділянка активно захищається, то її називають територією. В найбільшій мірі територіальність виражена у хребетних і деяких членистоногих із складною репродуктивною поведінкою, зокрема, гніздобудуванням, відкладанням яєць, доглядом за потомством і його захистом.

Отже, ізоляція зменшує конкуренцію, сприяє збереженню енергії в критичні періоди, запобігає перенаселенню і виснаженню запасів їжі у тварин і біогенних речовин, води і світла у рослин. Тобто, територіальність сприяє регуляції чисельності популяції на рівні більш низькому, ніж рівень насиченості. Територіальність - явище загальноекологічне, не обмежене якоюсь однією таксономічною групою.

Рослини в ценопопуляції найчастіше розподілені нерівномірно, утворюючи групи, так звані мікроценопопуляції, субпопуляції, або ценопопуляційні локуси. Ці скупчення відрізняються одне від одного числом особин, щільністю, віковою структурою тощо. Просторова неоднорідність ценопопуляції пов'язана з характером розвитку скупчень у часі. Наприклад, у люцерни серповидної насіння опадає у безпосередній близькості від материнської рослини. Тому біля середньовікових генеративних рослин утворюються скупчення із молодих особин. Ці скупчення характеризуються великою

щільністю. При переходженні цих особин у наступний віковий стан ці скупчення розріджуються. Одночасно приживаються нові зачатки, розширюється територія, яка займається скупченням. Від зачатків за межами території скупчення розвиваються нові скупчення, досягається більш високий рівень агрегації. Таким чином, життя ценопопуляції протікає у формі несинхронних вікових змін різних локусів.

У тварин способи упорядкування територіальних відношень більш різноманітні. Навіть у сидячих форм є ряд пристосувань до раціонального розміщення у просторі. Так, у асцидій і мшанок край колоній, що росте, наштотується на колонію другого виду і росте зверху неї, і врешті решт, пригнічує її. Та якщо зустрічаються колонії одного виду, кожна з них тормозить ріст сусідньої і вони починають розповсюджуватися в іншому напрямку.

Вищим тваринам властива особлива територіальна поведінка – реакція на місцезнаходження інших членів популяції.

За типом використання простору всі рухомі тварини поділяються на осілих і кочових.

Осілий спосіб життя має свої біологічні переваги; на знайомій території тварини добре орієнтуються, витрачають менше часу на пошуки їжі, знаходять коротку дорогу до відомого укриття. Багато осілих видів створюють запаси їжі, будують додаткові гнізда та нори, що допомагає їм вижити. Наприклад, у білок є основне гніздо, де виводиться молодняк, і декілька додаткових, в яких вони ховаються від ворогів та негоди.

На чужій території поведінка тварин змінюється. Так, ховрахи відрізняються невпевненістю пересування, часто оглядаються, сховища знаходять випадково, тому частіше гинуть.

Але осілий спосіб життя таїть у собі загрозу швидкого виснаження ресурсів, якщо щільність популяції виявиться надто високою. Тому у осілих видів виробилися певні пристосувальні особливості поведінки, які забезпечують розмежування місць проживання між окремими особинами, сім'ями. Загальна площа поділена на окремі індивідуальні ділянки, чим досягається упорядкування території та її ресурсів.

Але незважаючи на територіальне відокремлення членів популяції, між ними підтримується зв'язок за допомогою різноманітних сигналів

та контактів. Територіальна поведінка тварин включає два види активності: 1) направлену на забезпечення власного існування і 2) на встановлення відносин із сусідніми особинами.

Закріплення ділянок досягається різними способами: 1) охороною меж своєї ділянки і прямою агресією до чужака; 2) особливим ритуалом, що демонструє погрозу; 3) системою спеціальних сигналів і поміток.

У територіальних конфліктах частіше перемагає господар території. Ховрашок кидається на другого, якщо той забрів на його територію і переслідує його до межі своєї території. Але якщо він, захопившись переслідуванням, попадає на ділянку сусіда, то ролі змінюються, і господар активно виганяє звірка, від якого щойно рятувався втечею сам.

Деякі тварини взагалі уникають конфліктів, обходячи чужі ділянки. Широко розвинена маркіровка, попереджувальні сигнали про зайнятість території. У птахів це сигналізація звуками. Ссавці частіше залишають запахові мітки: сечу, виділення спеціальних залоз, кал. Собачі, кошачі та лемури мітять свою територію сечею; антилопи залишають запах на кущах та нижніх гілках дерев; залози у них знаходяться біля очей. У соболів пахучий секрет виділяється на підшовах.

Ряд великих тварин залишають видимі мітки. Так, ведмеді та дикі коти залишають глибокі подряпини на деревах.

Охорона ділянки може здійснюватися не на всій території, а поблизу її біологічного центру – нори, гнізда тощо. В таких випадках частина простору ділянок може перекриватися сусідніми особинами і використовуватися спільно.

Часткове перекривання індивідуальних територій сприяє підтриманню контактів між членами популяцій. Сусідні особини часто підтримують стійкий взаємовигідний зв'язок – попередження про небезпеку, сумісний захист від ворогів тощо.

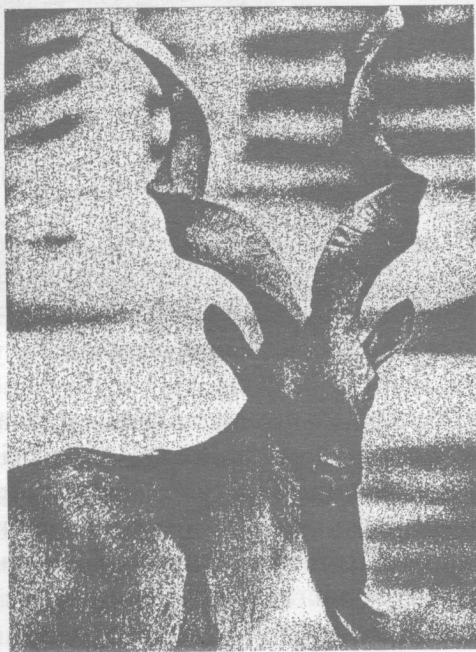
В стійких сімейних групах територіальні відношення між членами сім'ї можуть бути достатньо складними. Наприклад, тигри, яким властива полігамія, живуть сім'ями із 2-3 самиць і молодняку різного віку. Площа сімейної території визначається щільністю основних жертв: при 14-15 особин копитних на 1000 га територія сім'ї тигра становить 50 тис. га. Територія самиць менша – 10 тис. га. Самець періодично обходить усю територію по постійному маршруту, залишаючи па-

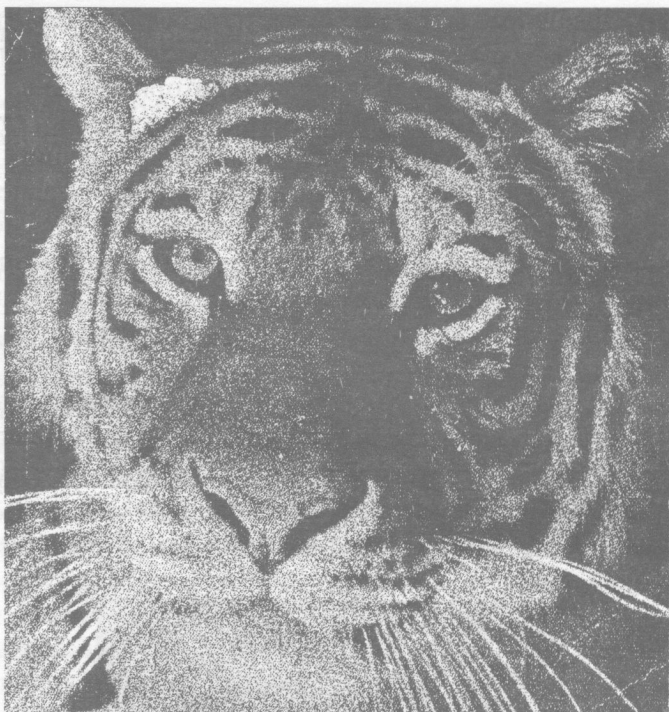
хучі мітки. Ділянки молодих тигрів частково перекриваються із територією самиці. У кожного члена сім'ї є улюблені місця для полювання. Через 3-5 років молодь залишає територію батьків.

В осілих видів є чотири основних типи просторової структури популяцій: дифузний, мозаїчний, пульсуючий і циклічний.

При дифузному тварини розподілені у просторі дисперсно, не утворюючи окремих поселень (піщанка, тушканчик). Мозаїчний тип розселення виникає у тому випадку, коли придатні біотопи розташовані у просторі різко нерівномірно (ховрах, хом'як). Пульсуючий тип характерний для популяцій з поперемінним використанням території протягом року (лемінги).

Переваги кочового способу життя у тому, що тварини не залежать від запасів корму на конкретній території. Цей спосіб не властивий поодиноким тваринам; кочують групи: стаї, табуни, зграї. Індивідуальні ділянки окремих тварин у кочуючих стадах відсутні, але між ними підтримується певна середня відстань, при якій особини не заважають одна одній.



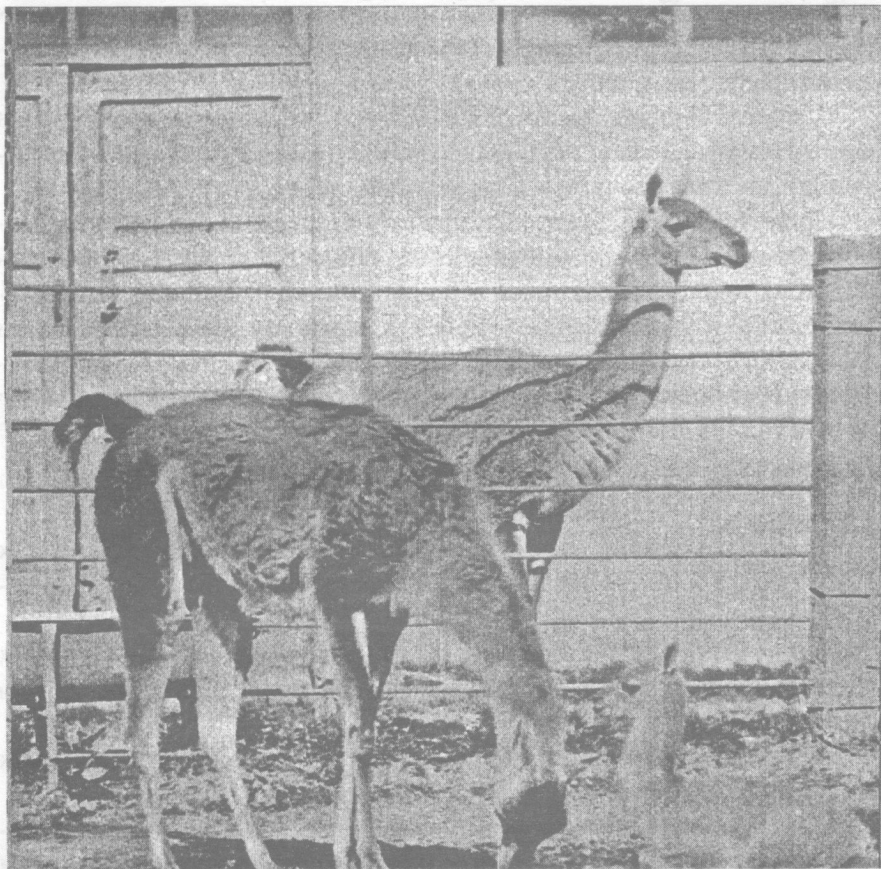


Пересування багатьох видів обмежені певною територією. Так, табуни зебр кочують у сухий сезон на площі 400-600 кв. км, а у вологий – 300-400 кв. км.

У кочівних видів можливе також відокремлення осілих популяцій, або перехід до тимчасового осілого існування. Таймирські стада північних оленів здійснюють міграції понад 1000 км, але окремі групи залишаються на місцях літнього нагулу на північному Таймирі.

Отже, прояви територіальних взаємовідносин тварин можна розташувати у ряд зростання складності. Найпростіша просторова структура популяцій – система ділянок, які не перекриваються і охороняються (осілі тварини); складніша – система територій, що перекриваються і при якій посилюються внутрішньовидові контакти. Нарешті – групове використання ділянок можливе лише на основі суворо упорядкованих відношень всередині групи.

Вікова структура популяцій



В організмів у процесі онтогенезу (з віком) дуже сильно змінюються і потреби, і стійкість до факторів середовища. Інколи екологічна різниця в межах виду більша, ніж міжвидова. Гусениці, що їдять листя, і крилаті метелики, які сосуть нектар рослин, трав'яні жаби на суші і їх пуголовки у водоймах – це лише різні онтогенетичні стадії одного і того ж виду. Окремі функції виконуються деколи на певній стадії онтогенезу. Наприклад, багато комах із повним перетворенням не харчуються в імагінальному стані. Ріст і харчування здійснюється на личиночній стадії, а дорослі особини виконують лише функції розмноження і розселення.

Вікові відмінності в популяції суттєво посилюють опір середовищу і стійкість виду. При сильних відхиленнях умов від норми в популяціях зберігається якась частина життєздатних особин; популяція може продовжити своє існування.

Отже, вікова структура популяцій має пристосувальний характер, вона формується на базі біологічних властивостей виду і відображає силу впливу факторів оточуючого середовища.

У рослин вікова структура популяції конкретного фітоценозу (ценопопуляція) визначається співвідношенням вікових груп. Календарний вік рослини і її віковий стан – далеко не одне і те ж. Віковий стан особи – це етап її онтогенезу, який характеризується певним відношенням до середовища. Повний онтогенез включає всі етапи розвитку від виникнення зародку до смерті, або до повного відмирання вегетативного потомства. Охарактеризуємо окремі етапи.

Проростки мають змішане живлення за рахунок поживних речовин насіння і власного фотосинтезу.

Ювенільні рослини переходять до самостійного живлення. У них відсутні сім'ядолі, але організація ще проста: одноосність, дрібніші листки.

Іматурні рослини – це перехідний етап від ювенільних до дорослих вегетативних; починається розгалуження, що приводить до збільшення фотосинтетичного апарату.

Дорослі вегетативні рослини мають риси, типові для виду, але у них відсутні репродуктивні органи.

Молоді генеративні рослини зацвітають, утворюють плоди, остаточно формуються дорослі структури. В окремі роки можуть бути перерви у цвітінні.

Середньовікові генеративні рослини досягають найбільшої могутності, мають найбільший щорічний приріст і насінневу продуктивність; теж можуть мати перерву у цвітінні. Виникають клони.

Старі генеративні рослини характеризуються різким зменшенням репродуктивної функції, ослабленням пагоно- і коренеутворенням. Процеси відмирання починають переважати над процесами новоутворення.

Старі вегетативні рослини (субсенільні) – припиняється плодо-

носність, посилюються деструктивні процеси, ослаблюються зв'язки між пагонами і кореневими системами, спрощуються життєві форми.

Сенільні рослини характеризуються остаточною дряхлістю, зменшенням розмірів; реалізується мало бруньок, вторинно з'являються ювенільні риси.

Відмираючі особини – крайній ступінь сенільного стану, у рослини залишаються живими лише деякі тканини.

Розподіл особин ценопопуляції по вікових групах називається її *віковим спектром*. Для визначення кількості окремих груп застосовують різні рахункові одиниці. Такими одиницями можуть бути кількість особин, якщо протягом всього онтогенезу вони залишаються відокремленими просторово (однорічники, стержневокореневі), парціальні пагони або кущі (у кореневопаросткових, кореневищних), компактні клони (у щільнодерновинних злаків), кількість насіння в ґрунті тощо.

Якщо у віковому спектрі в момент спостереження представлено тільки насіння, або молоді особини, популяцію називають *інвазійною*; її існування залежить від надходження зачатків іззовні. Якщо ценопопуляція представлена усіма віковими групами, вона називається *нормальною*. Нормальна популяція, яка складається із особин усіх вікових груп, називається *повночленною*, а якщо особини якої-небудь групи тимчасово відсутні – *нормальною неповночленною*.

Регресивна ценопопуляція представлена тільки сенільними, субсенільними і старими генеративними групами, які не утворюють схожого насіння; вона не здатна до самопідтримання.

Різні розміри рослин відображають різну життєвість у кожній віковій групі. Рослини високого рівня життєздатності нерідко проходять усі вікові етапи прискорено. В популяціях переважають рослини середнього рівня життєздатності. Рослини низького життєвого рівня мають скорочений онтогенез і часто переходять у сенільний стан, ледве приступивши до цвітіння. Деякі лугові, степові, лісові види при вирощуванні на кращому агротехнічному фоні (в розсадниках, наприклад) скорочують свій онтогенез: грястиця збірна – з 20-25 років до 4, горицвіт весняний – з 10-15 до 2 років. В інших же видів (кмин) в кращих умовах онтогенез подовжується.

У деяких видів за несприятливих умов окремі вікові етапи випадають. Можливість змінювати шлях онтогенезу забезпечує адаптацію до мінливих умов середовища і розширює екологічну нішу виду.

У деяких видів протягом всього ареалу в широкому діапазоні умов нормальні популяції зберігають основні риси вікової структури (ясен, типчак). Такий віковий спектр залежить від біологічних властивостей виду і називається *базовим*.

Вікова структура популяцій у тварин залежить від особливостей розмноження виду. Якщо усі особини приблизно одного віку і одночасно проходять життєві цикли, то члени популяції належать до однієї генерації (сарана, дубова листовертка і види з однорічним циклом розвитку, що розмножуються один раз в житті).

Терміни розмноження і проходження окремих вікових стадій, як правило, приурочені до певного сезону року. Чисельність таких популяцій нестійка: сильні відхилення умов від оптимума діють одночасно на всю популяцію, обумовлюючи значну смертність.

Види з одночасним існуванням різних генерацій можна розділити на дві групи: ті, що розмножуються один раз в житті і ті, що розмножуються багатократно.

У майських хрущів, наприклад, самиці після відкладання яєць незабаром гинуть (весною). Личинки розвиваються в ґрунті і окукляються на четвертий рік. Одночасно в популяції присутні представники чотирьох генерацій. Щорічно завершує свій життєвий цикл одна генерація і з'являється нова. Вікові групи в таких популяціях розділяються чітким інтервалом.

У видів з одноразовим розмноженням і коротким життєвим циклом протягом року змінюється декілька поколінь. Одночасне існування різних генерацій обумовлено розтягнутістю відкладання яєць, росту і статевого дозрівання окремих особин. Це відбувається як під впливом спадкової неоднорідності членів популяції, так і під впливом умов середовища.

Ще складніша вікова структура популяцій у видів з повторним розмноженням. При цьому можливі дві крайні ситуації: 1) тривалість життя у дорослому стані невелика; 2) дорослі живуть довго і розмножуються багаторазово. У першому випадку щорічно змінюється частина популяції. Її чисельність нестійка і може змінюватися в окремі роки, сприятливі, чи несприятливі для наступного покоління. Вікова структура популяції сильно варіює.

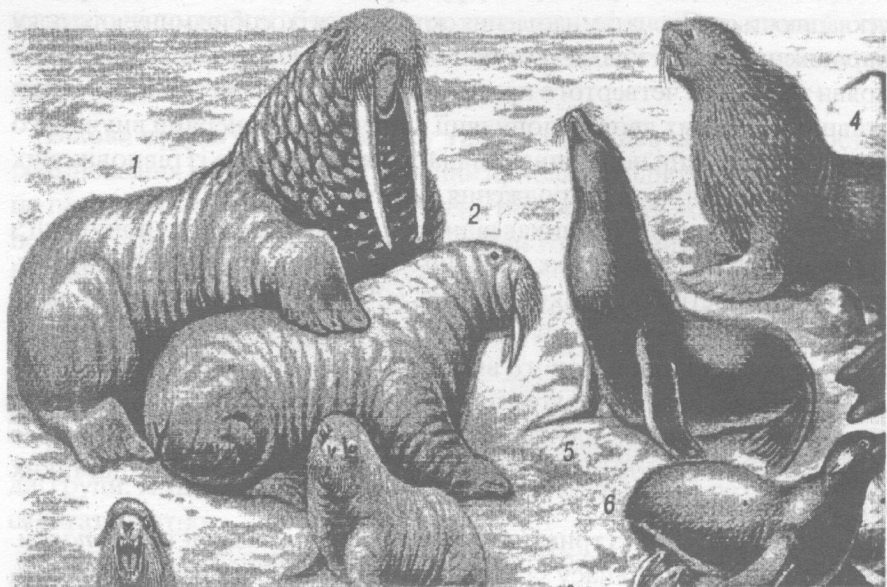
У польовки-економки вікова структура популяції за літо поступово ускладнюється. Спочатку населення складається із особин минулого року народження, потім з'являється молодь першого і другого послідів. До появи третього і четвертого приплодів настає статева зрілість у представників перших двох і в популяції вливаються генерації внучатого покоління. Восени популяція складається переважно із рівновікових особин поточного року народження, бо старші гинуть.

У другому випадку виникає відносно стійка структура популяції з тривалим існуванням різних поколінь. Так, індійські слони досягають статевої зрілості у 8-12 років і живуть 60-70 років. Самиця народжує одного (рідше – двох) слоненят один раз на чотири роки. У стаді, як правило, дорослі тварини різного віку складають близько 80%, молоді – 20%. У видів із більш високою плодовитістю співвідношення вікових груп може бути іншим, але загальна структура популяції залишається завжди достатньо складною. Коливання чисельності популяцій таких видів невелике.

Частина популяції з тривалим розмноженням називається *запасом*. Від розмірів такого запасу залежить можливість відновлення чисельності. У видів з одночасним існуванням тільки однієї генерації запас практично дорівнює нулю і розмноження здійснюється виключно за рахунок поповнення. Види зі складною віковою структурою характеризуються значним запасом і невеликою, але стабільною часткою поповнення.

При експлуатації людиною природних популяцій тварин врахування їх вікової структури має дуже важливе значення. У видів з великим щорічним поповненням можна вилучати більш значну частину популяції без загрози підірвати її чисельність. Якщо ж знищити багато дорослих в популяції із складною віковою структурою, то це сильно уповільнить її відновлення. Так, у горбуші, яка дозріває на другий рік життя, можна виловити до 60% особин, що нерестяться, без загрози зменшення чисельності популяції. А для кети, яка дозріває значно пізніше і має складну вікову структуру популяції, норма вилову із статевозрілого стада повинна бути значно менша.

Аналіз вікової структури популяцій допомагає прогнозувати чисельність популяції на протязі життя ряду найближчих поколінь. Такі аналізи широко застосовують у рибному господарстві.



Статева структура популяцій

Співвідношення особин по статі і особливо частка самиць, що розмножуються, в популяції має велике значення. Пов'язані із статтю ознаки визначають різницю у фізіології, екології та поведінці самців і самиць. Екологічні та поведінкові відмінності між особинами чоловічої і жіночої статі можуть бути сильно виражені. Наприклад, самці комарів родини *Culicidae* на відміну від кровососучих самиць в імагінальний період або зовсім не живляться, або обмежуються злизуванням роси, або ж споживають нектар рослин. Крім того, вони відрізняються темпами росту, терміном статевого дозрівання, стійкістю до зміни температури, голодування тощо.

Різниця у смертності проявляється ще в ембріональному періоді. Так, в ондатр в багатьох районах серед новонароджених у півтора рази більше самиць, ніж самців. У популяціях пінгвінів *Megadyptes antipodes* при виході пташенят із яєць на кожні два

самці залишається лише одна самиця. У деяких кажанів частка самиць у популяції після зимової сплячки знижується на 20%. Фазани, дрозди, великі синиці відрізняються навпаки більш високою смертністю самців. Отже, співвідношення статей в популяції встановлюється не тільки генетичними законами, але й під впливом середовища.

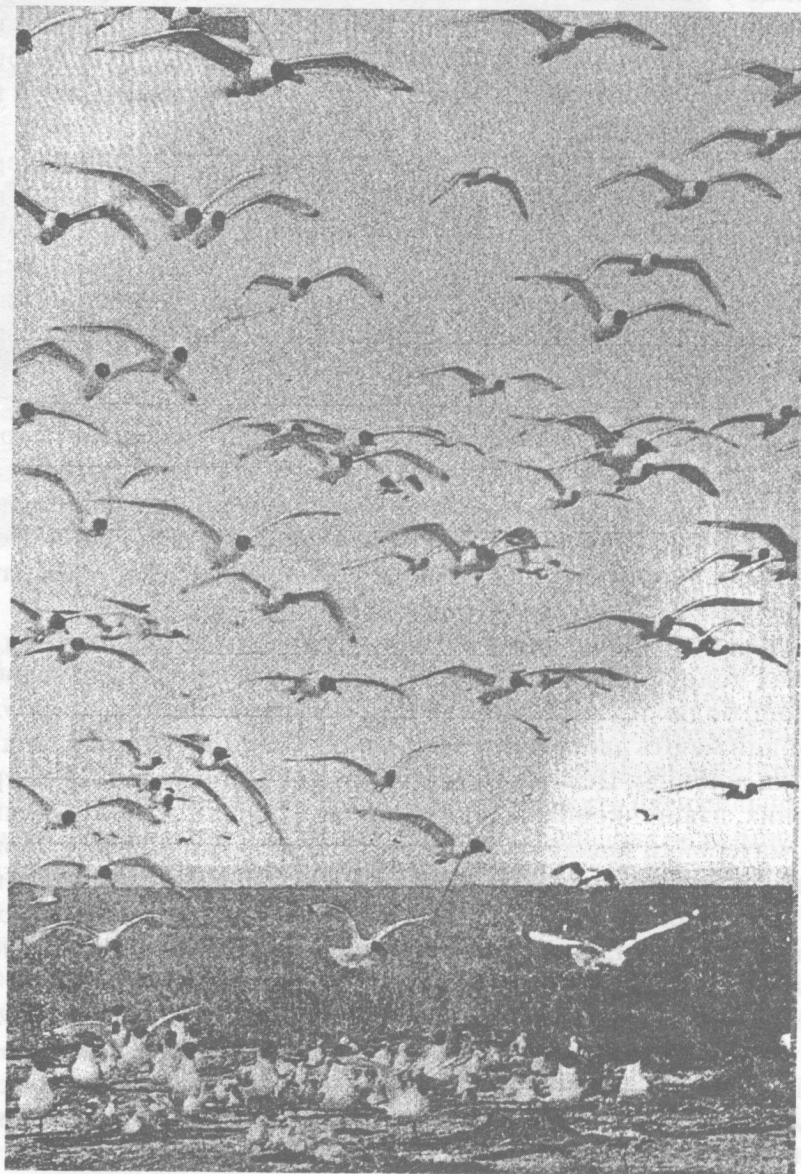
У рудих лісових мурашок із яєць, відкладених при температурі нижче +20 градусів, розвиваються самці, а при більш високій – виключно самиці. Механізм цього явища у тому, що м'язи сім'яприймача, де зберігається після копуляції сперма, активізуються лише при високих температурах, забезпечуючи запліднення яєць. Із незапліднених яєць у перетинчастокрилих розвиваються лиш самці.

Особливо чітко проявляється вплив умов середовища на статеву структуру популяцій у видів з чергуванням статевого і партеногенетичного поколінь. Дафнії, наприклад, при оптимальній температурі розмножуються партеногенетично, а при підвищеній чи пониженій в популяціях з'являються самці. На появу статевого покоління у попелиць можуть впливати довжина дня, температура, збільшення щільності та ін.

Серед покритонасінних рослин зустрічаються дводомні види, у яких чоловічі і жіночі особини просторово розділені (верби, тополі, бодяк тощо). Є види і з жіночою дводомністю, коли одні особини мають двостатеві квіти, а інші – жіночі. Андростерильні квітки дрібніші. Це явище зустрічається у видів родин глухокропивних, дзвіночкових та ін. У чабреця Маршалла, м'яти польової, материнки звичайної характерна жіноча дводомність. Популяції таких видів неоднорідні. У них спостерігається протерандрія – більш раннє дозрівання тичинок порівняно з маточкою. В межах ареалу видів статева структура популяцій відносно постійна, але зміна умов змінює і співвідношення статей.

У деяких видів стать визначається взагалі не генетично, а екологічними факторами. Так, у рослин *Argemone japonica* стать визначається накопиченням запасів поживних речовин у бульбах. Із крупних бульб виростають екземпляри з жіночими квітками, із дрібних з чоловічими.

Етологічна структура популяції



Усі живі організми характеризуються різноманітною поведінкою; кожному виду властиві свої особливості поведінки, які залежать від структури популяції, структури угруповань і екосистем. Ці особливості закладені генетично, але залежать і від багатьох конкретних факторів і їх сполучень. Вивченням поведінки організмів займається спеціальна наука – *етологія*.

Систему взаємовідносин між членами однієї популяції можна визначити як етологічну характеристику популяції. Вона залежить перш за все від просторової структури і типу агрегації членів популяції. Форми взаємовідносин між членами різних популяцій надзвичайно різноманітні. Наведемо декілька найбільш показових прикладів.

При поодинокому способі життя, який зустрічається у багатьох видів на певній стадії життєвого циклу, контакти між особинами послаблені і в деяких випадках зведені до мінімуму. Але повне поодиноке існування організмів у природі не зустрічається, бо тоді було б неможливим розмноження – основна життєва функція.

У водних мешканців із зовнішнім способом запліднення (одиначні активні) немає необхідності у безпосередній зустрічі особин протилежної статі. У деяких видів із внутрішнім заплідненням зустрічі самців і самиць можуть бути дуже короткочасними – лише для копуляції (жук-сонечко).

У видів цього способу життя часто утворюються тимчасові скупчення у період перед розмноженням, в місцях зимівок тощо. Наприклад, соми і шуки збираються купами в зимувальних ямах. У бентосних тварин такі скупчення можуть бути постійними – мідієві та устричні банки, поселення морських жолудів і т.п. У цих скупченнях збільшується можливість запліднення статевими продуктами, що викидаються у воду, але кожен із членів таких агрегацій відносно незалежний один від одного.

Подальше ускладнення взаємовідносин відбувається у напрямках посилення контактів між статевими партнерами і батьківським та дочірнім поколіннями. Батьківські пари можуть складатися на короткий, довгий час, а у деяких видів – на все життя. Наприклад, полігамні глухарі спарюються із багатьма самицями, не утворюючи стійких сімей.

У багатьох видів качок пари підбираються ще в місцях зимівок чи під час перельотів, але після того, як самиця сідає на гніздо, самець її покидає. У більшості горобиних самець і самиця тримаються разом весь пе-

ріод гніздування. Сімейні пари голубів, лебедів, журавлів створюються на довгі роки.

Вибір партнерів у тварин різних видів супроводжується особливою шлюбною поведінкою, часто дуже складною.

Так, у деяких всеїдних павуків самець після запліднення самиці стає її жертвою; у бігаючих *Lycosidae* самець рятується втечею; у більшості стрибунчиків самець і самиця після запліднення розходяться спокійно, а у видів родини *Dictinidae* вони деякий час уживаються в гнізді. Широко відоме «залицання» у птахів і ссавців стимулює у партнерів готовність до спарювання.

Вибір партнерів деколи супроводжується посиленням конкурентних відносин в популяціях. Перед розмноженням у багатьох видів виникають бійки самців, ритуальні демонстрації, направлені на усунення конкурентів. Ці сутички рідко призводять до серйозних ушкоджень супротивників. У риб, наприклад, в таких сутичках переважає ритуал погрози.

Таким чином, у тварин період перед розмноженням характеризується активним пошуком і посиленням контактів між особинами (мал. 13).

При сімейному способі життя посилюються контакти між батьками і їх потомством. Найпростіший вид такого зв'язку – догляд за відкладеними яйцями – охорона кладки, інкубація і т.п. Так, серед амфібій амбістома відкладає яйця у вологі ямки і залишається їх стерегти. Самиця саламандри обгортає кладку своїм тілом і не залишає її до викльовування личинок. У птахів догляд за пташенятами триває до підняття їх на крило. У других ссавців (ведмідь, тигр) малеча виховується в сімейних групах декілька років до статевої зрілості. Розрізняють сім'ї материнського, батьківського і змішаного типів в залежності від того, хто з батьків бере на себе догляд за потомством. Більші групові поселення осілих тварин – колонії – можуть виникати на період розмноження (чайки, гагари), або існувати тривалий час. В більш простих колоніях взаємовідносини між членами зведені до стимуляції синхронного статевого дозрівання хімічними виділеннями. Більш складна форма колонії – коли деякі функції життя виконуються сумісно, як захист від ворогів та попереджувальна сигналізація. Чайки, кайри, ластівки з галасом накидаються на хижака, що погрожує кладкам та пташенятам. Спільно вони можуть проганяти навіть великих хижаків, з якими б не впоралися поодиночі, - сов, пеліканів та ін.



Мал.12. Колонія бухарських підковоносів

В колоніальних поселеннях у птахів часто зберігаються індивідуальні гніздові ділянки. У сріблястих чайок між гніздами зберігається відстань у 3-5 м. Ткачики *Philacterus socius* будують на деревах велике спільне гніздо із трави з численними отворами для індивідуальних гніздових порожнин. Південноамериканські зозулі-личинкоїди будують спільні гнізда, в які десяток самиць відкладають яйця. Тому кладку висиджує декілька птиць, які змінюються іншими.

Серед ссавців — колоніальні сурки, пищухи, вискалі (мал. 12). Колонії у них виникають не як територіальні об'єднання різних сімей, а на основі розростання сімейних груп.

Найбільш складні колонії у суспільних комах - термітів, мурах та бджіл. Вони виникають на базі сильно розростаючої сім'ї. Члени таких колоній спільно виконують різні функції. При цьому існує обов'язковий розподіл праці і спеціалізація окремих груп і особин.

Члени колоній діють на основі постійного обміну інформацією. У рудих лісових мурах колонії можуть займати одне, або декілька гнізд, зв'язаних між собою системою доріг. Самці виконують функцію тільки запліднення самиць, після чого гинуть. Самиці спочатку здійснюють розселення, а потім засновують нову сім'ю і виховують перше потомство. Після цього вони спеціалізуються тільки на виробництві яєць, а іншу роботу в мурашнику виконують робочі - особлива каста, яка представлена безплідними зміненими самицями. Окремі групи забезпечують збирання будівельного матеріалу, полювання, розвідку, догляд за попелицями, транспортування здобичі, обмін між гніздами молоддю тощо. Окрім того, у робочих мурашок існує і вікова зміна функцій. Так, протягом 1,5 місяців вони працюють усередині гнізда, доглядають за молоддю, а пізніше стають розвідниками, будівниками, фуражирами.

Між особинами однієї колонії постійно здійснюється обмін їжею. Вони годують один одного вмістом зобика, шлунка, виділеннями різних залоз. Це явище називають трофаллаксісом. Цим ще більше підтримується єдність сім'ї.

У суспільному житті мурах важливе значення відіграє система сигналізації: позами, рухами, вусиками, виділеннями тощо.

Взагалі вивчення соціумів мурах представляє собою цікавий предмет спеціальної науки - формікології. Деяким дослідникам вдалося виявити в сім'ях мурах навіть злодіїв і жебраків.

Особливо складні форми колоніальності розвиваються у видів із вегетативним розмноженням. Так, у поліпів вся колонія поводить себе як єдиний організм. У сифоноформ стирається різниця між колонією і окремим організмом. Утворення таких колоній-організмів відбувається на базі єдиного метаболізму.

Біологічно корисну дію проявляє і організація тварин, які являють собою тимчасові об'єднання - зграї. Ці об'єднання також полегшують

виконання певних функцій - захист від ворогів, добування їжі, міграція. Цей тип агрегації найбільш характерний для риб і птахів; у ссавців зграї характерні лише собачим.

Зграї поділяються на дві категорії за способом координації дій: 1) еквіпотенцій - без вираженого домінування окремих членів і 2) зграї з лідерами. Об'єднання першого типу характерні для риб. Другий тип зустрічається у великих птахів і ссавців.

Зграї птахів різноманітні за величиною, формою, кількістю. Частіше риби групуються лиш в світлий час доби. Захисна роль об'єднань риб дуже велика. Поодинокі риби виловлюються хижаками набагато частіше, ніж члени зграї. Чисельність рухомих особин дезорієнтує хижака. Для поведінки риб у зграї характерний імітаційний рефлекс - наслідування дій сусідів.

У птахів зграї формуються при сезонних перельотах, або при зимо-



вому харчуванні. При перельотах зграї формують ті види, яким властиве колоніальне гніздування, або колективне харчування. Види, що гніздяться поодинокі, зграй у польоті не утворюють.

У зграях осілих птахів існує постійна сигналізація і зоровий зв'язок

Мал. 13. Вінценосний голуб

Завдяки ним птахи використовують весь досвід по виявленню сприятливих місць для харчування, відпочинку.

Вовчі зграї виникають для групового полювання взимку. Спільно вони можуть упоратися із крупними тваринами. Вони часто використовують стратегію, що характеризується високою ефективністю: погоня, захват, засідка тощо. Це характерно для гієн, койотів та інших собачих. У зграях ссавців велика роль вожаків і дуже специфічні відношення між окремими особинами.

Стада - це більш тривалі об'єднання тварин. Основу групового об'єднання у стадах складають взаємовідносини домінування-підлягання. Стадо діє як єдине ціле, наслідуючи лідеру. Лідером стає найдосвідченіший член стада. У стадах північних оленів (мал. 14) 18-20% тварин є потенційними лідерами, вони найбільш досвідчені і мають переконливі особливості вищої нервової системи. В інших тварин лідери можуть ібути постійними.



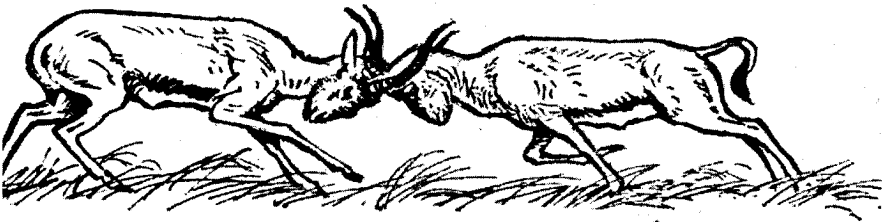
Мал. 14. Стадо північних оленів слідує за лідером

У великих стад виділяються сімейні, або вікові групи, найбільш близькі між собою.

Найбільш складна організація у зграях з вожаком, а не з лідером. Вожак характеризується поведінкою, направленою на активне керівництво стадом. У структурі стада мають значення вік, фізична сила, досвід, стійкість нервової системи. Тварини, найбільш підпорядковані за своїми яко-

стями - безправні у групі, вони підходять до їжі останніми, їх не допускають до самиць тощо. У павлинів, наприклад, самці домінують над самицями, а ті - над малечю. Одним із варіантів ієрархії може бути деспотія - домінування однієї тварини над усіма членами групи.

Біологічний сенс домінування полягає у створенні узгодженої поведінки групи, вигідної для всіх членів. За несприятливих умов гинуть першими найслабкіші члени групи, але під її захистом вони мають все ж більше шансів вижити. Та ієрархія у групах динамічна: з віком відбувається перебудова рангів - старі гинуть, з'являється молодь, більш сильна. Такому переходу у новий ранг передують ритуальний двобій, після чого закріплюється нове положення.

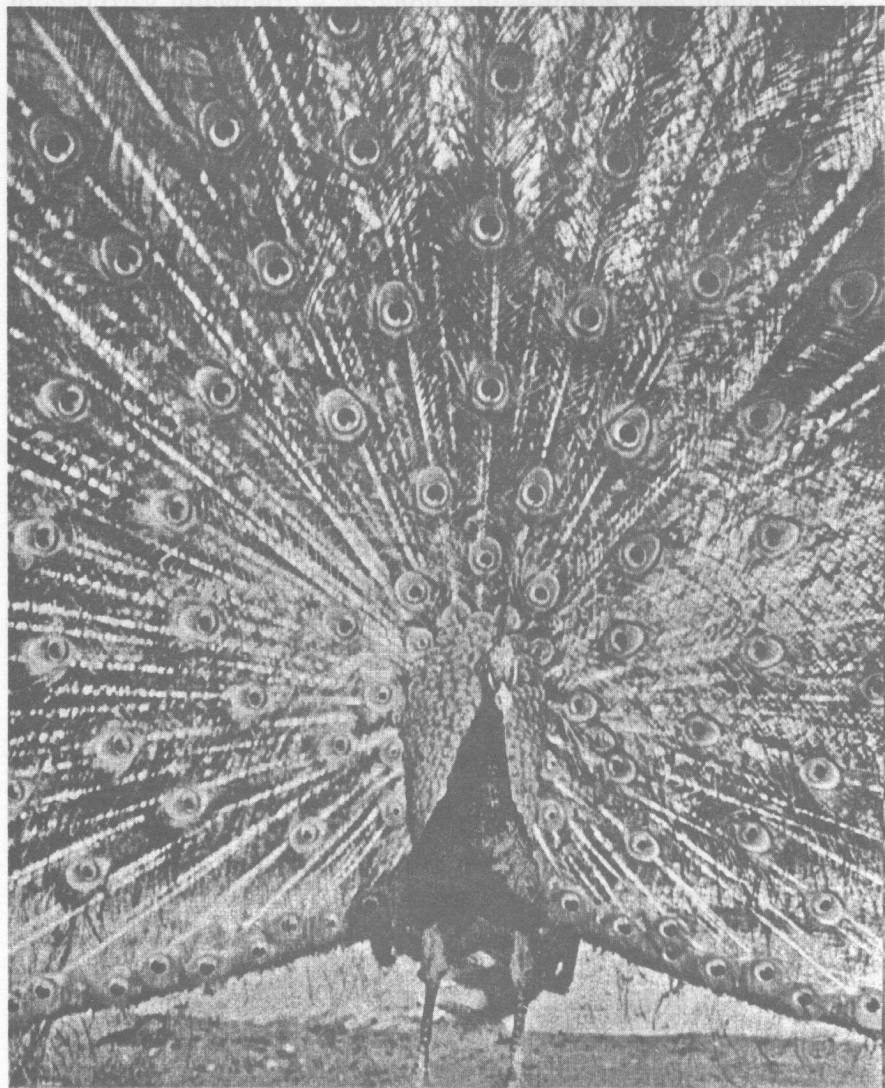


Встановлення ієрархії супроводжується змінами у гормональній системі органів. У самців, наприклад, виникає гіпертрофія наднирків. Це стає в основі поведінки.

Оптимізація фізіологічних процесів при сумісному існуванні одержала назву ефект-групи. Так, у овець поза стадом прискорюється пульс і дихання, а у стаді ці процеси нормалізуються. Економія енергетичних витрат виявлена у риб, комах при агрегаціях у групи. Ефект групи виявляється у прискоренні темпів росту, підвищенні плодовитості, підвищенні середньої тривалості життя індивідуумів тощо. Так, голуби деяких порід не відкладають яйця, якщо не бачать інших птахів. Кайри при невеликій чисельності починають розмноження тільки тоді, коли колонія збільшується навіть за рахунок інших видів - чистиків, тупиків, моївок тощо.

Але ефект групи не проявляється у видів, що ведуть поодинокий спосіб життя. При створенні групового способу у них багато процесів відхиляються від норми. Наприклад, у вухастих їжаків у групі підвищується споживання кисню на 134%.

Ефект групи проявляється лише до певного рівня щільності популяції. Перш за все це погрожує наявністю і достатку ресурсів. Тоді вступають у силу механічні регуляції чисельності - розподіл, падіння народжуваності і т. інше. В цьому проявляється гомеостаз популяцій.



Щільність популяції та швидкість росту

Щільність популяції - це число особин, або біомаса на одиницю площі, або об'єму (200 дерев на 1 га, 10 мільярдів бактерій в 1 см³ ґрунту). Біологія стає екологією, коли ставляться питання: «які» та «скільки». Так, одна вівця, що пасеться на полях господарства, не приведе до серйозних змін урожаю, а ось отара у 1000 овець - це вже інша справа!

Щільність популяції мінлива, але існують верхня та нижня межі розмірів популяції, які дотримуються в природі. Так, у лісі можуть жити в середньому 100 птахів на 1 га та 20000 ґрунтових членистоногих на 1 м², але ніколи не буває 20000 птахів на 1 м² та всього 10 членистоногих на 1 га лісу. Щільність популяції визначається продуктивністю, трофічним рівнем та інтенсивністю метаболізму організмів популяції; щільність популяції в екосистемах підтримується механізмами гомеостазу.

Миттєву швидкість зміни щільності популяції позначають як dN/dt (d - диференціал).

Народжуваність - здатність популяції до зростання. Максимальна народжуваність - утворення теоретично можливої максимальної кількості нових особин в ідеальних умовах при відсутності лімітуючих факторів. Для конкретної популяції це величина постійна.

Екологічна народжуваність - це збільшення популяції в специфічних умовах середовища. Ця величина залежить від розмірів популяції та умов середовища проживання.

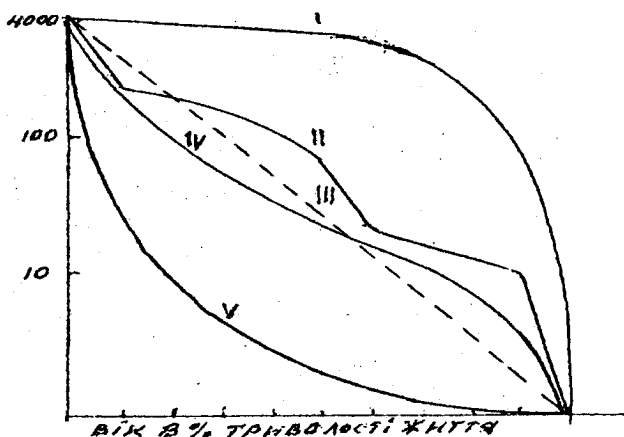
Абсолютна народжуваність - це швидкість, або кількість заново утворених особин за одиницю часу.

Специфічна народжуваність - це число нових особин за одиницю часу на одиницю популяції.

Швидкість росту популяції може бути і позитивна, і негативна, бо є наслідки і народжуваності, і смертності, і вселення, і виселення. Народжуваність же може бути нульовою і позитивною, але ніколи - від'ємною.

Смертність характеризує загибель особин в популяції. Існує також теоретично мінімальна і екологічна смертність (постійна величина).

Фізіологічна тривалість життя в оптимальних умовах (теоретична) звичайно набагато перевищує екологічну тривалість.



Мал. 15. Різні типи кривих виживання. По осі ординат — число виживших особин (на 1000). I випукла; — загибель в основному в кінці життя.

II — зміна виживання в залежності від стадії онтогенезу.

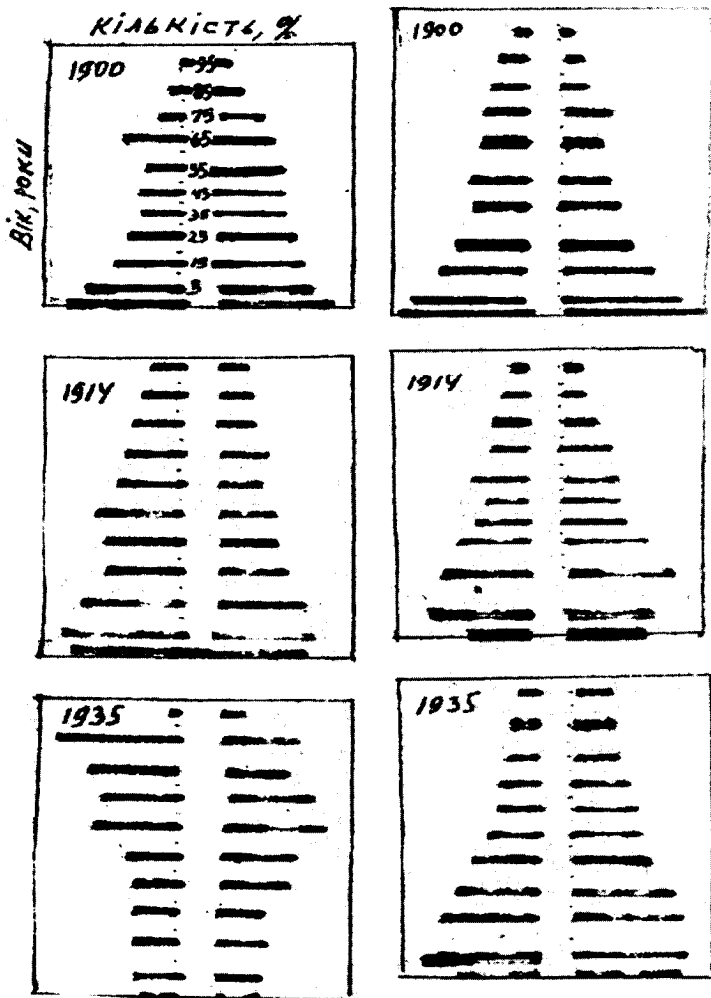
III — теоретична крива (пряма) — виживання постійне для різного віку.

IV — S-видна крива (близька до III). V — смертність дуже висока на ранніх стадіях.

Виживання - поняття, що також має екологічний інтерес; якщо смертність позначають буквою М, то виживання дорівнює 1-М.

Якщо по вісі абсцис відкласти роки, а по вісі ординат дані по виживанню окремих вікових груп особин певної популяції, ми отримаємо графічну картину типу виживання, що характеризує популяцію: мал. 15.

Вікова структура популяції - важлива характеристика популяції, бо вона впливає і на народжуваність, і на смертність, і на виживання. Для кожної популяції характерна стабільна вікова структура, до якої завжди направлений розвиток її фактичної (у певний момент) вікової структури. Будь-які зміни у народжуваності і смертності після досягнення популяцією стабільної структури недовговічні і завжди настає повернення до стабільного стану. Наприклад, коли внаслідок незвичайно високого збереження ікри і виживання мальків однорічної особини складають надзвичайно велику частину популяції, то протягом ряду наступних років розмноження подавляється.



Мал. 16. Вікові піраміди популяції людини.

Піраміди зліва відносяться до регіону з несприятливими умовами; у піраміди, що характеризує вікову структуру на 1935 рік, відмічається розширення в верхній частині. Піраміди справа відносяться до місцевості з більш сприятливими умовами.

Чисельність кожної вікової групи дається у відсотках від загальної величини популяції. Число чоловіків на кожній діаграмі наведено зліва, число жінок — справа.

Дарлінг (1951) наводить вікові піраміди популяцій людини в двох місцевостях Шотландії. У 1961 р. обидві популяції були молодими, могутніми, піраміди конусовидні. У 1901 р. піраміди характерні для стаціонарних популяцій. А в 1935 р. на діаграмі однієї із популяцій відмічено розширення у верхній частині (мало дітей, багато старих). Це був результат погіршення умов існування (мал. 16).

Коли середовище не проявляє обмежуючого впливу, специфічна швидкість росту (швидкість росту популяції на особину) для даного району постійна та максимальна і є єдиним показником спадкової здатності популяції до росту. Її можна позначити буквою r , тоді $dN/dt = rN$.

Інтегруємо і отримуємо експоненціальну залежність: $N_t = N_0 e^{rt}$, де N_0 - чисельність у нульовий час ($t = 0$), N_t - чисельність у момент часу t , e - основа натуральних логарифмів.

Логарифмуємо обидві частини рівняння і отримуємо:

$$\text{Ln}N_t = \text{Ln}N_0 + rt; \quad r = \frac{\text{Ln}N_t - \text{Ln}N_0}{t}$$

З цього виразу можна одержати показник r за даними двох замірів N у $t = 0$ та в інший час t . Створивши оптимальні умови, ми можемо розрахувати різницю між r і фактичною швидкістю росту і отримаємо міру опору середовища. Вона характеризує суму всіх лімітуючих факторів середовища, що перешкоджають реалізації біологічного потенціалу.

Виділяють різні типи росту популяцій, та слід відмітити два основних. Перший описується експоненціальним рівнянням:

$$dN/dt = rN \quad \text{з певною межею для } N.$$

Графічно він виражається J - видною кривою: щільність популяції швидко збільшується, але потім, коли починається опір середовища, ріст популяції раптом припиняється.

Другий тип росту описується S-видною кривою: спочатку ріст іде повільно (фаза позитивного прискорення), потім швидше (фаза логарифмічного росту), потім ріст уповільнюється під впливом опору середовища. Цей тип росту описується простим логістичним рівнянням:

$$dN/dt = rN(K-N)/K,$$

де K - межа росту.

Логістичний ріст характерний для дрібних організмів, організмів

з простим життєвим циклом та для крупних організмів при занесенні їх в нове середовище.

Коли популяції перестають рости, щільність популяції виявляє тенденцію до флуктуацій. Флуктуації та вибухи чисельності, обумовлені змінами фізичного середовища, нерегулярні і пов'язані з лімітуючими факторами. Регулярні лише в цьому випадку сезонні зміни. Другий же тип флуктуацій пов'язаний з внутрішньопопуляційними взаємодіями, або відбувається внаслідок взаємодії з сусідніми популяціями. Вони настільки регулярні, що називаються циклічними. Так, відомі 9-10 та 3-4-річні цикли у ссавців (9-10-річні у зайця, рисі; 3-4-річні у песця, лемінгів та інших мишиних і їх хижаків - білої сови, лисиці). Проблема циклічних осциляцій поки що знаходиться на стадії вивчення, але, мабуть, обумовлена закономірностями випадкового розподілу чисел.

М.Бігон із співавторами пропонує (1989) модель росту популяції, обмеженого внутрішньовидовою конкуренцією, у вигляді рівняння:

$$N_{t+1} = N_t R / (1 + aN_t),$$

де R - чиста швидкість відтворення, яка заміняється на фактично чисту швидкість $R / (1 + aN_t)$, яка зменшується з ростом чисельності популяції (N_t); K - гранична насиченість, коли $N_t / N_{t+1} = 1$; $a = (R - 1) / K$.

Смітом і Слаткіном (Maynard Smith, Slatkin, 1973) запропонована більш загальна модель, згідно з якою $N_{t+1} = N_t R / 1 + (aN_t)^b$, де b - показник, що визначає тип залежності від щільності: при $b < 1$ - неповна компенсація, $b = 1$ - точна компенсація, $b > 1$ - надкомпенсація, $b = 0$ - відсутність залежності від щільності.

Вікова структура і швидкість росту популяції

Для визначення динаміки росту популяції важливо знати не тільки показники повікової смертності, а й показники повікової репродуктивності. Візьмемо гіпотетичний приклад тварини, що починає розмножуватися на третьому році життя і що живе не більше 10 років (табл. 3). У першій графі запишемо вік (x); у другій - частку особин, що дожили до даного віку від початкової чисельності когорти (L_x), в третій - середнє число потомків у особин даного віку з розрахунку на одну батьківську особину (m_x), у четвертій - добуток частки особин, що дожили, на середню їх плодовитість ($L_x m_x$). Сума останніх

величин по всьому стовпцю R_0 – величина чистої швидкості відтворення. Вона показує, у скільки разів збільшується популяція за одне покоління. Якщо $R_0 = 1$, то популяція стаціонарна - її чисельність зберігається постійною, оскільки кожне наступне покоління в точності заміщає попереднє. В демографії застосовують окремі таблиці для жінок і чоловіків.

Величина R_0 сильно варіює в залежності від виду і умов його існування. Наприклад, в добрих умовах популяція польовки *Microtus agrestis* мала $R_0 = 5,9$, а в тих же лабораторних умовах у популяції рисового довгоносика *Calandre orizae* - 113,48. Таким чином, за одне покоління в сприятливих умовах популяція польовки може збільшити свою чисельність приблизно у 6 разів, а популяція рисового довгоносика - у 113 разів.

Для порівняння видів з різною тривалістю життя зручніше застосувати показник специфічної швидкості росту популяції r . Уявімо собі, що протягом тривалості однієї генерації T популяція росте експоненціально. Тоді чисельність популяції до кінця інтервалу часу T буде рівна $N_t = N_0 e^{rt}$. З цього рівняння витікає, що $N_t / N_0 = e^{rt}$, а це не що інше, як відношення чисельності особин у двох поколіннях, які слідують одне за одним, тобто величина R_0 . Переписавши рівняння в іншій формі $R_0 = e^{rt}$, визначаємо з нього $r = \ln R_0 / T$.

Розрахунок чистої швидкості розмноження Таблиця 3 Тривалість покоління T , коли його пряме визначення утруднюється, приблизно можна розрахувати таким чином:

Популяції			
X	l_x	m_x	$l_x m_x$
0	1,00	0	0
1	0,60	0	0
2	0,50	0	0
3	0,45	2,0	0,90
4	0,40	2,5	1,00
5	0,37	1,5	0,55
6	0,33	1,0	0,33
7	0,20	0,5	0,10
8	0,10	0,1	0,01
9	0,05	0	0
10	0,00	0	0
$\sum l_x m_x$			2,89

$$T = \frac{\sum_{x=1} L_x m_x X}{\sum_{x=1} L_x m_x} = \sum_{x=1} L_x m_x X / R_0$$

Суть такого розрахунку легко зрозуміти, звернувшись до механічної моделі (Dublin, Lotka, 1925), яка ілюструє реальний приклад із людської

популяції. Згідно з цією моделлю народження «середньої» дочки для всієї популяції в США у 1920 р. приходится на вік матері у 28,5 років.

Оскільки швидкість росту популяції знаходиться у зворотній залежності від тривалості покоління ($r = \ln R_0 / T$), очевидно, що чим раніше відбувається розмноження організмів, тим більша швидкість росту популяції.

У багатьох тварин вік досягнення статевої зрілості і вік початку розмноження сильно змінюються в залежності від конкретних умов існування. В менш сприятливих умовах розмноження настає пізніше і швидкість, таким чином, росту популяції зменшується.

Важливою особливістю популяції, яка росте по експоненціальному закону, - це стабільна вікова структура. Звичайно, в популяціях, які ростуть експоненціально, але з різною швидкістю, вікова структура різна: чим швидше зростає чисельність популяції, тим більша в ній частка молодих особин.

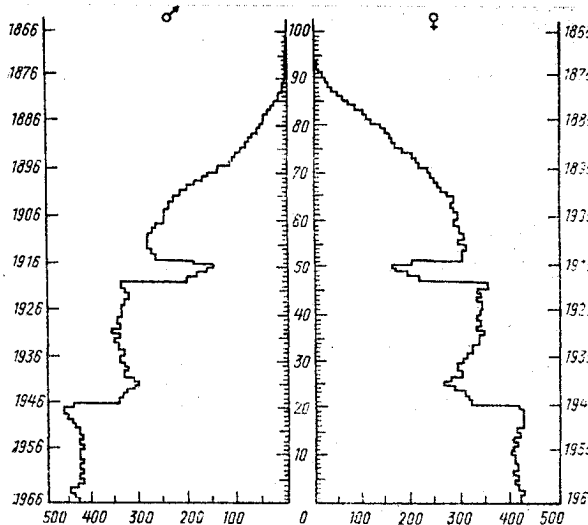


Рис. 17. Вікова структура населення Франції за даними 1967 р.

По вісі абсцис - чисельність вікових груп, тис.; по вісі ординат - рік народження. Зліва - чоловіки, справа - жінки.

У віковій структурі населення європейських країн потужний слід залишили дві світові війни. Наприклад, на гістограмі вікового розподілу населення Франції у 1967 р. (рис.17) добре видимі дві «талії»: верхня - це результат зменшення народжуваності у роки першої світової війни, а нижня - результат зниження народжуваності у роки другої світової війни. Кожний раз після закінчення війни спостерігався підйом народжуваності.

r/K – концепція розвитку популяцій

Мак-Артур і Уілсон (MacArthur, Wilson, 1967) запропонували кон-

цепцію г- і К-відбору. Букви відносяться до параметрів логістичного рівняння. (г) – відбір сприяє організмам із швидким розмноженням, а К – відбір вносить основний вклад в майбутнє популяції при її граничній щільності (К). Отже, ця концепція витікає з існування двох протилежних типів місцемешкань, пов'язаних з г- і К-відбором.

До популяцій, що підлягають К-відбору, відносять ті, які існують або в незмінних, або у передбачуваних сезонних місцемешканнях, що підлягають слабким впливам випадкових коливань параметрів середовища. В результаті виникають щільні популяції досить постійного розміру. Серед дорослих особин спостерігається інтенсивна конкуренція, результати якої в значній мірі визначають їх виживаність і плодовитість. Молодь у такому густозаселеному місцемешканні теж повинна конкурувати за виживаність, у неї мало шансів досягнути статевої зрілості. Тобто, ці місцемешкання у зв'язку з інтенсивною конкуренцією сприяють розмірам і батьків, і потомства.

Таким чином, можна вважати, що організмам, сформованим К-відбором, притаманні більший розмір, відстрочення розмноження, поліциклічність (більш розтягнуте у часі розмноження), менша частка ресурсів, що направляються на розмноження, і більше потомство, яке оточене великим батьківським піклуванням. Ці організми будуть направляти ресурси в основному на підвищення виживаємості.

Популяції ж, які формуються г-відбором, існують в непередбачуваних мінливих, або ефемерних місцемешканнях. У цих популяціях сприятливі періоди швидкого росту і відсутність конкуренції (особливо при вселенні щойно виниклого ефемерного біотопу) чергуються з несприятливими періодами неминучої загибелі (або при несподіваному погіршенні умов, або при повному виснаженні і зникненні ефемерного біотопу). Отже, смертність дорослих і молоді сильно і непередбачувано коливається і часто не пов'язана із щільністю популяції, розміром і станом окремих організмів. Тобто, ці місцемешкання нейтральні по відношенню до розмірів і батьків, і потомства.

Не дивно, що для організмів, які підлягають г-відбору, прогнозується дрібніший розмір, прискорене дозрівання, моноциклічність, більш висока частка ресурсів, які направлені на розмноження, і більш дрібне, а, значить, і чисельніше потомство. Вони мало випрачають на виживання, яке значно коливається в залежності від непередбачуваних флуктуацій середовища мешкання.

Таким чином, г/К – концепція розглядає два протилежних типи популяцій, передбачаючи зв'язок організмів г-типу із середовищем, що обумовлює г-відбір, а організмів К-типу - із середовищем, яке викликає К-відбір. Це уявлення виникло на основі різниці між видами, здатними швидко і успішно заселяти відносно «вільні» острови (г-види), і видами, процвітаючими на густонаселених островах (К-види).

ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦІЙ



Нова галузь генетики і екології - генетика популяцій перетворюється зараз у нову самостійну галузь науки - у генетику популяцій. Ця наука займається питаннями генетичної структури природних популяцій, а також генетичними процесами, які в них відбуваються. В Україні цими питаннями займається школа С.М.Герцензона. Наводимо головні положення цього розділу науки екології.

Закон Харді-Вайнберга. Оскільки популяцію складають особини кожного виду, то вони мають однаковий набір генів. Але популяція - це сукупність неоднакових у генетичному відношенні особин, які відрізняються різними станами притаманних їм ознак. Різні популяції одного виду відрізняються частотами зустрічальності тих чи інших алельних генів.

Виявлення закономірностей, що керують розподілом алелей у популяціях, є головним завданням популяційної генетики. Англійський та німецький вчені Г.Харді і В.Вайнберг встановили, що у чисельній популяції, особини якої вільно схрещуються між собою при відсутності зовнішнього фактора, який впливає на поєднання алелей, не відбувається обмін інформаціями між різними популяціями і не виникають мутації, а співвідношення алелей залишається стабільним тривалий час. При вільному схрещуванні особин певної популяції має місце панміксія. Ці вчені запропонували математичне вираження розподілу частот у панміктичній популяції по одній парі алельних генів (А-а). Оскільки кожна з гамет несе лише одну алель -А або а - частота їх зустрічальності відповідає частоті зустрічальності гамет, що несуть цю алель. Позначимо за даними цих авторів частоту зустрічальності алелі А літерою p, а частоту алелі а - q. Співвідношення генотипів потомства у панміктичній популяції буде таким:

Класи яйцеклітин та їх частоти	Класи сперматозоїдів та їх частоти	
pA	pA	qA
	p ² AA	pqAa
qa	pqAa	q ² aa

Отже, розподіл генотипів потомства відбувається за формулою Харді-Вайнберга: $p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$. Цю формулу можна записати у спрощеному вигляді: $(pA + qa)^2 = 1$. А оскільки ми допустили, що існує всього дві алелі певного гена, можна ще спростити цю формулу:

$$pA + qa = 1.$$

Таким чином, отримавши систему двох рівнянь, можна визначити і співвідношення в популяції частот алелей А і а та різні класи генетичних нащадків:

$$\begin{cases} (pA + qa)^2 = 1 \\ pA + qa = 1 \end{cases}$$

Отже, рівновага між частотами різних генотипичних класів зберігається і в тому випадку, коли певний ген представлений не двома, а більшою кількістю алелей.

Але таких популяцій у природі не існує. Тільки відсутність вільного схрещування може істотно вплинути на розподіл частот зустрічальності потомків. Якщо ж популяція буде достатньо чисельна, то розподіл частот в ній буде близький до вирахованого формулою Харді-Вайнберга. Згідно з цим положенням, рівновага між частотами різних генотипних класів буде зберігатися і в тому випадку, коли ген буде представлений і більшістю кількостей алелей.

Дослідження показали, що лише відсутність вільного схрещування може істотно вплинути на розподіл частот зустрічальності генотипів нащадків. Якщо ж популяція досить чисельна і в ній має місце вільне схрещування, то результат розподілу частот буде близький до розрахунків за формулою Харді-Вайнберга.

Але є фактори, які впливають на зміни частот зустрічальності генотипів в популяціях. По-перше, часто відбуваються інтенсивні міграції особин із популяції в популяцію, а це приводить до обміну алелями. Цей факт суттєво впливає на відхилення реальних співвідношень реальних частот зустрічальності алелей від очікуваних.

В популяціях може мати місце відсутність вільного схрещування. Наприклад, у популяціях самозапилюючих рослин вже в десятому поколінні гомозиготність досягає 99,9%. Порушення гомозиготності в таких випадках можливе лише за рахунок мутаційних процесів. Інколи особини в популяції схрещуються лиш з особинами з різнотипним генотипом, що також впливає на розподіл частот зустрічальності генотипів потомства.

Дрейф генів є однією із причин зміни генетичної структури популяції. Це явище виявляється найчастіше у малочисельних популяціях, і навпаки, у чисельних популяціях роль дрейфу генів незначна у зміні частот зустрічальності алелей.

Американський генетик С.Райт у пробірці з поживним середовищем поміщав по два самці і дві самиці мушки дрозофіли з генотипом Аа. Зрозуміло, що в таких умовах частота зустрічальності обох алелей була рівна 50%. Через декілька поколінь виявилось, що в одних популяціях усі особини стали гомозиготними за алеллю а, а в інших - за алеллю А, в деяких збереглися обидві алелі, але співвідношення їх частот було іншим, ніж на початку. Тобто, у невеличких популяціях частоти алелей можуть різко і не спрямовано змінюватися. При цьому може зберігатися мутантна алель, незважаючи на те, що вона знижує пристосованість особин до умов існування.

Збільшення частоти гомозигот у малочисельних популяціях є результатом одного із наслідків дрейфу генів. Це обумовлено збільшенням

ймовірності спорідненого схрещування, в результаті якого зростає частка гомозигот. У таких популяціях можуть втрачатися певні алелі.

Популяційні хвилі - одна із причин дрейфу генів, що відображається періодичними коливаннями чисельності особин популяції. С.С. Четвериков першим дослідив це явище. Це особливо виражене в організмах із швидкою зміною поколінь (однолітні рослини, комахи, кліщі). Цей факт часто обумовлює загибель особин від випадкових причин, незалежно від факторів довкілля.

Отже, в результаті генів в популяціях, особливо у малочисельних, може зростати частота зустрічальності гомозигот; зберігатися мутантна алель, яка знижує пристосованість особин; тому може збільшуватися частота зустрічальності одних алелей, тоді як інші можуть бути втрачені. Таким чином, популяції спочатку подібні, з часом будуть все більше розрізнятися.

Генетична структура популяцій. Популяції, як відомо, відрізняються частотою зустрічальності різних поєднань, але не генів. Сукупність генів і їх алелей особин певної популяції називають **генофондом**. До зміни генетичної структури призводить відсутність вільного схрещування; дрейф генів; міграція особин з різними поєднаннями алелей із популяції в популяцію тощо. Як правило, генетична структура природної популяції є наслідком спряженої дії цих факторів. Залежно від конкретних умов відносна роль кожного з них може бути різною.

Рецесивні мутації - мають особливі значення в генетичній популяції, бо вони можуть поширюватися серед особин популяції внаслідок схрещувань. Внаслідок поширення серед особин популяції вони майже не впливають на життєвість особин. При зростанні зустрічальності рецесивних мутацій збільшується схрещування особин між собою, які їх несуть. У таких випадках ці мутантні рецесивні алелі можуть перейти в гомозиготний стан і проявитися у фенотипі; якщо вони виявляються сприятливими чи нейтральними, то збережуться; якщо шкідливими - зникнуть внаслідок загибелі їхніх носіїв. Отже, за висловом І.І. Шмальгаузена, рецесивні мутації - це резерв спадкової мінливості популяцій.

Контрольні запитання:

Що вивчає генетика популяцій?

Сформулюйте закон Харді-Вайнберга.

За яких умов закон Харді-Вайнберга не підтверджується?

Що таке дрейф генів? Які його причини і наслідки?

Що таке генофонд популяцій? Які причини приводять до генетичної різноманітності популяцій?

Типи взаємодії між популяціями

Взаємодія між популяціями двох видів буває дев'яти типів: нейтралізм, обоюстороннє конкурентне пригнічення, конкуренція за ресурси (одна популяція придушує іншу, але сама не зазнає негативного впливу), паразитизм (мал. 19), хижацтво (одна поїдає другу, але залежить від неї), коменсалізм (одна отримує користь від об'єднання, а другій це байдуже), мутуалізм (зв'язки сприятливі для обох і вони не можуть існувати одна без одної), протокооперація (обидві отримують переваги від зв'язку, але зв'язок не обов'язковий). Тип взаємодії певної пари видів може змінитися в залежності від умов, або від стадії їх життєвих циклів.

Ці типи зв'язків можна звести до двох загальних типів - негативного і позитивного.

Відносно загальної картини екосистем необхідно підкреслити два найважливіші принципи: 1) у ході еволюції екосистем існує тенденція до зменшення ролі негативних взаємодій за рахунок позитивних, що сприяють виживанню взаємодіючих видів; 2) в нових або дуже молодих асоціаціях ймовірність виникнення сильних негативних взаємодій більша, ніж в старих асоціаціях.

Взаємодію двох популяцій можна виразити моделлю:

$$dN/dt = rN - r/KN^2 - CN_2N$$

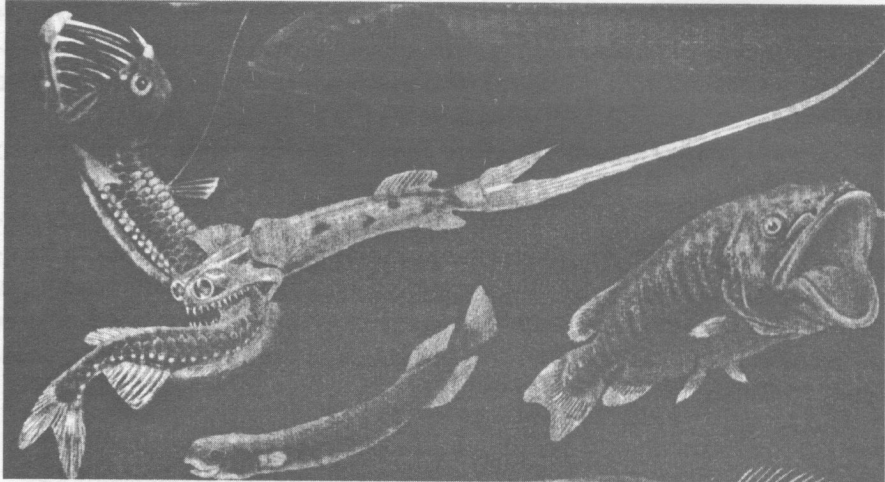
тобто швидкість росту дорівнює нелімітованій швидкості мінус впливу росту, помноженому на чисельність, мінус вплив другого виду.

Відносно негативних взаємодій у природі діє правило Гаузе: два види не можуть займати одну і ту ж нішу. У природі близькородинні види, або види, що мають подібні потреби, звичайно уникають конкуренції один з одним у різний спосіб. Наприклад, в процесі еволюції у близькородинних видів можуть вироблятися різні потреби, віддавання переваги - і конкуренція припиняється.

Філіп (1955) виділив такі типи конкурентних відносин: 1) недосконала конкуренція, при якій внутрішньовидова конкуренція сильніша міжвидової і взаємовідносини двох видів не приводять до зникнення одного з них; 2) досконала конкуренція, при якій із збільшенням чисельності одного з видів другий поступово витісняється із займаної території; 3) наддосконала конкуренція, при якій пригнічуючий вплив виражається сильно і проявляється зразу ж, як, наприклад, розвиток

пеніцилу, який виділяє пеніцилін, на бактерії та інші організми. Жорстка конкуренція частіше всього має місце там, де контакт між популяціями установився недавно. Якраз тому раптове і непродумане втручання людини у природу нерідко приводить до епідемічних вибухів.

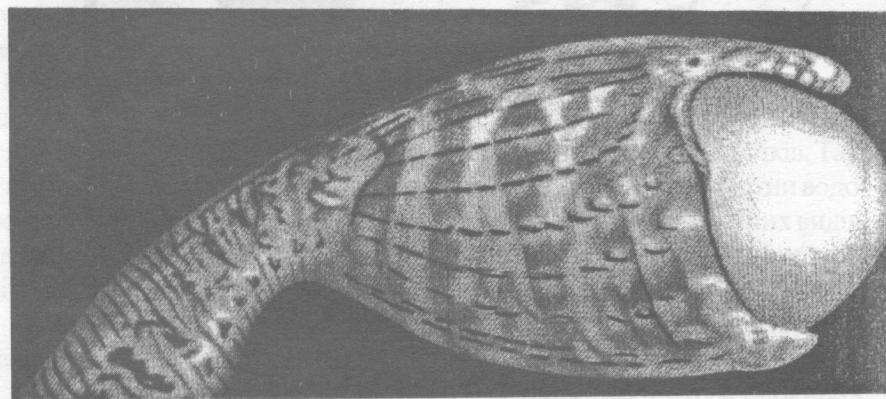
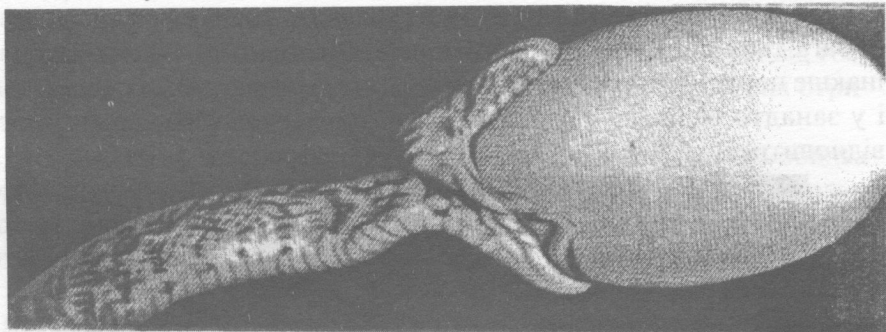
Найбільш різко виражена негативна взаємодія між популяціями у випадку паразитизму і хижацтва. (Мал. 18).



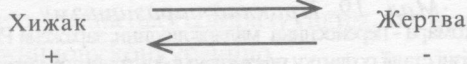
Люди відчувають відразу до паразитів, чи то будуть бактерії, чи гельмінти. Люди настроєні і проти хижаків, хоча людина - найтипівіший хижак і головний винуватець епідемій. До того ж вирок виноситися хижаку звичайно без впевненості у тому, що він шкодить інтересам людини. «Вовк добрий тільки мертвий» - ця широко розповсюджена точка зору виявляється далекою від істини. Хижаки і паразити дійсно наносять шкоду або вбивають якусь частину особин і зменшують величину популяції жертви. Але це зовсім не означає, що без них популяція завжди була б у кращому стані. Після кампаній по знищенню хижаків, наприклад, вовків популяції оленів, лося занадто збільшувалися, але потім вимирали внаслідок хвороб або нестачі їжі. Окрім того, тиск хижаків на рослиноїдні тварини виявляється необхідним для виживання автотрофів та для збереження екосистеми. Найбільші вибухи чисельності певних популяцій спостерігаються у тих випадках, коли вид інтродукується на нову територію, де відсутні його природні

хижак та паразити. Вибух популяції кроликів, ввезених в Австралію - найвідоміший випадок такого типу серед тисяч випадків різних коливань чисельності, викликаних безпосередньо людиною.

Якщо екосистема стабільна, негативні взаємодії робляться помітнішими. Іншими словами, між негативно взаємодіючими популяціями встановлюється екологічна рівновага за допомогою зворотного зв'язку:



Мал.18. Яєчна змія заковтує куряче яйце.

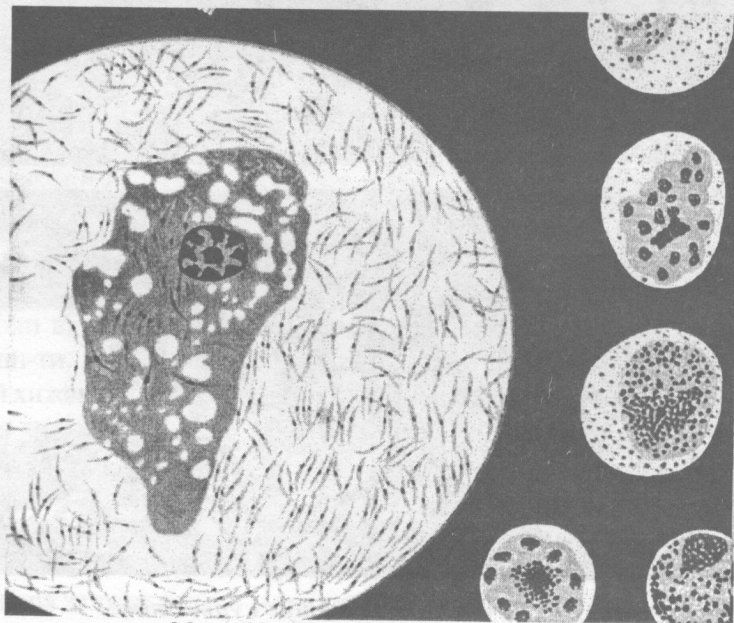


Але якщо паразит або хижак заносяться в екосистему іззовні, негативний вплив може стати незворотнім і господар, або жертва буде елімінований. Якщо скласти список хвороб, паразитів або комах-шкідників, що спричиняють найбільшу шкоду сільському господар-

ству, або найбільш патогенних для людини, то виявиться, що більшість із них недавно занесені в нові для них регіони і знайшли собі господаря або жертву.

Принцип раптового посилення патогенності можна сформулювати так.

Епідемії, епізоотії та епіфітотії частіше всього в природі викликаються: 1) раптовим вселенням організму з потенційно високою швидкістю росту в екосистему, в якій механізми регуляції чисельності для цього організму відсутні; 2) різкими і сильними змінами середовища. У багатьох випадках до цього причетна людина, бо вона так чи інакше порушує природну рівновагу в екосистемах занадто швидко і у занадто великих масштабах, щоб початкова рівновага могла відновитися.



Мал. 19. Приклад паразитизму.

Зліва - слинна залоза комара - переносника малярії людини, заражена *Plasmodium falciparum*; справа - різні стадії розвитку плазмодію в еритроцитах крові людини

Позитивні взаємодії - асоціація двох видів популяцій, що виявляється позитивною для обох - дуже широко розповсюджена в природі. В ході еволюції ці відношення розвивалися в такому порядку: коменсалізм (перевагу має одна популяція), протокооперація (користь отримують обидві

популяції) і мутуалізм (користь отримують обидві популяції і залежать одна від другої).

Ч.Дарвін висунув положення про виживання найбільш пристосованих, як важливий механізм природного добору. Внаслідок цього увага вчених в основному до негативних взаємодій, конкуренції в природі. Значення ж кооперації недооцінювалося.

Найбільш простий тип кооперації - коменсалізм. Наприклад, взаємовідносини між прикріпленими тваринами або рослинами і рухомими. Коменсали - краби, риби тощо живляться залишками їжі від господаря, або його екскрементами. Переваги від такої кооперації отримують лише коменсали.

Наступний крок - протокооперація - переваги вже отримують обидва організми. Наприклад, краби і кишковопорожнинні. Останні прикріплюються до спини і маскують їх, а ті одержують від кишковопорожнинних шматочки їжі. Але тут організми поки що не залежать один від одного.

Наступний етап кооперації - залежність обох популяцій одна від одної. Це облигатний симбіоз або мутуалізм. Таке частіше відбувається між автотрофами і гетеротрофами. Приклад мутуалізму - залежність між бактеріями, здатними засвоювати клітковину, і тваринами (у рубці жуйних тварин). Приклад симбіозу - взаємовідносини між бульбочковими бактеріями і рослинами. Є припущення, що паразитизм може змінюватися на коменсалізм у міру дозрівання екосистем. Демонструють це будовою лишайників. Так, у найпримітивніших видів гіфи гриба проникають усередину клітин водоростей - тут виражений елемент паразитизму. У більш досконалих видів, еволюційно більш розвинених - водорості та гриби існують у гармонійних відносинах, приносячи один одному взаємну користь.

Для виявлення факторів, які визначають наслідки конкурентної взаємодії, запропонована модель, названа на честь її авторів «моделью Лотки-Вольтерри».

Логістичне рівняння $dN/dt = rN(K - N)/K$ містить в дужках вираз, який відображує внутрішньовидову конкуренцію. В основі моделі Лотки-Вольтерри лежить заміна цього виразу таким, яке відображає і внутрішньовидову, і міжвидову конкуренцію.

Позначимо чисельність популяції першого виду N_1 , а чисельність другого - N_2 . Граничну щільність насичення і максимально вроджену швидкість росту популяцій позначимо відповідно K_1, r_1, r_2 . Припустимо, що 10 особин виду 2 разом спричиняють в результаті конкуренції такий

же пригнічуючий вплив на вид 1, як одна особина виду 1. Сумісний вплив конкуренції (внутрішньо- і міжвидової) на вид 1 буде рівноцінний впливу $(N_1 + N_2)/10$ особин виду 1. Константа $1/10$ у даному випадку називається коефіцієнтом конкуренції і позначається через α_{12} (α один-два). За допомогою цього коефіцієнту оцінюють конкурентний вплив виду 2 на вид 1 у розрахунку на одну особину. Помноживши N_2 на α_{12} , виражаємо його рівноцінним числом особин N_1 (зверніть увагу, що $\alpha_{12} < 1$ означає, що вид 2 проявляє менший інгібуючий вплив на вид 1, ніж вид 1 на самого себе; а $\alpha_{12} > 1$ означає, що пригнічуючий вплив з боку виду 2 на вид 1 виражений в більшому ступені, ніж з боку особин свого виду. Важливим перетворенням в моделі є заміна N_1 в дужках логістичного рівняння на вираз, що позначає N_1 плюс число еквівалентів N_1 , тобто:

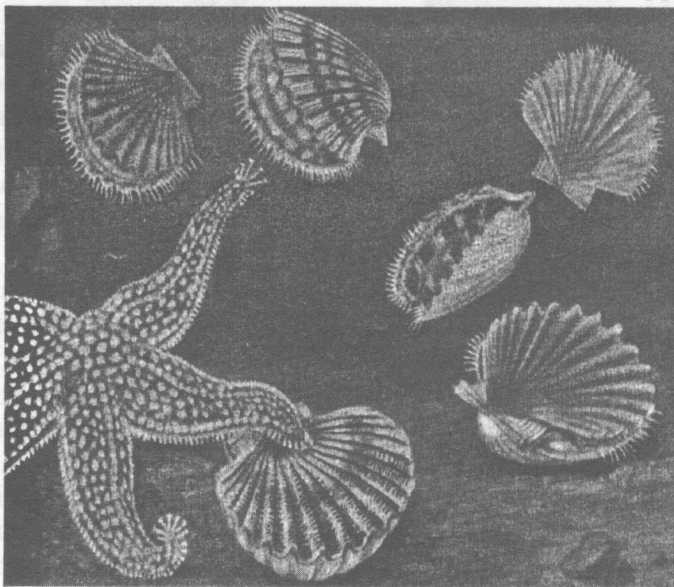
$$dN_1/dt = r_1 N_1 (K_1 - (N_1 + \alpha_{12} N_2)) / K_1,$$

або

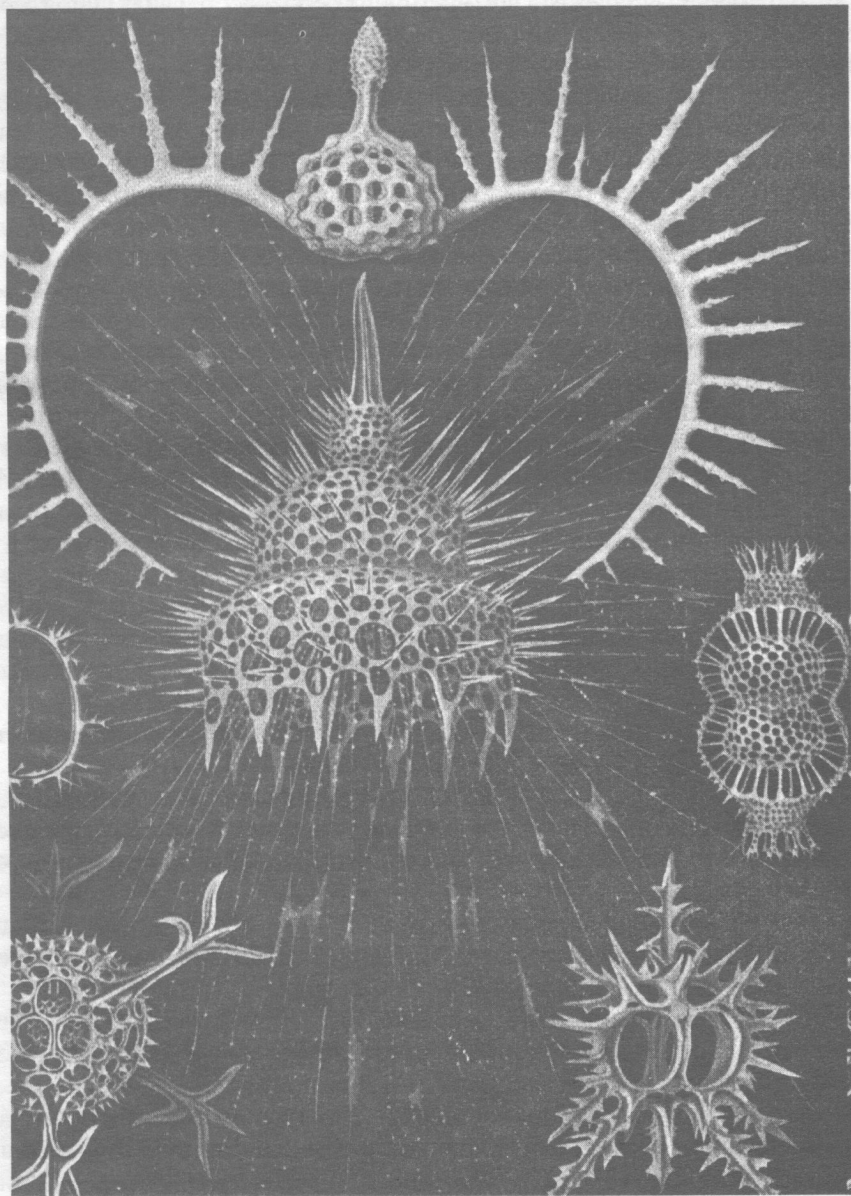
$$dN_1/dt = r_1 N_1 (K_1 - N_1 - \alpha_{12} N_2) / K_1$$

і для другого виду $dN_2/dt = r_2 N_2 (K_2 - N_2 - \alpha_{21} N_1) / K_2$.

Із цих двох рівнянь складається модель Лотки-Вольтерри.



Полювання морської зірки на молюсків



Підтримання певної чисельності називається гомеостазом популяції. Механізм гомеостазу залежить від генетичних особливостей виду і умов середовища. В одних видів вони можуть проявлятися у жорстких формах, в інших - у пом'якшених.

До жорстких форм слід віднести явище самозріджування у рослин. При великій гущині сходів частина рослин обов'язково загине в результаті пригнічення більш сильними екземплярами, навіть при генетичній однорідності насіння. Наприклад, у райграсу виявлено, що при різних нормах висіву від 6 до 180 кг/га спочатку густина пагонів варіює від 30 до 1070 на 100 см², але потім у всіх випадках стає рівною приблизно 500, тобто у рідких посівах з'являються додаткові пагони, а у густих - частина відмирає. У рослин регуляція щільності популяції відбувається не стільки зміною чисельності особин, скільки зміною вегетативної потужності кожної. У наведеному прикладі стабілізується не число особин, а загальна листова фотосинтезуюча поверхня рослин.

У тварин жорсткі форми регуляції щільності популяції проявляються у тих випадках, коли запаси ресурсів різко обмежені. Наприклад, в окунів популяція може підтримувати своє існування у водоймищах, де немає інших риб, за рахунок живлення власною молоддю. Канібалізм виникає іноді у період тривалого голодування і в популяціях ссавців - хижаків.

У деяких перегинчастокрилих, які ведуть паразитичний спосіб життя, запас їжі, обмежений одним яйцем, або личинкою інших комах, виростає лише одна особина за сприятливих умов. В інших видів у личинки щелепи ростуть до тих пір, доки супротивники не зустрічаються, а потім у переможця ці щелепи зникають. У тих личинок, де все це відбулося, самиця не відкладає яєць, личинки позбавлені конкуренції.

Групові паразити, які здатні відкладати яйця в одну комаху, мають властивість співставляти кількість яєць з величиною жертви. При нестачі господарів, тобто їжі, зменшується розмір личинки, які відкладають удвоє-утроє менше яєць.

У деяких видів при перенаселенні дуже змінюються смертність самиць і самців. Наприклад, у браконід частка самиць складає 70% при слабкому зараженні господарів і падає до 10% при сильному.

Останнім часом панівною виявилася концепція, згідно з якою регуляція чисельності популяцій залежить не тільки і не скільки від зміни умов середовища, скільки від зміни якості самих членів популяції. Будь-яка популяція здатна регулювати свою чисельність так, щоб не підривати ресурси місцемешкання і не очікувати впливу несприятливих факторів. Зміна якості членів популяції може бути як фенотипічною, так і генотипічною. Як при-

клад можна навести коливання чисельності однорічної рослини проломника, який росте на піщаних дюнах. Кожний рік весною з проростаючого насіння утворюється 150-1000 особин/м² молодих рослин. Потім значна їх частина гине, але мінімум 100 особин доживає до плодоношення. Число насінин, що проросло у рік максимумів, приблизно в 100 разів менше, ніж у попередній рік. Незалежно від якості насіння смертність, залежно від щільності, відбувається на стадії проростків. Зсув відбувається у кількісному відношенні різних генотипів.

У дослідах з гризунами було виявлено, що при зростанні щільності популяції в особин виникає стан стресу. Це проявляється у вигляді гормональних зсувів, які приводять до приторможення діяльності статевих залоз. А це, в свою чергу, приводить до пізнішого статевого дозрівання, зниження плодовитості і навіть до повного припинення розмноження. Різко підвищується і смертність.

Особливе місце серед механізмів саморегуляції чисельності популяції займають ті, що пов'язані із поведінкою. Так, при зростанні чисельності популяції все менше число особин може захистити свою територію і вимушене мігрувати у менш сприятливі місця.

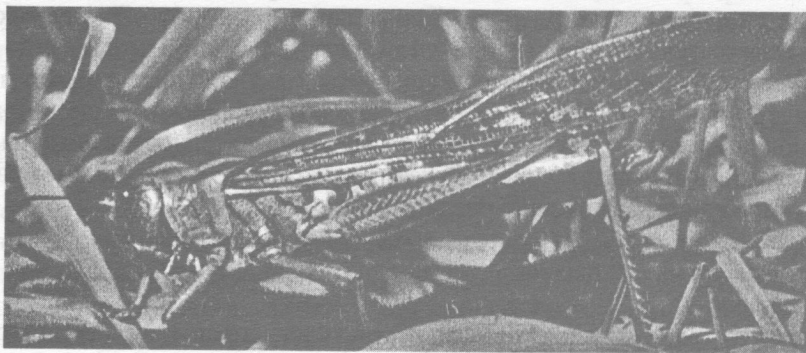
Зміна генотипічного складу популяції у зв'язку з її щільністю передбачає появу у всякому разі двох генотипів - тих, що більш пристосовані до життя при підвищеній щільності, і тих - що при низькій. Так, було показано, що у пенсільванської полівки на піках чисельності і в періоди депресій між ними домінують різні генотипи: особини одного покоління швидко розмножуються, але погано виживають при великій чисельності і ті, що краще переносять велику скупченість, але мають меншу плодовитість.

Як вважає А.М.Гіляров, генетичний механізм регуляції чисельності діє у сукупності з якимось іншим фактором, наприклад із пресом хижаків. Розглянемо приклад такої залежності. Нехай якась рослина, яку їсть травовідна тварина, має ген, що контролює її виживаність і одночасно її придатність як їжі для травовідних. Нехай даний ген зустрічається у формі двох алелей - А і а, причому, гомозиготи АА характеризуються високою виживаністю і життєвостю для травовідних; гомозиготи аа - високою виживаністю і практичною неїстівністю, а гетерозиготи Аа відзначаються проміжними властивостями. У результаті співвідношення властивостей у трьох можливих генотипів нашої гіпотетичної рослини будуть такі:

	АА	Аа	аа
Вживаність	висока	низька	дуже низька
Придатність як їжі для травовідних	придатна	малоприсадабна	практично непридатна

Якщо така суміш рослин підлягає впливу травоядних, то слід очікувати різкого підвищення смертності генотипу АА і в значно меншому ступені - генотипу Аа. При цьому підвищуються шанси на виживання генотипів Аа і аа. Збільшення частки цих генотипів буде тривати до того часу, поки не ослабиться прес травоядних, що неминуче. В умовах зниження поїдання закріпиться домінування генотипу АА, але після цього зразу ж підвищиться тиск травоядних і весь цикл почнеться спочатку. Отже, найважливішою умовою регуляції чисельності виявляється різноякісність особин.

Прикладом такої крайньої вираженості різноякісності може бути явище «фазової мінливості» у деяких видів сарани (*Schistocerca gregaria*), зграї яких здійснюють спустошливі нальоти на сільськогосподарські угіддя в Африці і Азії. У цих видів існують дві форми, які змінюють одна одну: поодинокі і стадні. Вони дуже відрізняються і морфологічно, і фізіологічно; їх навіть раніше відносили до різних видів. Стадні особини відзначаються більшою виживаністю і швидким розвитком. Плодовитість менша, але яйця крупніші. У періоди між нашествиями на обмежених територіях зустрічаються лише поодинокі форми. Час перетворень до повного дозрівання особин становить 2-2,5 місяці. Основна маса особин гине на стадії німф, але у деякі роки чисельність сарани може збільшитися в 100 разів (як не дивно, це відбувається в посушливі роки, коли їстівних для сарани рослин мало). Потім в результаті збільшення контактів відбувається перетворення поодинокі сарани у стадну. Процес утворення зграї відбувається швидко. Зграї переносяться за вітром на величезні відстані. Коли сприятливе місце знайдено, розміри зграї збільшуються і досягають величезних показників. Так, зграя наведеного виду у Сомалі у 1957 р. складалася із $1,6 \times 10^{10}$ особин і мала масу 50 тис. т. Якщо врахувати, що сарана за день може з'їсти стільки, скільки важить сама, можна уявити результат такого нашествия.



Слід зауважити, що в рамках концепції саморегуляції існує три гіпотетичних механізми заторможення росту чисельності: 1) при зростанні щільності популяції, а значить, і при збільшенні контактів зростає смертність; 2) при зростанні щільності може збільшуватися міграція у менш сприятливі місця, де смертність, звичайно, більша, ніж у нормі; 3) при зростанні щільності відбуваються зміни в генетичній структурі, зокрема, у збільшенні генотипів, які розмножуються повільно і схильні до міграцій. Цією концепцією пояснюють циклічні коливання чисельності багатьох популяцій.

Є гіпотези, які пояснюють циклічні коливання чисельності популяцій взаємодією їх з факторами оточуючого середовища. Так, трофічна гіпотеза пояснює спад чисельності гризунів і зайцеподібних недостатньою кількістю їжі, а головне - її якістю. При вибухах чисельності тварин-фітофагів не спостерігається прямої залежності з масою зелених рослин. Але вміст у зеленій масі головних біогенних елементів може сильно змінюватися щорічно. Наприклад, в екскрементах лемінгів на довгий час можуть затримуватися дефіцитні для рослин елементи і після того, як вони увійдуть у кругообіг, якість рослинної маси для травоядних збільшується. До речі, саме цим можна пояснити збільшену виживаність особин сарани наведеного виду у несприятливих посушливих роки, коли маса рослин менша, але її якість, мабуть, вища.

Згідно з другою концепцією кормові рослини під дією пресу травоядних змінюють склад своїх тканин, роблячи їх малоприсадними для їжі. Але не завжди різні концепції протирічають одна одній. У природі є багато прикладів, суч яких можна пояснити, виходячи із різних концепцій.

Перевірте себе

1. Наведіть різні погляди та підходи до визначення поняття популяції.
2. Які ви знаєте статичні та динамічні характеристики популяцій?
3. Дайте пояснення на прикладах просторової структури популяції.
4. Що таке ділянка і територія популяції?
5. Які екологічні переваги має осідлий спосіб життя видів?
6. Дайте пояснення екологічним поняттям зграї, табуну, сім'ї.
7. Охарактеризуйте вікову структуру популяцій у рослин.
8. Які особливості вікової структури популяцій у тварин?
9. Що таке «запас» популяції у тварин?
10. Що таке статева структура популяцій?
11. Що таке етологія?
12. Що таке колонія тварин? Які є її види?
13. Що таке трофолоксіс?
14. Яка різниця між вожаком і лідером у зграях тварин?

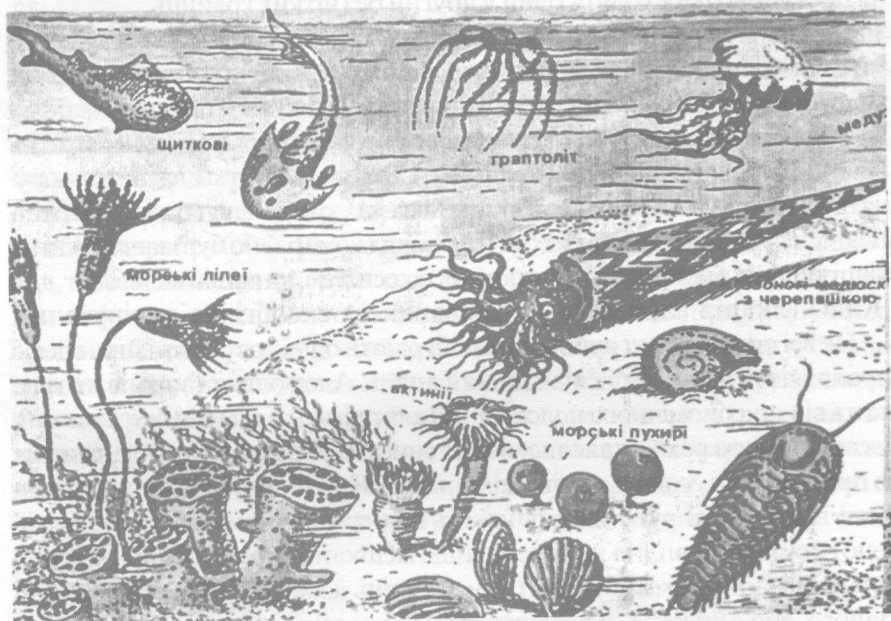
15. Що таке «ефект групи» при сумісному існуванні тварин? Як він проявляється?
16. Якими фізіологічними «зсувами» супроводжується процес встановлення домінування в групах тварин?
17. Що таке щільність популяції і яким математичним виразом описується її зміна?
18. Які є основні два типи росту популяцій? Як вони виражаються математично, графічно?
19. Опишіть залежність вікової структури і швидкості росту популяцій.
20. Опишіть математично експоненціальний і логістичний ріст популяцій.
21. В чому суть г/К - концепції розвитку популяцій і хто автор цієї концепції?
22. Наведіть математичну модель взаємодії двох популяцій.
23. Опишіть загальну модель розвитку популяції Сміта і Сланкіна.
24. Опишіть модель Лотки-Вольтерри.
25. Що таке гомеостаз популяції. Наведіть приклади.
26. Охарактеризуйте явище «фазової мінливості» і її значення для популяції.
27. Які є гіпотези, що пояснюють циклічні коливання чисельності популяцій?

Вгадай, що за звір?



(Fructus Castanea sativa)

ОРГАНІЗАЦІЯ НА РІВНІ УГРУПОВАННЯ



Біотичне угруповання - це будь-яка сукупність популяцій, що заселяють певну територію (біотоп).

Біотичне угруповання являє собою живу частину екосистеми. Його слід розуміти широко - від біоти деревного стовбура до біоти безмежного лісу або океану. Основні угруповання характеризуються великими розмірами і завершеністю організації, що забезпечує біотичні угруповання відносно незалежністю. Вони потребують лише припливу сонячної енергії і практично не залежать від сусідніх. Угруповання володіють не тільки функціональною єдністю з характерною структурою трофічних зв'язків та енергетичним обміном, але й композиційною єдністю, що забезпечує співіснування певних видів. Але види в значній мірі заміщають один одного у часі і просторі, тому функціонально подібні угруповання можуть мати різний видовий склад.

Концепція угруповання підкреслює той факт, що різні організми утворюють організовану систему, а не розкидані по Землі випадково, як незалежні істоти.

Угруповання можуть бути чітко відмежовані і відділені один від од-

ного, коли їх місцемешкання різко відрізняються. Але часто угруповання поступово переходять один у другий без чітких границь.

Функціонування окремого організму залежить від угруповання. Тому, якщо ми хочемо контролювати який-небудь вид (сприяти або подавляти), то краще змінити угруповання, ніж здійснювати «пряму атаку». Наприклад, якщо ми хочемо боротися з комарами, краще змінити водне угруповання (змінити рівень води), аніж використати отрутохімікати. Бур'яни ростуть завжди при порушеннях ґрунту, тому на необроблених ділянках краще не чіпати ні їх, ні ґрунт. Благополуччя людини так же, як і існування комара або бур'яна залежить в кінці кінців від природних угруповань і екосистем, на які він впливає.

Класифікація елементів угруповання та екологічне домінування

Не всі організми угруповання відіграють однакову роль. Лише деякі проявляють на нього визначальний вплив. Але роль організмів не залежить від таксономічного положення, і класифікація елементів угруповання виходить за рамки таксономічних списків. Угруповання складаються із продуцентів, консументів і мікроконсументів. В межах цих груп окремі види, які беруть значну участь в енергетичному обміні і проявляють суттєвий вплив на середовище мешкання других видів, називаються екологічними домінантами. Ступінь домінування в угрупованні одного, або декількох видів виражається показником домінування, який відображає значення якого-небудь виду для угруповання в цілому.

Наприклад, йдемо по полю і записуємо:

мітлиця	- 20 га
конюшина	- 0,1
дуб	- 2 дерева
м'ясна худоба	- 2 особини
молочна худоба	- 48 особин
кури	- 5
вівці	- 1
кози	- 2
коні	- 1.

Якщо зробимо лише список назв організмів - це мало, що нам дає. Але коли ми цей список доповнимо кількісними оцінками, картина стає набагато яснішою. З наведеного прикладу ясно, що мітлиця домінує серед продуцентів, а молочна худоба - серед консументів. Тут мітлиця, молочна худоба та ґрунтові мікроорганізми є домінантами. Тобто домінанти - це види, які на своєму трофічному рівні мають найбільшу продуктивність.

Домінантів менше там, де фізичні фактори екстремальні (тундра, пустеля).

Угрупування класифікують у відповідності із основними структурними показниками (домінанти, життєві форми), з умовами мешкання угруповання.

При аналізі угруповань в межах одного географічного району застосовують два підходи: зональний і градієнтний, що оснований на розподілу популяцій по градієнту навколишніх умов.

Назву угрупованням можна давати по домінантах, якщо їх 1-2 (наприклад, в пустелях - полин, лобода; в тундрі - пушиця тощо). Якщо домінантів багато і видовий склад змінюється, то доцільніший другий підхід. Треба виявити яку-небудь особливість - біотичну, чи абіотичну, що кидається в око, і використати її у назві. На суші це може бути велика рослина, у водному середовищі - абіотична: океанічне угруповання, пелагічне, угруповання естуарій тощо; якщо видно великих тварин, то можна використати і їх (мал. 20). Наприклад, угруповання вусоногих раків. Угрупування, як і організми, потрібно не тільки називати, але й описувати.



На цій фотографії наведене угруповання, назву якому дано за домінантами: рододендроновий сосново-дубовий ліс.

Видова різноманітність в угрупованнях

На одному трофічному рівні серед багатьох видів лише деякі мають значну чисельність, активність. Більшість же представлені малозначущими і малочисельними. Співвідношення між числом видів і показником значущості називається показником видової різноманітності. Звичайно видова різноманітність невелика в екосистемах, фізично контрольованих, і велика в екосистемах, що контролюються біологічними факторами.

При стресах відбувається «концентрація домінування» - зменшується склад на декілька звичайних видів, добре адаптованих.

Важливим показником видової різноманітності є компонент різноманітності - відношення загального числа видів S до загального числа особин N , тобто S/N . Видова різноманітність вища в старих угрупованнях і нижча - у виникаючих, молодих.

Показник різноманітності можна використовувати для оцінки антропогенного стресу. Наприклад, в результаті обробки інсектицидом поля показник різноманітності угруповання членистоногих суттєво знижується.

Найпростіший параметр угруповання, який враховує як число видів, так і співвідношення їх чисельності, - індекс різноманітності Симпсона. Його розраховують, визначаючи для кожного виду частку його особин або біомаси в загальній чисельності, або біомасі. Якщо частка i - того виду - P_i , то індекс різноманітності Симпсона:

$$D = \frac{1}{\sum P_i^2},$$

де S - загальне число видів в угрупованні, тобто видове багатство. Очевидно, що величина цього індексу залежить і від видового багатства, і від рівномірності у співвідношенні чисельності різних видів. При постійному числі видів D зростає зі збільшенням вирівняності у кількісному співвідношенні різних видів, а при постійній рівномірності - з ростом видового багатства. Можлива така ситуація, коли угруповання з великим числом видів, але нерівномірним співвідношенням їх чисельності характеризуватиметься нижчим індексом D , ніж угруповання з меншим видовим багатством, але з більш рівно-

мірним співвідношенням чисельності (або біомаси) видів, які утворюють це угруповання.

Саму рівномірність розподілу (вирівняність) можна кількісно оцінити за допомогою індексу Симпсона також як частку максимально можливої величини D , яка досягається при однаковій чисельності усіх видів. Оскільки $D_{\max} = S$, то рівномірність розподілу $E = D/D_{\max}$.

Структурний тип угруповання

Розподіл організмів у просторі визначає структурний тип угруповання. Різноманітні варіанти внутрішньої організації угруповань створюють структурну різноманітність угруповань. Ці варіанти такі:

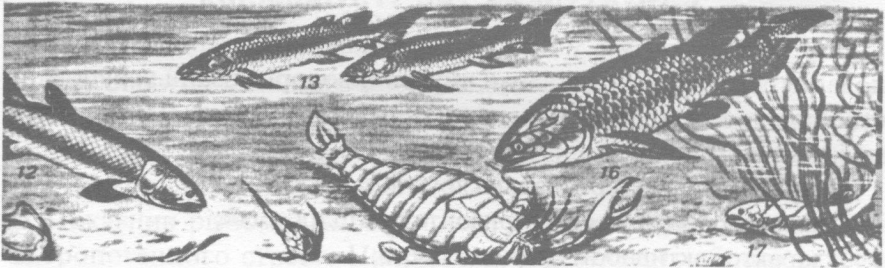
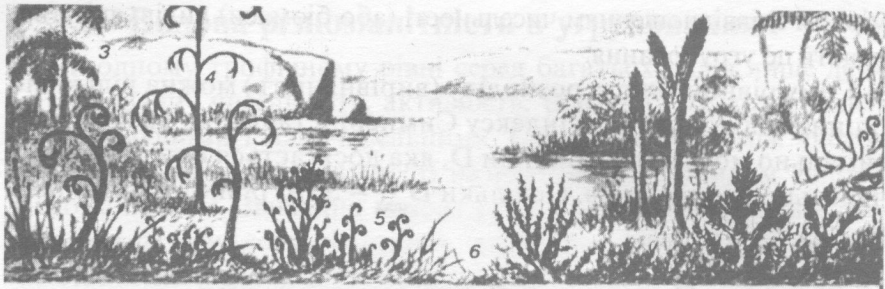
- 1) стратифікація - вертикальна ярусність;
- 2) характер зональності - горизонтальні підрозділи;
- 3) характер активності - періодичність;
- 4) характер харчових зв'язків - сіткова структура;
- 5) характер розмноження;
- 6) характер групових відношень (табуни, зграї);
- 7) характер спільної діяльності (симбіоз, мутуалізм, конкуренція тощо);
- 8) характер стохастичних зв'язків (випадкові впливи).

Склад угруповання визначається не тільки різноманітністю видів та їх чисельністю. Функціонування угруповання залежить також від його внутрішньої організації і типів активності.

Наприклад, у полі, або в лісі два основних компоненти - автотрофний і гетеротрофний - виразно підрозділяються на яруси - дерева, висока трава, низька, ґрунт також підрозділяється на горизонти. Одні комахи прив'язані до верхнього ярусу трави, другі - до поверхні ґрунту, треті - до поверхні низької трави.

В океанах різні риби часто настільки приурочені до різних глибин, що їх косяки утворюють різко розмежовані шари.

Метод радіоактивних ізотопів дає можливість простежити шлях енергії і речовин від однієї популяції до другої усередині угруповання.



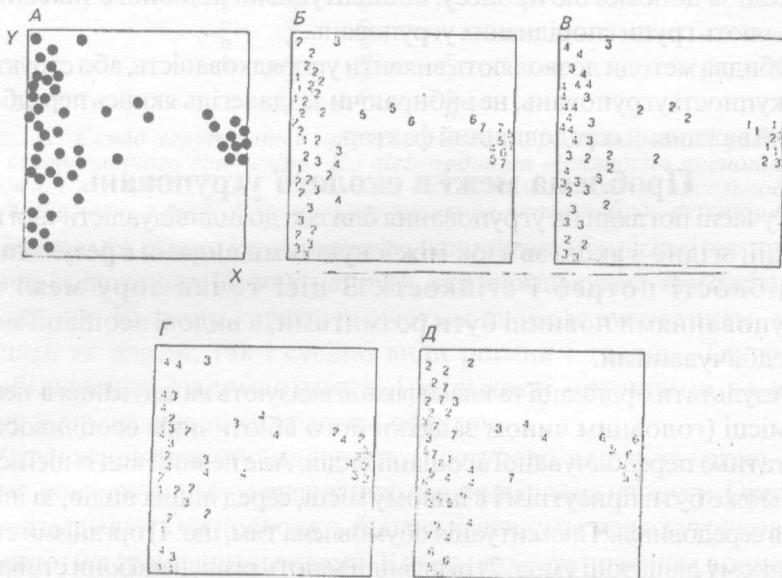
Мал. 20. Приклад ярусності на суші і в морі.

У більшості угруповань спостерігається періодичність активності популяцій, пов'язана зі зміною температури, освітлення тощо. Періодичність же угруповань є результат синхронної активності протягом дня і ночі цілих груп організмів. Одні організми активні лише вдень, інші - в сутінках, треті - тільки вночі. Для угруповань характерна сезонна періодичність, яка іноді обумовлює зміну структури угруповання протягом року. Хоч прийнято розрізняти чотири пори року, екологи знайшли їх більше - рання осінь відрізняється від пізньої не менше, ніж від зими. Екологи поділяють рік на шість періодів: зима (сплячка для багатьох тварин), рання весна (прокидання), пізня весна, раннє літо, пізнє літо (закінчення активності) і осінь.

Ординація і класифікація угруповань

Для усунення суб'єктивізму при описанні угруповань розроблені формальні статистичні методи. Одним із таких методів є ординація.

Ординація - це математичне опрацювання даних, яке дозволяє розташувати точки на графіку таким чином, що ті із них, які відповідають угрупованням, найбільш подібним за складом і співвідношенням чисельності видів, опиняться ближче всього один до одного. Відстань між точками, що означають угруповання, які дуже відрізняються кількісним співвідношенням видів чи видовим складом, буде значно більшою.



Мал. 21. Ординація 50 рослинних угруповань на піщаних дюнах.

А. Ординація з умовним позначенням вологості ґрунту.

Б. Ординація з умовним позначенням швидкості дифузії кисню.

В. Ординація з умовним позначенням рН субстрату.

Г. Ординація з умовним позначенням концентрації натру.

Так, вивчення піщаних дюн (мал. 21) виявило тісний зв'язок умов середовища з видовим складом угруповань. На мал. 22 представлена ординація даних з врахуванням вологості ґрунту і швидкості дифузії кисню. Вісь Х площини ординації позитивно пов'язана з вологістю ґрунту. Найбільш низька відповідає лівій частині графіка, най-

вища - правій. У протилежність цьому найбільш низькі швидкості дифузії кисню розташовуються справа.

Результати ординації підкреслюють, що при даному сполученні умов середовища виникає певна асоціація видів.

Класифікація в протилежність ординації виходить з припущення, що угруповання відповідають відносно дискретним об'єктам. При цьому підході за допомогою процесу, концептуально подібного таксономії, виділяють групи споріднених угруповань.

Обидва методи дозволяють виявити упорядкованість, або структуру у сукупності угруповань, не вибираючи заздалегідь якийсь передбачуваний важливий середовищний фактор.

Проблема межі в екології угруповань

Сучасні погляди на угруповання близькі до індивідуалістичної концепції, згідно з якою зв'язок між існуючими видами є результатом подібності потреб і стійкості. З цієї точки зору межі між угрупованнями повинні бути розмитими, а видові асоціації менш передбачуваними.

Результати ординації та класифікації вказують на існування в певному місці (головним чином завдяки його абіотичним особливостям) достатньо передбачуваної асоціації видів. Але певний вид із цієї асоціації може бути присутнім і в іншому місці, серед інших видів, за інших умов середовища. Така ситуація обумовлена тим, що: 1) організми стійкі в деякому діапазоні умов; 2) різні види мають різні діапазони стійкості; 3) особини в межах виду відрізняються екологічними потребами; 4) самі умови змінюються поступово. Таким чином, за виключенням випадків різкої зміни умов (наприклад, на межі між сушею і водою, при вході в печеру і т.п.) чіткі межі між угрупованнями неможливі.

Мають угруповання більш-менш чіткі межі чи ні - питання важливе, але важливіше інше. Екологія угруповань - це вивчення особливого рівня організації живого, а не дискретних просторово-часових одиниць. Вона розглядає природу взаємовідносин між видами і середовищем їх мешкання, а також структуру і функціонування багатовидових угруповань, як правило, в одній просторово-часовій точці. При цьому зовсім не важливе існування між угрупованнями дискретних меж.

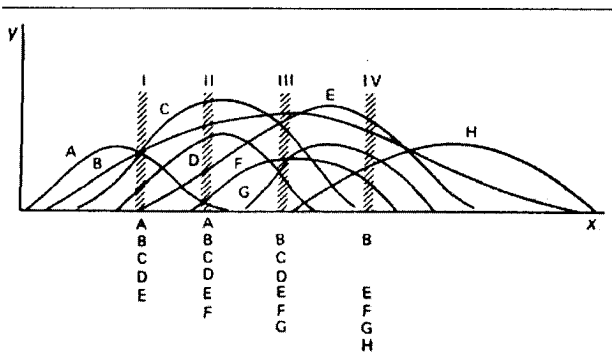


Рис. 22. Склад угруповань в чотирьох місяцях, розташованих уздовж середовищного градієнту. По вісі ординат відкладена ряснота кожного із видів (А-Н), виражена відсотком загальної чисельності чи біомаси, а по вісі Х - числові значення якого-небудь фактора.

Перехід між різним угрупованням, наприклад, між лісом і степом називається екотонном. Це зона напруги, яка завжди вузча, ніж сусідні угруповання. Екотони характеризуються своїм угрупованням, куди входять як власні, так і сусідні види рослин і тварин. Тенденція до збільшення різноманітності і щільності організмів на межі угруповань називається красвим-ефектом.

Угруповання можуть змінюватися поступово, а можуть і різко - між двома конкуруючими угрупованнями виникає зона напруги. Організми, які мешкають чи проводять більшу частину на межах угруповань, називаються граничними видами. В наземних угрупованнях концепція крайового ефекту особливо добре підходить для птахів. Встановлена загальна для всіх організмів закономірність: щільність популяцій і різноманітність угруповань зростає із збільшенням відношення довжини границь до площі, що займає це угруповання.

Одним із типів екотонів, важливих для людини, є узлісся. Поселившись у лісі, людина вирубає навкруги дерева, роблячи узлісся, а поселившись на полі - садить дерева. Багато видів організмів, звичні для лісу, або степу, здатні вижити на узліссі, створеному людиною. І це збагачує її життя.

Ритми і цикли

Між рухом небесних тіл і живими організмами на Землі існує зв'язок. Живі істоти не тільки уловлюють світло і тепло Сонця і Місяця,

але і володіють різноманітними механізмами, що точно визначають положення Сонця, реагують на ритм приливів, фази Місяця і рух нашої планети. Навіть людина не настільки несприйнятлива до всіх циклічних змін, що стосуються рослин і тварин, як це ми звикли вважати. Більшість культурних рослин і свійських тварин розмножуються у ритмі, який приурочений до тривалості дня і зміни пори року, обумовленої, в свою чергу, обертанням Землі навколо Сонця.

Лише в деяких місцемешканнях - темних печерах, в нижніх шарах ґрунту і в морських глибинах - на біоценози майже не впливає пересування світла. В інших місцемешканнях все живе зазнає на собі зовнішні впливи, які періодично змінюються. Двічі на добу, на світанку і в сутінках вечора, активність тварин і рослин угруповань змінюється так сильно, що приводить майже до повної зміни «діючих осіб». Це так званий добовий ритм, і обумовлений він періодичною зміною освітленості через обертання Землі навкруги своєї осі. Якщо у зелених рослин фотосинтез відбувається у світлий час доби, то більшість грибів, які не мають хлорофілу, росте однаково як вдень, так і вночі. Деякі види тварин активні лише при сонячному світлі, інші, навпаки, його уникають. Різниця між денним та нічним способом життя - явище складне, пов'язане воно з різноманітними фізіологічними і поведінковими адаптаціями, виробленими у процесі еволюції. Ссавці, наприклад, звичайно більш активні по ночах, хоч існують і виключення, зокрема людина. Зір людини так само, як і зір його найближчих родичів - людиноподібних мавп - пристосований до денного світла; окрім того, він у людини кольоровий, і тому людині необхідне світло. Розвиток інших тварин йшов іншими шляхами, так, що вони виявилися пристосованими або до нічного, або до денного, або до сутінкового характеру життя.

Отже, більшість угруповань включає в себе дві групи видів - денну і нічну - які майже не зустрічаються одна з одною. На заході сонця денні тварини - більша частина птахів, комах, ящірок - відправляється спати, а світ заповнюють нічні тварини. Прокидаються і стають активними деякі птахи - сови, козодої, гуахаро - і численні ссавці. Серед комах нічний характер життя ведуть лише деякі стародавні види, як таргани та терміти, тоді, як більшість «молодих» видів - бджоли, оси, метелики - пов'язані із порівняно недавно виниклими квітковими рос-

линами і тому активні вдень - в час, коли квіти розкриваються. Нічні метелики - близькі родичі метеликів, але на відміну від них живляться нектаром квітів (як правило, білих, або світло-жовтих), які розпускаються по ночах. Серед тварин, наприклад, білок зустрічаються близькородинні види, пристосовані до різного способу життя, - одні до денного, інші - до нічного. Так, летяги активні лише вночі, кришталіки у них не кольорові; сіра і гудзонська бурундукові білки, які зустрічаються деколи в одних і тих же лісах, ведуть денний спосіб життя, їхні кришталіки жовтуваті. Такий колір кришталіка пояснюється високою інтенсивністю денного світла - кришталік відіграє роль світлофільтру.

Добовий ритм чітко відчувається в житті морів і великих озер. Міріади крихітних тварин під загальною назвою фітопланктон щоденно здійснюють вертикальні міграції, піднімаючись до поверхні на ніч і опускаючись у глибину вдень. Услід за фітопланктоном угору-вниз переміщуються і тварини, які живляться ним, а за ними - і зовсім крупні хижаки, які полюють на планктоннідних. Вважається, що такі регулярні вертикальні переміщення планктонних організмів підлягають впливу багатьох факторів - освітленості, температури, солоності води, гравітації, просто голоду; але первинним є освітленість, бо саме її зміни можуть викликати зміни реакцій тварин на гравітацію. Вважається, що, коли освітленість значна, тварини реагують на притяжіння Землі і поринають у глибину. З їх зануренням темнота згущається і, накінець, коли тварина досягає глибини, на якій світло вже не справляє стимулюючої дії, вона зупиняється. Близьче до вечора освітленість на тій глибині, на якій зупинилися тварини, падає ще нижче, і тоді реакція тварин змінюється на зворотну - вся популяція зоопланктону піднімається до поверхні води і приступає до живлення фітопланктоном, який накопичив за денний час деякий запас матеріалізованої в біомасі енергії.

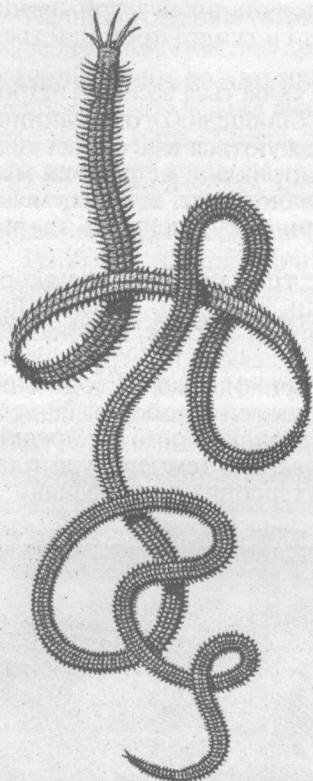
Друге пояснення вертикальних міграцій зоопланктону зводиться до припущення, що тварини віддають перевагу знаходженню весь час в умовах постійної помірної освітленості і в рівній мірі уникають як більшої, так і меншої освітленості. Правда, залишається незрозумілим, як може позитивно відобразитися на виживанні необхідність постійно витрачати частину енергії на регулярні підйоми і спуски, тим більше, що від хижаків планктонні організми при цьому не позбавляються, оскільки хижаки також мігрують вгору і вниз услід за планктоном.

Можливо, переваги такого способу життя і є саме в такій періодичній зміні умов; тварини попадають то у поверхневі шари із сильними течіями, то на глибину у декілька десятків метрів, де течія взагалі відсутня. Таким чином, ці самі по собі малорухомі організми можуть переходити із одних умов в інші, просто занурюючись і спливаючи.

У загальних рисах те ж саме відбувається і у великих озерах. Ретельне вивчення вертикальних міграцій зоопланктону було проведено у багатьох місцях. Так, у Швейцарії на озері Люцерн характер вертикальних міграцій відрізняється у різних видів і навіть на різних стадіях життєвого циклу одних і тих же організмів. Самих верхніх шарів різні тварини досягають в різні нічні години; неодноразово відбувається і занурювання. Різниця в реакціях на освітлення приводить до того, що в будь-який час доби зоопланктон в цілому розподілений на різних глибинах.

Хоч багато тварин виявляє тільки денну, або тільки нічну активність, є й такі, які у випадку необхідності можуть змінювати свій спосіб життя. Так, багато лісових і водоплаваючих птахів активні звичайно вдень, а перельоти вони здійснюють по ночах. Коробчасті черепахи ведуть денний спосіб життя, але яйця відкладають вночі. Деякі члени угруповань, наприклад, слизовики і равлики, можуть змінювати свою поведінку у залежності від вологості, хоч звичайно вони найбільш активні у найтемніші вечірні години. Натуралісти давно звернули увагу на те, що в районах, де дуже багато мисливців, дичина схильна переходити до нічного способу життя, хоч ті ж самі тварини в інших місцях, де людина їх не дуже турбує, активні виключно вдень. Було також помічено, що північноамериканська пума, африканський лев та індійський тигр зсовують години виходу на полювання поближче до ночі, щоб уникнути зустрічі із своїм найзлішим ворогом - людиною.

Деколи зміна пори року, обумовлена обертанням Землі навколо Сонця, завжди вражає і захоплює людину. Весною все живе прокидається від глибокого сну у міру того, як тане сніг і яскравіше світить сонце. Тріскаються бруньки і розпускається молоде листя; молоді звірята виповзають із нір, у повітрі сновигають комахи та птахи, що повернулися із півдня. Найпомітніше зміна пори року протікає у лісах зони помірного клімату, але так чи інакше відбувається вона повсюди, і різні угруповання по-різному реагують на відповідні зміни зовнішніх умов.



Мал. 23. Місяць і палоло.

У розмноженні палоло роль годинника відіграють фази місяця. Статеві клітини червів дозрівають приблизно в один і той же час, коли Місяць знаходиться в останній чверті.

наряд на білий зимовий. Зайця-біляка вдалося навіть заставити взагалі не линяти влітку, створюючи йому цілорічно «зимові» умови - при тривалості світлого часу доби 9 годин - хоч температура влітку досягала $+21^{\circ}\text{C}$.

Прийнято вважати, що існують чотири пори року, але екологи у помірній зоні виділяють шість: зима, рання весна, пізня весна, раннє літо, пізнє літо і осінь. Так, нашого поділу на чотири пори року не притримуються птахи: склад угруповань птахів і постійних, і прилітаючих весь час змінюється, причому максимальної чисельності птахи досягають весною і восени. В Арктиці

Вирішальним фактором приходу весни у багатьох випадках є не температура, а збільшення тривалості дня. Вона змінюється протягом усього року: найдовше сонце світить в день літнього сонцестояння у червні, менше всього - у день зимового сонцестояння у грудні. У багатьох живих істот є спеціальні фізіологічні механізми, які реагують на тривалість дня і у відповідності до цього змінюють свій спосіб життя. Довгий час залишалося таємницею, як куколки метеликів-сатурній узнають про те, що настала весна і пора вилазити із кокона. Виявилось, що світло проникає через щільний кокон і досягає мозку куколки крізь особливі прозорі ділянки у покровах голови. Доки тривалість дня становить 8 годин, куколка спокійно спить, але як тільки день стає довшим, 26 особливих нервових клітин у мозку метелика починають виділяти спеціальний гормон, який пробуджує куколку.

Було показано, що сезонні зміни хутрового покриву деяких ссавців також визначаються відносною тривалістю дня і ночі і, як правило, не залежать від температури. Поступово, штучно скорочуючи світлий час доби у вольєрах, вчені як би імітували осінь і добилися того, що утримувані в неволі горностаї і ласки раніше часу змінювали свій коричневий літній

фактично лише дві пори року: дев'ятимісячна зима і три літніх місяці, коли сонце не заходить за горизонт і в тундрі прокидається життя.

Оскільки у свійських тварин потомство з'являється весною і підостає у найбільш сприятливий період, коли більше всього рослинної їжі, ми схильні думати, що весною розмножуються взагалі всі тварини. Але це далеко не так. У тропіках, наприклад, де різниця між порами року не так виражена, тварини в залежності від місцемешкання можуть розмножуватися в різні пори року, і існують тварини, що розмножуються цілодобово.

Окрім Землі і Сонця, є ще одне небесне тіло, пересування якого помітно впливає на живі істоти, - це Місяць (мал. 23). У різних народів існують прикмети, які свідчать про вплив Місяця, наприклад, на урожай, чи на поведінку людей, причому, деякі із них ґрунтуються на реальних фактах. Так, на повнолуння приходяться періоди максимального емоціонального піднесення у людей і койотів; 28-денний менструальний цикл жінок, можливо, успадкований від предків ссавців, у яких із зміною фаз Місяця змінювалася температура тіла. Початок двомісячної вагітності гігантських лісових щурів Малайзії приходить на місяць уповні.



Мал. 24. Викинуті на пісок, атеріни сплять відкласти ікру, поки наступна хвиля не змие їх знову в океан.

Самиці, що першими відклали ікру, виповзають із піску.

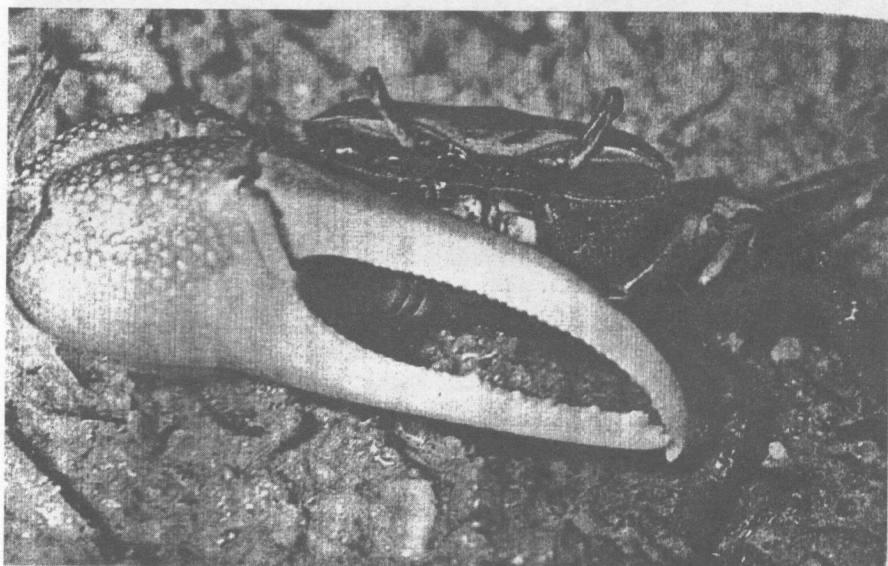
Перш за все вплив Місяця на життя на Землі пов'язаний з припливами, обумовленими сумісним притягінням Місяця і Сонця. Рух Місяця навколо Землі приводить до того, що існує не тільки добова ритміка припливів, але й місяцева: максимальної вишини припливи досягають приблизно раз у 14 днів, коли Сонце і Місяць знаходяться на одній прямій із Землею і чинять максимальний вплив на води океанів. Встановлено, що максимальна ритміка припливів проявляється на організмах прибережних вод; чергування припливів і відпливів для цих істот важливіше, ніж зміна дня і ночі. (Мал. 24).

Найбільш яскраві зміни активності, пов'язані з ритмікою припливів, виявлені у кільчастих черв'яків - далеких родичів звичайних земляних. Так, нереїс атлантичного узбережжя Північної Америки викидає ікру двічі на місяць - уповні і через тиждень, в останню чверть Місяця. У тихоокеанського палоло «нерест» і розмноження пов'язані із фазами Місяця і ритмікою припливів; правда, в різних місцях розмноження приурочено до різних фаз. Яйця і сперма палоло дозрівають до третьої чверті Місяця у жовтні і листопаді і накопичуються у задній частині тіла, в певний час відділяються, спливають. «Нерест» деяких кільчастих черв'їв біля Бермудських островів відбувається на третій день після повні, через 54 хвилини після заходу сонця.

Біологічний годинник

Періодичність поведінки, пов'язана з пересуванням Місяця, Сонця, з припливами у багатьох тварин зберігається і після їх повної ізоляції від зовнішніх впливів. Механізм, що відповідає за таку періодичну активність, був названий «біологічним годинником», хоч достеменно ніхто ще не знає, де він локалізований і як він працює. Організми, які мають такий внутрішній годинник, отримують велику перевагу - вони здатні «передбачати» надходження подій, що регулярно повторюються, і відповідним способом підготуватися заздалегідь до наступних змін. Наприклад, бджолам їх внутрішній годинник допомагає прилітати на квітку, на якій вона побувала вчора, точно в той час, коли вона розпускається; квітка, яку відвідує бджола, також має певний внутрішній механізм, який сигналізує, коли пора розпускатися.

Одним із вражаючих прикладів незалежності біологічного годинника від зовнішніх умов є поведінка вабливого краба. Ці тварини періодично змінюють своє забарвлення: темні вдень, вони світліють увечері і знову темніють на світанку. Більше того, виявилось, що найтемніше забарвлення кожний день настає на 50 хвилин пізніше, ніж напередодні. Було встановлено, що і в лабораторних умовах краби найтемніше забарвлені в той час, коли на їх рідному пляжі настає максимум відливу, а найголовніше - коли вода сягає верхньої відмітки. Коли крабів витримували більше місяця зовсім без сонця, вони продовжували змінювати забарвлення синхронно із своїми побратимами, що залишалися в природних умовах. (Мал. 25).



Мал. 25. Вабливий краб вдень темніє, оскільки пігмент розповсюджується по усьому панцирю. Таким пігментним забарвленням керують спеціальні гормони, які виробляються особливими органами, розташованими в очних стебельцях краба.

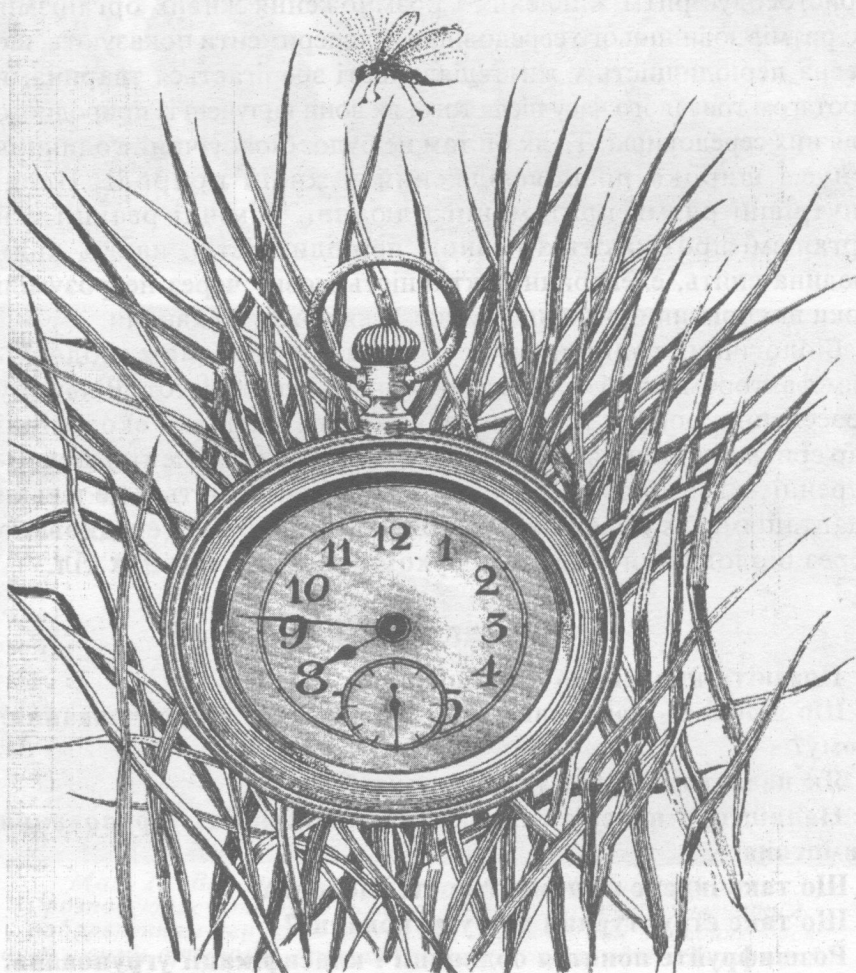
В наш час природа біологічного годинника залишається загадкою. Деякі вчені вважають, що лаштування біологічного годинника здійснюється зовнішніми факторами. Ця точка зору підтверджується експериментальними даними, які показали, що ритм біологічного годинника можна дещо змінювати. Згідно з іншою точкою зору, жива протоплазма містить сама в собі певний внутрішній хронометр, який в процесі еволюції пристосовує ритм живлення і розмноження живих організмів до ритмів зовнішнього середовища. Експерименти показують, що певна періодичність у життєдіяльності зберігається тваринами протягом тривалого часу після того, як вони вилучені із природного для них середовища. Та як би там не було, біологічний годинник існує і широко розповсюджений у живій природі. Певні внутрішні ритми притаманні і людині. Хімічні реакції в її організмі протікають з певною періодичністю; навіть коли людина спить, електрична активність мозку через незрозумілі поки що причини ритмічно змінюється кожні 90 хвилин.

Біологічний годинник по суті справи є ще одним екологічним фактором, який обмежує активність живих істот. Вільному розселенню рослин і тварин заважають не тільки екологічні бар'єри, вони прив'язані до свого місцемешкання не тільки конкуренцією і симбіозом, межі їх ареалів визначаються не тільки адаптаціями, їх поведінка скеровується ще й опосередковано через біологічний годинник рухом далеких небесних тіл.

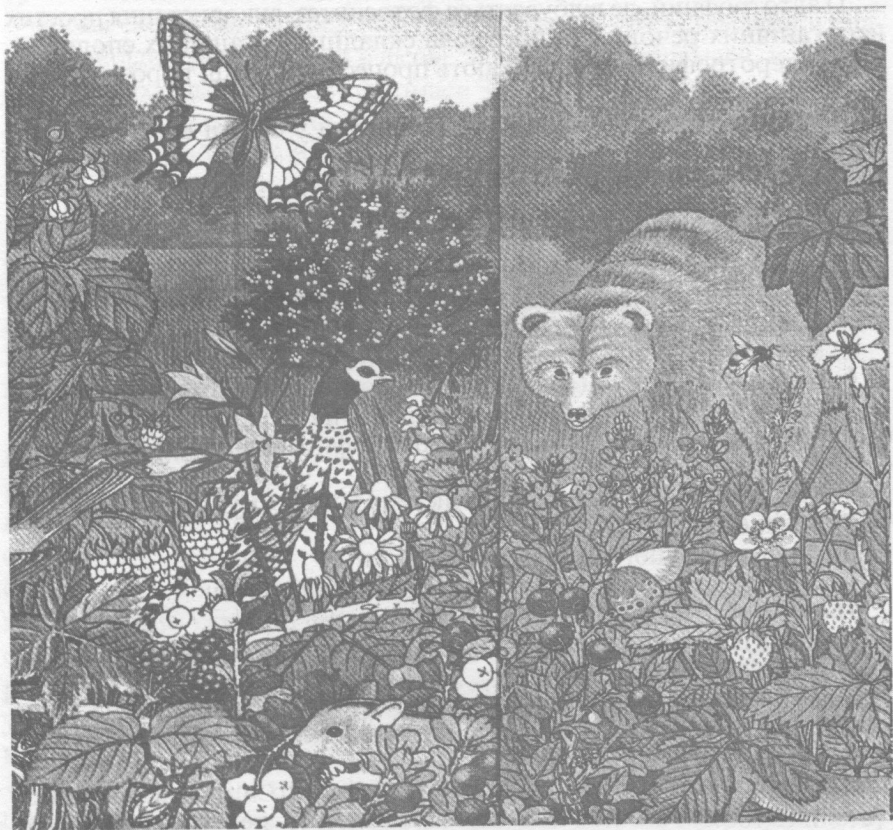
Питання для контролю

1. Поясніть концепцію угруповання.
2. Що вірніше - контролювати окремий вид, чи угруповання? Чому?
3. Як надається назва угрупованням?
4. Напишіть і поясніть індекс різноманітності угруповання Симпсона.
5. Що таке індекс різноманітності Шеннона?
6. Що таке структурний тип угруповання?
7. Розшифруйте поняття ординації і класифікації угруповань.

8. Як ви розумієте поняття межі в угрупованнях?
9. Що таке екотони та крайовий ефект?
10. Які ви знаєте види біологічних ритмів?
11. Що таке біологічні ритми і з чим вони пов'язані?
12. Які існують точки зору у поясненні природи «біологічного годинника»?



ЕКОЛОГІЧНА СИСТЕМА



Концепція екосистеми

Живі організми та їх неживе оточення нероздільно пов'язані одне з одним і знаходяться у постійній взаємодії.

Будь-яка єдність, що включає всі організми на даній ділянці, які взаємодіють із фізичним середовищем таким чином, що потік енергії створює чітко визначену трофічну структуру, видову різноманітність та кругообіг речовин усередині системи, являє собою екологічну систему — *екосистему*. Коротко екосистему можна визначити як сукупність організмів і неживих компонентів, пов'язаних потоками речовин і енергії.

З точки зору трофічних відносин екосистема має два компоненти:

- 1) автотрофний, де відбувається фотосинтез, використання простих неорганічних речовин та побудова складних органічних сполук;
- 2) гетеротрофний, де протікають процеси утилізації та розкладання органічних сполук.

Для зручності описування слід виділяти у складі екосистем такі компоненти:

- 1) неорганічні речовини (N_2 , C, CO_2 , H_2O);
- 2) органічні сполуки (білки, вуглеводи, ліпіди, гумінові речовини тощо);
- 3) клімат (фізичні фактори, температура);
- 4) продуценти – автотрофні організми (головним чином рослини);
- 5) макроконсументи (фаготрофи);
- 6) мікроконсументи (сапротрофи – бактерії, гриби).

Вілер і Оунес розділяють гетеротрофи на дві категорії - біофаги (поїдають живі організми) та сапротрофи (живляться неживими органічними сполуками).

З функціональної точки зору екосистеми вивчають у таких напрямках:

- 1) потік енергії;
- 2) харчові ланцюги;
- 3) структура просторово-часової різноманітності;
- 4) кругообіг поживних елементів;
- 5) розвиток та еволюція;
- 6) управління (кібернетика).

І біотичне угруповання, і абіотичне середовище впливають один на одного і необхідні для підтримування життя у тому вигляді, у якому воно існує на Землі.

На німецькій та слов'янських мовах часто використовується термін *біогеоценоз*. Інколи його ототожнюють з екосистемою. Але різниця між цими поняттями деколи буває суттєва. Для існування біогеоценозу необхідна певна територія поверхні Землі, у той час, як екосистема може обмежуватися квітковим горщиком на балконі, або ж пробіркою з бактеріальною культурою. Таким чином, поняття екосистеми більш універсальне; крім того, це коротке, ємне і легке для будь-якої мови слово.

Екосистеми бувають наземні, прісноводні та морські – природні і штучні.

Основні екосистеми біосфери

Загальна площа поверхні Землі становить 510,2 млн.км², із яких 361,1 млн. км² (70,8%) зайнята світовим океаном, суша займає 149,1 млн. км² (29,2%), гори - понад 30% суші, пустелі - близько 20%, савани і рідколісся - близько 30%, льодовики - понад 10%. Більше 10% суші використовується під сільськогосподарські угіддя.

Лісові екосистеми. Серед усіх типів наземних екосистем нашої планети найбільш поширеними є лісові. Запаси рослинної маси в лісових екосистемах складають 82% фітомаси Землі, тобто 1960 млрд. тонн.

Згідно з оцінками ФАО ООН загальна лісова площа становить понад 4 млрд. га, або 30% суші, а загальний запас деревини перевищує 350 млрд. м³. Ліс, на відміну від інших органічних ресурсів - кам'яного вугілля, газу, нафти, а також неорганічних запасів земних надр - відновлювальний природний ресурс.

В лісах планети зростає понад 1 тис. видів дерев, чагарників, під пологом яких знаходяться одно- та багаторічні трави, мохи, лишайники, хвощі, плавуни, папороті, гриби. Щорічно у процесі фотосинтезу ліси виробляють близько 100 млрд. т органічної маси.

Під лісом розуміють елемент географічного ландшафту, що складається із сукупності деревних, чагарникових, трав'янистих рослин, тварин та мікроорганізмів, біологічно пов'язаних у своєму розвитку, впливаючих один на одного та на навколишнє середовище. Основною класифікаційною одиницею (за Сукачовим) є тип лісу - ділянка лісу або їх сукупність, що характеризуються загальними лісорослинними умовами, однаковим складом деревних порід і кількістю ярусів, аналогічною фауною, потребуючих одних і тих же лісгосподарських заходів при рівних економічних умовах. Типи лісу об'єднуються у групи типів, потім у класи типів, лісові формації, групи лісових формацій, типи рослинності.

У градації лісових екосистем в межах трьох типів рослинності (північна позатропічна, тропічна та південна нетропічна рослинність) виділено шість загальних типів лісів: хвойні ліси холодної зони, змішані ліси помірної зони, вологі ліси теплого помірного клімату, екваторіальні дощові ліси, тропічні вологі листопадні ліси, ліси сухих областей.

Трав'янисті ландшафти представлені головним чином екосистемами степів і луків, природними і культурними пасовиськами, сінокосами і агроекосистемами.



Мал. 26. Цвіте ковила в українському степу

Степ - своєрідний тип природного середовища, властивий північному позатропічному поясу.

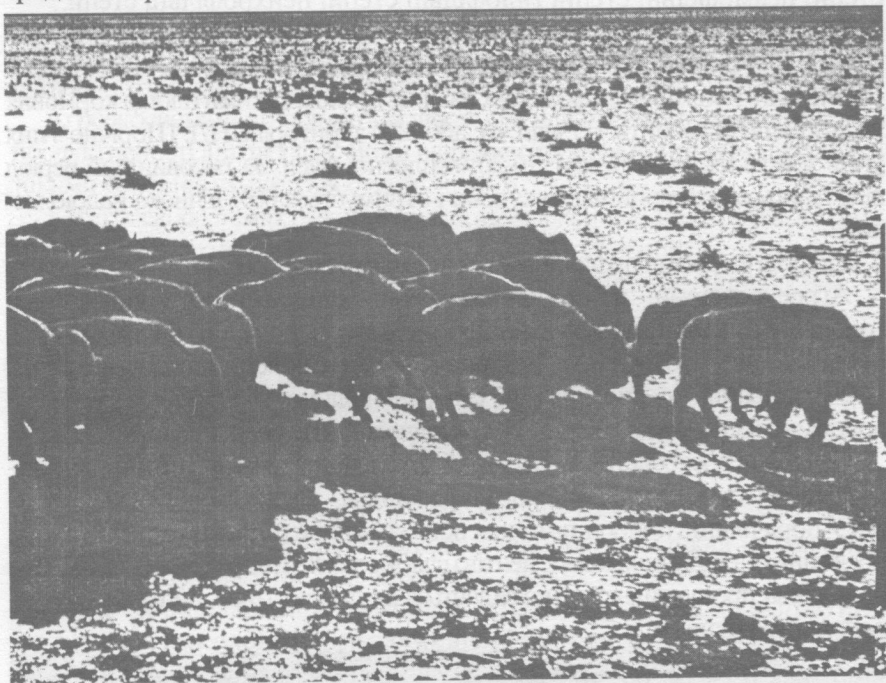
Степи займають близько 6% поверхні суші.

Степовий тип рослинності характеризується перевагою ксероморфних злаків. Розвиваються у двох кліматичних зонах - континентальних зонах помірних широт із суворою зимою і посушливим літом та середземноморських субарідних зонах з м'якою, або холодною зимою, але з тривалим сухим періодом.

В Євразії степи утворюють смугу, що простягнулася від Молдови та України (мал. 26) до Східної Монголії між листопадними, іноді хвойними лісами на півночі та арідними і пустельними зонами на півдні. Угорські пушти представляють ізольований анклав степів в Центральній Європі. Для степів Євразії характерний різко континентальний клімат з суворою і тривалою зимою та теплим літом. Середньорічна температура досить низька: від $0,5^{\circ}\text{C}$ в Сибіру до $+9^{\circ}\text{C}$ в Україні. Оподи незначні - 250-500 мм на рік. Випадають вони протягом всього року, але влітку кількість опадів стає дефіцитною через низьку вологість повітря (менше 50%) та постійними вітрами.

В Північній Америці степові формації займають широку середню смугу від провінцій Монітоба і Саскачеван на півночі до Мексиканської затоки на півдні та від штату Мічиган на сході до Скельних гір на заході. Ці формації в їх східній частині називають преріями (мал. 27), а в західній - Великою рівниною. Ізольовані острови степів відмічаються і західніше: тихоокеанська прерія Каліфорнії, прерії Полузи на північному сході США.

В степах СНД градієнти температури і зволоження зростають з півночі на південь, тоді як в степах Північної Америки термічний градієнт і градієнт зволоження орієнтовані по-різному:



Мал. 27. Бізони в прерії

перший з півночі на південь, другий - зі сходу на захід. Це обумовлюється наявністю бар'єру тихоокеанських гір, що затримують вологі вітри. На сході Північної Америки границя між прерією і лісом припадає на райони з річною кількістю опадів 600-1000 мм; перехід до середніх формацій на заході відбувається при 200-250- міліметровому рівні опадів.

У Південній Америці до степів належать пампаси Аргентини, які також розглядають як релікт, що не відповідає сучасним кліматичним умовам цієї території. Вони отримують понад 600 мм річних опадів при середньорічній температурі $+14-17^{\circ}\text{C}$.

На території СНД виділяють субтропічні степи - злакові і різно-травні; чагарникові ксерофільні степи з різностійкими ярусами чагар-

ників; дійсно ксерофільні і мезоксерофільні степи - лугові з мезоксерофільними злаками; типові ксерофільні щільнокущові і різнотравні степи; псамофільні степи; галофільні степи; психрофільні степи.

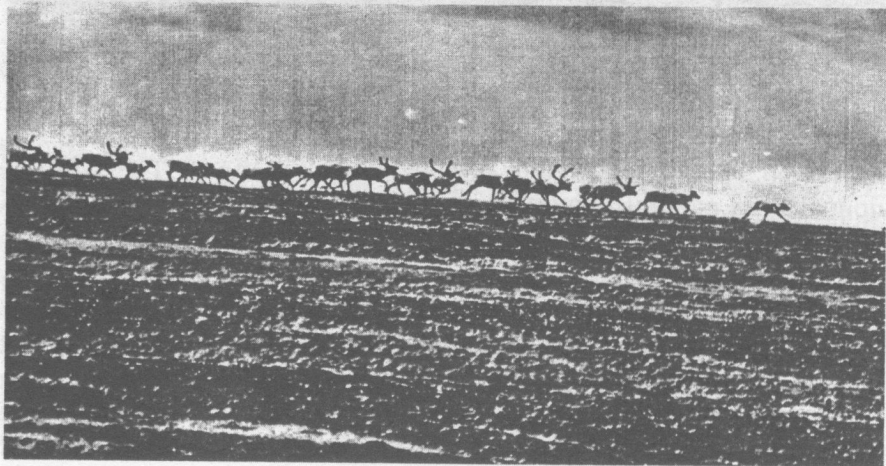
Природні пасовиська і сінокоси займають 374 млн. га в СНД (1/6 території, 62,5% сільськогосподарських угідь). Крім того, в тундрі і лісотундрі є ще 343 млн. га оленячих пасовиськ (мал. 28), разом з якими площа кормових угідь країни становить 717 млн. га, або 32% території СНД. Щорічно з цих угідь збирають до 50% сіна, 10-20% силосної маси. За пасовищний період відбувається основний нагул худоби і отримується 60% річного надою молока.

Степові формації представлені 11 тисячами видів рослин.

Агроєкосистеми - це вторинні, змінені людиною екосистеми, які стали головними елементарними одиницями біосфери (поля, штучні пасовиська, городи, сади, виноградники, ягідники, квітники, полезахисні смуги тощо).

Угруповання рослин і тварин, створені людиною в морському і прісноводному середовищах, можна також віднести до агроєкосистем.

Основа агроєкосистеми - штучний фітоценоз. Якість агроєкосистем також залежить від навколишнього середовища - ґрунту, вологи, температури. У порівнянні з природними екосистемами вони мають обмежений склад рослинних і тваринних компонентів і слабку здатність до саморегуляції. Але біологічна продуктивність, що задається людиною, буває вища, ніж у природних екосистемах.



Мал. 28. Північний олень на пасовиську в тундрі

Агроєкосистеми займають понад 10% поверхні суші (1,2 млрд. га) і дають людуству 90% енергії. Без підтримки людини агробіогеоценози (агроєкосистеми) зернових та овочевих культур існують не більше 1 року, багаторічних трав, ягідних рослин - 3-4 роки, плодових культур - 20-30 років. Потім вони деградують. Лісові культури без участі людини поступово перетворюються в природні біогеоценози.

Агроєкосистеми створюються людиною для одержання високої чистої продуктивності автотрофів. Вони відрізняються від природних екосистем такими основними властивостями:

1. В агроєкосистемах різко зменшена кількість видів автотрофів, що приводить до різкого зменшення різноманітності організмів в системі. В агроєкосистемі кількість автотрофів зменшується штучно до одного, або декількох видів.

2. Види, що культивуються людиною, підтримуються штучним відбором у стані, далекому від первісного і тому не можуть витримувати конкуренції з видами, які не підтримуються людиною.

3. Агроєкосистеми отримують додатковий притік енергії викопного палива, окрім сонячної енергії.

Чиста первинна продукція (урожай) видаляється із екосистеми і не надходить в ланцюги живлення. Часткове її використання шкідниками є явище небажане для людини і припиняється діяльністю людини.

Сільськогосподарське поле в ідеалі - це система з високою чистою продуктивністю і високою стабільністю, але ці два явища в природі не сумісні. В природних екосистемах первинна продукція споживається в численних харчових ланцюгах і знову повертається у вигляді мінеральних солей та CO_2 в систему біологічного кругообігу. Ми ж обриваємо численні зв'язки і викликаємо цим дестабілізацію системи. По суті, зусилля по збільшенню первинної продукції на користь людини - боротьба проти природи.

Всі агроєкосистеми підтримуються на початкових стадіях сукцесійних перетворень; це використання природних властивостей екосистем виробляти високу первинну продуктивність на піонерних стадіях (чисту продуктивність). Але природні піонерні угруповання нестійкі і не здатні до саморегуляції.

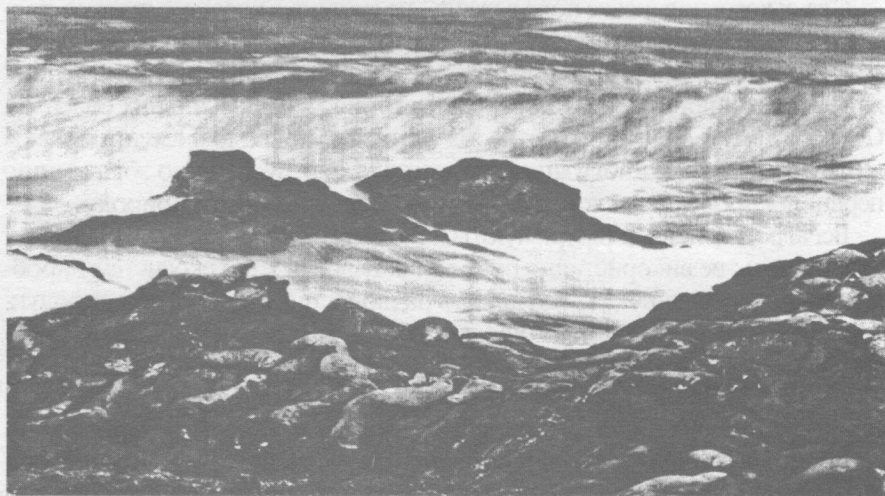
В агроєкосистемах часто відбуваються «екологічні вибухи» - вибухи чисельності окремих видів. Так було з вибухом чисельності фітофтори, що перебралася із Європи в Ірландію і знищила урожай картоплі, викликавши страшний голод; у Франції понад 1 млн. га виноградників довелося знищити через розвиток кореневої гнилі, викликаній грибом-філоксерою.

Хіміреактиви в екосистемах часто викликають «бумеранг-ефект» - після першого пригнічення розмноження шкідників настає вибух їх чисельності.

Детальніше про агроекосистеми можна прочитати в хорошому підручнику О.М.Куценко та В.М.Писаренко «Агроєкологія» (1995).



Мал. 29. Екологічні зони Світового океану.



Мал. 30. На островах в океані.

Океани займають майже 70% земної поверхні. Вони є величезними і найбільш різноманітними екосистемами.

Різниця у фізико-хімічних властивостях середовищ створюють у водних і наземних екосистемах різні умови існування.

Найбільш характерні особливості екосистем Світового океану слідуючі: глобальність розмірів і величезні глибини, освоєні життям; безперервність (всі океани пов'язані між собою); постійна циркуляція; панування різних хвиль і припливів, викликаних притягінням Місяця і Сонця і обумовлюючих періодичність життя угруповань, особливо в прибережних зонах; солоність і велика буферність; наявність розчинених біогенних елементів, які є лімітуючими факторами, що визначають розміри популяцій.

Площа океанів і морів у 2,5 рази перевищує територію суші. Океанічні води покривають майже 3/4 поверхні земної кулі шаром товщиною близько 4000 м.

В цілому Світовий океан являє собою велику екосистему зі специфічною геологічною, геоморфологічною будовою, геохімічними та фізико-хімічними процесами, які протікають у товщі вод та донних відкладеннях. Він відзначається особливим характером обміну речовин та енергії як усередині екосистеми, так і у взаємодії з атмосферою і дном.

Різні окремі екосистеми океану мають дві принципові відміни від наземних екосистем.

1. Продуценти наземних екосистем - рослини нерозривно пов'язані кореневою системою з біогенним фондом, у формуванні якого самі ж рослини беруть безпосередню участь. Продуценти водних екосистем - водорості роз'єднані з основним біогенним донним фондом. В освітлюваному шарі, який не перевищує в океані декількох десятків метрів, біогенних солей, перш за все фосфору, недостатньо, і вони лімітують утворення органічної речовини. Біогенні елементи знаходяться на глибині, куди світло не проникає і звідкілья вони виносяться в освітлюваний шар вертикальним переміщенням водних мас в результаті теплової та механічної взаємодії атмосфери і гідросфери.

В наземних екосистемах рослини є головним компонентом їжі багатьох тварин, тому розповсюдження останніх пов'язане з рослинними асоціаціями. В морському середовищі тваринне населення (консументи) і поля фітопланктону (продуценти) роз'єднані. У більшості випадках не існує прямого контакту з живими рослинами, які зосереджені в тонкому поверхневому шарі води. Маса тварин живе нижче маси рослин і використовує продукти

деструкції рослинних організмів. Ось чому у водних екосистемах особливе значення набули редуценти, деструктори рослин. Вони живляться мертвими залишками тварин і рослин, мінералізують ці залишки, доводячи їх до вуглекислоти, аміаку і води, роблячи їх доступними для автотрофів - продуцентів. З глибиною кількість їжі зменшується: 2/3 біомаси тварин океану знаходиться в шарі до 500 м. На великій глибині нестача поживних елементів обумовлює зменшення біомаси організмів. Життя більшості морських тварин протікає у сутінках, а на великих глибинах - у повній темряві.

Водні організми об'єднуються у 3 великих комплекси: планктон, представники якого пасивно дрейфують з водними масами; бентос-організми, що живуть на дні, чи в ґрунті; нектон, до якого відносяться активно плаваючі тварини - риби, головоногі моллюски, ластоногі, дельфіни, кити.

Окрім рослин і дорослих тварин постійним компонентом планктону є личинки моллюсків, червів, голкошкірих, мальки риб. Значну масу планктону складають ракоподібні - амфіподи і еуфазіди.

До складу бентосу входять моллюски, голкошкіри, черви. За характером вертикального розподілу у ґрунті серед тварин бентосу виділяють епіфауну - організми, що прикріплюються до поверхні ґрунту, або вільно пересуваються по ньому; інфауну - тварини, що живуть у товщі ґрунту. Тварини бентосу зустрічаються в океані на глибині декількох тисяч метрів. Серед них деякі види є господарсько цінними. Це мідії, устриці, лангусти, омари.

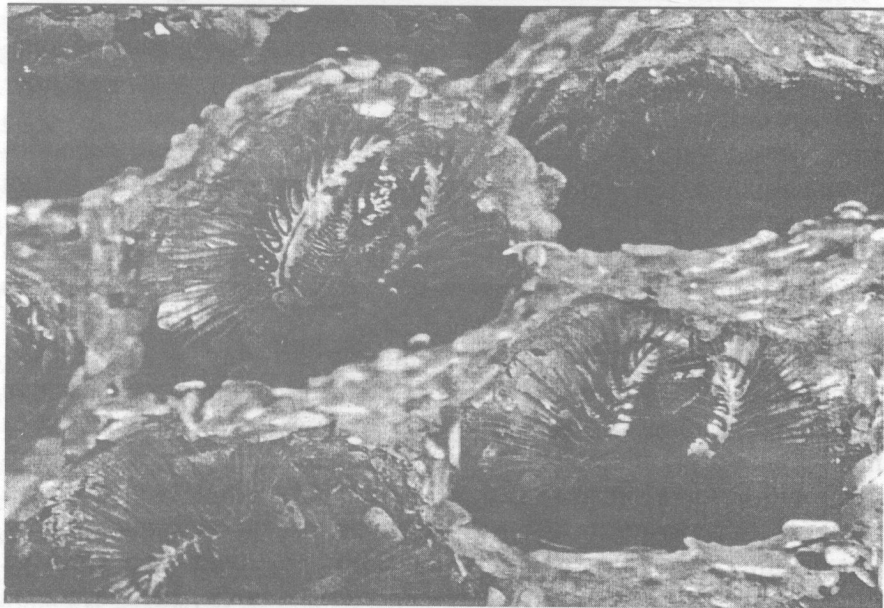
Велику частину біомаси нектону складають риби, загальна кількість видів яких перевищує 15 тисяч. Біомаса їх досягає 80-85% усієї біомаси нектону. Далі йдуть головоногі моллюски - 600 видів і 15% біомаси нектону. Китів і ластоногих нараховується близько 100 видів, вони складають 5% біомаси нектону.

Продуктивність фітопланктону величезна порівняно з його біомасою - відношення продукції до біомаси становить 200-300. Для зоопланктону це відношення становить 2-3, для бентосу - 1/3, а у багатьох риб - 1/10.

Екосистеми важливі як гігантський регулятор клімату Землі і сприятливої концентрації вуглекислоти і кисню в атмосфері.

Екосистеми прибережної зони (мал. 29, 30). На каміннях та скелях, що омиваються хвилями у припливно-відливній зоні, між верхньою та нижньою відмітками рівня моря, розміщуються цілі екологічні угруповання, окремі екосистеми. Періодично затоплювані, відкриті вітрам та сонцю місцеві мешканці - рослини та тварини - пристосу-

валися до суворих умов, виробивши спеціальні «якірні» обладнання, які дозволяють їм протистояти морю і утримуватися в своїй ніші. Так, південне узбережжя Англії заливається припливом кожні 12 годин 25 хвилин. Менш постійна висота припливу. При повні (вони називаються сизигійними) припливи вищі, а відливи нижчі, ніж припливи та відливи при зростаючому та убуваючому місяцеві. Оскільки у ці дні Місяць і Сонце опиняються на одній прямій із Землею, їх сумісне притягіння підіймає припливну хвилю вище і море заливає каміння, яке в інший час лише зрідка захлещується припливом. Під час відливів на декілька хвилин оголюється майже завжди покрита морем смуга, яка населена найрізноманітнішими рослинами і тваринами: водоростями, лишайниками, різними видами молюсків, морськими жолудями, морськими равликами, актинідіями, губками, морськими зірками і різноманітними щетинконосними червами (мал. 31).



Мал. 31. Під час відливів черви ховаються у свої хатки від сонця, вітру і хижаків.

Нижня частина припливної зони густо поросла морськими водоростями (мал. 32), в розщілинах скель ховаються організми, які ве-

дуть сидячий спосіб життя і які добувають собі їжу, профільтовуючи планктон з морської води.

Середня зона - це найбільш неспокійне місце на літоралі: тут увесь час то жарко, то холодно, то мокро, то сухо. Довгі могутні стебла водоростей підтримуються на плаву численними великими бульбочками, наповненими багатою киснем сумішшю газів, яка представляє собою продукт життєдіяльності самих водоростей. Для того, щоб запобігти висиханню хатки морських жолудів, двостулкових моллюсків тут вищі і оздоблені товстішими стінками. По тій же причині порівняно невеликі жаберні отвори. Деякі організми виділяють вологий слиз, який запобігає висиханню. Всі мешканці середньої зони порівняно добре переносять високу температуру і накопичення солей в тканинах, яке відбувається в результаті втрати води. Єдине сховище до наступного припливу - це численні калюжки, які залишаються на скелях під час відливу. Такі калюжки не дуже надійний притулок для морських організмів: вода в калюжах може розбавитися дощем, або випаруватися під пекучими променями сонця - і те, і друге - згубне. Температура води в таких калюжках досягає $+73^{\circ}\text{C}$, що приводить до загибелі навіть найстійкіших моллюсків - мідій. На сонячному світлі зарості водоростей виробляють дуже багато кисню - цілі ланцюжки бульбочок спрямовуються до поверхні; вночі ж кисню, як правило, не вистачає. З приходом припливу все змінюється і життя знову відроджується в цій суворій смузі.

Останній рубіж. Вище всіх розташовуються морські жолуді і моллюски-літторини. Їх популяції регулярно поповнюються: весняні припливи приносять з моря молодих особин, які прикріплюються по сусідству з уже прикріпленими групами. Іноді морські жолуді прикріплюються дуже високо, там, де їх не завжди дістають припливи, і не здатні спуститися нижче, в більш вологе місцемешкання, гинуть. Літторини, навпаки, можуть самостійно переміщатися з місця на місце. Вони намагаються забратися як можна вище, але так, що не піддавати себе небезпеці надмірного висихання. Грубо кажучи, верхня межа мешкання літторин співпадає з верхньою межею розповсюдження водоростей, але молоді літторини зустрічаються і вище, досягаючи верхньої відмітки припливів.



Мал. 32. Сизигійний відлив оголив ламінарії, які ростуть на самій нижній крайці літторалі. Їх довгі стебла переплутані з листями інших бурих водоростей, що ростуть трохи вище.

Смуга прибою. Покритий водоростями стрімчак служить притулком різноманітним морським тваринам, але лише деякі з них, зокрема морські жолуді, мідії, багрянки, актинії та черви-трубочники закріплюються на гладенько відполірованих прибоем скелях. З кожною набігаючою хвилею потік води проходить між війками і волосками тварин, що відфільтровують здобич, а хижаки зачачують щупальцями і заковтують здобич, що пропливає поблизу. Деякі черви завжди улаштовуються там, де з одного боку поверхня скель достатньо ушкоджена і хвилі приносять пісок, необхідний для спорудження хатинок, в яких живуть ці черви, а з другого - приплив не настільки сильний, щоб унести їх у відкрите море.

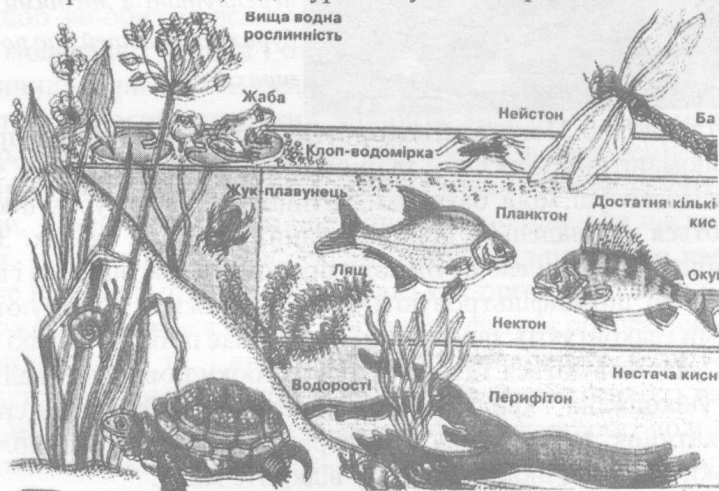
Континентальні стоячі водоймища включають екосистеми озер (мал. 33), ставків та калюж.

Існування стоячих вод залежить від поверхні та глибини водоймища, кліматичних умов і хімічного складу води. Ці фактори є основою їх класифікації.

В дуже глибоких озерах придонні шари води не втягуються у циркуляцію і утворюють застійну безкисневу зону з постійним хімічним складом та незмінною температурою. Такі озера називають мероміктичними, або озерами першого порядку. В менш глибоких озерах циркуляції один чи декілька разів на рік охоплюють всю масу води, але в періоди тимчасового застою вони характеризуються певною стратифікацією. Це голоміктичні озера, або озера другого порядку. Щодо скупчень води глибиною декілька метрів, то в них відбувається постійне переміщення води і не виникає вираженої термічної і хімічної стратифікації - це озера третього порядку. Якщо їх

поверхня невелика, вони називаються ставками, або калюжами. Для них не можна вказати граничні глибини, бо на ступінь переміщення води впливає поверхня і форма водоймища, клімат і мінералізація води.

По трофності озера розділяють на оліготрофні (води, бідні на азот і фосфор), евтрофні (багаті на азот і фосфор), дістрофні (неглибокі, з торфоутворюючою рослинністю, вода бура від гумінових речовин, кисла).



Мал.33. Екосистема озера

Невелике озеро, ставок. Невіддільність живих організмів і неживого середовища тут стає зразу ж очевидним. Ставок це не тільки місце, де проживають рослини та тварини. Саме рослини і тварини роблять ставок тим, чим він дійсно є. Ось основні компоненти озера чи ставка (мал. 33).

1. Абіотичні речовини - вода, CO_2 , O_2 , Са, азотні та фосфорні солі, амінокислоти тощо. Незначна їх кількість розчинена у воді і безпосередньо доступна організмам. Основна ж їх маса знаходиться в донних відкладеннях та в самих організмах. Швидкість надходження поживних речовин у розчин, надходження сонячної енергії, температурні цикли, тривалість дня та інші кліматичні режими - ось важливі процеси, що регулюють інтенсивність функціонування екосистем.

2. Продуценти. Їх два типи - ті, що укорінюються, або значні плаваючі рослини, і ті дрібні рослини, що плавають - водорості, фітопланктон. Фітопланктону в мілких водоймах багато, вода зеленувата. У глибоких

озерах незброєним оком фітопланктон можна не помітити, але саме він відіграє значно більшу синтетичну роль, ніж прикріплені рослини.

3. Макроконсументи. Це личинки комах, ракоподібні, риби.

а) Первинні макроконсументи - живляться безпосередньо живими рослинами, або їх крупними частинами. Це зоопланктон і бентос.

б) Детрітофаги - живляться за рахунок «дощу» органічного детриту, що падає з верхніх ярусів.

4. Сапротрофи - водні бактерії, джгутикові, гриби. Вони є скрізь в озері, ставку, але особливо багато їх на межі води з мулом, де накопичуються мертві рослини, тварини.

Можна провести дуже простий аналіз: опустити у воду на певну глибину закриті темну та світлу пляшки з водою. Через 24 години визначення вмісту кисню у цих пляшках дасть валовий фотосинтез за добу. Так, літом у звичайних ставках фотосинтез до глибини 2 м переважає над диханням (кількість O_2 у світлих пляшках значно більша, ніж у темних); на глибині 2-3 м фотосинтез врівноважується диханням (вміст кисню у світлих пляшках не змінюється); глибше 3 м фотосинтез не протікає, відбувається лише споживання кисню (в обох пляшках вміст кисню у воді буде однаковий і менший, ніж був до досліджу).

Якщо у поверхневих шарах води фотосинтез переважає над диханням - екосистема знаходиться в доброму стані, бо надлишок їжі та кисню створює фонд (запас) на випадок несприятливих умов. У забруднених органікою ставках і озерах споживання кисню буде вищим, ніж його виділення при фотосинтезі. Це приводить до анаеробних умов, за яких тварини (риби, комахи тощо) гинуть; виникає «цвітіння води» (бурхливий розвиток ціанобактерій, які часто називають синьо-зеленими водоростями). Тому регулярні вимірювання балансу, або концентрації кисню у ставку дозволяють оцінити екологічне здоров'я екосистеми.

Луг. Це наземна екосистема, але вона функціонує таким же чином, як і ставок. Рослини виконують ту ж саму функцію, що і фітопланктон; птахів і ссавців можна уподобити риbam. Але свої особливості у наземних екосистем, звичайно, є.

Перш за все наземні автотрофи не такі численні, але значно більші водних. Тому вони використовують значну частину енергії на побудову опірних тканин, які необхідні у зв'язку з малою щільністю повітря порівняно з водою. Опірні тканини мають високий вміст це-

люлози і лігніну і мало використовуються консументами. Тому наземні рослини відіграють більшу роль, ніж водні, у створенні структурної основи екосистеми, а інтенсивність їх метаболізму на одиницю об'єму, або біомаси набагато нижча, ніж у водних рослин.

Введемо поняття обороту, яке можна визначити як відношення пропускання до наявності. Прийнемо продуктивний потік енергії за пропускання, а наявну біомасу виразимо у сухій біомасі в $г/м^2$. Якщо прийняти, що у середньому біомаса продуцентів у ставку складає $5 г/м^2$, а на лузі $500 г/м^2$ за день, і що ставок і луг мають приблизно однакове значення інтенсивності фотосинтезу - близько $5 г/м^2$ за день, то швидкість обороту для ставка становитиме $5/5 = 1$, а час обороту, або відновлення (величина зворотна інтенсивності обороту) становитиме 1 день. Для луку швидкість обороту буде рівна $5/500$, або $0,01$, а час відновлення - 100 днів. Таким чином, дрібні рослини у ставку повністю обновлюються за один день, тоді, як наземні рослини можуть обновлюватися значно довше і «обертаються» значно повільніше.

І у водних, і у наземних екосистемах значна частина сонячної енергії витрачається на випаровування води і лише не більше 5% її використовується при фотосинтезі. Слід запам'ятати, що на $1 г CO_2$, засвоєний луговою чи лісовою екосистемою, повинно бути витягнуто із ґрунту, піднято по тканинах рослин та транспіровано не менше 100 г води. Продукування речовин фітопланктоном та іншими зануреними у воду рослинами не потребує таких великих витрат води. Це положення потребує розглянути водозбірний басейн як одиницю екосистеми.

Водозбірний басейн. Хоч біологічні компоненти озера і ставка утворюють самопідтримуючу систему, інтенсивність метаболізму і його стабільність визначаються також як потоком сонячної енергії, так і інтенсивністю притоку води і речовин з площі водозбору.

Якщо водоймище мале і відтік води з нього обмежений, у ньому часто відбувається накопичення речовин. Ерозія ґрунту, промислові та комунальні стоки можуть вносити у водоймище органічні речовини у таких кількостях, що вони не встигають засвоїтися. Це приводить до руйнування системи і називається культурною евтрофікацією. Таким чином, враховуючи інтереси людини, одиницею екосистеми слід вважати не одне водоймище, а всю площу водозбору. Така одиниця, як об'єкт регулювання людиною, повинна через це включати на кожний гектар водоймищ по меншій мірі 20 га площі суші.

Причини забруднення вод і засоби боротьби з ними не вдається виявити, якщо дивитися лише на воду; наші водні ресурси страждають через погане хазяйнування на всій площі водозбору, який і повинен враховуватися як господарська одиниця.

Екологія ґрунту. Дійсно одиницею екосистеми з точки зору господарської діяльності серед наземних екосистем слід розглядати водозбірний басейн. Але все-таки основу, фундамент існування всіх наземних екосистем становить ґрунт. Тому тут доцільно розглянути таку умовну екологічну одиницю, як ділянку ґрунту.

Ми знаємо, що ґрунт складається із добре виражених шарів, які часто досить чітко розрізняються по кольору. Ці шари називають ґрунтовими генетичними горизонтами, а послідовність горизонтів від поверхні у глибини називається ґрунтовим профілем. Характеристика ґрунтів і профілів дається у спеціальних курсах по ґрунтознавству. Тут ми лише відзначимо, що ґрунтовий профіль і товщина горизонтів є характерними для кожної кліматичної зони та рельєфу конкретної місцевості. Так, степові ґрунти відрізняються від лісових тим, що гуміфікація переважає над мінералізацією, а в лісі - навпаки. Шар гумусу у лісі тонкий. Степові ґрунти містять в середньому близько 12000 тонн гумусу на 1 га, лісові ж - близько 100 т на 1 га.

Виходячи із розмірів, розрізняють три групи ґрунтових організмів.

1. Мікробіота. Сюди відносяться ґрунтові водорості, бактерії, гриби та протисти.

Водорості складають автотрофний компонент, інші - гетеротрофна мікробіота, основна ланка детритного харчового ланцюга, що знаходиться між рослинними залишками і ґрунтовими тваринами.

2. Мезобіота. Це нематоди, енхетреїди, дрібні личинки комах, мікроартроподи (кліщі, ногохвостки). Енхетреїди та мікроартроподи нараховуються тисячами на 1 м² ґрунту, нематоди - мільйонами, біомаса - грамами та десятками грамів. В основному мезобіота живиться детритом, але кліщі і комахи є хижаками. Інколи деякі є небезпечними паразитами на коренях сільськогосподарських культур. Ліквідувати їх із ґрунту дуже важко. Кращий засіб боротьби з ними це сівозміна, бо вони володіють специфічністю до рослин.

3. Макробіота. Тут корені рослин, дощові черви, комахи, риучі хребетні. Найбільша біомаса у коренів рослин, але їх метаболізм невисокий. Дощові черви численні - їх кількість досягає декількох сот на 1 м². Багато комах мешкають у ґрунті тимчасово (зимівка,

лялькування). Макробіота відіграє важливу роль у перемішуванні ґрунту та підтриманні його в особливій консистенції «живої губки». Крім того, встановлено, що рослинні залишки, які пройшли через шлунок тварин, розкладаються мікроорганізмами швидше, ніж механічно подрібнене листя. Головне ж значення безхребетних у ґрунті і підстильці зводиться до впливу на активність мікрофлори.

Пермеанти, або високорухливі тварини - птахи, літаючі комахи, хребетні вільно пересуваються між ярусами і угрупованнями. Вони зв'язують угруповання і підсистеми. У процесі життєвого циклу, мешкаючи в різних підсистемах і угрупованнях, вони використовують переваги кожного з них.

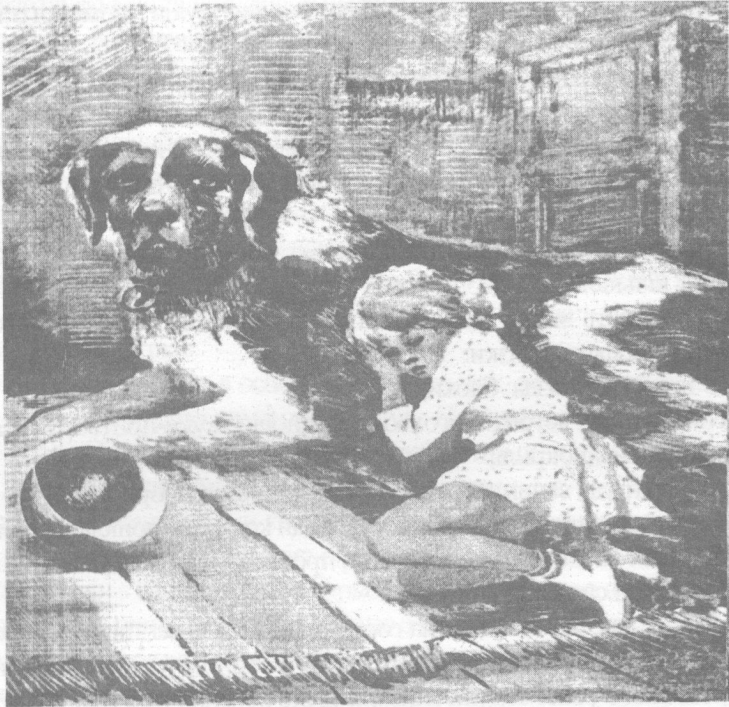
До пермеантів відноситься і людина, яка використовує багато місць для мешкання. Вона користується спотвореною системою цінностей, по якій економічна продуктивність екосистем ціниться багато вище від усіх інших її властивостей.

У природних умовах крупні травоядні тварини здійснюють міграції. Так, в диких африканських степах і саванах біомаса копитних становить 30-50 кг/га, тобто 6-10 ккал /м². У природі значна щільність копитних не приводить до виснаження пасовиськ, дякуючи міграції і видовій різноманітності. Коли територію огорожують, або коли диких тварин замінують осідлою домашньою худобою, відбувається швидке виснаження пасовиськ.

Найбільш мігруючими тваринами є птахи, які «зв'язують» тропічні та північні екосистеми. Зараз є мало даних про роль перелітних птахів у біоґенному колооберті. Одне встановлено точно - перелітні птахи розносять по всьому світі отрутохімікати та радіоактивні опади. Тому вони є індикатором загального рівня забруднення біосфери.

Космічний корабель. Щоб злітати на місяць (декілька тижнів), людина може взяти із собою їжу і кисень, а відходи можна на короткий час знешкодити. Але на тривалі польоти людина повинна «вписати» себе у більш замкнуту, або більш самопоновлюючу систему; у цій системі повинні здійснюватися збалансовані продукування, споживання та розкладання. Самопідтримуючий космічний корабель - це справжня мікроекосистема, що включає у свій склад і людину.

Досьогодні поки що точно невідомо, наскільки можна "звукати" природу для цієї мети. Одержані дані свідчать, що проблема ця багато складніша, ніж передбачали. Та вже вимальовуються риси такої космічної моделі, які виявляються дещо несподіваними.



Екосистемне вивчення міст почалося недавно, і все ж уже накопичений матеріал представлений майже 2000 робіт. Предметом досліджень виявилися окремі біотопи, а об'єднати останні в окремі міські екосистеми ми спробуємо у цій книзі.

Екосистеми житлових будинків. Житлові будинки по своїй структурі обумовлюють мозаїчність житлових умов. У зв'язку з тим, що автотрофний компонент представлений в основному завезеною з інших екосистем органікою, біотопи будинків ототожнюють з «культурною пустелею» (Weidner, 1952). Усередині будинків виділяють, як правило, три основних зони: горища, поверхи, підвали.

Горища. Для горищ характерні максимальні для приміщень амплітуди коливань температури протягом доби і року. Горища в основному сухі, за деякими виключеннями. Джерелом живлення для всіх організмів є деревина. На ній поселяються гриби, які теж стають джерелом живлення для різних

тварин. Дерево та підвищена температура створюють оптимальні умови для розвитку деяких комах, і в першу чергу – для жуків –домового вусача (*Hylotrupes bajlus*) і різних точильників (*Anoblidae*).

Горища використовуються різними видами кажанів.

Широко використовують горища для гніздування різні птахи, і перш за все - сизий голуб. Його гнізда, а також підстилка з екскрементів кажанів заселяються багатьма видами членистоногих, які часто створюють гігієнічні проблеми.

Кралль (Krall, 1981) відмічає особливе багатство фауни гнізд сизого голуба. Велика кількість їжі, перш за все голубиних екскрементів, обумовлює високу чисельність видів. Головною причиною домінування певних видів вважаються трофічні зв'язки:

- кров та детрит гнізда: блохи;
- плісняві гриби і детрит: ногохвостки, сіноїди, жуки-притворяшки;
- екскременти: двокрилі;
- матеріал гнізда: залишки їжі; метелики родини *Oecophoridae*.

Регулярно зимують на горищах деякі види комах, наприклад, кропивниця *Aglais urticae* та павине око *Inachis io*, проникає на зимівку також златоглазка *Chrisopella carnea*.

Деякі види сонечка зимують на горищах цілими агрегаціями; це *Oenopia conglobata*, *Adalia bipunctata*. Характерною твариною горищ є чорний шур, чисельність якого у містах дуже знизилася, що пояснюється тим, що зараз на горищах майже не зберігають продукти харчування.

Поверхи (квартири). Екологічно фауна поверхів поділяється на групи: шкідники запасів, шкідники матеріалів, паразити людини, паразити домашніх тварин, мешканці домашнього пилу, мешканці плісняви, фауна квіткових горщиків і кімнатних рослин, синантропні двокрилі, павуки, фауна холодильників і випадкові.

Вайднер (Weidner, 1952) наводить 308 видів специфічних домашніх комах. Присутність у квартирах шкідників запасів залежить перш за все від харчового субстрату. Їх частка серед акліматизованих та заносних видів дуже висока.

Постійними мешканцями квартир стали деякі теплолюбні види щетинохвісток. Широко розповсюджена в квартирах і складських приміщеннях цукрова лускатниця (*Lepisma saccharina*). Зустрічається вона і в природі у Південній Європі. Основною їжею для неї є цукор, крохмаль, інші вуглево-

ди, які комахи добувають навіть з проклеєного паперу та ганчірок. Стосовно паразитів *людини та кімнатних тварин* напрацьована велика література. Тут можливе формування простих трофічних ланцюгів, наприклад, клоп редувій рязаний (*Reduvius personatus*) живиться постільним клопом (*Cimex lectularius*).

Типовим мешканцем квартир, що має особливе значення, є *кліщ домашнього пилю*. Зараз доведено, що різні види кліщів, перш за все пірогліфіди, є складовою частиною інгаляційних алергенів домашнього пилю. Серед них *Euroglyphus maynei*, *Dermatophagoides pteronyssinus*. Кайл (Keil, 1983) при дослідженні проби пилю у квартирах Гамбурга виявив 35 видів кліщів з 22 родин. Пірогліфіди складали 85 % збору, особливо часто зустрічалися *D. pteronyssinus*, *D. farmae*.

Кліщі накопичуються в основному у *постелях*, де зустрічаються у сотні разів частіше, ніж у решті домашнього пилю. Наступним місцем їх скупчення є м'які меблі. Пірогліфіди харчуються фрагментами шкіри і волосся, яких кожна доросла людина втрачає за тиждень близько 5 г.

Постійними мешканцями квартир стали деякі види ногохвосток. Особливо часто зустрічається вид *Seira domestica*, який можна по праву вважати «домашнім»; він є явним синантропом. Часто у квартирах зустрічається також *Entomobia marginata*, що пов'язано з наявністю пліснявих грибів.

На *кімнатних рослинах* поселяються різні комахи, зокрема попелиці, білокрилки, кокциди. Так, червець *Pseudococcus adonidum*, який сам у квартирах відвідується мурашками, мешкає на різних кактусах. Оскільки у домах розводять певні рослини, тут складається досить стійке суспільство сисних фітофагів. Але слід відзначити, що більшість видів кімнатних рослин не заселені комахами.

Ґрунт у горщиках заселяється видами ногохвосток і енхітреїд (Moszynski, 1932). Серед ногохвосток це дрібні види (0,8-2,0 мм), особливо добре пристосовані до такого специфічного біотопу. Одні з них зустрічаються регулярно (наприклад, *Folsomia fimetaria*, *Folsomia Candida*, *Neelus minimus*, *Sinella coeca*, *Sminthurinus aureus*, *Sminthurides shoetti*), інші випадково.

Серед двокрилих ряд видів можна вважати квартирними синантропами. Частина з них служить їжею для специфічних кімнатних павуків.

Холодильники вважаються непридатним для життя місцем, але у квартирах вони являють собою специфічний біотоп, в якому мешкають чорна садова мурашка (*Lasius niger*) та рудий тарган, або прусак (*Blattella*

germanica). У холодильних камерах можуть мешкати і популяції домашньої миші.

Підвали. Присутність специфічних видів тварин у підвалах залежить від абіотичних факторів - темнота, постійно низька температура, висока вологість повітря, наявність їжі - збереження продуктів харчування людей, дерево, плісняві гриби, структура простору. Сюди постійно попадають тварини із сусідніх біотопів, у тому числі із занесеними людьми матеріалами (картопля, овочі, дерево тощо). Власне підвальними можна вважати лише деякі види тварин, решта ж виявляється або ж їх здобиччю, або використовують підвали для зимівки.

Вирішальними факторами для поселення тут павуків є температура та вологість повітря. Більшість із них розмножуються протягом усього року. Але у *Amaurobius ferox* розмноження відбувається весною, у *Steatoda bipunctata* є два копуляційні періоди, у *Pholcus phalangioides* максимальна яйцекладка спостерігається у травні. Із рівноногих (мокриць) особливо часто зустрічаються у підвалах *Oniscus asellus*, *Porcellio scaber*; вони живляться в основному овочами, які тут зберігаються. Різні багатохвостики відмічаються більш-менш регулярно, наприклад кістянки *Lithobius forficatus* (заносяться з овочами), *Lithobius melanops*, ківсяк плямистий (*Blaniulus Igtutulatus*) і на запасах *Polydesmus inconstans*. З картоплею і овочами у підвали потрапляють також інші ківсяки (*Juloidea*), гломериди (*Glomeridae*) і багатозв'язи (*Polydesmidae*). Одні види ногохвосток зустрічаються у підвалах регулярно (наприклад, *Hypogastrura assimilis*), інші - деколи. Домовий цвіркун (*Acheta domesticus*) живе переважно у теплих, опалюваних підвалах. Попелиця *Rhopalosiphonium ilatysiphon* живиться в основному проростками картоплі і здатна до масового розмноження. Цей вид заселяє також селеру, моркву і солодкий корінь. У травні в колонії з'являються крилаті форми, в основному ж - безкрилі. Розмножуються вони виключно партеногенетично, завезені в Європу з Північної Америки.

З жуків у підвалах живуть жуличі (*Sphodrus lecopthalmus* і *Pristonychus terricola*), а також чорнотілки *Blaps mortisaga*, *Blaps mucronata*, *Blaps lethifera*. Жуличі *Bembidion quinquestriatum* є синантропами, до яких відносяться також *Tachys bisulcatus*, *Trechus austriacus*. Крім того тут зустрічаються безкрилий стафілін (*Staphylinus oter*) та інші стафілініди, а також *Catops fuscus* (*Catopidae*). На запліснявілих стінах мешкає *Orthoperus atomarius* з родини *Orthoperidae*, на запліснявілих деревах та соломі відмічені грибоїд *Tirphaea*

stercorea (Mycetophagidea), а пліснейд *Mycetae hirta* (Endomychidae), який часто накопичується у підвалах, живе в основному на домовому грибові.

Lathridius bergrothi та скритноїд *Cryptophagus cellaris* (Cryptophagidae) - типові синантропи, які теж живляться в основному міцелієм пліснявих грибів.

Часто у великій кількості зустрічаються кровосисні комари (*Culiseta annulata*, *Culex ripiens*). Фрукти, овочі та картопля дозволяють існувати тут багатьом видам дрозозфіл та мух-горбаток.

Типовими елементами підвальної фауни є деякі молюски. *Limax flavus* вважається підвальним слимаком; цей вид рідко зустрічається в квартирах (у ваннах), а в природі не виявлений. Він живиться картоплею та овочами, грибами, квітковими цибулинами.

Серед ссавців постійним мешканцем підвалів є сірий щур та домово миша.

Деякі тварини зустрічаються тільки у постійно опалюваних приміщеннях, наприклад, фараонова мураха та терміт (*Monomorium pharaonis*, *Reticulitermes flavipes*). Переобладнання непостійно опалюваних приміщень у постійно опалювані обумовлює глибокі зміни у складі фауни. Наприклад, розвиток точильника *Anobium punctatum* припиняється при включенні центрального опалення. Постійно опалювані будинки сприятливі для поселення і безперервної зміни поколінь деяких жуків - шкіроїдів, наприклад, *Dermestes haemorrhoidale*, *Trogoderma angustum*, *Thylogaster contractus*, *Attagenus fasciatus*, *Anthrenus scorophulariae*.

Зміна чисельного співвідношення в містах між чорним (*Blatta orientalis*) та рудим (*Blattella germanica*) тарганами також пояснюється сильним збільшенням частки постійно опалюваних будинків; більш теплий та сухий мікроклімат у приміщеннях сприятливий для другого виду.

Розвитку одяжної молі (*Tineola bisselliella*) також сприяють тепло і сухість; ця комаха стала домашньою після того, як була завезена в Європу з Африки. У постійно опалюваних будинках міль може давати 3-4 покоління за рік, у той час, як в інших умовах - всього 1-2.

Екосистеми приміщень харчової промисловості

Пекарні. Типовими тваринами пекарень ось уже декілька століть вважаються рудий та чорний таргани та домашній цвіркун, а в останній час до них приєдналися фараонова мураха, млинова вогнівка, комплекс амбарних кліщів (*Acarus sigo*), чорнотілки та деякі щетинохвостки. Для існування цих видів необхідна висока температура. Щетинохвістка термобія до-

машня, яка походить із Середземномор'я, *Thermobia domestica*, мешкає виключно в пекарнях, де живиться борошном та борошняними виробами.

М'ясокомбінати. На цих підприємствах є два види їжі: готові продукти та відходи переробки. Деякі види падаличних та сірих м'ясних мух (*Calliphoridae* і *Sarcophagidae*) заселяють свіже м'ясо і тому постійно мешкають на скотобойнях і м'ясокомбінатах. Деколи джерелом живлення слугують не саме м'ясо, а личинки цих двокрилих, які поїдаються, наприклад, жуком-стафіліном *Strophilus maxillosus*. Плат (Plath, 1983) спостерігав на складах кісток м'ясокомбінатів різних птахів. Переважали чайки, граки, були там шпаки, сороки, галки, ворони, синиці, чорні дрозди, канюки, горбці, малинівки тощо.

Млини, сховища борошна та зерна. Виявлено 407 видів членистоногих: 156 видів жуків, 83 - двокрилих, 51 - перетинчастокрилих, 36 - павуків, 26 - лускокрилих (Zacher, 1938, 1939). Деякі види комах із родів *Sitophilus*, *Trogoderma*, *Ephestia*, *Sitotroga*, а також ряд їх паразитів у природі не зустрічаються. Борошно та оброблене зерно різних культур - це місцемешкання самобутньої флори, яка разом з паразитами включає і деяких вторинних консументів, наприклад жуків-карапузиків (*Histeridae*) і стафілінід, які живляться личинками двокрилих. Млинові відходи заселяються жуками-чорнотілками та шкіроїдами. Крім того, на млинах і в амбарах присутні мікробіотопи для тварин, у яких зернові продукти не є основною їжею.

Винний погриб. Винні льохи багато чим відрізняються від звичайних підвалів: у них більш постійна температура, більша вологість повітря, специфічні харчові субстрати, зокрема дерево, що обросло водоростями та грибами. Тому тут існують особливі види тварин, як метелик *Dryadula pictaria*, та види з більш широкою екологічною амплітудою, як метелик *Oenophila flavum* та інші представники родин *Tineidae*, *Oenophilidae*, *Gelechiidae*, гусениці яких живляться водоростями та грибами на діжках, стелях та стінах. В основному у винних льохах зустрічається жук *Orthoperus atomarius* (*Orthoperidae*), який поїдає плісняву. Тут відмічені різні види дрозопіл та грибний комар *Macrospora* sp.

Екосистеми дворів селітебної зони

Біотоп зовнішніх стін будинків. Неозеленені зовнішні стіни будинків заселяються евсинантропними павуками *Cyphreia ixobola* і *Zigella xnotata*. Гемисинантропними видами цього місцемешкання є

Amaurobius similis, *Harpactea rubicunda*, *Textrix denticulata*, *Araneus diadematus*, *Zygiella* sp. Сонячні стіни та кам'яні огорожі заселяються також гемисинантропним павуком-скакуном *Salticus scenicus*. Цей вид зустрічається на скелях та кам'яних укусах. На стінах зустрічається і синантропний вид *Sitticus pubescens*, який мешкає також в каменоломнях та на стовбурах дерев, деякі види сінокосців, сіноїди *Eripsocus lucifugus*, *Pseudopsocus meridionalis*, *Blaste quadrimaculata*, *Neopsocus rhenanus*, *Psocus bipunctatus*, *Trichadenotectum germanicum*.

У заповнених розчином швах будинків поселяється бджола-колле-тес *Colletes daviesanus*, її вважають шкідником будинків. Раніше цей вид жив у твердих прямовисних стінах долин старовинних річок, а потім переадаптувався до життя у стінах будинків. Інші міські перетинчастокрили також походять з таких природних біотопів (*Hylaeus pictipes*, *Lasioglossum mono*, *Diodontus tristis*, *Trypoxylon figulus*, *Trypoxylon glavicerum*, *Crossocerus elongatulus*).

Щелепами ці види вибирають будівельний розчин, їх гніздові ходи пристосовані до структури швів.

Colletes daviesanus поселяється також в личиночних ходах домового вусача (*Hylotrupes bajulus*) (Weidner, 1952).

В таких же місцемешканнях живуть і евмінові оси *Ancistrocerus proteins*, *A. trifasciatus* (Eumenidae). Кам'яні, глиняні та дерев'яні стіни заселяються бджолою-осмією *Osmia rufa* та різними видами бджіл роду *Hylaeus*, які окрім пилку різних квітів збирають його з очитків, особливо з очитку їдкового, який часто зустрічається у містах в тріщинах кам'яних стін, в квіткових ящиках, на покрівлях. Види роду *Hylaeus* гніздяться в аналогічних нішах, а також в глиняних стінах. В цементних швах, тріщинах стін та старих віконних рамах гніздяться *Osmia caerulea*, *Hylaeus communis*, *Hylaeus hyalinatus*, причому, навіть на висоті до 16 м. В місті особливо сприятливі умови для бджоли антофори *Anthophora acervorum*, та її паразита *Melecta punctata*, які заселяють шви старих будинків. *Chelostoma florissomne* і *Chelostoma distinctum* розмножуються в старих огорожах та в стінах сараїв. В тріщинах кам'яних стін поселяються також риучі оси родів *Liodontus*, *Crossocerus*. Теплолюбний шкіроїд *Trogoderma glabrum* потребує додаткового тепла сонячних стін будинків, де він розвивається у гніздах одиноких бджіл. Таким же чином мешкає і шкіроїд *Megatoma undata* у гніздах *Osmia rufa*.

Покрівлі. Гравійно-бітумні покрівлі мають тільки їм властиві рослинні асоціації, тому на них мешкають своєрідні тваринні угруповання.

Так, Клауснітцер (Klausnitzer et al., 1980), відмічав, що на таких покрівлях ростуть в основному *Sedum acre*, *Ceratodon purpureus*, *Bryum caespiticium*, *B. argenteum*. Він виявив дивовижно багату фауну: 60 видів жуків, в т.ч. 31 вид стафілінід та 6 видів попелиць. Унікальними є види *Atheta aegra*, *Chilomorpha longitarsis*. Серед жуків найбільш чисельні *Simplocaria semistriata*, *Bembidion quadrimaculatum*, *Helophorus nubilus*, *Xantholinus linearis*, які живляться в основному мохом. Мешкають в цих біотопах і цикадові та клопи, гусениці метеликів-совок *Triphaena pronuba* і *Agrotis exclamationis*, деякі види ногохвосток (*Bourlettiella hortensis*, *Orchesella cincta*, *Entomobrya multifasciata*).

Серед павуків переважають *Erigone dentipalpis*, *E. atra*, *Meioneta rurestris*. Більшість павуків відносяться до ксенантропних «аеронавтів».

На покрівлях гніздяться оси *Polistes gallicus*, *P. nimpha*, *Dolichovespula saxonica* і деколи чубатий жайворонок.

Балкони. Внаслідок наявності на балконах деяких рослин і своєї просторової структури вони теж можуть бути біотопами для деяких видів тварин. Тут гніздяться деякі птахи: домовий горобець, зеленушка, сільська ластівка та чорний дрозд. Міська ластівка часто гніздиться під балконами. Балконні рослини, наприклад, очиток *Sedum spectabile* служить кормом для перетинчастокрилих, що поселяються в стінах будинків (бджоли *Nylaeus communis*, *N. hialinatus*) (Haeseler, 1972). В систему ходів проникають на зимівку *Limothrips cerealium*, *Pemphredon montanus*. Великоголова оса *Crabro vagus* гніздиться в одвірках та квіткових ящиках.

На більш високих будинках розмножуються у минулому мешканці скель - галка, пустельга, чорний стриж, сизий голуб, домовий горобець.

Оскільки ми (досить умовно) виділяємо двори житлових будинків в окрему екосистему, то очевидно, що склад зооценозів в них у значній мірі залежить від наявності рослин у дворі. Це в основному декоративні види і бур'яни. Отже, фітоценози тут штучні, що і обумовлює своєрідність складу інших компонентів цих антропогенних екосистем.

Райони селітебної зони міста особливо зручні для спостереження

над сукцесією міської фауни. Клауснітцер (1990) поділяє ці райони у залежності від часу їх виникнення на три групи: райони забудови 1918-1945 рр., райони новобудов 1945-1965 рр. та райони новобудов після 1965 р.

Є багато робіт по заселенню новобудов орнітофауною. При цьому спостерігаються загальні закономірності:

- домінують види, які гніздяться на будинках; вони складають до 90 % загального числа пар;

- з розвитком рослин збільшується число видів, які у природі розмножуються на деревах та чагарниках;

- загальна кількість видів та щільність заселення збільшується з віком районів;

- чисельність чубатого жайворонка при цьому зменшується;

- міська ластівка швидко заселяє райони новобудов, але її чисельність нестійна і з часом зменшується, оскільки:

- а) з розширенням озеленення зменшується кількість матеріалу для побудови її гнізд;

- б) розвиток зелені на фасадах будинків заважає зльоту птахів і зменшує кількість придатних для гніздування місць;

- в) мешканці будинків із-за забруднення балконів не допускають присутності гнізд.

Гнізда ластівки прикріплюються до будинків, починаючи з висоти 4 м і кінчаючи покрівлями 24-поверхових будинків. Платт (за Б.Клауснітцерем, 1990) вказує, що 42,7 % гнізд будуються на західних стінах, 42,2 % - на південних, 12,6 % - на східних і 2,3 % - на північних.

Евдомінантом районів новобудов є домовий горобець. Тривалі спостереження показали, що після фази швидкого зростання щільності його популяції настає деяке її зниження, а потім чисельність стабілізується.

Типовими видами, що з'являються лише з розвитком дерев, є славка, чорний дрозд та кільчаста горлиця.

Видова різноманітність після заснування району спочатку дуже велика, з часом вона зменшується, а потім знову зростає паралельно розвитку рослинності. В більшості випадків відмічена наявність потомства у домового горобця, чубатого жайворонка, чорного дрозда та зеленушки. В більшості міських районів гніздяться також славка-зави-

рушка, горихвістка-чорнушка, чорний стриж, сизий голуб. Середня щільність заселення (число гнізд на 10 га) відповідно становить 22,9, 1,9, 1,5, і 1,0.

Двори. Вільний від забудови та мощення ґрунт на дворових майданчиках дуже евтрофікований і у більшості випадків являє собою антропогенний штучний чи природний насипний шар. Рослинність розвинута недостатньо і постійно знаходиться під антропогенним впливом. Переважають упорядковані газони, квіткові клумби, чагарникові насадження, вазони. Дерев зустрічаються поодинокі, або невеликими групами. Рослинність і є головним автотрофним компонентом екосистеми житлового двору, або мікрорайону.

Певні властивості деяких дерев дозволяють їм розвиватися навіть у центрі міст, переносячи стресові впливи антропогенного характеру; багато дерев хворих. Вони схильні до заселення ксилофагами, короїдами та сисними комахами.

Окремо розташовані дерева можуть служити місцем живлення, мешкання та розмноження багатьох видів тварин. Навіть і на поодиноких деревах гніздяться кільчаста горлиця, лазорівка, садова горихвістка, велика синиця, звичайний шпак тощо. Чисельність деяких видів тварин на окремому дереві може бути досить високою. Наприклад, на липі висотою 15 м було нараховано близько 15 млн. особин попелиці. На окремих частинах рослини можуть з'являтися специфічні зооугруповання.

Екосистеми транспортних зон

Вулиці. Територія, відведена під транспорт, майже повністю позбавлена відкритого ґрунту. Природний ґрунт видалений звідси і замінений різними природними та штучними субстратами. На узбіччях доріг ґрунт ущільнений і більш лужний. Рослинність на непроїжджаних ділянках вулиць, трас представлена середнім числом видів (близько 400). Сіль, яку використовують в ожеледь, сприяє розповсюдженню тут покисниці розставленої, а гербіциди - рослин з потужною кореневою системою - осоки волохатої, борщевика європейського, лободи продовгуватолистої. На нескошених узбіччях доріг розростаються багаторічні рудеранти. Утворюються крайові асоціації *Anthriscetum sylvestris*, *Descurainio - Atriplicetum oblongifoliae*, *Artemisia vulgaris - Arrhenaterum*.

Проїжджа частина вулиці чи траси проявляє три види впливу на тваринний світ:

- тварини гинуть внаслідок руху транспорту, або висихають на позбавлених ґрунту транспортних магістралях;

- вона ізолює окремі місцемешкання і надає їм острівного характеру;

- транспортні викиди та інші антропогенні фактори кардинально впливають на зоофауну, так що тут можуть виникати абсолютно нові асоціації, так звані зональні антропогенні зооценози (Tamm, 1976). Між ними та крайовими екотонами з крайовим ефектом виникає суттєва різниця:

- інша структура угруповання;

- інша реакція на іммігрантів і відсутність синекологічних зв'язків, які проявляють стабілізуючий вплив на межуючі один з одним зональні зооценози;

- постійно руйнуючий вплив на суспільство догляду за узбіччям, який періодично перериває формування зооценозу через часте скошування трави та застосування гербіцидів.

З іншого боку, узбіччя являють собою шляхи проникнення евритопних, ксеро-, геліо- і термофільних форм (Way, 1977). Деякі види знаходять тут оптимальні життєві умови в результаті багатства мертвих хребетних тварин (Bergmann, 1974).

Дороги створюють також трофічні ніші, наприклад, для трясогузки білої, звичайного шпака, їжака звичайного, які збирають розчавлених комах з проїзної частини, а також для видів, що ловлять комах, використовуючи приваблюючий ефект дороги (чорного стрижа, міської та сільської ластівок), а також для рослиноїдних, які живляться фруктами та насінням, що падають (домовий горобець, чубатий жайворон, чорний дрозд, зеленушка).

Озеленення узбіччя доріг створює сприятливі умови для деяких фітофагів. Відмічено 67 видів комах, які відвідують квіти 39 видів рослин на короткому відрізку узбіччя. Птахи та ссавці також використовують місцеві харчові ресурси.

Рослинний світ узбіччя знаходиться під впливом різноманітних антропогенних факторів, і в першу чергу - забруднювачів: пилу, важких металів, фотосмогу.

Дошові черви (*Lumbricus terrestris*) містять у зоні дії вихлопних газів свинцю в 11 разів, кадмію - в 5,9 разів, міді - в 5,5, цинку в 2,7 рази більше, ніж у контролі. У *Pterostichus' cupreus* поблизу проїжджої частини вміст свинцю виявився в 7-8 разів вищий, ніж в околицях, але, наприклад, у стафіліна *Ocypus olens* такої різниці не виявлено (Geiler, 1976). Кюнелт (Kuhnelt, 1977) виявив наявність свинцю - 13,7 мг/1 г сухої ваги у рівноногих *Porcellio scaber* і *Armadillidium vulgare* та 7,9 мг/г у вуховертки (на околиці міста - 2,5 мг/г). Клаусен (Clausen, 1984) вказує на те, що концентрація свинцю в біомасі павуків *Araneus umbratus* чітко відображає вміст цього елемента в повітрі та корелює з його вмістом в лишайнику (*Lecanora conizaeoides*). У самців ящірки живородячої встановлені градієнти вмісту важких металів у залежності від відстані до проїжджої частини.

Браун та ін. (Braun et al., 1981) спостерігав дуже сильні враження яблуневою попелицею глуди на роздільній смузі автотраси з інтенсивним рухом. Причиною цього явища були, як вважає автор, не тільки сприятливі температурні умови, а й змінена біохімія рослини-господаря. Слід додати, що головна причина, на наш погляд - це ослаблення рослини-господаря.

Абіотичні фактори проїжджої частини суттєво відрізняються від пануючих на суміжній території і створюють специфічні мікрокліматичні градієнти. Вздовж узбіч (стрічковидні місцемешкання) існують специфічні ценози. Існує такий ланцюг впливів: зміна абіотичних факторів під впливом проїжджої частини - зміна рослинних угруповань - формування зональних зооценозів під впливом специфічних механічних факторів та шкідливих викидів. Так, за даними Мадера (Mader, 1979) 9 видів попелиць уникають доріг, 15 видів мешкають поблизу них, 13 видів без чіткого відношення до доріг. «Друзями дороги» відмічені польові види *Bembidion lampros*, *Loricera pilicornis*, *Agonum muelleri*, *A. sexpunctatum*.

Підвищена присутність на роздільній смузі характерна видам родин *Staphylinidae*, *Anisotomidae*, *Nitidulidae*, *Elateridae*; представники *Sarabidae*, *Curculionidae*, *Silphidae* частіше зустрічаються на узбіччі.

Бар'єрний ефект доріг обумовлений такими причинами:

- зміна важливих мікрокліматичних факторів на відстань до 30 м з кожного боку проїжджої частини;

- дія як механічної перепони;
- численні викиди та порушення - такі, як вихлопні гази, шум, пил, нічне освітлення, засоленість ґрунту, кювети;
- непостійність рослинного покриву в результаті впливу механічних та хімічних факторів;
- створення біотичного бар'єру з рослин нетипових і немісцевих формаций, поява нових видів тварин;
- виникнення гострої конкуренції між видами різного походження і в умовах постійної міграції;
- загибель при пересуванні дорогою, здування з поверхні дороги повітрям дрібних видів.

Чотирирядна дорога - це такий же бар'єр для розповсюдження дрібних ссавців та жуків, як і водна смуга удвічі більшої ширини. Якщо з дорогою межує не ліс, а відкритий простір, її ізолююча дія значно зменшується.

Вулиці, місця стоянок автотранспорту та бруковані тротуари заселяються різними перетинчастокрилими, особливо тими видами, які мешкають у піску. Особливе значення тут має температура, яка під вуличним покриттям значно вища, ніж у відкритому ґрунті. В цих біотопах спостерігається прискорений розвиток комах, а іноді і утворення другого покоління протягом року. Тут відмічено 22 види з родин Formicidae, Mutillidae, Pompilidae, Sphecidae, Andrenidae, Anthophoridae, Halicidae, Melittidae.

Найчастіше зустрічаються: *Lasius niger*, *Crabro peltarius*, *Crossocerus wesmaeli*, *Oxybelus bipunctatus*, *O. uniglumis*, *Andrena barbilabris*, *Nomada sheppardana*, *Halictus rubicundus*, *Lassioglossum sextrigatum*. Різні дослідники виявили декілька десятків гнізд піскової оси і ще більшу щільність популяцій *Halictus sextrigatus*, *Andrena barbilabris* (Haeseler, 1972). Гнізда розміщуються в проміжках між бруківкою тротуарів. Харчовою базою для перетинчастокрилих цих біотопів є плодове дерева та нектар інших квіткових рослин. Деякі ж види риючих ос (*Sphecidae*) годують своїх личинок певними групами двокрилих, яких в місті особливо багато. Тишлер, (Tichler, 1966) виявив в брукованому просторі перед будинком на вулиці 71 вид тварин, не рахуючи ногохвісток та кліщів. Різні види утворюють між собою певні трофічні ланцюги.

Міські мости регулярно заселяються деякими видами тварин, наприклад, павуками *Cyphopora sericata* і *Meta meridiana*, а також птахами - міською ластівкою, білою трясогузкою та домовим горобцем (Gnielka et al., 1983).

В зоні залізниць багато відкритого ґрунту: каменю, піску, гравію та незначна кількість природного ґрунту. Насипи дуже часто нагріваються сонцем, застосовують тут солі для танення снігу, гербіциди, паливні та мастильні матеріали. Флора досить багата. Переважають солестійкі однорічні рослини і багаторічні теплолюбні види, багато представлені неофіти та адвентивні види (*Salsola kali*, *Amaranthus albus*, *Eragrostis proaeoides*, *Euphorbia virgata*, *Vulpinus myuros*, *Brassica napus*), різні очитки, подекуди з'являються чагарники та дерева. Залізничні насипи можуть бути вдалим біотопами для дикого кролика та ящірки роду *Lacerta*. Поселяються на залізничних спорудах також бджоли *Dasypoda plumipes*. В старих гниючих шпалах може жити жук-вужькокрилка. На чагарниках залізничних насипів виявлені також види сарани (*Acrididae*), що свідчить про важливість цих трас як шляхів імміграції.

Спортивні споруди

Спортивні споруди можна виділити в окрему екосистему завдяки специфічності їх функціонального призначення. На них є місця, позбавлені рослинності, багато відкритого ґрунту, газони та посадки декоративних дерев та чагарників. У рослинному покриві переважають рослини, стійкі до витоптування. Коротко підстрижена трава сприятлива для розмноження личинок червненого нехруща (*Amphimallon solstitiale*, *Scarabaeidae*). Серед попелиць переважають *Amara aenea*, *Harpalus aeneus*, *Calathus fuscipes* (Becker, 1977). Типовими хребетними стадіонів є чубатий жайворонок та дикий кролик.

Кладовища

Особливістю кладовищ є відсутність порушень, що обумовлено емоціональним ставленням населення до них. Це сприяє появі на кладовищах багатьох видів тварин, особливо хребетних. Тут багато відкритого ґрунту, природний ґрунт в основному з перемішаними горизонтами. Трав'яний покрив дуже різноманітний, багато тіневитривалих бур'янів, є чагарники нітрофільних видів, узлісся та деко-

ративні рослини. На оброблених гербіцидами ділянках переважають очитки. Є особливі кладовищні адвентивні види. На цвинтарях багато біотопів для масового розвитку лишайників.

Встановлена висока різноманітність видів членистоногих. Деякі автори відмічають 46 видів денних метеликів, 61 вид шовкопрядів, 133 види совок, 108 видів п'ядениць. Таке багатство видів обумовлене наявністю великої кількості кормових рослин. Особливим харчовим ресурсом є старий хмиз вінків, в якому мешкає жук-плоскотілка *Silvanoprus fagi*. Звичайним на кладовищах є також жук *Rhizophagus parallelocolli* (Rhizophagidae). Весною на пам'ятниках та кам'яних стінах можна спостерігати масове його скупчення (тисячі особин). Цей вид відноситься до трупної фауни, веде підземний спосіб життя.

На кладовищах багато видів птахів, які мешкають і в природних приміських біотопах з подібною структурою. Це домовий горобець, зеленушка, чорний дрізд, зяблик, польовий горобець, велика синиця, лісовий голуб, коноплянка, звичайний шпак, садова славка та ін.

Кладовища часто відвідуються домашніми кішками; з інших ссавців тут мешкають кам'яна куниця, горностай, лисиця, звичайний їжак, лісові та польові миші, звичайна полівка, дикий кролик, білка звичайна тощо.

Теплиці

В теплицях гідротермічний режим у зв'язку з ізоляцією від зовнішнього середовища значно відрізняється від суміжних територій; своєрідні тут також водозабезпечення, склад ґрунту, флори, характер використання пестицидів. В оранжереях поселяються навіть тропічні види. Спостерігається одноманітність видового складу фауни в різних теплицях. Значну частку видів можна назвати космополітами теплиць. Айхлер (Eichler, 1952) наводить близько 800 видів тепличної фауни.

В невеликих водоймищах теплиць мешкає завезена з Бразилії прісноводна медуза *Craspedacusta sowerbyi*. Живуть тут і завезені з тропіків плоскі черви *Plasoccephalus keweisis* *Rhichodemus bilineatus* (Schremer, 1954). Серед кільчастих червів *Eisenia japonica* завезена з Японії, а *Dendrobaena veneta* - із Середземномор'я. Відмічені павуки *Nasarius adansonii*, *Ostearius melanopigius*. Мікрокліматичні умови сприяють розвитку популяцій з декількох тисяч особин (Braun, 1961).

Піонером заселення теплиць вважається павук-космополіт *Achaearanea tepidariorum*.

Теплолюбні рівноногі *Porcellio laevis*, *P. dilatatus*, які часто зустрічаються в теплицях, завезені із Середземномор'я. Ендричковскі (Jedrzczkowski, 1979) виявив в теплицях 19 видів синантропних стоніг.

Серед багатохвосток поряд з численними еврипотентними видами відомі специфічні мешканці теплиць, наприклад, *Sinella coesa*. Вони часто розповсюджуються по світу з цибулинами рослин і бульбами. Це антропогенні космополіти.

Морісон (Morison, 1957) відмічає цілий ряд тепличних трипсів, які мешкають і в квартирах: *Parthenothrips dracaenae*, *Hercinothrips femoralis*, *Heliiothrips haemorrhoidalis*, *Chaetanaphothrips orchidii*, *Scirtothrips longipennis*, *Leucothrips nigripennis*.

Мешкає в теплицях східноазіатський жук *Ptilodactyla luteipes* (*Ptilodactylidae*) (Eichler, 1952).

Зоопарки

Різноманітність способів утримання тварин в зоопарках і озеленення території їх дозволяють існувати там багатій фауни.

Дослідження фауни перетинчастокрилих в зоопарках Берліна (Dathe, 1960, 1971) показали наявність 213 видів жалючих *Aculeata*. Абсолютним гемерофілом є вид риючих ос *Cerceris robensis*. Виявлені також паразити личинок цього виду - *Omalus auratus*, *O. constrictus*, *Hedychrum gerstaeckeri* і *Chrysis cyanea* (*Chrysoidea*).

О. Мюллер виділив в зоопарках 592 види метеликів. Зоопарки можуть вважатися місцями концентрації адвентивних видів, що відображається на складі паразитів утримуваних тварин. Так, кліщі *Blattisocius tarsalis* і *B. keegani* знаходять в харчових продуктах і культурах комах, вони є звичайними в зоопарках: *Paracarophenax dermestidarum*, *Percanestrinia blaptis*, *Histiostoma feroniarum*, *H. laboratorium*.

Деякі види тварин степового характеру. Ящірка *Lacerta veridis*, прямокрилі *Oecanthus pellucens* (*Oecanthidae*), багатоніжки *Monotarsobius dubosqui*, *Symphyllelopsis arvenomm*, жуки *Abraeus parvulus* та ін. Частота поселень в зоопарках домового горобця може вважатися навіть надлишковою.

Екосистеми ботанічних садів, парків, пустирів

Як правило, ці екосистеми підтримуються людиною у близькому до природного стану. Автотрофний компонент цих екосистем представлений рослинами природними, декоративними, адвентивними, інтродукованими, вони є місцем для збереження археофітів, вимираючих видів рослин. Це газони, квітники, декоративні групи та масиви деревно-чагарникових рослин. Крім того, це острови існування в містах лишайників. Звичайно, багато з них і рудерантів.

Фауна таких екосистем, як правило, досить багата. Серед членистоногих є характерні види і навіть характерні зооценози, які найкраще вивчені на орнітофауні.

У павуків відбувається відбір дрібних видів-аеронавтів як типу, що ідеально підходить для життя в зелених штучних насадженнях. Вони заселяють острівні міські біотопи і завдяки горизонтальному та вертикальному розселенню легко уникають перешкод. Вони переносять механічні порушення — скошування трави, обробіток ґрунту, витоптування - оскільки потребують незначних за розміром сховищ. Так, в німецьких парках вивчені евідомінантні та доміантні павуки таких видів: *Dyplostyla concolor*, *Pachygnatha degeeri*, *Pardosa prativaga*, *P. palustris*, *Erigone dentipalpis*, *E. atra*, *Diplocephalus cristatus*, *Pachygnatha clercki*, *Micrargus herbigradus*, *Troxochrus scabriculus*.

Виявлено 4 види рівноногих: *Armadillidium vulgare*, *Porcellio scaber*, *Oniscus asellus*, *Hyloniscus riparius*. Серед багатоніжок переважає вид *Allajulus londinensis*. Виявлено 11 видів багатохвосток, серед яких переважали: *Isotoma viridis*, *Lepidocyrtus cyaneus* і *Orchesella villosa* (Klausnitzer, 1980).

Завдяки великій кількості квітів в парках особливо часто зустрічаються мухи-дзюрчалки, видовий склад яких залежить від видів рослин; виявлено десятки видів (Ziarkiewicz, Kosłowska, 1973).

Не бідніший видовий склад і у «міських» стафілінід. Переважна більшість їх - евритопні, типові лісові види практично не виявлені. Серед доміантних можна відмітити *Omalium riviilare*, *Regilus rufipes*, *Othius punctulatus*, *Xantholius linearis*, *Heterothops dissimilis* (Bohac, 1985).

Орнітофауна парків, як вважають численні дослідники, має харак-

терний видовий склад. Різноманітність видів та щільність їх заселення залежать від структури, віку, наявності водоймищ та інших характеристик парків. Під час вегетації рослин домінують візитери, що добувають корм. Це домовий горобець, голуб, шпак. Взимку домінують грак, галка, горобець, сизий голуб, велика синиця. В цей період там, де люди підгодовують птахів, скупчується 83-148 кг їх біомаси на 10 га, в місцях, бідних на корм -20-25 кг на 10 га (Luniak, 1981).

Ботанічні сади в зооекологічному відношенні мало відрізняються від парків. І все ж вони мають свої особливості і перш за все - значно багатший видовий склад рослин.

Шефер (Schaefer, 1973) виявив 52 види павуків в ботанічному саду *Кіля*, серед яких переважали дрібні тенетні види і практично відсутні види-мисливці.

В цьому ж ботанічному саду Тишлер (Tischler, 19.80) виявив 11 видів рівноногих, серед яких евдомінантами були *Oniscus asellus*, *Armadillidium vulgare*, *Porcellio scaber*. Він також встановив цікавий факт більшої щільності заселення у порівнянні з околицями міста, причому активних особин - у 58 разів. Переважаюча більшість - синантропи та єврійкні види.

Цим же автором виявлено 11 видів губоногих багатоніжок, серед яких евдомінантами були гемісинантропний вид *Lithobius microps* та багатоніжка-каменелаз *L. forficatus*. Щільність популяцій цих комах в ботанічному саду теж значно вища, ніж в подібних біотопах за містом.

Евдомінантами серед двопарноногих були *Allajulus occultus*, *Polydesmus superus*, *Allajulus londinensis*. Ессер (Esser, 1984) провів кількісні підрахунки дощових черв'яків, які є кормом для чорного дрозда, шпака звичайного, звичайного їжака.

Домінантами серед 100 видів диких бджіл виявилися *Nylaeus hyalinatus*, *Colletes daviesanus*, *H. communis*, *Hasioglossum calceatum*, *Osmya ruta*, *L. morio*, *Andrena minutula*, *Passaloecus tenius*, *Andrena armata* (Dorn, 1977).

Сади відрізняються від парків та ботанічних садів переважно невеликими розмірами та структурою. Як правило, багато відкритого ґрунту, який в більшості представлений природними ґрунтами, рідше - насипними. Ґрунт, як правило, дуже удобрений, біоциди застосову-

ються рідко. Миські сади по структурі характеризуються невеликими групами плодкових дерев та кущів, декоративними рослинами та газонами з квітниками. Природна рослинність представлена садовими бур'янами. Фауна садів неоднорідна і знаходиться під впливом сильних антропогенних факторів. Але можна виділити типові садові види та їх сполучення. Дошові черви представлені в основному мешканцями мінеральних ґрунтів та гумусу, наприклад, *Octolasion* sp., *Allotobophora* sp., *Lumbricus rubellus*, *A. georgii* (Dumger, 1983).

Виявлено 47 видів павуків, серед яких домінантами є *Diplocephalus cristatus*, *Silometopus reussi*, *Centromerita bicolor*, *Lepthyphantes tenuis*, *Pachyguata degeeri*, *Diplostyla concolor* (Heimer, 1978). Більшість видів - «аеронавти», серед яких є світлолюбні та теплолюбні.

Садові рослини заселяються рослинноїдними видами комах, які обумовлюють виникнення харчових ланцюгів. Наприклад, на чагарниках виникають конекси, що ґрунтуються на різних видах листоверток (*Forticidae*) (Mucrulsku, Anasiewicz, 1972). Тільки на яблунях можуть жити 300 видів фітофагів, близько 300 видів паразитоїдів та 200 видів хижаків (Steiner, 1958).

Типовою є велика кількість комах, що відвідують квіти. Це місцемешкання має особливе значення для метеликів, різноманітність видів яких визначається структурою саду.

Виявлено також 139 видів бджіл. Більшість з них з ендегейним, решта - з гіпогейним розвитком. На газонах будують нірки бджолиандрени (*Andrena armata*, *A. haemorrhoea*, *A. clarkella*, *A. nigroaenea*, *A. tibialis*, *A. jacobii*). По краях квіткових клумб гніздиться *A. varians*, а в її гніздах паразитує бджілка-бродяжка *Nomada ruficornis*. Високу біомасу можуть давати в садах слимаки - 20-36 кг/100 м² (представники роду *Desocerus*).

Садовий орнітоценоз вивчений досить добре. Найбагатша орнітофауна спостерігається через 20 років після закладки саду. Влітку в європейських садах гніздиться 11-16 видів птахів (83-118 пар на 10 га), взимку - 11-14 видів (56-190 особин на 10 га). В сади проникає славка-завірушка, єдиний представник родини славкових (*Gnielka et al*, 1983).

В садах часто поселяються водяний щур та звичайний кріт.

Синантропія урбофауни

Отже, з появою поселень, а потім великих і малих міст знищуються природні екосистеми і створюються нові своєрідні з екологічними нішами, невідомими у природі. Ці еконіші заселяються тваринами різного походження - мешканцями скель, пустель, некрофагами, копрофагами, мешканцями печер та урвищ і т.д. Для деяких синантропних видів, наприклад *Sitophilus granarius*, природні популяції взагалі невідомі. Можливо, синантропія виникла 6-10 тис. років тому.

Виділяють види, які уникають культурних ландшафтів, індиферентні види та види, що є його супутниками.

Гемерофобами називають види, які витісняються антропогенними змінами ландшафту у непорушені райони.

Гемеродіафорами називають види, існування яких практично не залежить від антропогенної зміни ландшафту.

Гемерофіли віддають перевагу місцемешканням, створеним людиною, використовуючи нові екологічні ніші. Встановлено, що ще до появи постійних поселень людини існували її постійні «супутники». Пізніше, з появою великих постійних поселень, міст виникли гемерофіли (Povolny, 1963). Вони були потенційними синантропами. Різниця між гемерофілами та синантропами в тому, що для перших характерна етолого-екологічна, але не біоценотична залежність від людини.

Синантропію визначають за двома критеріями (Schafer, Tischler, 1983):

- присутність тварин в поселеннях людини без, або проти її волі;
- тісне співіснування з людиною, або залежність від її діяльності.

Спонтанне, незалежне від волі людини поселення в містах, можна вважати за реалізацію еконіші. Термін «синантропія» означає зв'язок з людиною не тільки через просторову структуру поселень, а і через домашніх тварин.

Розрізняють такі форми синантропії:

а) облігатна (евсинантропія): вид зустрічається тільки в зоні поселень людини;

б) факультативна (гемісинантропія або олігосинантропія): види

мають в зоні поселень людини оптимальні умови для свого існування, але можуть мігрувати у природні екосистеми;

в) перманентна: життєвий цикл виду повністю протікає в антропопоселеннях;

г) ксенантропія: види знаходяться в зоні поселень лише в певний час (наприклад, в період зимівлі), або при певних умовах, не утворюючи там стійкої популяції;

д) часткова: вид належить до антропоценозу лише в певній стадії своєї життєдіяльності (можливо, навіть частину доби), а решту часу входить у склад інших біоценозів. Наприклад, міська ластівка гніздиться на будинках, а корм собі знаходить за містом.

Для характеристики синантропії користуються різноманітними індексами. Індекс синантропізації означає частку синантропних видів в таксоценозі:

$$W_s = \frac{L_s}{L_o},$$

де L_s - число синантропних видів, L_o - загальне число видів (Jendryczkowsky, 1979).

Деколи синантропні види тварин поділяють на синантропи житлових приміщень та синантропи населених міст. Більш точно зростаючий зв'язок тварин з людиною виражається так:

- Синантропи міст - синантропи житлових приміщень - паразити.

Феномен заселення міст певними видами тварин ще недостатньо вивчений, але вже можна виділити деякі аспекти, які достатньо характеризують це явище. Вирішальним є використання видом міської екологічної ніші.

- Місто служить оптимальним біотопом для даного виду, тому він зустрічається в ньому або виключно, або у великій кількості (Суг, Суг, 1979).

- Відбувається розширення екологічної амплітуди, наприклад, збільшення екологічної пластичності (Oertel, 1980).

- Міські популяції відносно стабільні. Вони самовідновлюються і слабо обмінюються особинами з позаміською біотою (Shneider, 1982).

- Подовжується репродуктивний період (Seibert, Berthold, 1964).

- Відбувається зміна поведінки (Oertel, 1979; Grummt, 1962, 1979).

- В межах міста відбувається формування нових суспільств тварин, які не зустрічаються за межами міста (Клауснітцер, 1990).
- До синантропії приводять п'ять комплексів причин:
 - а) живлення: в місті безліч специфічних кормових ніш (насамперед взимку);
 - б) життєвий та гніздовий простір: в місті великий вибір придатних для цього місць;
 - в) клімат: підвищення середньої температури в місті можна вважати головною причиною заселення міст тваринами та синантропії;
 - г) поведінка: поведінка в місті модифікується: відкривання кришок молочних пляшок, звання до людини та його техніки, зміна біоритмів під впливом неонових ламп тощо;
 - д) зміна вихідних біотопів: ві позаміських біотопах можлива конкуренція від перенаселення, що і приводить до міграції на міські біотопи.

Екосистеми печери

В печерах протягом всього року підтримуються досить постійні температура, вологість і освітленість. Унікальні умови печерного мешкання породжують найхімерніші форми рослин і тварин. Усі ділянки печер – і більш освітлені при вході, і присмеркові – ті, що розташовані глибше, і найвіддаленіші, де панує вічна ніч, - служать притулком для вражаючої чисельності рослин і тварин.

Із птахів єдиним відомим мешканцем печер є гуахаро (мал. 34), який гніздиться у печері, а темними ночами влітає у пошуках їжі назовні. Голубі очі гуахаро зрячі, але в темряві вони відчують себе впевненіше, орієнтуючись подібно кажанам за допомогою луни, що відбивається від різних предметів на його шляху.

Справжні ж мешканці печер не покидають свого сховища ніколи і все життя проводять у повній темряві (мал. 35). У таких тварин багато загальних рис, не властивих їх спорідненим тваринам на поверхні землі. Так, серед постійних мешканців печер, наприклад, зовсім немає великих тварин; печерні жителі – це дрібні істоти із слабкими, тонкими, блідими тілами. Постійно проживаючи в умовах постійної високої вологості, вони не мають потреби у волосяному покриві і луски для захисту від холоду і сирості. У темряві їм не

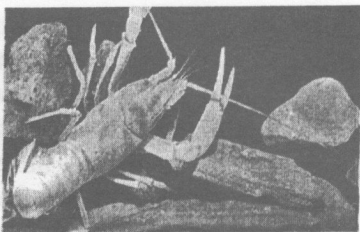
потрібні очі, і останні атрофувалися, але з'явилися довгі вусики – органи відчуття – і гострий нюх, які допомагають їм відшукати убогу їжу. Мешканці печер живуть за власним годинником, і їх активність не пов'язана із зміною дня і ночі. Оскільки сліпі печерні тварини походять від зрячих наземних форм, деякі із них, наприклад, печерні саламандри, у молодому віці зрячі. Якщо личинок цих саламандр спеціально вирощувати при світлі, то зір зберігається. Мабуть, у багатьох поколіннях їх предків сліпота ще не встигла закріпитися як спадкова ознака.

Відносно трофічної структури в печерах з постійною повною темрявою фототрофні організми, звичайно ж, існувати не можуть. Перший, автотрофний рівень може бути представлений в таких умовах лише хемолітоавтотрофними мікроорганізмами і, можливо, деякими гіфоміцетальними грибами типу аспергилів, що мають підвищену здатність «добувати» викопний органічний вуглець, як це було відмічено для скельних залізородних відвалів. Хемолітоавтотрофні ж бактерії синтезують органічну речовину, використовуючи CO_2 , азот атмосфери і мінеральні сполуки тих мінералів і гірських порід, які формують печеру. Бактеріями живляться найпростіші – а це вже значніші організми (консументи). Їх біомаса - це вже їжа для хижаків – для ракоподібних (бокоплави тощо). Останні є їжею для раків, риб, які теж є мешканцями темних печер. Жуки можуть харчуватися грибами. Оскільки у риб в печерах хижаків немає, їх чисельність і біомаса підтримується на можливому рівні обмеженістю їжі.

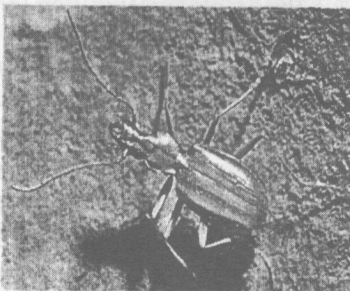
На фотографіях представлені деякі організми темних печерних екосистем.



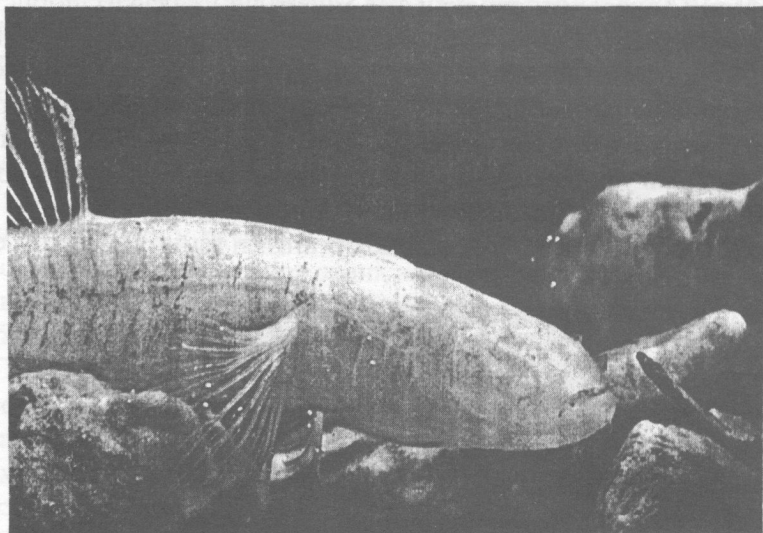
Мал.34. Печерний птах гуахаро



Очі печерної саламандри відчують світло Сліпий рак у пошуках здобичі



Безколірні турбеллярії живляться на бокоплавах Сліпий рідкісний жук живиться грибами

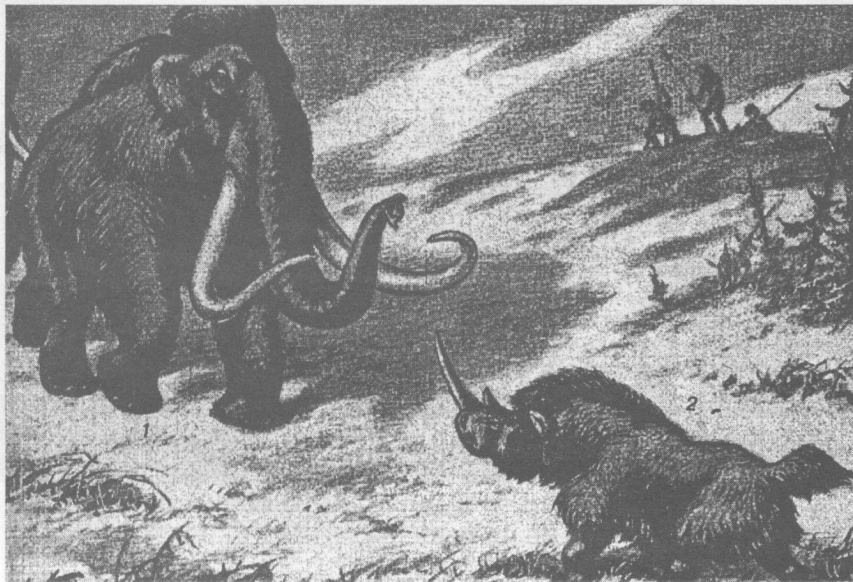


Довжина цієї жовтуватої печерної рибки, як і інших печерних риб, рідко перевищує 7-8 см

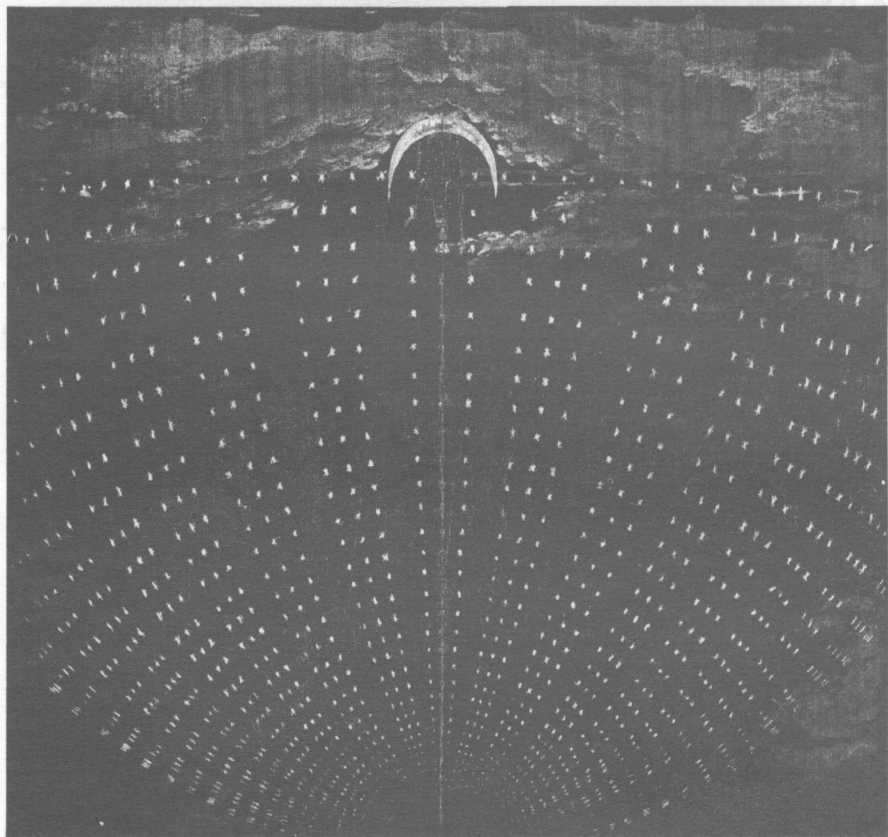
Мал. 35. Справжні мешканці печер

Питання для контролю

1. Дайте коротке визначення екосистеми.
2. Назвіть основні компоненти екосистеми.
3. В яких напрямках вивчають екосистеми з функціональної точки зору?
4. Перерахуйте основні екосистеми біосфери і коротко охарактеризуйте їх.
5. У чому принципова різниця між природними екосистемами і агро-екосистемами?
6. Охарактеризуйте агроекосистему.
7. Наведіть приклади агроекосистем.
8. В які три головні комплекси об'єднуються водні організми?
9. Скільки приблизно видів заселяють океан? Степ? Ліс?
10. Дайте коротку характеристику екосистемам прибережної зони.
11. Яке співвідношення продуктивності і біомаси характерне для різних комплексів морських організмів?
12. Охарактеризуйте екосистеми стоячих водоймищ.
13. Яка основна особливість екосистем печер?
14. Який вид птахів поселяється в печерах?
15. Що є автотрофним компонентом в екосистемах печер повної і постійної темряви?
16. Що таке урбоекосистеми? Наведіть приклади основних урбоекосистем.
17. Що таке синантропія урбофауни? Які ви знаєте види синантропності?



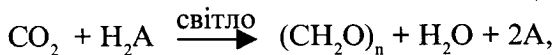
ЕНЕРГІЯ В ЕКОСИСТЕМАХ



Продукція та розкладання у природі

Кожний рік на Землі фотосинтезуючими організмами створюється близько 100 млрд. тонн органічної речовини. За цей же час стільки ж розкладається організмами, перетворюючись у CO_2 та H_2O . Але протягом близько 600 мільйонів років дуже невелика частина органічних речовин не розкладалася, а перетворювалась у відкладення (хоча були періоди зсуву балансу у зворотному напрямку). В результаті цього переважали синтез, виділення кисню, поглинання вуглекислоти, що призвело до накопичення кисню в атмосфері. Це зробило можливим виникнення та існування вищих форм життя в еволюції. Близько 300 мільйонів років тому відмічався особливо високим надлишок органічних речовин, що обумовило створення викопних горючих речовин, за рахунок яких людина змогла здійснити промислову революцію. За останні 60 мільйонів років установилося флюктуюче стійке становище у співвідношенні O_2 та CO_2 . З коливаннями O_2 і CO_2 в атмосфері пов'язані періоди потепління та похолодання. Протягом останніх 60-70 років суттєвий вплив на склад атмосфери виявляє сільськогосподарська та промислова діяльність людини - концентрація CO_2 в атмосфері підвищилась мінімум на 13%.

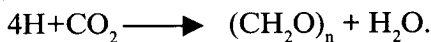
Яким чином хлорофілоносні рослини виробляють вуглеводи, білки, жири та інші складні сполуки, поки що точно і повністю невідомо. Спрощена схема цього процесу виглядає так:



де окислення описується схемою



а відновлення



Є два типи фотосинтезу. У рослин А - це O_2 , і він виділяється в атмосферу, а у бактерій А - це або неорганічні сполуки, наприклад, H_2S , (у зелених та пурпурних бактерій), або органічні сполуки (несіркових коричневих бактерій). Тут O_2 не виділяється.

Бактеріальний фотосинтез незначний по об'єму в цілому, але до-

сягає 25% у брудних загниваючих водоймищах. Одна із груп фотосинтезуючих хемотрофних бактерій - водневі бактерії - розглядається як можливий компонент систем підтримання життя в космічних кораблях, бо вони можуть ефективно вилучати CO_2 із атмосфери корабля. Але головним компонентом, що забезпечує життя на Землі, є зелені рослини з їх «нормальним» фотосинтезом.

Розкладання у природі - дихання - це гетеротрофний процес, що направлений у зворотному напрямку по відношенню до фотосинтезу. Загалом, дихання - це звільняюче енергію біологічне окислення.

У природі є три типи дихання:

1. Анаеробне дихання - протікає без участі кисню а окислювачем є другі неорганічні сполуки.

2. Бродіння - протікає без кисню, але акцептором водню (окислювачем) виступають органічні сполуки.

3. Аеробне дихання - окислювачем є газоподібний кисень.

Останній спосіб є найбільш ефективним, але і «неефективні» способи беруть важливу участь в експлуатації енергії і матеріальних ресурсів екосистемою.

Відставання гетеротрофної утилізації продуктів фотосинтезу від самого синтезу є однією із найважливіших властивостей екосистем. Наприклад, степові та лісові пожежі - це "агенти" розкладання, що повертають значну кількість CO_2 в атмосферу та мінеральних речовин - у ґрунт.

Різні частини рослин і тварин, що утворюють після відмирання детрит, розкладаються з різною швидкістю. Білки, ліпіди, вуглеводи розкладаються швидко; лігнін, целюлоза, хітин розкладаються повільно. Детрит розкладається бактеріями та грибами (які таким чином отримують їжу). Спочатку розкладаються білки, жири та вуглеводи. Але ті частини, що залишаються, дякуючи активному розмноженню бактерій, знов таки збагачуються білком і робляться більш доступними для інших організмів, ніж чисті клітковина, лігнін та хітин. У цьому полягає частина загальної стратегії природи - «істи пиріг так, щоб він залишався цілим».

Обов'язковим компонентом екосистем суші є гумус. Він найбільш стійкий до розкладання. Виділяють три стадії його розкладання:

- 1) подрібнення детриту фізичним та біологічним шляхом.
- 2) утворення гумусу з відносно швидким звільненням розчинних органічних речовин сапротрофами.
- 3) повільна мінералізація гумусу. Ця стадія і обумовлює відставання розкладання від фотосинтезу.

Гумус скрізь неоднаковий. Утруднення розкладання обумовлюється його складом - це сполучення продуктів конденсації ароматичних сполук з продуктами розкладання білків та полісахаридів. За іронією долі багато які продукти, що людина вводить у середовище (гербіциди, стічні води), є похідними бензолу і стійкі до розкладання.

Гумус і інші рослинні залишки мають важливе значення для родючості ґрунту.

Таким чином, значення розкладання у природі можна виразити такими процесами.

1. Повернення у кругообіг елементів мінерального живлення.
2. Виробництво їжі для послідовного ряду організмів у детритному харчовому ланцюгові.
3. Виробництво регуляторних речовин.
4. Перетворення мінеральних речовин земної поверхні (в результаті чого утворюється, наприклад, ґрунт).

В наш час людина починає прискорювати розкладання у природі, спалюючи органічні речовини та інтенсифікуючи сільськогосподарську діяльність, яка прискорює розкладання гумусу. Кількість CO_2 , що поступає в атмосферу в результаті цього, поки що невелика (всього в атмосфері 2300 млн. т, а поступає від господарської діяльності - 8 млн. т). Але й це вже дає ефект, бо резервуар атмосфери не такий уже й великий, а океанічний резервуар не встигає поглинати нові кількості CO_2 . За Ровеллом вміст CO_2 в атмосфері до того часу, коли будуть використані усі легкодоступні запаси викопного пального, збільшиться на 170%. Кліматологи вважають, що невеликі зміни вмісту CO_2 в атмосфері викликають суттєві зміни клімату. Вуглекислота прозора для видимого світла, але непрозора для інфрачервоного, яке випромінює земна поверхня. Тому при збільшенні її вмісту в атмосфері підвищується температура. Наслідок цього - танення полярних шапок і виникнення тропічного клімату

на усій Землі. За 400 років від танення арктичного льоду рівень води у морі підвищиться на 120 метрів, а це - катастрофа для людей. Це тривожні розрахунки.

Концепція продуктивності

Основна, або первинна, продуктивність екосистеми визначається як швидкість, з якою променева енергія засвоюється організмами-продуцентами у процесі фотосинтезу, накопичуючись у формі органічних речовин, які потім можуть бути використані як їжа.

У процесі виробництва органічної речовини слід виділяти чотири послідовних рівні.

Валова первинна продуктивність - це загальна швидкість фотосинтезу, що включає ту органіку, яка за час аналізу буде витрачена на дихання. Це валовий синтез.

Чиста первинна продуктивність - швидкість накопичення органічних речовин в рослинних тканинах за виключенням тієї органіки, яку використано у процесі дихання. Це чиста асиміляція.

Чиста продуктивність угруповання - швидкість накопичення органічної речовини, що не використана гетеротрофами (чиста первинна продукція мінус споживання гетеротрофами) за якийсь час, наприклад - за рік.

Вторинна продуктивність - швидкість накопичення органіки на рівні гетеротрофів (консументів).

Так, урожай сільськогосподарської культури - це чиста продуктивність угруповання.

Оцінюючи продуктивність екосистем, необхідно врахувати як втрати енергії, пов'язані із збиранням врожаю, забрудненням середовища, несприятливими кліматичними факторами і іншими типами стресів відводити енергію із екосистеми, так і надходження енергії, які підвищують продуктивність, компенсуючи втрати тепла при диханні, необхідного для підтримки біологічної структури.

Ключове слово тут - швидкість. Необхідно говорити про одиницю часу, бо в екосистемі процеси безперервні. Наявну біо-

масу, або урожай на пні, у даний час не слід плутати з продуктивністю, бо в екосистемі особини будь-яких розмірів поїдаються. Так, на багатому пасовиську, що виїдається худобою, урожай на пні нижчий, ніж на менш продуктивному, куди худобу не виганяли. Аналогічну ситуацію можна зустріти у природних угрупованнях, де гетеротрофне споживання проходить майже одночасно з виробництвом.

У природі поглинається близько половини променистої енергії і близько 50% її (10% поглинутої енергії) може в найнесприятливіших умовах перетворюватися в продукти фотосинтезу. Потім близько 50% цієї валової продукції (потенційної їжі людини і тварин) витрачається на дихання рослин.

Високе відношення чистого урожаю до валового підтримується в сільському господарстві ціною великих вкладів енергії, що витрачаються на обробіток землі, зрошення, удобрення, селекцію, боротьбу з шкідниками. В пальному, що витрачають сільськогосподарські машини, міститься енергії не менше, ніж в сонячних променях.

Всяке джерело енергії, що зменшує витрати на самопідтримання екосистеми і збільшує ту частку енергії, яка може перейти в продукцію, називається допоміжним потоком енергії, або додатковою енергією.

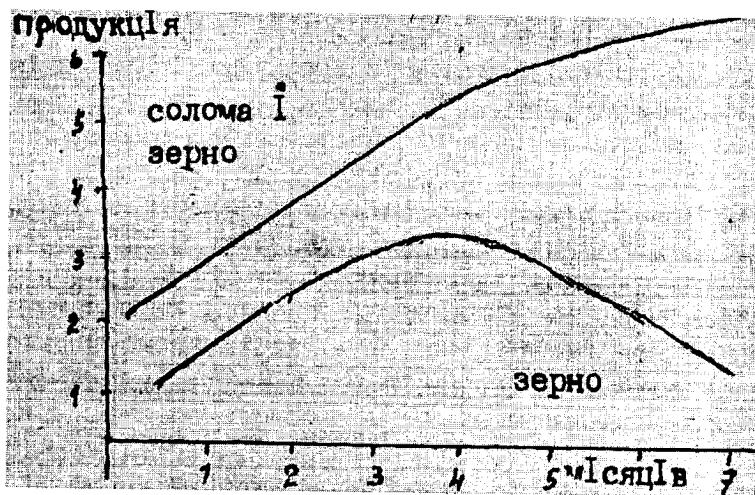
Природні угруповання, що отримують додаткову енергію від природних джерел, мають найбільшу валову продуктивність. Наприклад, сумісна дія вітру, дощу та випаровування у тропічному дощовому лісі, де продукція може зрівнятися з найвищими досягненнями сільського господарства.

В культурних екосистемах при інтенсивному веденні сільського господарства більша частина енергії для виробництва картоплі, хліба та м'яса береться не від сонця, а від викопного пального. Широка публіка погано це собі уявляє. Наприклад, багато хто думає, що успіхи в сільському господарстві обумовлені лише умінням людини створювати нові генетичні варіанти - нові сорти. Але ж використання цих сортів розраховано на великі витрати додаткової енергії. Діячі, які намагаються допомагати країнам, що розвиваються, підняти їхнє сільське господарство без додаткових вкладів енергії, про-

сто не розуміють реального стану справ. Так, у США в сільському господарстві на 1 га ниви за рік використовується 1 кінська сила додаткової енергії, а в Азії та Африці - 0,1 к.с. В США урожаї у 3 рази вищі, ніж в Африці, але витрати енергії в 10 разів вищі.

Та в сільському господарстві часто спроби людини допомогти природі приводять до небажаних наслідків. Наприклад, глибока оранка на півночі благотворна, а на півдні вона швидко приводить до втрат органіки. Якщо стічні води (оброблені) попадають в екосистему з постійною помірною швидкістю, вони можуть сприяти підвищенню продуктивності, але масовий і нерегулярний їх викид в систему може знищити екосистему як біологічну одиницю.

Характер ведення господарства в культурних екосистемах добре проявляється за допомогою такої діаграми (мал. 36).



Мал. 36. Діаграма продуктивності зернових

Найвища продукція зерна приходить на більш ранню стадію розвитку рослин, ніж максимальна чиста продукція. Максимальна чиста продукція приходить на листовий індекс 4, а максимальна валова продукція - на індекс 8-10. Останнім часом урожаї зернових значно зросли завдяки тому, що звернули увагу на структуру урожаю. Виведені сорти з високим відношенням ваги

зерна до ваги соломи. Вони швидко дають листя, листовий індекс сягає 4 і залишається таким до жнив, які проводяться у момент найбільшого накопичення поживних речовин. Такий відбір, таким чином, не веде до збільшення загальної продукції, а лише до зміни структури урожаїв.

Таким чином, природа прагне збільшити валову, а людина - чисту продукцію.

Зараз населення Землі складає близько 5×10^9 чоловік. Отже, для підтримки «людської біомаси» потрібно близько 5×10^{15} ккал на рік. Поки що вистачає; світовий «урожай на пні» домашня худоба споживає в 5 разів більше їжі, ніж людство. Людина і домашня худоба зараз споживають 6% продукції всієї біосфери та 12% продукції суші. Окрім того, людина споживає чисту продукцію у вигляді волокон, деревини тощо. Слід відмітити такі моменти: відношення «еквівалентної» популяції в Новій Зеландії визначається вівцями, в Японії - рибою, на Кубі, в США - великою рогатою худобою.

Який же вплив людини на біосферу? Щільність населення складає 1 чоловік на 3,5 га суші. Враховуючи і домашніх тварин, одержуємо 1-еквівалентну популяцію на 0,7 га (на 1 чоловіка, або домашню тварину розміром з людину приходиться 0,7 га). Якщо у наступному столітті населення досягне 7 мільярдів чоловік і якщо ми будемо споживати в їжу тварин, то на кожного «їдока» вагою 50 кг прийдеться всього лише 0,4 га суші. І це без домашніх тварин, яких люди тримають для забави.

Треба врахувати і те, що придатними для сільського господарства є лише 24% суші. Освоєння посушливих земель та океану може мати небезпечні наслідки. Стає очевидним, що оптимальну щільність населення потрібно розраховувати виходячи з якості життєвого простору, а не з кількості калорій їжі. Земля здатна прогодувати багато більше ротів, аніж нормальних людських істот.

Показник відношення продукції до біомаси

Продукцію в екосистемі можна вважати похідним біомаси. З другого боку, сама біомаса зберігається завдяки продукції. Так, відно-

шення Р/В (тобто кількість кілограмів, синтезованих за рік на 1 кг біомаси) для лісів становить в середньому 0,042; для інших наземних екосистем - 0,29, а для водних - 17. Головна причина такої різниці у тому, що значна частка лісової біомаси мертва (і була такою протягом значного часу), а суттєва частина живої тканини рослин у фотосинтезі не бере участі. В степах і заростях чагарників частка живої фотосинтезуючої біомаси вища. У водних угрупованнях, зокрема там, де основний продуцент фітопланктон, який не має опірної тканини, мертві клітини не накопичуються (як правило, вони видаються), і вихід фотосинтезу із розрахунку на кілограм біомаси дійсно дуже високий. Другий фактор, який сприяє високому відношенню Р/В у фітопланктонних угрупованнях, - швидке відновлення біомаси. Річна ЧПП (чиста первинна продукція) фактично створюється змінюючими одна одну перекриваючими генераціями фітопланктону в той час, як його біомаса оцінює лише середній «урожай на корені» клітин, які присутні в окремий момент часу.

Основна особливість автогенних сукцесій у тому, що піонерними видами є види, що швидко ростуть - трави з відносно невеликою кількістю опірної тканини. Таким чином, на ранніх стадіях сукцесії відношення Р/В високе. Але пізніше домінуючими стають, як правило, види з повільним ростом, але досягаючи великого розміру; вони монополізують світло і простір. В них багато як мертвої, так і живої нефотосинтезуючої тканини, тобто відношення Р/В залишається низьким.

На зв'язок між продукцією і біомасою можна глянути і по-іншому. Біомаса - нереалістична міра оцінки біологічної активності. Адже ж не можна розглядати мертву деревину і кору як безпосередніх утворювачів деревом нової органічної речовини. Майже всі відмінності екосистем різних типів витікають саме із цієї некоректності. Звичайно, було б набагато точніше визначати біомасу як масу тільки живої тканини, але методу оцінки останньої ще не знайдено. Без сумніву, значна частина відмінностей у відношенні Р/В для різних угруповань тоді зникла б, а ті, що залишилися, могли б виявитися значно інформативнішими. На жаль, таких оцінок ще не проводилося.

Річна чиста первинна продукція і біомаса
для різних екосистем Землі (за Whittaker, 1975)

Таблиця 4

Тип екосистеми	Площа млн. км ²	Чиста первинна продукція на одиноцю площі, г/м ² , або т/км ²	Чиста первинна продукція на всій Землі, кулі	Біомаса на одиноцю площу, кг/м ²	Біомаса на всій земній кулі, млрд. т
Дощовий тропічний ліс	17,0	2200	37,4	45	765
Сезонний тропічний ліс	7,5	1600	12,0	35	260
Вічнозелений помірний ліс	5,0	1300	6,5	35	175
Листопадний помірний ліс	7,0	1200	8,4	30	210
Тайга	12,0	800	9,6	20	240
Рідколісся	8,5	700	6,0	6	50
Саванна	15,0	900	13,5	4	60
Степ	9,0	600	5,4	1,6	14
Тундра та альпійські луки	8,0	140	1,1	0,6	5
Пустельний та напівпустельний чагарник	18,0	90	1,6	0,7	13
Безплідні скельні піщані та льодові пустелі	24,0	3	0,07	0,02	0,5
Оброблювальні землі	14,0	650	9,1	1	14
Озера і річки	2,0	250	0,5	0,02	0,05
Сумарно для суші	149	773	115	12,3	1837
Відкритий океан	332,0	125	41,5	0,003	1,0
Зони апвелінга	0,4	500	0,2	0,02	0,008
Континентальний шельф	26,6	360	9,6	0,01	0,27
Зарості водоростей і рифи	0,6	2500	1,6	2	1,2
Естуарії	1,4	1500	2,1	1	1,4
Сумарно для морського середовища	361	152	55,0	0,01	3,9
Сумарно для всієї земної кулі	510	333	170	3,6	1841

В табл. 4 наведено дані по чистій первинній продуктивності (ЧПП) для різних екосистем земної кулі. Чітко видно, що у водних екосистемах ЧПП на одиницю біомаси вища, ніж в нелісових екосистемах, а в тих, в свою чергу, вища, ніж в лісових. На значній частині земної кулі продукція становить менше 400 г/м² за рік. Це відноситься до 30% поверхні суші і 90% океану. Відкритий океан фактично є водною пустелею. З іншого боку, найбільш продуктивні системи боліт, маршів, естуарій, заростей водоростей, рифів, а також оброблюваних земель.

Фундаментальні концепції енергії

Енергію визначають як здатність виконувати роботу. Властивості енергії описуються такими законами.

Перший закон термодинаміки: енергія може переходити із однієї форми в іншу, але не зникає і не створюється заново.

Другий закон термодинаміки:

а) процес перетворення енергії здатний відбуватися спонтанно тільки при умові, що енергія переходить з концентрованої форми у розсіяну (наприклад, тепло гарячого предмету розсіюється у холодному середовищі);

в) оскільки деяка частина енергії завжди розсіюється у вигляді неступної теплової енергії, ефективність спонтанного перетворення кінетичної енергії у потенційну (світло - в енергію хімічних сполук) завжди менше 100%.

Важливою енергетичною характеристикою екосистем є її здатність підтримувати високий ступінь внутрішньої упорядкованості. Упорядкованість екосистеми обумовлюється складністю структури біомаси і підтримується за рахунок дихання угруповання, яке викачує із угруповання неупорядкованість.

Вся різноманітність прояву життя супроводжується перетворенням енергії, без яких не буває екосистеми. Наша цивілізація — це лише одне з чудових явищ природи і залежить від постійного притоку енергії світлового випромінювання. Екологія по суті вивчає зв'язок між світлом і екосистемами та способи перетворення енергії усередині екосистем. Відношення між рослинами – продуцентами і тваринами – консументами, між хижаками і жертвами підкоряються тим же законам, які правлять неживими системами, наприклад, електродвигунами, автомобілями тощо.

З другого закону термодинаміки витікає, що будь-який вид енергії в кінці перетворюється у теплову енергію. Лише незначна частина енергії, що поглинають зелені рослини, перетворюється в енергію їжі; більша ж її частина перетворюється у тепло, яке потім залишає і рослини, і екосистеми, і біосферу. Весь інший живий світ одержує потенційну хімічну енергію із органічних речовин, створених фотосинтезуючими рослинами. Тварини поглинають хімічну енергію їжі і більшу частину перетворюють у тепло, а меншу знову переводять у хімічну потенційну енергію заново синтезованої цитоплазми. І так далі. На кожному етапі передачі енергії

від одних організмів до інших більша частина енергії перетворюється у тепло.

Для описування поведінки енергії в екосистемах прийнято поняття «поток енергії», бо перетворення енергії йдуть в одному напрямку на відміну від циклічного руху речовин.

За одиницю енергії прийнята 1 калорія (1 кал); 1 ккал = 1000 кал.

Людина потребує щодня близько 40 ккал на 1 кг своєї ваги, птахи – 100 ккал/кг.

Для прикладу наводимо калорійність різних видів їжі:

Продукт	Ккал на 100 г	Продукт	Ккал на 100 г
Кукурудза	362	Телятина	147
Жито, пшениця	346	Молоко	67
Горох	336	Сири	250-409
Соя	411	Олія	928
Квасоля	335	Масло вершкове	781
Хліб житній	233	Жир свин.	928
Хліб пшеничний	255	Шпіг свин.	844
Сухарі пшеничні	355	Капуста	18
М'ясо овече	225	Томати	22
Яловичина	182	Огірки	16
Свинина жирна	406		

Трофічні ланцюги. Трофічні сіті та трофічні рівні

Перенесення енергії їжі від її джерел - рослини - через організми шляхом поїдання одних другими називається трофічним ланцюгом. При кожному наступному переносі 90% енергії втрачається (у тепло). Це обмежує число можливих ланок звичайно до 4 - 5. Чим коротший трофічний ланцюг, тим більше доступної енергії. Трофічні ланцюги можна розділити на 2 основних типи: пасовищні ланцюги, які починаються від зеленої рослини і йдуть до рослиноїдних тварин (що пасуться) і далі - до хижаків, що поїдають перших. Детритні ланцюги починаються від мертвої органічної речовини і йдуть до детритофагів і до їх хижаків.

Трофічні (харчувальні) ланцюги не ізольовані один від одного, а переплітаються у трофічні (харчувальні) сіті.

У природних угрупованнях організми, що отримують їжу, належать

до певного трофічного рівня. Так, рослини - це перший трофічний рівень, травоядні (корова, коза, кролик тощо) - другий трофічний рівень; хижаки, що поїдають травоядних (вовк, лисиця) - третій трофічний рівень; тварини, що поїдають цих хижаків - четвертий і т.д.

Ця трофічна класифікація ділить на групи не види, а типи життєдіяльності.

Потік енергії через трофічний рівень - це загальна асиміляція, яка дорівнює продукції біомаси $(P) + (R)$; $A = P + R$.

Наприклад, людина їсть крупну рибу, яка їсть дрібну рибу, та - зоопланктон, який живиться фітопланктоном. Тут можна бачити трофічний ланцюг з п'яти харчувальних ланок. А можуть бути і такі, більш короткі ланцюги:

людина - корова - трава, або людина - зерно.

Отже, якщо збільшити кількість м'яса у раціоні, то зменшиться число людей, які можуть прохарчуватися на даній ділянці Землі. Таким чином, потрібно уміти регулювати свою чисельність, бо прийдеться обходитися без м'яса.

Пряме вилучення травоядними тваринами і людиною більше 50% річного приросту рослини зменшує здатність екосистеми чинити опір стресу.

Енергетична суть існування екосистем виражає наведена діаграма (мал. 37).



Мал. 37. Модель потоку енергії через екосистему

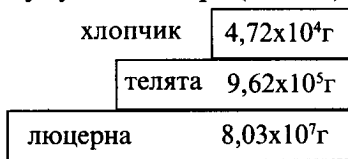
Трофічна структура і екологічні піраміди

При збільшенні розмірів знижується питомий метаболізм на одиницю ваги. Доросла людина потребує їжі більше, ніж мала дитина, але 1 кг ваги дорослого споживає їжі менше.

Внаслідок цього (залежність метаболізму від розмірів особини) і внаслідок втрат енергії при переносі кожне угруповання має певну трофічну структуру, яка служить характеристикою типу екосистем (озера, ліси, луки тощо). Її можна зобразити графічно у вигляді екологічної піраміди. Основа піраміди - її перший трофічний рівень і т.д. Є такі види піраміди: піраміди чисельності, піраміди біомаси, піраміди енергії. Перші дві можуть бути зворотними, а третя завжди звужується догори (мал. 38).

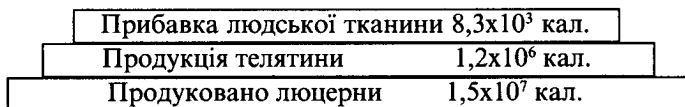


I га люцернового поля-телята-
— хлопчик



Піраміда біомаси

П І Р А М І Д А Ч И С Е Л



Мал. 38. Екологічні піраміди

Якби хлопчик їв люцерну, то на 1 га могли б прогодуватися 5 - 10 хлопчиків.

Якщо організми першого рівня дуже великі (дуби), а другого, чи третього - малі, то і піраміда чисел буде зворотна. Якщо ж організми першого рівня дрібні (фітопланктон), то зворотною буде піраміда біомаси. Отже, дані по чисельності перебільшують роль дрібних організмів, а дані по біомасі перебільшують роль крупних організмів. Піраміда ж енергії дає найбільш повне уявлення про функціональну організацію угруповання.

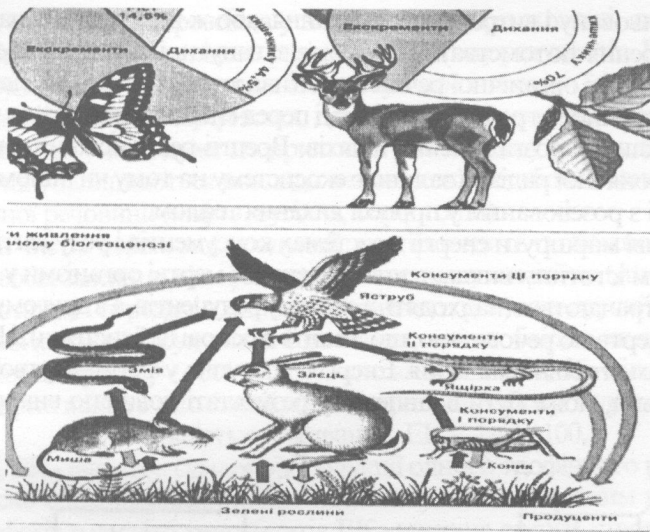
В будь-якій самопідтримуючій екосистемі завжди будуть міститися різні організми за розмірами - від мікробів до крупних рослин та тварин. Будь-яка оцінка екосистеми як цілого повинна базуватися на координованому визначенні структури урожаю на пні та швидкості різноманітних функціональних процесів; важливість визначення останніх збільшується зі зменшенням розміру організмів.

Потік енергії в екосистемах

В екосистемах існує загальна позитивна кореляція між первинною і вторинною продукцією. Вторинна продукція визначається як швидкість утворення нової біомаси гетеротрофними організмами. На відміну від рослин, більшість бактерій, гриби і тварини не здатні синтезувати необхідні їм складні, багаті енергією сполуки із простих молекул. Вони ростуть і отримують енергію, споживаючи рослинну речовину або прямо, або опосередковано – поїдаючи інших гетеротрофів. Рослини, первинні продуценти, складають в угрупованні перший трофічний рівень. На другому знаходяться первинні консументи, на третьому – вторинні консументи і т.д.

Оскільки вторинна продукція залежить від первинної, слід очікувати позитивної кореляції між цими двома перемінними. Мал. 39 демонструє цю загальну тенденцію для наземних і водних екосистем. В озерах продукція зоопланктону позитивно корелює з продукцією фітопланктону, яким він живиться. Подібна залежність спостерігається між продукцією великих трав'янистих ссавців в наземних екосистемах. В обох випадках вторинна продукція фітофагів приблизно на порядок нижча визначаючої її первинної продукції. Ця характерна риса усіх консументів екосистем, тобто тієї частини трофічної структури угруповань, яка залежить в решті решт від споживання біомаси живих рослин.

Продукція фітофагів завжди нижча, ніж у рослин. Куди витрачається решта енергії? По-перше, не вся жива рослинна маса поїдається. Значна її частина відмирає сама по собі, підтримуючи існування редуцентів (бактерій, грибів і тварин-детритофагів). По-друге, не вся біомаса рослин, яку споживають фітофаги (і не вся біомаса останніх, з'їдена хижачками), асимілюється і переходить в біомасу консументів. Деяка її частина витрачається з фекаліями і надходить до редуцентів. По-третє, не вся асимільована енергія перетворюється в біомасу. Частина її витрачається у вигляді тепла при диханні (узагальнена величина – 90%). Тобто, в жодного із процесів перетворення енергії із однієї форми в іншу к.к.д. (коефіцієнт корисної дії) не рівний 1 (другий закон термодинаміки). Частина енергії втрачається у вигляді непридатного для використання «безладного тепла», а також при здійсненні тваринами роботи, яка вимагає витрат енергії, в результаті чого знову ж таки відбувається виділення тепла.



Мал.39. Ланцюги живлення.

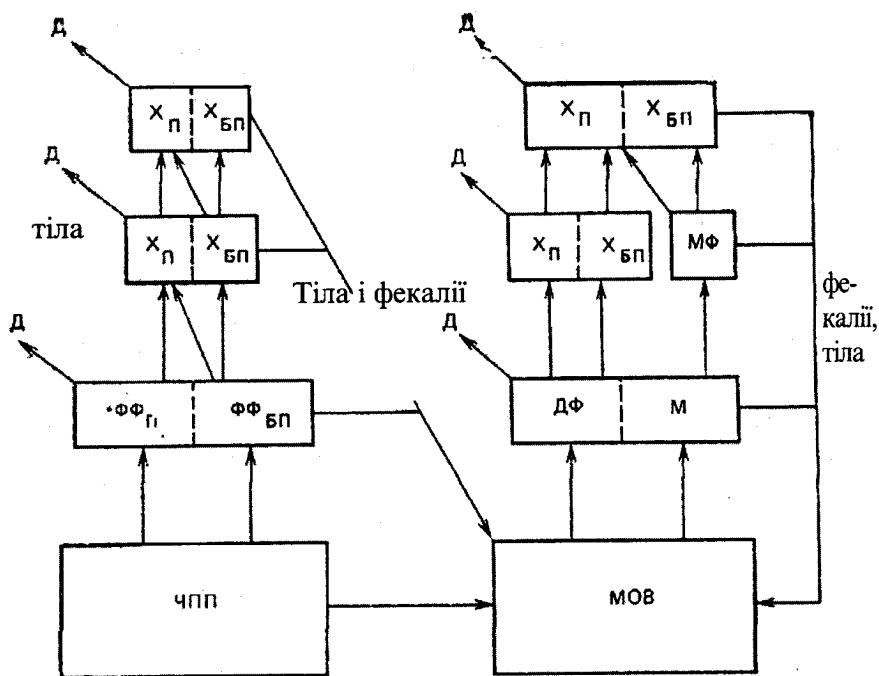
Повна модель трофічної структури угруповання

На мал.40 представлена узагальнена модель трофічної структури та потоку енергії для наземного угруповання (М.Бігон та ін., 1989). Вона являє собою піраміду продукції консументної системи з доповненням двох додаткових елементів. Важливіший із них - система редуцентів, завжди пов'язана в екосистемах з системою консументів. На кожному трофічному рівні кожної підсистеми є підкомпоненти, які функціонують по-різному. Так, окремо показані хребтні, безхребетні, бактерії і еукаріоти-детритофаги, які займають один і той же трофічний рівень і споживають мертву органічну речовину, а також споживачі бактерій і детритофагів (хижаки в системі редуцентів), показані також можливі шляхи проходження по екосистемі енергії, фіксовані в чистій первинній продукції.

Ця енергія може споживатися і асимілюватися безхребетними фітофагами, які використовують її для здійснення роботи і втрачають при диханні. Або її споживає який-небудь фітофаг із хребтних, а пізніше асимілює хижак, який, загинувши, перетворюється у мертву органічну речовину. Його енергія може бути асимільована гіфою гриба, потім споживатися ґрунтовим кліщем, використана ним для здійснення роботи і втрачена у вигляді тепла. На кожному щаблі споживання енергія може опинитися не асимільованою (тоді вона перейде з фекаліями в мертву органічну речовину).

ну), асимільовану і витрачену на дихання, або ж використана на ріст тіла (або утворення потомства). Тіло може загинути, і енергія збережеться у вигляді мертвої органічної речовини. Жива істота може бути з'їдена організмом наступного трофічного рівня, і перед енергією опиниться черговий набір можливих розгалужених шляхів. Врешті-решт кожний джоуль поглиненої сонячної радіації залишає екосистему на тому чи іншому трофічному рівні з розсіюванням у процесі дихання теплом.

Можливі маршрути енергії в системах консументів і редуцентів одні і ті ж, за одним істотним виключенням - фекалії і мертві організми у першому випадку втрачаються (надходять в систему редуцентів, а в другому - ні (опиняються мертвою речовиною, що лежить в основі цієї системи). Ця різниця має фундаментальне значення. Енергія, доступна у формі мертвої органічної речовини, може бути в кінцевому результаті повністю використана в



Мал. 40. Узагальнена модель трофічної структури і потоку енергії для наземного угруповання.

ЧПП - чиста первинна продукція; МОВ - мертва органічна речовина; ФФ - фітофаги; Х - хижаки; ДФ - детритофаги; М - мікроорганізми; МФ - споживачі мікроорганізмів; П - хребетні; БП - безхребетні; Д - втрати на дихання.

процесах метаболізму і розсіяна у вигляді тепла при диханні, якщо навіть їй знадобиться пройти декілька разів через систему редуцентів. Виключенням є ситуації, коли: 1) речовина експортується із даного місця і використовується в іншому, як наприклад, детрит, що вимивається течією; 2) локальні біотичні умови дуже несприятливі для процесу розкладання, в результаті чого залишаються поклади неповністю метаболізованої, високоенергоємної речовини (нафта, вугілля, торф тощо).

Частка чистої первинної продукції, яка проходить по кожному із можливих шляхів, залежить від ефективності переносу енергії на даному шляху її використання і передачі з одного трофічного рівня на другий. Для прогнозування характеру руху енергії по екосистемі необхідно знати три різні ефективності переносу - ефективність споживання (ЕК, К - від слова консумент), ефективність асиміляції - (ЕА) і ефективність продукування (ЕП).

Ефективність споживання, $ЕК = 1nP_{n-1} \cdot 100$,

тобто, ЕК - відсоток сумарної продукції одного трофічного рівня (P_{n-1}), який дійсно споживається (поїдається) наступним трофічним рівнем (I_n). Для фітофагів в системі консументів ЕК - частина енергії, створюваної за одиницю часу у вигляді чистої первинної продукції, яка надходить у шлунок рослиноїдних. У випадку вторинних консументів - це частка продукції фітофагів, яку заковтнули хижаки. Решта гине сама по собі і надходить в ланцюг редуцентів.

Ефективність споживання фітофагів дуже низька, що обумовлено в основному високим вмістом опірної тканини у рослин. Консументи мікроскопічних продуцентів досягають більш високої щільності і видають більш високий процент первинної продукції. Середні значення ефективності споживання складають для лісів приблизно 5%, степів - 25%, угруповань з домінуванням фітопланктону - 50%. Хребетні хижаки здатні поглинати 50% продукції, якщо їх кормом служать хребетні, і тільки 5%, якщо - безхребетні. Хижаки-безхребетні споживають 25% доступної продукції безхребетних.

Ефективність асиміляції, $ЕА = A_n / I_n \times 100$,

це відсоток енергії їжі, що попала в травневу систему конкурента на деякому трофічному рівні (I_n). Частка енергії витрачається в природі у вигляді фекалій і надходить на нижній рівень системи редуцентів. Цей параметр переносу енергії, строго кажучи, до мікроорганізмів застосовувати не можна. Значна частина мертвої органічної речовини переварюється грибами і бактеріями позаклітинно, і ефективність асиміляції абсорбованої перевареної речовини у них 100% (фекалії не утворюються).

Тваринна їжа хижаків (і детритофагів, що живляться мертвечиною), переварюється і засвоюється легше.

Ефективність утворення продукції, $EP = P_n / A_n \times 100$.

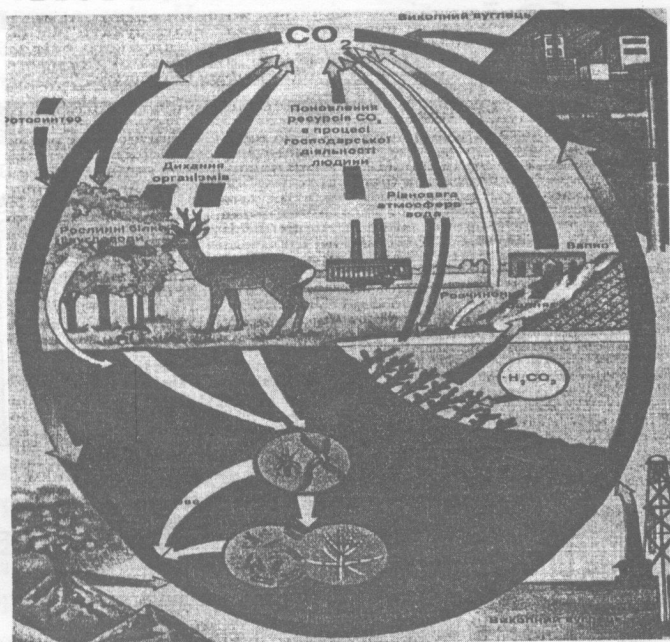
Тобто, це процент асимільованої енергії (A_n), включений в нову біомасу (P_n). Решта повністю втрачається екосистемою при диханні. ЕП змінюється, головним чином, в залежності від систематичного положення організмів. У безхребетних вона в цілому висока (30-40%); на дихання втрачається порівняно мало енергії, і більше енергії йде на утворення продукції. Серед хребетних екотермним організмам (температура тіла залежить від температури середовища) властиві проміжні величини ЕП (близько 10%), в той час, як у ендотермних з їх високою витратою енергії на підтримання постійної температури тіла в продукцію переходить лише 1-2% асимільованої енергії.

У мікроорганізмів, включаючи найпростіших, ефективність утворення продукції дуже висока. Для них характерна коротка тривалість життя, дрібні розміри і швидке оновлення популяції. В цілому ефективність утворення продукції підвищується із збільшенням розміру в ендотермних організмів і дуже помітно знижується - в екотермних.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть спрощене узагальнене рівняння фотосинтезу і поясніть його.
2. Яке значення процесу розкладання у природі.
3. Які типи дихання у природі ви знаєте?
4. Що є головним джерелом енергії, необхідної для синтезу органічної речовини в природних екосистемах? В агроекосистемах?
5. У чому різниця в стратегії природи і людини по відношенню до валової і чистої продукції в екосистемах?
6. Якими законами описуються властивості енергії?
7. Рух енергії в екосистемах – однонаправлений чи циклічний?
8. Що таке трофічні ланцюги в екосистемах?
9. Скільки трофічних рівней може бути в природних екосистемах?
10. Наведіть схему енергетичної суті існування екосистем.
11. Що виражають екологічні піраміди?
12. Яка кореляція між первинною і вторинною продукцією в екосистемах?
13. Чому продукція фітофагів завжди нижча, ніж у рослин?
14. Чому ККД переходу енергії із одного трофічного рівня у наступний завжди менше 1?
15. Які ви знаєте три різні ефективності перенесення енергії через екосистему? Виразіть їх математично.
16. Наведіть принципову модель кібернетики в екосистемах.

БІОГЕОХІМІЧНІ КРУГООБІГИ



Потік речовин в екосистемах

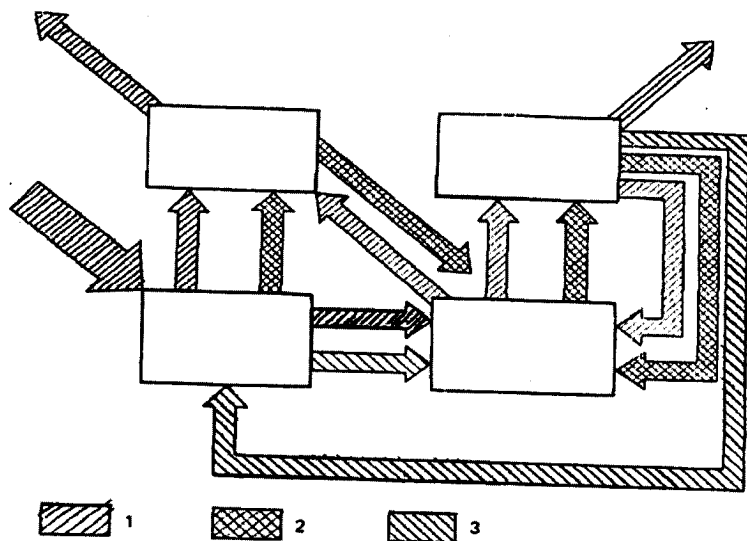
Енергія не може пересуватися по замкнених циклах і використовуватися повторно, а речовина може. Речовина (в тому числі і біогенні елементи) може проходити через екосистему по «петлям».

На своєму значному шляху речовини і енергія в угрупованнях співпадають, причому, в обох випадках редуцентам належить вирішальна роль. Вуглець, наприклад, включається в трофічну структуру угруповання шляхом фіксації у процесі фотосинтезу.

Якщо він увійшов у чисту первинну продукцію, то стає доступним для споживання як компонент цукру, білка, жиру або целюлози. Він проходить такий же шлях, що і енергія, послідовно споживаючись, виділяючись з фекаліями, асимілюючись і, можливо, запасу його у складі живої і мертвої органічної речовини екосистеми.

Чиста втрата азоту з водами, що течуть, частіше нижча за його надходження з опадами, що входять до складу вторинної продукції. Не дивлячись на чисті втрати лісу по інших біогенних елементах, їх винесення у порівнянні із вмістом у біомасі також невелике. Іншими словами, нормою є порівняно «безвідходна» циркуляція.

Коли молекула, що включає цей вуглець, використовується в решті решт для здійснення роботи, її енергія витрачається у вигляді тепла, а вуглець зно-



Мал. 41. Діаграма залежності між потоком енергії і кругообігом елементів.

1 - потік енергії; 2 - кругообіг біогенних елементів; 3 - їх вільна неорганічна форма. Верхні стрілки - втрата на дихання; ліва середня - промениста енергія сонця; верхній лівий квадрат - система консументів, правий - система редуцентів; лівий нижній квадрат - чиста первинна продукція, правий - мертва органіка.

ву надходить в атмосферу у вигляді CO_2 - продукту тканевого дихання. Тут шляхи енергії і вуглецю розходяться.

Переходячи у форму безладного теплового руху, енергія вже не може використовуватися живими організмами для здійснення роботи, або синтезу біомаси. Єдина короточасна користь від теплової енергії - підтримання високої температури тіла. Вуглець же із CO_2 може знову фіксуватися у процесі фотосинтезу. Разом з іншими біогенними елементами він доступний для рослин у вигляді простих неорганічних молекул, присутніх в атмосфері і водних розчинах. У процесі фотосинтезу вуглець включається в складні органічні сполуки, які складають біомасу. Але потім він знову стає доступним, коли ці хімічні сполуки витрачаються у процесі метаболізму або в живих організмах, або в системі редуцентів. Мал. 41 демонструє зв'язок між потоком енергії і кругообігом біогенних елементів.

Біогенні елементи, як компоненти біомаси, просто змінюють молекули, до складу яких вони входять. Наприклад, нітратний азот - в білковий - нітратний. Вони використовуються неодноразово, а кругообіг - їх характерна риса. Якби рослини і фітофаги не розкладалися, запас біогенів вичерпався б і життя на Землі припинилося б. Активність гетеротрофних організмів - вирішальний фактор збереження кругообігів біогенних елементів і утворення продукції. В табл. 4 наведені різні шляхи надходження і втрат біогенних елементів в наземних екосистемах.

Основні шляхи надходження і втрат біогенних елементів в наземних екосистемах

Таблиця 4.

Надходження	Втрата
Опади	Вимивання і винесення водами
Випадання пилу із атмосфери	Здування пилу вітром
Біотична іміграція	Біотична еміграція
Фіксація із атмосфери	Звільнення в атмосферу
Вивітрювання субстрату	Вилуження
Внесення добрив і забруднення	Збирання урожаю людиною

Яке ж співвідношення між надходженням і втратами. Різне? Американськими вченими були проведені експерименти на прикладі водозбірного басейну. За допомогою мережі дощомірів реєстрували кількість опадів; хімічний аналіз осаду і води в річках дозволив розрахувати вченим кількість різних біогенних елементів, які надходили в систему і покидали її. Чиста зміна позитивна, коли екосистема накопичує речовину, і негативна, коли втрачає.

У більшості випадків винесення біогенних елементів сточними водами перевищувало їх надходження з дощем і снігом. Джерелом такої різниці є материнські породи і ґрунти, які вивітрюються і вилужуються із швидкістю приблизно 70 г/м² рік.

Майже завжди надходження і винесення біогенних елементів невеликі у порівнянні з їх вмістом в біомасі, тобто, кількістю, яка циркулює усередині екосистеми. Так, азот надходить в угруповання не тільки з опадами (6,5 кг/га на рік), але й у процесі фіксації із атмосфери мікроорганізмами (14 кг/га на рік). Винесення з текучими водами всього 4 кг/га на рік азоту підкреслює розмах його утримання і залучення в кругообіг біомасою лісового угруповання. Кількість втраченого таким чином азоту складає лише 0,1% сумарного запасу його у складі живої і мертвої органічної речовини системи.

Біогеохімічні кругообіги

В класичній літературі прийнято розділяти хімічні елементи на загальні та біогенні. Біогенні - це ті, що входять до складу протоплазми. Але з кожним роком виявляють все нові й нові елементи в живих організмах. Для багатьох елементів встановлені їх призначення, або роль в клітинах, для більшості ж ця роль поки що невідома.

При роботі з техногенними екосистемами залізородних відвалів авторів за допомогою спектрального аналізу вдалося встановити наявність в клітинах мікроорганізмів та рослин майже всіх елементів таблиці Менделєєва. Визначення ролі кожного з них в клітині - справа майбутнього, але те, що всі вони необхідні клітині - це факт. Очевидним є також те, що всі хімічні елементи біосфери циркулюють із зовнішнього середовища в організми і навпаки. Ці явища називаються біогеохімічними кругообігами.

В кожному кругообігові розрізняють дві частини: 1) резервний фонд - велика маса непов'язаних в організмах речовин, що повільно рухаються; 2) обмінний фонд - менший, але більш активний, для якого характерний швидкий обмін між організмами і їх безпосереднім оточенням.

Якщо взяти біосферу в цілому, то її біогеохімічні кругообіги можна поділити на два типи: 1) кругообіг газоподібних речовин з резервним фондом в атмосфері і гідросфері та 2) осадочний цикл з резервним фондом в земній корі.

У природі елементи розподілені в екосистемі і не знаходяться в одній і тій же хімічній формі. Слід додати і те, що потік енергії, завжди однонаправлений в екосистемі, обумовлює різнонаправлений потік (кругообіг) елементів. Деколи резервний фонд називають недоступним фондом, а активний - доступним. Ці терміни не можна застосовувати буквально. Наприклад, на свіжовідсипаних скельних залізородних відвалах мікроорганізми, що поселяються там відразу, здатні видобувати і вуглець і інші хімічні елементи з міцних кварцитів, сформованих понад 600 млн. років тому і які на сучасній денній поверхні ніколи не були.

Завдяки наявності великого резервного фонду, наприклад, в атмосфері, деякі кругообіги здатні до швидкої саморегуляції при різного роду місцевих порушеннях. Так, надлишки CO_2 , що накопичився в якому-небудь місці в зв'язку з посиленням окислення чи горінням, швидко розсіюється рухомим повітрям; посилене утворення CO_2 компенсується посиленням його спо-

живанням рослинами та перетворенням в карбонати. Подібні в цьому кругообіги азоту, кисню та інших газів. Таким чином, завдяки саморегуляції по типу негативного зворотного зв'язку кругообіги газоподібних речовин в глобальному масштабі відносно досконалі. Але саморегуляція має певні межі і різного виду місцеві порушення можуть виявитися небезпечними для людини.

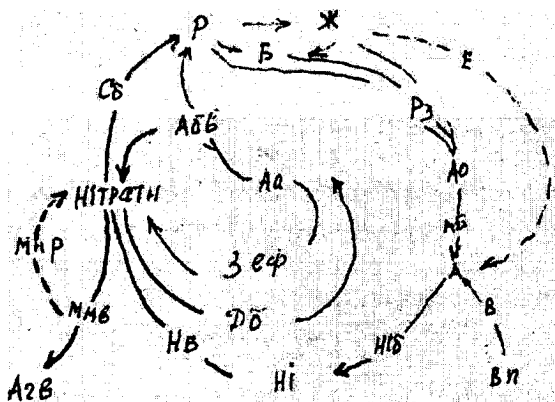
Осадочні цикли, в яких беруть участь різні елементи, зокрема фосфор, залізо значно менш досконалі і легше порушуються при різного роду місцевих змінах, бо основна маса речовини в цих випадках зосереджена у відносно малоактивному резервному фонді земної кори. Тобто, якщо "спуск" відбувається швидше, ніж зворотний підйом, якась частина обмінного матеріалу виходить з кругообігу.

Людина унікальна тим, що в результаті своєї складної діяльності використовує не тільки всі природні елементи, але й штучно створені речовини. В результаті цього кругообіги становляться ациклічними і людина страждає від створених неприродних ситуацій: в одних місцях виникає нестача, а в інших - надлишок якихось речовин.

Узагальнюючи, можна сказати, що зусилля по охороні природних ресурсів направлені на те, щоб ациклічні процеси перетворити в циклічні, на повернення речовини в кругообіг.

Для ілюстрації принципу кругообігу досить навести три приклади. Кругообіг азоту - приклад досить складного кругообігу газоподібних речовин; кругообіг сірки - вдалий приклад ілюстрації зв'язку між повітрям, водою і землею корою. Кругообіги сірки та азоту ілюструють ключову роль мікроорганізмів та роль порушень, пов'язаних з промисловим забрудненням повітря.

Як показано на мал. 42, для кругообігу азоту необхідна енергія. Ступінчастий процес розкладу білка до нітрату сам служить джерелом енергії для організмів, що розкладають його, а зворотний процес потребує інших джерел енергії, таких, як органічна речовина, або сонячне світло. Хемосинтезуючі бактерії *Nitrosomonas*, які перетворюють аміак в нітрит, *Nitrobacter*, що перетворюють нітрит в нітрат, отримують енергію за рахунок розкладання; денітрифікуючі бактерії та азотфіксатори використовують енергію з інших джерел. Для кругообігу азоту необхідний мікроелемент молібден, який входить до складу системи азотфіксуєчих ферментів, тому він в деяких випадках виступає лімітуючим фактором.



Р - рослини; Ж - тварини; Б - бактерії; Е - продукт екскреції (сечовина та ін.); Рз - розкладачі (бактерії та гриби); А° - амінокислоти та органічні залишки; АБ - амоніфікуючі бактерії; А - аміак; В - надходження з вулканів; Вп - вулканічні породи; НіБ - нітритні бактерії; Ні - нітрити; НіТ - нітратні бактерії; Агв - азот глибинних відкладень; Ммв - мілководні морські відкладення; Мир - морські птахи та риби; Сб - синтез білка; Дб - денітрифікуючі бактерії; Звф - зв'язування при електричних розрядах; Аа - азот атмосфери; Абв - азотфіксуючі бактерії.

Етапи, що потребують надходження енергії зовні (сонячне світло або органічні речовини)

Протоплазма
Амінокислоти
Аміак
Енергетичний бар'єр,
Нітрит
Нітрат

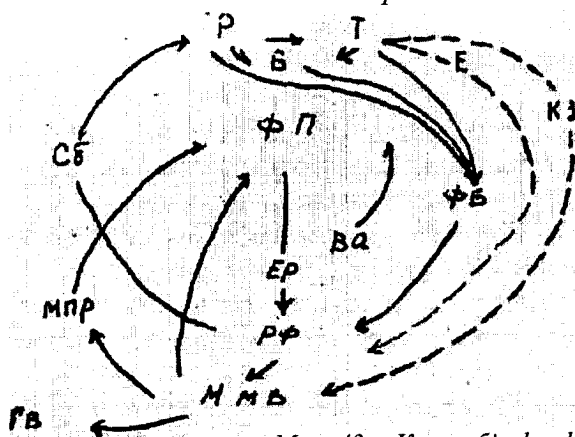
Етапи, що поставляють енергію мікроорганізмам
Газоподібний азот



Мал. 42. Два способи зображення біогеохімічного кругообігу азоту (Одум, 1975).

А. Циркуляція азоту між макроорганізмами та оточуючим середовищем за участю мікроорганізмів, відповідальних за ряд ключових етапів.
Б. Ті ж основні етапи, але розташовані таким чином, що сполуки, багаті на енергію, знаходяться вгорі; це дозволяє зразу ж відрізнити етапи, що потребують затрати енергії, від процесів, які протікають із звільненням енергії.
Завдяки механізмам саморегуляції кругообіг азоту відносно досконалий в масштабі біосфери в цілому. Частина азоту з густонаселених областей суші, прісних вод та мілководних морів відходить в глибоководні океанічні відкладення і таким чином виключається з кругообігу принаймні на певний час (декілька мільйонів років). Ця втрата компенсується надходженням азоту в повітря з вулканічними газами. Тому вулканічні явища не можна вважати цілком шкідливими. Екологія вчить не робити поквапливих висновків про користь чи шкodu тих чи інших явищ, або організмів. Перед тим, як виносити вирок, проблему слід розглянути з усіх боків. Якби технічно вдалося блокувати всі вулкани на Землі, то при цьому від голоду загинуло б більше людей, ніж гине зараз від виверження.

Протоплазма



- Р - рослини; Т - тварини;
- Б - бактерії, Е - екскреція; КЗ - кістки та зуби;
- Сб - синтез протоплазми; Фп - фосформістки породи (відкладення гуано, відкладення викопних кісток);
- ФБ - фосфатредуючі бактерії;
- Ва - вулканічний апатит;
- Ер - ерозія; Мпр - морські птахи та риби;
- РФ - розчинні фосфати;
- Ммв - мілководні морські осадки; Гв - глибокі осадки.

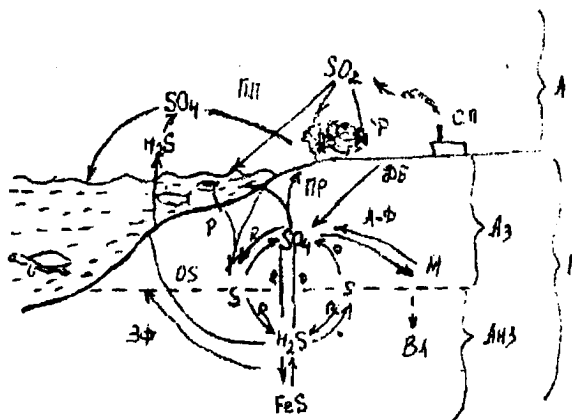
Мал. 43. Кругообіг фосфору.

Кругообіг фосфору по структурі дещо простіший, ніж кругообіг азоту. Як показує мал. 43, фосфор — цей важливий і необхідний елемент протоплазми, циркулює, поступово переходячи у фосфати, які знову можуть використовуватися рослинами. Резервуаром фосфору служить не атмосфера, а гірські породи, які поступово еродуються і звільнюють фосфати в екосистемі; багато фосфору попадає в море, де частина відкладається в мілководних осадках, а частина губиться в глибоководних. У минулому морські птахи відігравали важливу роль у поверненні фосфору в кругообіг (знамениті поклади гуано на узбережжі Перу та Чилі). Це перенесення птахами фосфору триває і зараз, але, мабуть, не так інтенсивно, як це було в минулому.

На жаль, діяльність людини веде до посиленої втрати фосфору, що робить його кругообіг менш досконалим. Хоч людина і виловлює багато морської риби, але за рік цим способом на сушу повертається лише 60 000 тонн елементарного фосфору. Добувається ж щорічно близько 2 млн. тонн фосформістких порід; більша частина цього фосфору змивається і виключається з кругообігу. Агрономи не хвилюються: розвідані запаси фосфоритів досить великі. Але є інша причина для побоювань - перевантаженість водних шляхів розчинними фосфатами через посилене його винесення, яке не може бути зрівноважене синтезом протоплазми та осадкоутворенням. Незабаром нам прийдеться серйозно зайнятися поверненням фосфору в кругообіг, якщо ми не хочемо загинути від голоду. Зараз уже ведуться (і у нас,

і на Заході) експерименти по зрошуванню полів стічними водами замість того, щоб скидати їх прямо у водні шляхи.

На мал. 44 добре видні основні риси кругообігу сірки. Головну роль в кругообігу сірки, в її обмінному фонді відіграють спеціалізовані мікроорганізми, між якими існує розподіл праці - кожний вид виконує певну реакцію окислення, або відновлення. Сульфат, аналогічно нітрату і фосфату - основна доступна організмам форма сірки, яка відновлюється автотрофами і включається в білки. Екосистемам потрібно не так багато сірки, як азоту та фосфору, тому сірка рідко буває лімітуючим фактором, і все ж її кругообіг є ключовим в загальному процесі продукції та розкладання біомаси. Наприклад, коли в осадках утворюються сульфіди заліза, фосфор з нерозчинної форми переходить в розчинну і стає доступним для організмів. Це приклад взаємозв'язку кругообігів.



Мал. 44. Кругообіг сірки.

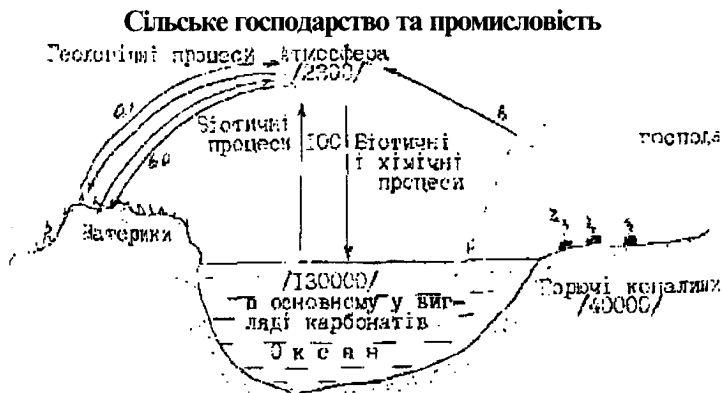
«Кільце» в центрі схеми ілюструє процеси окислення (о) та відновлення (в), завдяки яким відбувається обмін сірки між фондом доступного фосфату і фондом сульфідів заліза, що знаходяться глибоко в ґрунті і в осадках. Метаболізм різноманітних сіркобактерій забезпечує включення сульфату в органічну речовину, а екскреція тваринами служить шляхом повернення сірки в кругообіг.

Двоокис сірки випускається в атмосферу при спалюванні горючих копалин, особливо вугілля, і є одним з небезпечних компонентів промислових викидів.

Пп - пряме поглинання; Д - дощ; Сп - спалювання палива; Дб - добрива; Пр - поглинання рослинами; Р - розкладання; А-Д - адсорбція - десорбція на глині; М - мінерали; О - органічна сірка; Вл - вилужування; АНЗ - анаеробна зона; АЗ - аеробна зона; ЗФ - звільнення фосфору; А - атмосфера; ГО - ґрунт та осадки.

Спалювання викопного палива дуже збільшило вміст легких окислів у повітрі, особливо в містах; в такій концентрації вони вже робляться шкідливими для біотичних компонентів біосфери. Основне джерело окису сірки - теплові електростанції, що працюють на вугіллі, а основне джерело окису азоту - автомобільні двигуни. Сірчаний газ порушує процес фотосинтезу, а окисли азоту шкодять, попадаючи в дихальні шляхи тварин та людини. В результаті хімічних реакцій цих газів з іншими забруднювачами шкідлива дія тих та інших посилюється (синергізм). Наприклад, в результаті ультрафіолетового опромінювання сонця двоокисел азоту вступає в реакцію з продуктами неповного згорання вуглеводнів (це компоненти вихлопних газів), в результаті чого виникає «фотохімічний смог», що подразнює очі. Розробка нових типів двигунів, очистка пального від сірки та перехід від теплових електростанцій до нетрадиційних (сонячні, вітряні тощо) дозволить усунути ці серйозні порушення в кругообігах азоту та сірки. Між іншим, такі зміни в способах виробництва енергії висунуть нові проблеми, про які слід подумати заздалегідь.

Розглянемо ще два кругообіги, від яких в буквальному розумінні слова залежить майбутнє людини на Землі.



Мал. 45. Кругообіг двоокису вуглецю.

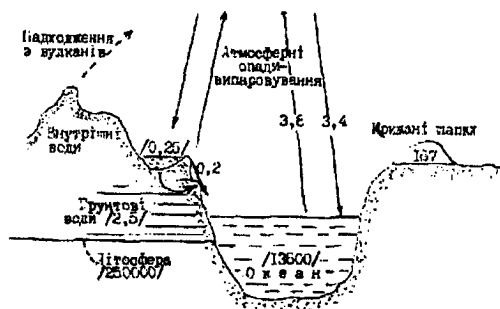
Числа - вміст CO_2 в млрд. тон (Одум, 1985; Плас, 1959).

Мал. 45 ілюструє кількісно кругообіг CO_2 . Для нього характерний невеликий, але досить рухомий фонд в атмосфері, високочутливий до порушень, що виникають внаслідок діяльності людини. Як ми вже відмічали, в наш час спостерігається підвищення вмісту CO_2 в атмосфері, що впливає

на клімат планети. 38 млрд. тонн CO_2 , внесених в атмосферу в 1970 році в результаті сільськогосподарської і промислової діяльності людини, 6 млрд. тонн виникли в результаті спалювання горючих копалин, а 2 млрд. тонн виділені обробленими землями. Більша частина цього двоокису вуглецю швидко перейшла в море і відклалася у формі карбонатів.

Фотосинтезуючий пояс землі та карбонатна система моря досить ефективно вилучають CO_2 з атмосфери. Та все ж стрімке збільшення споживання горючих копалин разом із зменшенням поглинальної здатності зеленого поясу починає впливати на атмосферний фонд кругообігу.

В наших інтересах, які б вони не були, чи йде мова про попередження стихійного лиха, чи про ціленаправлену зміну погоди, - створити густу сітку станцій для реєстрації суттєвих змін в кругообігах CO_2 і H_2O .



Мал. 46. Кругообіг води. Цифри - млрд. тонн.

Як видно із схеми кругообігу води (мал. 46), фонд води в атмосфері теж невеликий; швидкість обертання вища, а час перебування менший, ніж для CO_2 . І на кругообіг води також починають впливати глобальні наслідки діяльності людини. Облік опадів та річково-го стоку зараз в усьому світі добре поставлений; необхідно як можна швидше налагодити більш повний контроль всіх основних шляхів пересування води в кругообігу. В харчовому ланцюгові є два основні шляхи повернення речовин в кругообіг: екскреція тварин і розкладання детриту мікроорганізмами. Перший шлях переважає в планктоні, другий - в степах та лісах. Можливий і третій шлях - пряма передача від рослини до рослини симбіотичними мікроорганізмами (в тропіках).

Згідно з класичним положенням основними агентами регенерації поживних речовин вважаються бактерії і гриби. Але в морі роль бактерій в регенерації азоту та фосфору відбувається в основному за рахунок екскрементів тварин. Зоопланктонні організми за своє життя виділяють у воду в декілька разів більше розчинних поживних речовин, ніж міститься в їх трупах, які розкладають мікроорганізми. У виділеннях зоопланктону містяться органічні і мінеральні сполуки фосфору та азоту, які можуть безпосередньо використовуватися продуцентами без попереднього розкладання мікроорганізмами. Якраз тому мікробіологи відмічають дуже низьку чисельність бактеріальних популяцій у морській воді.

В наземних екосистемах, де основний потік енергії йде через детритний харчовий ланцюг, регенеруюча роль мікроорганізмів домінуюча.

Дослідження тропічних екосистем, особливо тропічного дощового лісу, виявили можливість передачі поживних речовин від рослини до рослини за допомогою симбіотичних мікроорганізмів. Але цей шлях не домінує.

Зрештою, поживні речовини можуть вивільнятися з трупів рослин і тварин навіть без участі мікроорганізмів за рахунок автолізу. У вологих нішах з трупів ще до початку розкладання завдяки автолізу може звільнятися від 25 до 75% поживних речовин. Таким чином, автоліз можна розглядати як ще один, четвертий шлях повернення елементів в кругообіг.

Перевірте себе

- 1. Чим відрізняються потоки енергії і речовин в екосистемах?**
- 2. Назвіть основні шляхи надходження і втрат біогенних елементів в наземних екосистемах.**
- 3. У чому різниця між біогеохімічним кругообігом азоту і фосфору?**
- 4. Наведіть схему біогеохімічного кругообігу сірки. Яка характерна риса в цьому кругообігу?**
- 5. Наведіть і поясніть схему кругообігу вуглекислоти.**
- 6. Наведіть схему кругообігу води. Яке значення цього кругообігу?**
- 7. Які ви знаєте додаткові шляхи повернення біогенних елементів у кругообіг?**

РОЗВИТОК І ЕВОЛЮЦІЯ ЕКОСИСТЕМ

Стратегія розвитку екосистеми

Всі екосистеми підлягають розвитку. Розвиток, або екологічна сукцесія визначається за трьома параметрами:

1) зміна у часі видової структури і протікаючих в угрупованнях процесів. Тобто - це упорядкований процес розвитку угруповання, який протікає певним чином і тому його можна завбачити;

2) зміна фізичного середовища відбувається під впливом угруповання, хоч середовище у свою чергу визначає характер сукцесії;

3) стабілізація екосистеми, що є кульмінацією її розвитку; на цій стадії на одиницю біомаси припадає максимальна кількість симбіотичних зв'язків між організмами.

Таким чином, послідовність угруповань, що змінюють одне одного на даній ділянці, називається сукцесією. Проміжні угруповання мають свої назви (стадія першопоселенців, плямисто-заростева тощо), в той час, як термінальна стадія називається клімаксною. Перехідні угруповання змінюють середовище, створюючи придатні умови для наступних; клімакс настає у момент досягнення рівноваги між біотичними та абіотичними компонентами.

Стратегія сукцесії в основі подібна стратегії розвитку біосфери, але сильно відрізняється своєю швидкістю. Крім того, розвиток екосистем багато в чому аналогічний розвитку окремого організму.

Концепцію розвитку основних природних екосистем відображає таблиця 5.

На ранніх стадіях розвитку екосистеми рівень первинної продукції переважає над диханням угруповання, і відношення P/R більше одиниці. Це властиво всім автотрофним системам. Якщо ж екосистема евтрофна - наприклад, забруднення вод органікою - спостерігається зворотна картина: $P/R < 1$. Це характерно для гетеротрофної сукцесії. У міру наближення розвитку екосистеми до клімаксу P/R буде прагнути до одиниці. Таким чином, показник P/R є важливим індикатором як забруднення екосистем, так і ступеня їх розвитку.

Доти, доки $P > R$ в системі буде накопичуватися органічна речовина і біомаса. Внаслідок чиста продукція, або урожай за річний цикл велика на ранніх стадіях і мала, або рівна нулю в зрілих екосистемах.

Модель екологічної сукцесії.

Тенденції, які слід очікувати у розвитку екосистем *Таблиця 5.*

Ознаки екосистеми	Стадії розвитку	Зрілі стадії
1. Відношення валової продукції до дихання (P/R)	>1<	= 1
2. Відношення валової продукції до урожаю на корню (P/B)	Високе	Низьке
3. Біомаса, що підтримується одиницею потоку енергії (B/E)	Низька	Висока
4. Урожай (чиста продук. угр.)	Високий	Низький
5. Харчові ланцюги	Лінійні	Розгалужені
	Структура угруповання	
6. Загальна органіка	Мало	Багато
7. Неорг. біогенні речовини	Екстрабіотичні	Інтрабіотичні
8. Видова різноманітність	Мала	Велика
9. Біохімічна різноманітність	Мала	Велика
10. Структурна різноманітність	Організовані	Організовані
	Життєвий цикл	
11. Спеціалізація по нішах	Широка	Вузька
12. Розміри організмів	Невеликі	Великі
13. Життєві цикли	Короткі і прості	Довгі і складні
Кругообіг біогенних речовин		
14. Кругообіг мінер. речовин	Відкриті	Замкнуті
15. Швидкість обміну між організмами і середовищем	Висока	Низька
16. Роль детриту у регенерації біогенних речовин	Незначна	Значна
	Тиск добору	
17. Характер росту	Не швидкий ріст	Не регул. зворотним зв'язком
18. Продукція	Кількість	Якість
	Загальний гомеостаз	
19. Внутрішній симбіоз	Не розвинений	Розвинений
20. Збереження біоген. речовин	Із втратами	Повне
21. Стабільність	Низька	Висока

Еволюція екосистем

Розвиток екосистем протікає під впливом: 1) зовнішніх (галогенних) сил - геологічних та кліматичних змін; 2) внутрішніх (автогенних) процесів. В межах відносної постійності зовнішніх факторів угруповання еволюціону-

вали шляхом природного добору на видовому (більш низькому) рівні і на рівні угруповань (більш високому - так званий груповий добір).

Поєднана еволюція - це тип еволюції угруповання, що полягає у взаємних селективних впливах одне на одного двох великих груп організмів (між якими відсутній генетичний обмін інформаціями), які знаходяться у тісному екологічному взаємозв'язку (наприклад, паразити та їх господарі, рослини та рослиноїдні тварини). Так, внаслідок випадкових мутацій рослини можуть виробляти який-небудь продукт метаболізму, що відлякує комах - фітофагів. Це приводить до виникнення цілих родин, стійких до комах, і вони отримують переважний розвиток серед інших груп рослин. Але, як показала практика, використання інсектицидів, комахи-шкідники також можуть виробляти відповідну реакцію і з'являється мутант, здатний житися на стійких до нього раніше рослинах, який і виносить цю лінію в нову адаптивну зону. Таким чином, рослини і фітофаги еволюціонують разом у тому розумінні, що еволюція одних є наслідком еволюції других.

У поєднану еволюцію може залучатися декілька ланок харчового ланцюга. Наприклад, у колорадського жука вироблялася здатність не тільки житися рослиною (картопля), неїстівною для інших фітофагів (містить отруту), але й «використовувати» отруту рослин для особистого захисту від хижаків.

Крім того, поєднана еволюція може бути викликана не тільки харчовими взаємодіями. Декілька видів рослин можуть об'єднуватися в угруповання по причині залежності від одного запилювача. Тобто, поступовий взаємний добір може обумовити еволюцію у напрямку різноманітності, взаємозалежності і гомеостазу на рівні угруповання.

Груповий добір - це природний добір в групах організмів, що не знаходяться в мутуалістичних взаємовідносинах. Він веде до збереження ознак, сприятливих для угруповання в цілому.

Автогенна сукцесія

Сукцесії на територіях, що заново освоюються у відсутності поступової зміни абіотичних факторів, називаються автогенними. Якщо територія, що заселяється, раніше не підлягала впливу якого-небудь угруповання - це первинна сукцесія (наприклад, на недавно сформованих піщаних дюнах, захопленій лаві, при відступанні льодовика, на залізородних скельних відвалах, (мал. 47). Коли на якій-небудь території рослинність знищена, але добре

обнасінена, сукцесія називається вторинною. Сукцесійні зміни дуже тривалі у випадку первинної сукцесії. Але аналогічний процес з участю морських макролітів, які заселяють недавно оголені ділянки скельної літоралі, займає менше десяти років. Час появи того чи іншого угруповання можна встановити, користуючись історичними картами, радіовуглецевим аналізом та іншими методами. Хід сукцесії можуть відображати ряди угруповань, існуючих в теперішній час, але відповідним різним періодам часу від її початку.

Перші види в сукцесії можуть настільки змінити умови або доступність ресурсів в місцешкваннях, що стає можливим поселення інших видів. Цей процес відомий як полегшення. Він особливо важливий при первинній сукцесії, коли вихідні умови суворі, наприклад, на оголеному ґрунті після льодовика, або на скельних залізорудних відвалах.

Одна із основних рушійних сил сукцесії - зміна ґрунту першими колоністами. Так, на скельних (кварцитово-сланцевих) залізорудних відвалах, як це було встановлено автором експериментально шляхом прямих досліджень, першими поселенцями виявляються оліготрофні бактерії і гіфоміцетальні гриби. Вони «добувають» і використовують викопний органічний вуглець, створений водними організмами ще в протерозої, фіксують атмосферний азот, руйнують крупні механічні фракції. Це приводить до накопичення в субстраті органічної маси, в тому числі азоту. Через рік-два з'являються перші фототрофи - мікроскопічні водорості. Сумісна життєдіяльність гетеротрофів і автотрофних організмів швидко змінює субстрат, перетворюючи його в ґрунт, на якому поселяються приблизно через 10 років піонерні квіткові рослини. Починається процес сингенезу фітоценозів, який приблизно за 600 років приводить до формування зональних екосистем з чорноземним ґрунтом.

Першими квітковими рослинами на льодовикових відкладеннях з тонким шаром дуже бідної біогенами глини є куріпочна трава, потім верби, приблизно через 50 років - вільха з тополями. І куріпочка трава, і вільха мають симбіонтів - бульбочкових бактерій, які фіксують атмосферний азот, що приводить до накопичення його в ґрунті. Після цього ситхінська смерека, використовуючи накопичений азот, заміщає вільху. Поступове запасання в ґрунті вуглецю приводить до розвитку дрібногрудчастої структури, підвищенню аерації і вологоємності субстрату.

Чистий субстрат на валунах нижньої літоралі (на узбережжі моря) в перший же місяць заростає піонерною зеленою водоростю ульва. Протягом осені і зими першого року поверхня заселяється деякими багаторічними чер-

воними водоростями, включаючи *Gelidium coulteri*, *Gigartina leptorhynchoides*, *Rhodoglossum affine*, *Gigartina canaliculata*. Через 2-3 роки в угрупованні починає домінувати *G. canaliculata*, яка покриває 60-90% поверхні субстрату. У відсутності повного порушення ця практично «монокультура» за рахунок вегетативного розростання утримує позиції і протистоїть вторгненню інших видів. Поява багаторічних червоних водоростей з повільним ростом придушується, поки перші колоністи залишаються неушкодженими. Прискоренню сукцесії у бік появи шорстких і більш довголітніх червоних водоростей сприяє і вибіркове виїдання ульви крабом *Pachygrapsus crassipes*. Пізньосукцесійні види заселяють невеликі вільні плями на каменях, досягають зрілості паралельно із загибеллю ульви, поступово захоплюючи простір і починаючи домінувати, поки під дією хвиль не оголюється ще одна значна ділянка.

Розвиток екосистем на скельних залізорудних відвалах протікає в цілому по такій схемі «з нуля»:

а) сукцесія гетеротрофних мікроорганізмів та водоростевого аерофітону - 0-3 роки; відношення первинної продукції до дихання P/R близько 0;

б) сукцесія гетеротрофних мікроорганізмів і водоростевого едафону - 3-10 років, $P/R < 1$;

в) сукцесія мікробоценозів і альгоценозів - 10-20 років, $P/R \leq 1$;

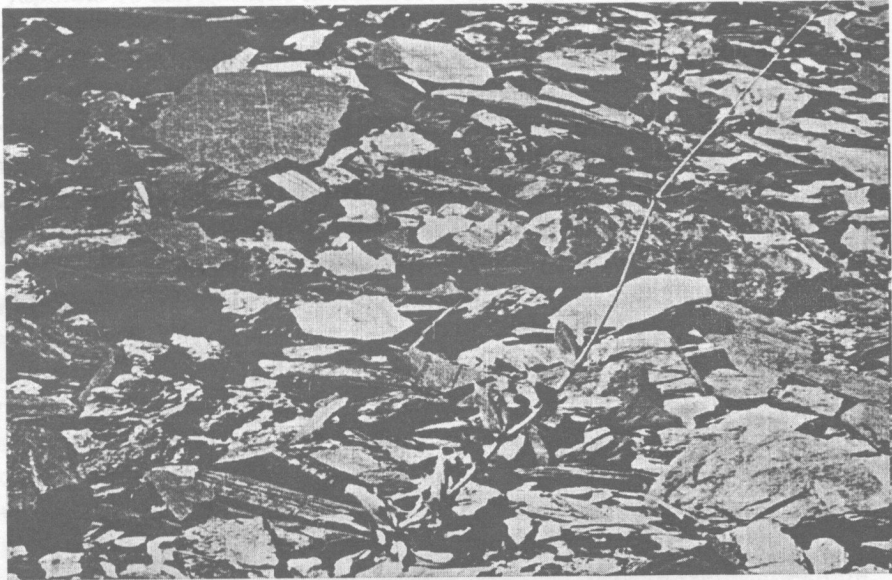
г) сукцесія мікробоценозів, альгосинузій і фітоценозів - 20-600 років, $P/R > 1$;

д) клімаксна екосистема (стадія едафічного клімаксу) - з 600 років, $P/R = 1$.

Сукцесії на перелогах детально вивчалися у США (на півночі), де численні ферми виявилися покинутими. Корінні хвойно-листяні ліси тут були в основному зведені, але їх відновлення йшло швидко. В багатьох місцях вдалося дослідити групи ділянок, покинутих в різний час, відомий дослідникам. Типова зміна домінантів рослинності така: однорічні бур'яни - багаторічні трави - чагарники - ранньосукцесійні дерева - пізньосукцесійні дерева. Найбільш звичайним перелоговим однорічником тут є амброзія (*Ambrosia artemisiifolia*). Її проростання тісно пов'язане з порушенням середовища, яке гарантує доступність ресурсів в умовах відсутності конкуренції з іншими видами, які з'являються пізніше. Насіння амброзії може зберігатися в ґрунті схожість багато років і краще всього проростає на його поверхні. Осимі однорічники (головним чином інші айстрові) часто швидко витісняють незимуючі види, в тому числі і амброзію. В осимих трав дрібне насіння, яке не має

стадії покою, розселяється на великі відстані. Проростаючи після падіння на землю (кінець літа), вони розвиваються в зимуючі розетки. Наступної весни вони починають вегетувати раніше незимуючих однорічників, переходячи у них таким чином ресурси у вигляді світла, води, простору і біогенних елементів.

Життєвий цикл ранньосукцесійних рослин короткий. Нездатні витримувати конкуренції із більш пізніми видами, вони вимушені швидко рости, ефективно використовуючи доступні ресурси. У зв'язку з цим швидкість фотосинтезу на одиницю площі з ходом сукцесії в цілому знижується.



Мал. 47. Приклад автогенної сукцесії.

Перший колоніст на скельних залізородних відвалах - *Silene vulgaris*.

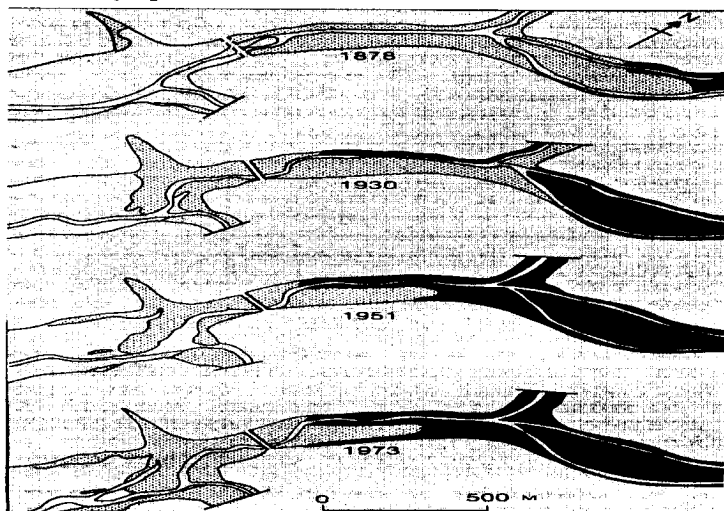
Деградаційна сукцесія

Один із типів послідовних змін видів можна назвати деградаційною сукцесією. Вона відбувається порівняно швидко - протягом декількох місяців чи років. Будь-яка мертва органіка, чи то загиблих тварин, чи рослин, скинута гадюкою шкіра чи екскременти використовуються мікроорганізмами або тваринами-детритофагами. Звичайно, різні види редуцентів з'являються і зникають по черзі відповідно вичерпання у ході розкладання органічної речовини одних ресурсів і появи інших речовин. Одночасно зміни у

фізичному стані детриту роблять його сприятливим спочатку для одних видів, потім для інших. Оскільки в цих послідовних змінах беруть участь гетеротрофи, саму сукцесію називають гетеротрофною. Врешті решт вона завершується повним споживанням і мінералізацією певного ресурсу.

Так, опад хвої накопичується під кронами шарами, хвоїнки на поверхні наймолодші, а чим глибше - тим старіші. Сукцесія починається ще до опадання хвої. Приблизно на 50% живих хвоїнок поселяється гриб роду *Coniosporium*. Але до моменту їх старіння і відмирання його вже немає, тоді як на 40% хвоїнок виявляється *Lophodermium*, а більше 80% уражені *Fusicoccum* і *Pullularia*. Опалі на землю хвоїнки становляться частиною так званого L- шару (опад із шорсткої ще не злежалої світло-бурої хвої). За шість місяців перебування у цьому шарі більшість хвоїнок захвачується *Desmazierella*. В сукцесії беруть участь і деякі інші види, які поступово перетворюють і розм'якшують хвою.

Наступна стадія розкладання протікає у шарі F1 (верхній горизонт ферментації). Сіро-чорні хвоїнки тут утрамбовані, їх тканини розм'якшені і не міцні. Внутрішня частина, особливо флоема, сильно вражена *Desmazierella*, в той час, як зовнішня поверхня оточена тепер більш вологою атмосферою, заселена *Symptodiella* і *Helicoma*.



До моря Від моря
 Мал. 48. Просування у бік моря за 100 років солоного маршу (пунктир) і лісу (суцільне забарвлення) в естуарії р. Фал (Англія) - пояснення в тексті.

Аллогенна сукцесія

Коли опадає листя чи залишає екскременти слон, виникає нове місцемешкання. Це нове місцемешкання поступово деградує.

Необхідно розрізнити аллогенні сукцесії, які є результатом біологічних процесів, що змінюють умови і ресурси, від аллогенних, які обумовлені зовнішніми геофізико-хімічними обставинами. Естуарій річки Фал на півострові Корнуолл в Англії, як і інші естуарії, досить швидко замулюється. Осадконакопичення на мілинах, які вдаються в естуарій на 15 км, досягає швидкості 1 см на рік. В результаті цього за останнє століття солоний марш просунувся на 800 м у бік моря. Заплавний ліс «не відстав», перемістившись услід за болотом.

Вертикальна поясність розподілу видів у залежності від висоти над рівнем моря має чіткі закономірності. Види поселяються на певній відмітці в залежності від стійкості до затоплення солонуватими водами під час припливів. Так як найбільша висота відповідає і найбільш віддаленій ділянці суші від моря, і найбільш пізній стадії сукцесії, можна судити і про горизонтальний розподіл видів, і про часову участь їх у цій сукцесії. Ближче всього до рівня моря розташовуються піонери заселення солонуватих мулових мілин – очерет та польовиця. Вони зустрічаються по всьому маршу, доходючи до межі зростання дуба; тобто, в естуарії Фала до 2,26 м над рівнем моря. Зона розповсюдження двох галофітів (*Puccinilla* і *Triglochin*) місцями фактично заходить за нижню межу фактично затоплюваних у приплив заростей верби, вільхи і дуба. Різниця у висоті над рівнем моря між маршем і лісом може становити всього 0,2 м. Те, що перехід між цими угрупованнями відображає процес сукцесії, а не фіксований розподіл видів, доказує аналіз залишків рослин в лісовому ґрунті. Те, що спостерігаємо зараз, точно повторюється у часі. Без сумніву, ця сукцесія в першу чергу визначається зовнішнім абіотичним фактором – осадконакопиченням (мал. 48).

Концепція клімаксу

Чи мають сукцесії екосистем якусь межу? Очевидно, що якщо місце загиблих організмів будуть займати молоді екземпляри того ж виду, встановиться стійка рівновага. Згідно з моделлю сукцесії Хорна (Horn, 1975, 1981) в гіпотетичному лісовому угрупованні можна було

б передбачити зміни у складі деревних порід. Хорн допускав, що співвідношення видів у лісовому підрості відображає вірогідність заміни кожним із них дорослого дерева. Найбільш цікавий висновок із матричної моделі Хорна той, що через певний час угруповання набуває певного стабільного складу, незалежно від вихідного.

У концепції клімаксу довга історія. Один із перших дослідників сукцесій Ф. Клементс (Clements, 1976) стверджував, що в будь-якій кліматичній зоні існує тільки один справжній клімакс. До його виникнення ведуть всі сукцесії незалежно від того, почалися вони із піщаної дюни, перелогу чи навіть із заростаючого ставка. Це крайня теорія моноклімаксу, яку прийняли далеко не всі екологи. Школа поліклімаксу признавала, що клімакс на даній ділянці може визначатися одним, або декількома факторами: кліматом, ґрунтовими умовами, топографією, пожежами тощо, тому в одній кліматичній зоні може існувати цілий ряд специфічних типів клімаксу. Пізніше Уеттекер (Whittaker, 1963) запропонував свою гіпотезу клімаксної структури простору. На його думку у природі існує контініум типів клімаксу, які поступово змінюються по середовищним градієнтам, і зовсім не обов'язково розділених чіткими межами.

Дійсно, в природних умовах важко виділити стійке клімаксне угруповання. Як правило, вдається лише помітити, що швидкість сукцесії падає до певного рівня, після чого уже не видно ніяких змін. Сукцесія морських водоростей на валунах досягає клімаксу всього лише за декілька років. На перелогах досягнення клімаксної стадії вимагає 100-300 років, але вірогідність виникнення пожежі за цей період настільки висока, що сукцесія може ніколи і не завершитися. Якщо не забувати, що лісові екосистеми північної помірної зони все ще відновлюються після останнього льодовикового періоду, то стає питання, чи не є клімаксна рослинність лише мрією теоретика.

Крім того, слід враховувати і проблему масштабу. Так, структура лісового чи пасовищного угруповання здається стійкою на рівні декількох гектарів, але насправді являє собою мозаїку мінісукцесій. Кожне падіння дерева чи відмирання деревини звільняє простір, на якому починається нова сукцесія. Частина структури угруповання обумовлена процесами загибелі, заміщення і мікросукцесій, які можуть бути не поміченими при великомасштабному вивченні.

І все ж можна зробити таке резюме.

Термінальним угрупованням є клімаксне угруповання, в якому воно знаходиться у рівновазі з фізичним місцемешканням.

В клімаксному угрупованні на відміну від стадій розвитку відсутня річна чиста продукція органічної речовини. Для будь-якої зони зручно розрізняти такі моменти: 1) єдиний кліматичний клімакс, що знаходиться у рівновазі з кліматичними умовами; 2) едафічні клімакси, різні для різних локальних умов субстрату. Перший – це теоретичне угруповання, до досягнення якого направлені сукцесії в даному кліматичному регіоні. Там же, де ґрунт, рель'єф, водоймище перешкоджають досягненню кліматичного клімаксу, сукцесія закінчується едафічним клімаксом.

Людина багато в чому впливає на розвиток сукцесії. Коли стабільне угруповання, що не є клімаксом для даної місцевості, підтримується людиною або домашніми тваринами, то його можна назвати антропогенним субклімаксом. Наприклад, надмірний випас худоби може привести до утворення пустельного угруповання з домінуванням чагарників там, де міг би бути степ. Тут степ – кліматичний клімакс, а пустельне угруповання – антропогенний субклімакс, або дісклімакс.

В цьому випадку пустельне угруповання є результатом безгосподарності людини, в той час, як пустельне угруповання в пустельній зоні – природне **клімаксне** угруповання.

Сільськогосподарські екосистеми, які довгий час були стабілізовані, можна розглядати як дісклімакси. На жаль, численні господарські угіддя на зрошуваних, або осушених землях не можна вважати стабільними, бо ці системи схильні до засолювання, ерозії та нашествия шкідників. Підтримування високої продуктивності таких систем потребує всезростаючих дотацій від людини.

Перевірте себе

- 1. Що таке екологічна сукцесія?**
- 2. За якими параметрами визначається розвиток екосистем?**
- 3. Що таке груповий добір?**
- 4. Коротко охарактеризуйте аутогенну сукцесію і наведіть приклади.**
- 5. Що таке деградаційна сукцесія? Приклади.**
- 6. Охарактеризуйте аллогенну сукцесію.**
- 7. Дайте своє поняття концепції клімаксу екосистеми.**

ЗАБРУДНЕННЯ І ЗДОРОВ'Я ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Поняття про забрудненість середовища і її ціна

Забруднення - це зміна фізичних, хімічних та біологічних характеристик повітря, води і ґрунту, яка впливає, або вплине згодом негативно на життя людини, потрібних йому рослин і тварин, на умови життя, культурне надбання, на виробничі процеси, які сприятимуть псуванню, або виснаженню сировинних ресурсів. Забруднювачі — це відходи нашої діяльності.

Земля зараз густо заселена і на ній уже немає місця для смітника. Забруднення зараз є найважливішим, лімітуючим фактором для людини. Ця проблема існує в усьому світі, відрізняючись лише в одному: в країнах, що розвиваються (70% населення Землі) забруднення пов'язані в основному із фекаліями людей і тварин, а в багатих, розвинутих країнах (30% населення) на перший план виступило агро-індустріальне забруднення. Цивілізовані країни обумовили глобальне забруднення води і повітря, що загрожує зараз буквально кожному. Щоб упоратися з глобальним і локальним забрудненням потрібний екосистемний підхід.

Ціна забруднення складається з трьох компонентів: 1) втрата ресурсів в результаті їх експлуатації з великою кількістю відходів, бо забруднення – часто ресурси, які знаходяться не на своєму місці; 2) витрати на ліквідацію забруднення; зараз більше всього коштів йде на очищення стічних вод і твердих відходів, але боротьба з більш шкідливими забруднювачами від автомобільних двигунів та енергетичних установок в найближчі 30 років буде в 100 разів дорожча; 3) ціна здоров'я людей; зараз у світі спостерігається така драматична картина - смертність людей від інфекційних захворювань різко знижується, а смертність від хвороб, пов'язаних з якістю оточуючого середовища (респіраторні хвороби, рак) настільки ж різко зростає. Американські екологи і медики підрахували, що одне лиш зниження наполовину забруднення повітря в міських районах дозволило б зекономити 2 мільярди доларів за рік; це тільки вартість медичного обслуговування і втрати робочого часу від хвороби; сюди не входить «ціна» людських страждань.

З екологічної точки зору розрізняють два основних типи забруднення.

1. Стійкі забруднення – речовини, які в природному середовищі руйнуються дуже повільно, або зовсім не руйнуються. Це поліетилен, солі ртуті, алюмінієвий посуд, фенольні сполуки, ДДТ тощо. Такі забруднювачі не тільки накопичуються, але й «біологічно підсилюються» у міру проходження по ланцюгам в біологічних циклах. Крім того, з'єднуючись з другими речовинами, вони можуть утворювати інші отрути. Вилучити їх з біосфери прак-

тично неможливо. Єдиний засіб очистки від таких забруднювачів - це припинення їх виробництва.

2. Забруднювачі, що руйнуються під впливом різних біологічних процесів. Це стічні побутові води, тепло, різні хімічні сполуки, що легко руйнуються. Тобто сюди відносяться речовини, для яких існують в природі механізми переробки. У цьому випадку проблема забруднення виникає тоді, коли перевищує здатність природи руйнувати, або розсіювати їх. Міста ростуть швидше, ніж очисні устаткування. На відміну від першого типу, забруднювачі, що руйнуються, можна нейтралізувати шляхом поєднання технічної і біологічної обробки в напівприродних зонах очищення чи переробки відходів. Але ж все-таки існують відомі межі кількості речовини, яку можна знешкодити на даній площадці і межа CO_2 , який при цьому поступає в атмосферу. Щоб не переступити за граничні можливості біосфери, ми повинні зберегти приблизно 2 га продуктивного простору суші і вод на кожного чоловіка.

Стратегія обходження з відходами

Людина має три можливості позбавлення відходів: 1) скидання без всякої обробки в підходяще місце (грунт, озеро, річка, море, повітря тощо); 2) збирання і обробіток відходів в обмеженій зоні, де створені напівприродні екосистеми - земляні насипи, окислюючі басейни тощо; 3) переробка відходів в штучних хемо-механічних регенераційних системах. Перший шлях в наш час повсюдно залишається основним. Звичайно, міста і підприємства розташовуються вздовж водоймищ, річок, що облегшує скидання відходів. Цілком очевидно, що така практика повинна бути припинена як можна скоріше. Другий спосіб найбільш економічний. Для влаштування і підтримання напівприродних екосистем, де відбувається очистка відходів, потрібні мінімальні зусилля і кошти. Але якщо ми хочемо йти цим розумним шляхом, полишивши природі значну частину роботи по знешкодженню відходів, ми повинні залишати для цього обширні простори суші і води. Нові станції очистки не можна будувати по берегах річок або посеред густонаселених районів, а слід розміщати серед природних територій, достатньо обширних для переробки відходів і захоронення небезпечних викидів. Було прийнято - при будівництві міст - це 20 - 40 га для зони знешкодження відходів. Але великому промисловому підприємству іноді потрібно тисячі гектарів, а, скажімо, відновлення до питної води і вилучення з відходів корисних матеріалів з точки зору економіки значно переक्रивають вартість земельної ділянки.

Успіх заходів по зменшенню забрудненості залежить в значній мірі від моніторингу оточуючого середовища - реєстрації і контролю. Контроль

здійснюється у двох формах: 1) прямі виміри концентрації забруднювачів; 2) використання біологічних показників - таких, як мікробіологічні, індикаторні показники для цілих угруповань тощо. Зараз в деяких країнах використовують датчики, змонтовані на літаках, які щоденно облітають великі міста і промислові регіони. Вони фіксують загазованість атмосфери отруйними газами (SO_2 , CO , NO_2 тощо). Уже використовуються такі показники забруднення середо-вища, як індикаторні види, відношення P/R, відношення хлорофілу до біомаси бактерій, середній розмір організмів (при забрудненні дрібні організми переважають над більшими), кількість пігменту синьозелених водоростей (ціанобактерій) та інші. Природно, що стан угруповання є найбільш інформативним показником ступеня забруднення оточуючого середовища.

До цього часу найбільша економічна сприятливість і захист з боку закону в більшості країнах, а особливо в країнах СНД, надається тим галузям, які добувають, будують, виробляють, тобто експлуатують та забруднюють (а часто і знищують) природу. Такий підхід раціональний для ранніх стадій людства, бо людина, щоб вижити, повинна була підкорити собі і дещо змінити оточуюче середовище. Але вже досить давно стало очевидним, що такий підхід треба змінити і якщо і не віддавати перевагу, то у всякому разі зрівняти в престижності професії і виробництва, що підтримують якість природи. Якщо ми зможемо зробити поворот в другий бік, то основи екологічного розвитку змістяться від експлуатації до відновлення, від викидання до повторного, або подальшого використання, від кількості до якості. Міжнародне законодавство зараз майже відсутнє, хоч немає більш важливої справи, аніж законодавство про оточуюче середовище.

Зупинимось коротко на деяких видах агропромислового забруднення оточуючого середовища.

Інсектициди. Використання людиною інсектицидів для боротьби з комахами - шкідниками сільськогосподарських культур зручно розглянути з точки зору «трьох поколінь пестицидів».

1. Пестициди рослинного походження і неорганічні солі (арсенати та ін.).
2. Покоління ДДТ (фосфорорганічні, хлорорганічні сполуки) - отрутохімікати з широким спектром дії.
3. Гормони і біологічні методи боротьби - біохімічні препарати, паразити і т.п., що мають вузький спектр дії, або чітку направленість без отруєння всієї екосистеми.

Перше покоління пестицидів було цілком достатнім для невеликих господарств. ДДТ і подібні йому препарати з широким спектром дії сповісти-

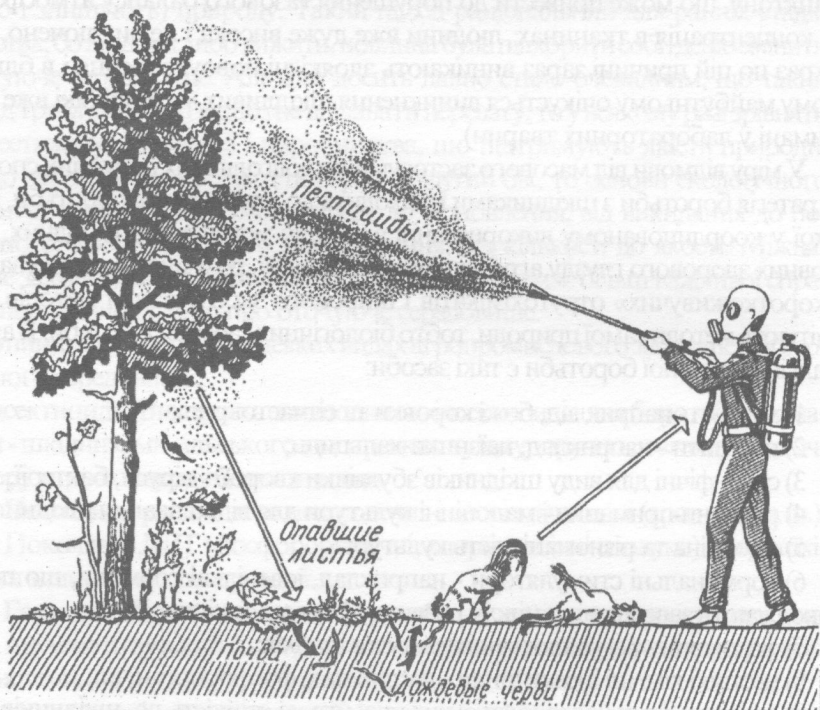
ло про настання ери індустріалізації сільського господарства. Ці препарати були признані як панацея від усіх проблем шкідників. Але вже в 50-х роках пролунали сигнали про ентомологічну небезпеку - були зафіксовані спалахи шкідників, викликані оприскуванням. В результаті безконтрольного застосування пестицидів відбулося безглузде насичення цими довгодіючими отрутами оточуючого середовища. Встановлено, що ДДТ і інші хлормісткі вуглеводні дуже негативно впливають на нервову та ендокринну системи хребетних, у тому числі і людини. Вони розносяться повітрям і водою і, будучи найбільш поширеними синтетичними сполуками, забруднили суттєву частину біосфери. Їх хімічна стійкість і здатність абсорбуватися на органічних речовинах полегшує їх перенесення і сприяє їх накопиченню при передачі по харчовому ланцюгові - від рослин до фаготрофів і далі - до хижаків. Хлормісткі вуглеводні серйозно порушили екосистеми в багатьох частинах Землі. Вони подавляють фотосинтез морського фітопланктону, що може привести до порушення газового балансу атмосфери; їх концентрація в тканинах людини вже дуже висока і не виключено, що якраз по цій причині зараз виникають зловісні новоутворення і в близькому майбутньому очікується виникнення шкідливих мутацій (які вже отримані у лабораторних тварин).

У міру відмови від масового застосування довгодіючих отруйних сполук стратегія боротьби з шкідниками приходить до інтегральної боротьби, ідея якої у координованому використанні арсеналу методів: старомодних, але повних здорового глузду агротехнічних прийомів, розумного застосування «короткоживучих» отрутохімікатів і широкого застосування методів, які імітують методи самої природи, тобто біологічних засобів боротьби. В арсеналі інтегральної боротьби є такі засоби:

- 1) хижаки - наприклад, божі коровки та сітчастокрилі;
 - 2) паразити - наприклад, наїзники-хальциди;
 - 3) специфічні для виду шкідників збудники хвороб - віруси, бактерії;
 - 4) рослини-приманки - малоцінні культури для відволікання шкідників;
 - 5) сівозміна та різноманітність культур;
 - 6) гормональні стимулятори - наприклад, ювенільні гормони, що перешкоджають завершенню циклу розвитку у комах-шкідників;
 - 7) феромони - регулюють поведінку шкідників;
 - 8) нестійкі хімічні інсектициди - наприклад, фосфорорганічні;
 - 9) селекція сільськогосподарських культур на стійкість до шкідників.
- Гербіциди. Вперше почали застосовуватися після другої світової війни.

Гербіциди ділять на дві групи за способом їх дії:

1. Гербіциди, що порушують фотосинтез. Це монурон, симазин.
2. Гербіциди дефоляційної і системної дії. Сюди відносяться розповсюджені скрізь 2, 4-Д; 2, 4, 5-Т. В малих концентраціях вони перешкоджають опаданню листя і плодів, у високих - дія зворотна. Широколистяні трав'янисті рослини дуже сприйнятливі до 2, 4-Д, а дерева - до 2, 4, 5-Т. Безпосередня токсичність цих гербіцидів на тварин невелика, але при виробництві 2, 4, 5-Т утворюється діоксин (2, 3, 6, 7 - тетрахлордібензол-п- діоксин), який навіть у дуже низьких концентраціях володіє тератогенною дією (викликає потворнісіть плоду). Дуже отруйні гербіциди для робочих (тяжкі ураження шкіри). Інсектициди і гербіциди - це могутні «наркотики» для екосистеми. Конче необхідно, щоб застосування цих речовин здійснювалося після ретельної перевірки їх впливу на угруповання і під керівництвом кваліфікованих спеціалістів.



Мал. 49. Міграція пестицидів від людини до людини.

Забруднення довкілля

і здоров'я людини

Господарська діяльність людини призвела до екологічної кризи, важливим виявом якої є несприятливі тенденції у стані здоров'я населення.

Забруднене навколишнє середовище, впливаючи на життєдіяльність організму, спричиняє в ньому патологічні процеси. Спочатку шкідливі речовини накопичуються в тканинах і органах, у тому числі в шкірі, кістках, волоссі, нігтях. У разі накопичення забруднювача до певного рівня в організмі починаються фізіологічні та інші порушення: зміна діяльності ферментних систем, які регулюють процеси обміну, імунологічної реактивності, порушення діяльності органів дихання, кровообігу, нервової та ендокринної систем. На наступному етапі з'являються симптоми хвороби, розгортається клінічна картина захворювання і за негативного варіанту перебігу настає смерть (мал. 49).

Науковими дослідженнями зібрано великий фактичний матеріал про вплив забрудненого навколишнього середовища на здоров'я людини (табл. 6).

Існує група захворювань, пов'язаних з недостатнім або, навпаки, надлишковим вмістом деяких елементів у навколишньому середовищі. Такі захворювання називають ендемічними. Наприклад, йод - необхідний елемент для життєдіяльності всього організму і передусім для функціонування щитовидної залози. За добу з продуктами харчування, водою діти повинні отримувати 150-200 мкг йоду. За нестачі йоду в їжі або незбалансованого харчування, яке утруднює його засвоєння організмом, уражається щитовидна залоза, розвивається волю. Це захворювання супроводжується: залізодефіцитними анеміями, відхиленнями у фізичному розвитку дітей, порушеннями розвитку кісток та статевого розвитку, зниженням показників розумового розвитку.

Інший важливий елемент - флуор. Хвороби виникають як за нестачі, так і за надлишку його в організмі. Систематичне використання питної води з великим вмістом флуору спричиняє в на-

селення ендемічний флуороз. Спостерігається характерне ураження зубів (крапчастість емалі, утворення пігменту темно-жовтого або коричневого кольору, руйнування емалі), порушення процесу скостеніння скелету, виснаження організму. Крім того, флуор є нейротропною отрутою й уражає нервову систему. Однак, якщо у воді мало флуору (менше 0,5 мг/л), то розвивається карієс зубів. Каріозні зуби - постійне вогнище інфекції в організмі, що провокує виникнення багатьох захворювань органів травлення, серця, суглобів, нирок та ін.

Ендемічних хвороб, пов'язаних з іншими мікроелементами, багато, але сьогодні не вони «роблять погоду». Більш вагомо впливають на здоров'я забруднювачі, пов'язані з діяльністю людини. Прикладами таких хвороб є: ітай-ітай, мінамата, юшо, бериліоз та ін.

Перший випадок хвороби ітай-ітай (дослівно «боляче-боляче») зареєстрований у 1959 р. серед японського населення префектури Токіо, яке проживало в басейні річки Джансі. Початковими стадіями хвороби були гострі м'язові болі, частіше - у м'язах ніг. На другій стадії з'являвся білок у сечі, тобто порушувалася функція нирок, знижувалася маса тіла, часто розвивалася глаукома. Заключна стадія хвороби характеризувалася деформацією скелету внаслідок переломів кісток. Як з'ясувалося згодом, ця хвороба пов'язана зі сполуками кадмію. Питна вода р. Джансі була заражена виробничими стоками рудозбагачувальної фабрики.

Не слід думати, що ітай-ітай - екзотична японська хвороба. Кадмій широко використовується в промисловості всіх країн світу, зокрема для виробництва люмінофорів для люмінесцентних ламп.

Серед рибалок м. Мінамата (Японія) спостерігалось дивне захворювання, що було потім назване як це місто. Хвороба проявлялася у вигляді паралічів у дорослих і дітей, що супроводжувалися сліпотою та розумовою відсталістю. Причиною хвороби стала метилртуть, яка утворилась із металевої ртуті, що потрапила до океану зі стічними водами промислового підприємства. Метилртуть з рибою та морськими рослинами надходила до організму людини.

Характеристика токсичних і напівтоксичних речовин і їх вплив на організм людини

Елемент забруднення	Основне джерело надходження до середовища	Основний шлях надх. до організму	Вплив на здоров'я людини
Ферум	Промислове виробництво	З водою, їжею	Цироз печинки, захворювання кровоносної системи
Оксид карбону	Промисловість, автотранспорт, енергетика	З повітрям	Карбоксигемоглобінемія, ураження центральної нервової системи, порушення вуглеводного, жирового фосфоліпідного обміну, вітамінного балансу
Кадмій	Виплавлення кольорових металів,	З водою, їжею, повітрям	Хвороби нирок, хвороба ітай-ітай, анемія, остеопороз (ламкість кісток), підвитагенна та канцерогенна дія
Манган	Виплавлення металів, добрива, рідке паливо, лінолеум, сірники, піротехнічні вироби	З повітрям	Прогресуюче ураження центральної нервової системи, летаргія, синдром Паркінсона, пневмонія
Купрум	Промислове виробництво, спалювання вугілля, добрива, барвники	З водою, їжею	Пневмонія, гепатити
Арсен	Промислове виробництво, пестициди, пивоваріння,	З водою, їжею, пивом	Рак легенів та шкіри, порушення функції шлунка, периферичні неврити, перфорація перегородки носа, ураження шлунково-кишкового тракту
Молібден	Ґрунти, природні води, виплавлення металів, сплави, барвники, скло, мастила	З повітрям, водою, їжею	Порушення центральної нервової системи, подагра
Нікель	Промислове виробництво, нікелювання виробів	З їжею, повітрям	Бронхіальний рак, дерматити (екзема), інтоксикація, алергія
Нітрати, нітриди	Добрива, відходи тваринництва, стічні води	З водою, їжею	Метгемоглобінемія (порушення транспортування кров'ю кисню, органів травлення)
Нітрозосполуки	Добрива, пестициди, харчові добавки	З водою, їжею	Рак, мутагенна та тератогенна (каліцтва) дії
Меркурій	Добування та виробництво, пестициди, спалювання	З водою, повітрям, їжею	Інтоксикація, хвороба Мінамата, паралічі та психічна неповноцінність новонароджених
Хром	Промислове виробництво, сплави, барвники, дубильні речовини, вогнетривка цегла	З повітрям, їжею	Бронхіальний рак
Плюмбум	Виплавлення металу, пестициди, двигуни внутрішнього згорання, дорожній пил, ґрунт навколо підприємств	З водою, повітрям, їжею	Ураження центральної нервової системи, печинки, нирок, мозку, статевих органів
Флуор	Алюмінієва та силікатна промисловість, добрива	З водою, повітрям	Флуороз, зубні хвороби, пневмонія, рак, ураження кісток, сухожилів, специфічні ураження шкіри
Алюміній	Алюмінієва промисловість, спалювання вугілля	З повітрям	Ураження кісток, флуороз зубів
Ванадій	Спалювання нафти, вугілля, промислове виробництво	З повітрям	Захворювання серцево-судинної системи
Селен	Збагачення руд, спалювання вугль.	З повітрям	Депресії, запаморочення, жовтуха, носові кровотечі

Забруднення урбанізованого середовища Фізичні та хімічні фактори в урбанізованому середовищі

Денатуралізація природи, яка пов'язана з урбанізацією, проявляється не тільки в хімічному забрудненні, а й у зміні фізичних властивостей і стану оточуючого середовища.

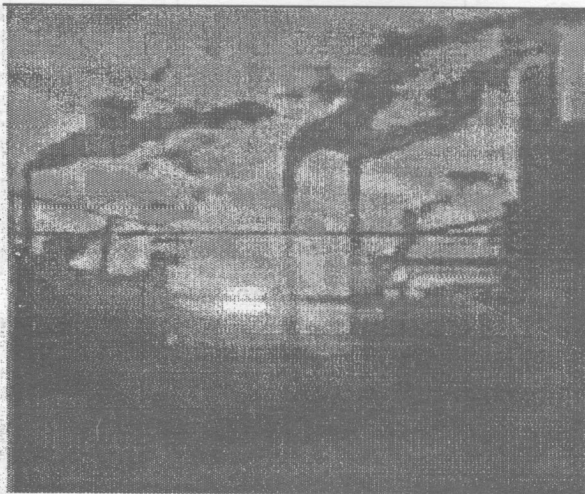
Фізичні фактори зручно класифікувати за характером їх дії на організм. За цією ознакою вони поділяються на 7 класів: механічні, теплові, оптичні, електричні, магнітні, електромагнітні, іонізуючі (табл. 7).

Фізичні фактори, які є в сучасних урбоагломераціях, завжди були в природі, але раніше вони відзначалися стабільністю і не привертали до себе особливої уваги. В сучасних містах значення фізичних факторів оточуючого середовища постійно підвищується. Вони вийшли за межі чисто виробничих недоліків і перетворилися у фактори оточуючого середовища міст.

Механічні фактори. За останні роки міський шум зростає в середньому на 0,5-1 дБ за рік. Головною причиною цього є зростання потужностей і швидкості пересування транспортних засобів, які обумовлюють щонайменше 60-80% загального шуму, що діє на населення.

В умовах міста найбільший вплив на режим шуму мають транспортні магістралі. На магістралях загальноміського значення рівень шуму становить 85-87 дБ, на магістралях районного значення - 75-77 дБ, і на квартальних - 65-70 дБ. Шум, що створює міський транспорт, має низько- і середньочастотний характер з максимум звукового тиску у діапазоні частот 40-800 Гц.

Інтенсивним джерелом шуму в містах виступає і авіаційний транспорт. Так, ТУ-134 створює шум до 120 дБ на відстані 600 м, а АН-24 - 107-110 дБ на



відстані 1 км. Політ літаків супроводжується шумом в 113-117 дБ при висоті 70-80 м, 95 дБ при висоті 350 м.

Ріст шуму викликає також і удосконалення (підвищення вантажності і швидкості) залізничного транспорту. На відстані 50 м від вокзалу цей шум становить в середньому 71 дБ, сортувальної станції - 74 дБ, залізничної лінії - 77 дБ.

Несприятливими в акустичному відношенні є підприємства IV-V класу шкідливості. Рівні звукового тиску навкруги них досягають 75 дБ.

Суттєво впливають магістралі і на шумовий режим в населених пунктах сільської місцевості. В особливу категорію у цьому відношенні слід виділити сільські населені пункти, розташовані близько до автомагістралей, залізниць і аеропортів, шумове навантаження в яких збільшується за рахунок транзитного шуму. Так, поблизу шосе IV категорії в межах сільської забудови рівень шуму досягає 55 дБ (на відстані 100 м від магістралі). Цей фактор повинен бути лімітуючим при визначенні розмірів санітарно-захисних зон для дитячих закладів.

Високою шумністю відзначаються сільськогосподарські машини і механізми. Вантажний автомобіль типу ГАЗ створює шум силою до 105 дБ, типу КРАЗ і МАЗ - до 110 дБ, трактор «Беларусь» - 100 дБ, трактор ДТ-105 дБ, такий же шум створюють екскаватор, бульдозер, шумним є і комбайн типу СК-4 «Нива» - до 109 дБ.

Проблема зменшення шуму містобудівними засобами достатньо складна і має практично обмежені рішення. Найбільші можливості створення сприятливого акустичного режиму оточуючого середовища виникають при складанні генеральних планів міст, забудови мікрорайонів і проектів розміщення об'єктів на стадії районного планування. При цьому додержання принципів акустичного зонування, яке б забезпечувало відділення промислових, складських та транспортних зон від селітебних територій і зон відпочинку, а також застосування спеціальних прийомів забудови є найбільш реальними і дійовими засобами створення оптимальних акустичних умов оточуючого середовища.

Звуки, які сприймає людське вухо, знаходяться у діапазоні частот від 16 Гц (16 коливань на секунду) до 20000 Гц (20 КГц). Звукові хвилі з частотою нижче 16 Гц належать до інфразвукових, а з частотою понад 20000 Гц (20 КГц) - до ультразвукових. Шуми прийнято поділяти на низькочастотні (нижче 350 Гц), середньочастотні (350-800 Гц) та високочастотні (вище 800 Гц).

На організм людини особливо шкідливо діють звуки високої частоти.

Для вимірювання інтенсивності шуму встановлена логарифмічна шкала, в якій кожний ступінь - бел. У практичній діяльності користуються одиницею, у 10 разів меншою за бел - децибелом (дБ).

Основні показники цієї шкали такі: 10-20 дБ - шеліт, шелест листя; 30-35 дБ - рівень шуму, який викликає перші скарги, це вища допустима норма інтенсивності звуку вночі; 50 дБ - численні скарги, вища допустима норма звуку вдень; 75 дБ - голосна розмова; 90 дБ - робота відбійного молотка, шум на шосе з інтенсивним рухом, перші ознаки порушення органу слуху у людини; 110 дБ - поріг шумового стресу, звукового "сп'яніння"; 120-150 дБ - потужний гуркіт грому, старт космічної ракети; 160-170 дБ - постріли з гвинтівки, гармати.

Підрховано, що на виробництві внаслідок підвищення шуму на 25 дБ продуктивність праці знижується приблизно на 25 %, а виробництво бракованої продукції зростає на 12 %. В районах сучасних великих аеропортів у радіусі до 15 км спостерігається помітне погіршення здоров'я населення.

Фізіологічна адаптація до шуму неможлива. Особливо важко людський організм переносить раптові різкі звуки високої частоти.

З наведених даних витікає одна сумна істина - у сучасних містах має місце шумове забруднення середовища міст. Шумове забруднення - це перевищення природного рівня шуму. Тому однією з важливих задач урбоєкології є виявлення джерел шумового забруднення і розробка прийомів створення акустичної комфортності для населення при розробці проектів нових населених пунктів і реконструкції існуючих.

В умовах реконструкції міст вирішення цієї задачі у селітебних територіях утруднюється і потребує комплексного підходу. При цьому заходи по зниженню шуму на територіях і в приміщеннях ведуться по наступних етапах:

1. Реорганізація системи транспортного руху (створення тунелів, транзитних магістралей, вулиць-дублерів) з забезпеченням спеціальних архітектурно-просторових рішень окремих ділянок магістралей в залежності від умов проходження їх в різних за акустичними вимогами зонах міської забудови.

2. Виявлення найбільш шумливих промислових об'єктів і винесення їх за межі зон з нормованим шумовим режимом; при відсутності таких можливостей промислові об'єкти повинні бути переобладнані.

3. Формування шумозахисної зони із будівель нежитлового призначення і перепризначення приміщень в будівлях по вертикалі.

У боротьбі з шумом застосовують архітектурно-планувальні і технічні засоби. До перших належить зонування відповідної території уздовж магістральних вулиць, швидкісних доріг і залізниць, поблизу промислових підприємств. Задачею архітектора та інженера-акустика є вибір оптимального варіанту забудови магістралей не тільки з позицій архітектурного ансамблю міста, але й з метою захисту від шуму.

Гігієнічна класифікація фізичних факторів оточуючого середовища (за М.Г.Шандала)

ТАБЛИЦЯ 7.

Клас	Визначаюче явище	Форма прояву
Механічні	Гравітація Прискорення Щільність середовища	Важкість-невагомість Перевантаження Атмосферний тиск, твердість опори
Теплові	Пружні коливання Температура середовища Вологість Інфрачервона радіація	Шум, струси Тепло-холод
Оптичні	Рухомість повітря Світлова радіація	Освітленість, світлова гама
Електричні	Ультрафіолетова Електростатичне поле Електричний струм Іонізація середовища	Посередня радіація Посередня Посередня Посередня
Магнітні	Магнітне поле, «омагнічення середовища»	Посередня
Електромагнітні	Електромагнітне поле різних частотних діапазонів	Посередня
Іонізуючі	Рентгенівське випромінювання Радіоактивний розпад Поділ ядер Ядерний синтез Космічні промені	Посередня I-VII I-VII Посередня

Так, при торцевій орієнтації першого «ешелону» забудови по відношенню до джерела шуму створюються умови коридору, в який шум, багатократно відбиваючись від фасадів будинків, майже без перешкод проникає в глибину території на значну відстань. При цьому фасади будинків підлягають також значній дії звукової енергії косоного падіння. У випадку фронтальної орієнтації «першого ешелону» забудови по відношенню до джерела шуму основна частка шумової енергії падає на фасади будинків.

Частка шуму, що проникає на захищену територію, залежить від ступеня «перфорації» фронту забудови між будинками, їх висоти і конфігурації. Таким чином, раціональним є фронтальна з невеликими розривами фронту забудова цих територій шумозахисними будинками-екранами нежитлового призначення, або спеціальними будинками-екранами житлового призначення з максимальним використанням принципу зонування території по допустимих рівнях звуку у відповідності до санітарних норм.

При забудові магістральних вулиць житловими будинками повинні використовувати спеціальні типи будинків (шумозахисні будинки) із забезпеченням шумозахисту приміщень конструктивно-будівельними способами. Особливе значення при цьому мають внутрішнє планування і орієнтація будинків. У бік джерела шуму орієнтують допоміжні приміщення (коридори, східці, санвузли, кухні тощо), а в бік звукової тіні - житлові кімнати (спальні тощо з нормованим рівнем звуку). Забезпечення будинків шумозахистом конструктивно-будівельними методами передбачає підвищення звукозахисної здатності їх відгороджувючих конструкцій, які звернені убік джерел шуму.

Ефективність зниження шуму спорудами-екранами пропорційна їх висоті, протяжності, лінійній щільності і обернено пропорційна відстані від джерела шуму до екрану, висоті захищеного об'єкту, довжини звукових хвиль. У характер розповсюдження шуму суттєві зміни вносять розриви у фронті забудови понад 30 м. Їх можна розглядати як точечні джерела шуму у зоні звукової тіні і вважати, що шум на території забудови розповсюджується через них так само, як і на відкритій території.

Одним із прийомів створення оптимального шумового режиму міського середовища є нарощування етажності будинків від магістральних вулиць у глибину мікрорайонів. На відстані від джерела шуму в 60 м спостерігається зростання рівней шуму із збільшенням висоти будинку, мак-

симальна різниця у рівнях досягає 5 дБ і відмічається між першим і четвертим поверхами. На відстані в 30 м максимальна різниця у рівнях спостерігається між першим і другим поверхами і становить 2 дБ. При відстані 15 м рівень звуку знижується із збільшенням висоти, максимальна різниця у рівнях – 10 дБ відмічається між першим і восьмим поверхами.

Запобігти шуму можуть більш товсті стіни, використання звукопоглинаючих матеріалів, герметизація зовнішніх і внутрішніх стиків між панелями. Зниженню шуму також сприяють герметизація вікон, використання скла різної товщини для внутрішньої і зовнішньої сторін, надійне закріплення скла у рамах, збільшення товщини скла. Щоб попередити у приміщеннях відбиття звуків, стелю, стіни, перекриття покривають звукопоглинаючими матеріалами. Якщо цього недостатньо, використовують штучні звукопоглиначі, а також екрани між джерелом шуму і місцем, яке треба захистити.

Велике значення у зниженні рівня вуличного шуму має ширина вулиць. Збільшення її від 20 до 40 м сприяє за однакових умов зниженню шуму на 4-6 дБ. Цьому ж сприяє усунення дефектів дорожнього полотна, а також зменшення транспортних розв'язок, переходів, що дозволяє транспорту рухатися без зайвих зупинок.

Зниженню шуму сприяє збільшення площі зелених насаджень. Завдяки їм рівень шуму у теплий період року може знижуватися на 8-10 дБ. Насадження дерев має особливе значення для вулиць з інтенсивним рухом транспорту.

Нові аеропорти та аеродроми розміщують за межами населених пунктів.

Технічні засоби передбачають зменшення шуму машин, використання безшумних та малошумних технологій. У випадках виникнення шуму внаслідок вихроутворення або вихлопів газів ефективно спеціальні глушники. Перебування людей у зонах з рівнем звукового тиску понад 130 дБ забороняється. Якщо неможливо низити шум у самому його джерелі, слід обов'язково використовувати звукоізоляцію, звукопоглинання, вміщувати обладнання у звукоізолюючі кожухи. З метою індивідуального захисту від шуму використовують заглушки у вигляді тампонів з ультратонкого скловолокна, тканини Петрянова та інших матеріалів, навушники, протишумові шоломи.

Велике значення у боротьбі з шумом мають організаційні заходи, на-

приклад, обмеження руху автомобілів, заборона використання звукових сигналів, влаштування об'їзних доріг.

Поряд із шумом, який проникає в місця постійного перебування людей ззовні, зростаюче значення набувають і внутрішні джерела, до яких відноситься, зокрема, інженерне та санітарно-технічне обладнання. Вентилятори, насоси, лебідки ліфтів та інші механізми в будинках є джерелами повітряного та структурного шуму. Наприклад, вентиляційні установки створюють повітряний шум, який з потоком повітря по вентиляційних каналах проникає через вентиляційні отвори в житлові кімнати. Вентилятори внаслідок вібрації викликають також інтенсивні звукові коливання у перекриттях і стінах будинків. Ці коливання у вигляді шуму розповсюджуються по будівельних конструкціях і випромінюються у приміщеннях, що розташовані навіть на значній відстані від джерела.

Особливо сильний шум може виникати у приміщенні, під яким знаходяться вентиляційні устаткування. Останні, а також насоси, що установлені в підвалах без належної звукоізоляції, викликають у фундаментах коливання звукової частоти, які передаються стінам будинку і створюють шум у квартирах. Аналогічні явища спостерігаються в будинках, де на перших поверхах розміщені заклади громадського харчування, побутового обслуговування тощо.

Суттєвим джерелом шуму в житлових будинках можуть бути різноманітні електричні та механічні прилади, а також сама поведінка людей. Так, пилосос, або полотер створюють в приміщенні середньочастотний шум інтенсивністю в 70-80 дБ, радіоприймач магнітофон або телевізор - до 80-95 дБ, обробка газонів - 70-75 дБ, розвантаження та навантаження тари біля магазинів - до 84 дБ, спортивні ігри дітей - 90-92 дБ і т.п.

Несприятливо на здоров'ї людини відбивається вплив інфразвуку. Він часто утворюється на виробництві, особливо при роботі радарних установок і установок релейного зв'язку, компресорів, турбін, дизельних двигунів електровозів, промислових вентиляторів та інших великогабаритних механізмів і агрегатів. Під впливом інфразвуку у людини збільшується витрата енергії, з'являються перевтома, вестибулярні розлади, порушення з боку серцево-судинної та нервової систем, зниження гостроти слуху. Частота інфразвуку у 2-15 Гц особливо несприятлива - в організмі людини виникають резонансні явища. Частота 7 Гц найбільш несприятлива, найбільш резонансна, можливо вона збігається з альфа-ритмом біоелектричних струмів мозку.

Ультразвукові хвилі також здатні несприятливо впливати на організм людини. Органом слуху вони не сприймаються. Ультразвук використовують у різних галузях науки і промисловості: у медицині, зварюванні, у дефектоскопії, при визначенні властивостей металів, обробці твердих і крихких матеріалів, електролітичних процесах. Низькочастотний ультразвук є супутником шуму у роботі ракетних двигунів, газових турбін, зварювальних машин, сверлильних верстатів. Він на працюючих діє так само, як і шум, але функціональні порушення з боку терморегуляції, нервової, серцево-судинної систем і вестибулярної функції більш відчутні. Особливо потужні установки (6-7 Вт/см²) можуть призводити до локального ураження нервово-судинного апарату в місцях контакту з деталями, наприклад, викликають вегетативні поліневрити пальців рук, кисті, передпліччя.

Зменшенню впливу ультразвуку сприяють звукоізолюючі установки (кожухи, екрани), засоби індивідуального захисту (гумові рукавиці, антифони), установки дистанційного управління, використання малопотужного устаткування, конструкція робочих інструментів.

Механічні коливальні рухи викликають вібрацію. Джерелами виникнення вібрації у містах є залізничний та автомобільний транспорт, метрополітен, особливо лінії мілкового закладання, технологічне устаткування, різноманітне внутрішньобудинкове технічне обладнання тощо. У сферу впливу цього фактору попадають не тільки працівники відповідних професій, але й маса міського населення різних вікових груп: діти, хворі, вагітні жінки, люди похилого віку. Шкідливий вплив вібрації залежить від відстані до її джерела, частотного спектру, рівня віброшвидкості. При цьому тривалість впливу вібрації у побутових умовах, на відміну від виробничих, перестає бути обмеженою, охоплюючи години відпочинку. Вібрація посилюється при комбінованому впливі разом із шумом.

Усі види вібрації класифікують залежно від частоти на три групи: дуже низьку - до 2 Гц (механізми на гідравлічній підвісці, корабельне устаткування тощо), низьку - від 2 Гц до 20 Гц (основна частина наземного транспорту) та високу (пневмомолоти, дрилі та ін.). Частий вплив вібрацій призводить до вібраційної хвороби - професійної хвороби.

З метою зменшення вібрації механічне устаткування установлюють на фундаменти з прокладками, укріплюють на пружних віброізоляторах. Важке механічне устаткування розміщують на ґрунті ізольовано від

будівельних конструкцій, використовують кожухи з покритими усередині звукопоглинаючими матеріалами, наприклад, пінополіуретаном.

В 1976 році Міністерством охорони здоров'я СРСР були затверджені нормативні рівні вібрації (СН № 1304-75), які ґрунтувалися на рекомендаціях Міжнародної організації по стандартизації (МС 2361).

Біологічно активним фактором є також прискорення, під вплив якого систематично підпадають значні контингенти населення на міському транспорті і при користуванні ліфтами. Підйом і спуск на швидкісному ліфті супроводжується гемодинамічними зсувами і суб'єктивними розладами, особливо у людей похилого віку.

При посередніх швидкостях руху транспорту у місті до 20 м/год. - пасажери відчують прискорення від 2-3 до 40 разів за хвилину розміром у середньому 0,86-1,44 м/с з коливаннями від 0,3 до 3,5 м/с. Ще більш варіабельна тривалість дії прискорення від 0,2 до 30 м/с. Оскільки поріг збудження отолітового апарату знаходиться у межах 0,01-0,3 м/с, очевидно, що прискорення на транспорті можуть викликати подразнення органу рівноваги. Відомо, що кумуляція таких подразнень приводить до розвитку синдрому «хвороби руху».

В недалекому майбутньому є технічні можливості збільшити швидкість руху трамваїв до 80 км/год., а залізничного транспорту і метрополітену - до 120 км/год. Для рішення ж проблеми масового перевезення населення у майбутньому необхідно створення видів транспорту, які могли б реалізувати швидкість 150 км/год. Зрозуміло, що таке збільшення швидкостей руху викличе збільшення прискорень і вимагає поглибленого вивчення цього фактору з метою його гігієнічної регламентації.

Електричні фактори

Електрика існує незалежно від атмосферного повітря, але її фактори - електростатичне поле, електричний струм - пов'язані з аеріонізацією. Іонізація повітря не байдужа для організму людини. Помірно підвищена іонізація повітря (до 10^3 легких іонів на 1 см^3) нормально впливає на організм. Більш високі концентрації іонів (понад 10^4 іонів в 1 см^3) викликають негативні біологічні ефекти. Тому суттєве підвищення концентрації іонів у повітрі розглядається як несприятливий фактор у гігієнічному відношенні.

При оцінці аеріонізації як фактора зовнішнього середовища необхідно враховувати рухомість іонів (важкі, легкі), загальну концентра-

цію, динамічність аеронних режимів. Зараз встановлені гранично допустимі концентрації іонів на рівні $5 \cdot 10^4$ позитивних і негативних легких іонів в 1 см^3 повітря при аеродинамічному режимі і на порядок нижче ($5 \cdot 10^3$) - при стабільному.

Широке застосування матеріалів, що електризуються, у будівництві, при виготовленні взуття, меблів та інших побутових предметів, повсюдне користування телевізорами відзначається значним збільшенням статичної електризації і статичних електричних полів в оточуючому середовищі не тільки у промислових умовах, але й у побуті.

В умовах виробництва окремі професійні групи людей зазнають впливу статичного електричного поля (СЕП) порядку 160-240 кВ/м. Наелектризований одяг здатний створювати СЕП напругою в 500 кВ/м і більше. При цьому величина СЕП залежить від хімічної природи матеріалу, умов експлуатації одягу, рухомості людини і функціонального стану його шкіри, а також від метеорологічних умов. СЕП діє на організм через шкіру. В основі реакцій лежить порушення процесів вільно-радикального окислення, в результаті яких спостерігається зміна різних фізіологічних, біохімічних, імунологічних та інших показників.

Науково обґрунтованим вважається поріг хронічної дії СЕП на рівні 30 кВ/м, а в ГДР СЕП - 20 кВ/м.

Електромагнітні поля. В останні роки у зв'язку з швидким розвитком радіомовлення, телебачення, радіолокації тощо, різко збільшилася в оточуючому середовищі інтенсивність штучних електромагнітних полів (ЕМП). У сучасних населених пунктах цей фактор набуває особливо гострого значення.

Особливе значення в цьому плані має факт розширення мережі високовольних електропередач (ЛЕП), які є джерелом електромагнітних випромінювань низької частоти - 50 Гц.

Напруга змінного електричного поля під лініями електропередач коливається у широких межах і досягає 14 кВ/м.

Максимальні рівні напруги виявляються у середині між опорами, між крайніми фазами. Це обумовлено провисанням дротів і зменшенням відстані до землі. Оскільки низькочастотна електромагнітна енергія дуже поглинається ґрунтом, розповсюдження електричного поля навкруги ЛЕП незначне. Воно не перевищує декількох десятків метрів.

Але значна довжина ЛЕП обумовлює наявність величезних сумарних площ на поверхні землі з високими рівнями напруги поля.

Присутність людини під дротами ЛЕП значно збільшує інтенсивність електричного поля у верхній частині тіла до 8-13 разів у порівнянні з номінальним значенням.

Окрім змінного електричного поля, діючим фактором ЛЕП можуть бути електричні струми через тіло людини. Вони виникають через заземлення людини, що знаходиться в електричному полі, у результаті контакту людини з металевими предметами (транспортними засобами, сільгоспмашинами тощо). Такі струми можуть бути тривалими, хоча вимірюються долями міліампера, або носити характер короткочасних електричних розрядів і досягати сили у десятки міліампер.

Радіотелевізійні, ретрансляційні станції випромінюють малопотужні, але постійнодіючі ЕМП у діапазоні довгих, середніх, коротких та ультракоротких хвиль. Тому часто такі об'єкти з гігієнічних обставин виносяться за межі населених пунктів. Ліси, нерівності рель'єфу поглинають і розсіюють електрохвилі. При цьому можуть утворюватися «тіні», в яких напруга поля наближається до нуля.

В місцях розміщення короткохвильових радіостанцій на відстані 20-800 м від антени напруга ЕМП коливається у межах 0,1-70,0 В/м, поблизу середньохвильових радіостанцій на відстані 100-1000 м - 5-40 В/м. При деяких умовах навіть на відстані декількох кілометрів вираженість фактору може сягати декількох вольт на метр.

Напруга ЕМП усередині приміщень залежить від орієнтації приміщення до джерела випромінювання, матеріалу, будівельних конструкцій тощо. Наприклад, у цегельному будинку напруга поля знижується по відношенню до відкритого простору у середньому в 5 разів, а в будинку із залізобетонних панелей - у 20 разів. Найбільша напруга у телевізійному діапазоні (в УКХ - 0,2 - 6,0 В/м) спостерігається у радіусі 100-1500 м від антен, причому максимум приходить на відстань 300 м. Радіохвилі надвисокочастотного діапазону (НВЧ) широко розповсюджені майже у всіх галузях народного господарства і у побуті. Зокрема, на території аеропорту можуть бути декілька метеорологічних станцій і аеронавігаційних радіолокаторів.

Характер та ступінь біологічної дії ЕМП залежить від багатьох обставин, серед яких головну роль відіграють властивості самого випромінювання, і перш за все - частота.

Хронічний вплив ЕМП промислової частоти в 50 Гц викликає несприятливі зміни у діяльності серцево-судинної, ендокринної та нервової систем. Навіть термінова (протягом 6 діб) щоденна дія ЕМП напругою 15 кВ/м викликає некротичні та невротичні зсуви, що проявляється у зменшенні оперативної пам'яті, працездатності, імунологічної реактивності організму, зміні біострумів головного мозку тощо.

Під впливом ЕМП з довжиною хвилі 75 м при напрузі поля 5 В/м в умовах тривалого і систематичного впливу виникають порушення умовно-рефлекторної діяльності тварини, зміни холенергічних процесів, підвищення активності гіпофізарно-надниркової системи, порушення у розвитку потомства.

У людей, які живуть у зоні впливу коротко- і середньохвильових радіостанцій, виявлені зсуви функціонального стану симпатичної та парасимпатичної частин вегетативної нервової системи.

Найбільш активними частотами є мікрохвилі (НВЧ). Дія їх виражається у функціональних змінах нервової, серцево-судинної та інших систем. Біологічна активність ЕМП обумовлює необхідність профілактичних та оздоровчих заходів. Так, напруга ЕМП для умов тривалого безперервного перебування людей не повинна перевищувати 500 В/м. Такого ж ефекту можна досягнути при віддаленні від ЛЕП. Ось чому дуже важливим заходом попередження можливостей несприятливої дії ЛЕП на людей є впровадження санітарно-захисної зони уздовж ліній ЛЕП. Ширина її для ЛЕП 110 кВ - 6 м, для 220 кВ - 10 м, для 330 кВ - 20 м, для ЛЕП 500 кВ - 30 м. Використання цієї зони під житлову забудову, або місця відпочинку забороняється. Оскільки повністю виключити перебування людини під ЛЕП неможливо, прийняті граничні норми напруги поля і час перебування під ЛЕП. Так, над сільськогосподарськими угіддями, де люди повинні з'являтися не більше 3 разів по 30 хвилин, допускається напруга ЕМП ЛЕП не вище 15 кВ/м, на перехресті доріг, де людей буває більше - 10 кВ/м, а у важкодоступній місцевості - 20 кВ/м. Таке диференціювання напруги можливе шляхом підвішування дроту на різній висоті. Наприклад, при вводиті ЛЕП у населений пункт висота підвішування дроту збільшується.

На основі численних досліджень розроблені «Санітарні норми і правила розміщення радіотелевізійних і радіолокаційних станцій» (СН № 1823-78, табл. 8).

Граничні величини електромагнітної енергії радіочастот на території житлової забудови

Найменування діапазонів	Межі діапазонів (частота-довжина хвилі)	ГДР на території житлової забудови
Довгі хвилі	Від 30 до 3300 МГц (10-1 км)	20 В/м
Середні хвилі	Понад 0,3 до 3 МГц (1-0,1 км)	10 В/м
Короткі хвилі	Понад 3 до 30 МГц (100-10 м)	4В /м
Ультракорткі	Понад 30 до 300 МГц (10-1 м)	2 В/м
Мікрохвилі	Більше 300 МГц	5 мкВ/см ²

Наведені дані свідчать про необхідність застосування відповідних технічних планувальних та організаційних заходів. У цьому головну роль відіграє встановлення санітарно-захисних зон між радіопередаючими об'єктами та селітебною зоною. Розмір таких зон повинен забезпечити на її межі ГДК ЕМП. Орієнтовно розмір цих зон коливається у межах: у передаючих радіостанцій - від 10 м для малопотужних (менше 5 кВт), довгохвильових до 2,5 км, для надпотужних (більше 10 кВт), короткохвильових у телецентрів і ретрансляторів - до 1000 м; у радіолокаційних центрів - від 250 м для метеорологічного радіолокатора «Метеорит-1» до 5 км для 1 каналу МРЛ-5.

Території санітарно-захисних зон у радіопередаючих об'єктів можуть використовуватися для вирощування сільськогосподарських культур з мінімальною затратою ручної праці.

Зараз розроблені «Санітарні норми і правила розміщення радіомовних та радіолокаційних об'єктів», методичні вказівки по розміщенню телецентрів і радіотрансляторів, радіолокаційних станцій, радіолокаційних метеорологічних систем, а також по санітарно-гігієнічному контролю за джерелами випромінювання ЕМП в умовах населених міст.

Радіоактивне випромінювання

Небезпечними забруднювачами навколишнього середовища в останні роки стали радіоактивні речовини, кількість яких у біосфері помітно збільшується внаслідок ядерних вибухів, роз-

виту атомної енергетики та промисловості, використання радіоактивних препаратів та ізотопів у медицині, господарській діяльності та у побуті.

Вплив радіоактивного випромінювання на живі організми може бути причиною променевої хвороби тварин та людей, мутацій. В організмах, які споживають забруднені радіоактивними речовинами продукти та воду, поступово зростає концентрація радіонуклідів, в тому числі таких небезпечних, як радіоактивні стронцій і цезій. Це зростання відбувається у харчових ланцюгах від продуцентів до консументів, оскільки основне забруднення відбувається у результаті харчування.

Основна маса радіоактивних відходів утворюється при добуванні та переробці уранових руд, а штучні радіонукліди - в основному при переробці радіоактивного палива на радіохімічних заводах. Значна частина радіоактивних відходів зберігається у відповідності з існуючими вимогами, але частина їх надходить у біосферу, що може мати суттєві негативні наслідки для людей, тварин, рослин. Середні дози опромінення від різних джерел наведені в таблиці 9.

Середні дози опромінення від різних джерел радіоіонізуючого випромінювання

Таблиця 9

Джерела	Доза, мБ/р	Сумарної, %
Природний фон	110	44,7
Медична рентгенодіагностика	72	29,3
Будівельні матеріали	60	24,4
Глобальні випадіння	2	0,8
Годинники із світлоскладом	1	0,4
Авіаційний транспорт	0,5	0,2
Телевізори	0,2	0,1

Чистота атмосферного повітря за вмістом в ньому радіонуклідів регламентується Нормами радіаційної безпеки (НРБ-76/87), ґрунтується на рекомендаціях Міжнародної комісії по радіоактивному захисту (МКРЗ).

Для того, щоб попередити соматичні та звести до мінімуму генетичні наслідки опромінення, застосовують заходи по обмеженню дози зовнішнього та внутрішнього опромінення персоналу, окремих осіб та всього населення.

Норми радіаційної безпеки передбачають:

1) три категорії опромінюваних людей та три групи критичних органів (орган чи тканина, частина тіла чи усе тіло, опромінення яких в даних умовах найбільш істотно у відношенні можливої шкоди для здоров'я опроміненої особи чи її потомства):

категорія А - персонал, зайнятий у радіаційній промисловості;

категорія Б - обмежена частина населення;

категорія В - населення області, краю, республіки, країни;

I група - все тіло, гонади, червоний кістковий мозок;

II група - м'язи, щитовидна залоза, жирова тканина, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталики ока, інші органи, крім тих, що відносяться до груп I і III;

III група - кісткова тканина, шкіряний покрив, кисті, передпліччя, щиколотки та ступні;

2) основні дозовані межі, допустимі рівні і контрольні рівні для осіб категорій А і Б.

Основні дозові межі - це гранично допустимі соматичні дози (ГДД) зовнішнього та внутрішнього опромінення персоналу (категорія А) та межі дози (ГД) зовнішнього та внутрішнього опромінення осіб категорії Б наведені в таблиці 10.

До ГДД не відносяться дози природного фону і дози, отримані при медичному обстеженні та лікуванні.

При плануванні та проектуванні заходів по радіаційній безпеці і в процесі радіаційного контролю застосовують такі нормативні допустимі рівні, наприклад, для категорії Б:

межа (границя) річного надходження радіоактивних речовин через органи дихання та травлення;

допустимі концентрації (ДК) радіоактивних речовин в атмосферному повітрі та воді;

допустимий рівень потужності дози (ДРП);

допустима щільність потоку (ДЩП).

Примітка: 1Бк (беккерель) = $2,7 \cdot 10^{11}$ Ки (кюри).

Дозові межі зовнішнього та внутрішнього опромінення, мЗв/рік

Таблиця 10

Кат.	Група критичних органів		
	I	II	III
А	50	150	300
Б	5	15	30

Примітка. 1 Зв (Зіверт) = 1 Дж/кг = 10^2 Бер.

Місто і атмосфера

У хімічному плані міське середовище забруднене через повітря, воду і ґрунт. Перш за все урбанізація діє на людину через забрудненість повітря. Головний забруднювач у містах - це пил.

По-перше, забрудненість пилом впливає на термічний режим повітряного басейну міського середовища. Майже усі міста, незалежно від їх топографії і розмірів, представляють собою джерела перегрітого повітря. З ефектом гарячих островів пов'язано локальне збільшення інтенсивності циркуляції конвекційних потоків повітря. Одночасно зменшується горизонтальний рух повітряних мас. У містах тумани бувають в 2-5 разів частіше, кількість опадів на 5-10 % більше, ніж у сільській місцевості.

Пряма сонячна радіація в великих містах літом зменшується до 20 %, а взимку - до 50 %. Втрати ультрафіолетової радіації у Києві становлять 17 %, у Москві - 25-30 %, у Балтиморі - 50 %. Запиленість повітря, створюючи типову міську імлу, зменшує видимість у горизонтальному напрямку на 80-90 %. Так, американські вчені встановили, що помутніння повітря над Вашингтоном за останні 60 років зросло на 57 %, що на дві третини обумовлено місцевими промисловими викидами.

За даними американських вчених, більш висока температура повітря в жаркі літні дні і понижена його вологість сприяють збільшенню смертності міського населення. Більше всього страждають люди похилого віку з серцево-судинними захворюваннями. Забруднене повітря над містом, стримуючи потік ультрафіолетових променів, сприяє розвитку раку легень, бронхітів, емфізем та багатьох інфекційних захворювань. Крім того, забруднювачі повітря, попадаючи у воду, або в землю, накопичуються там і можуть проникати в організм людини разом з продуктами харчування.

Інтенсивне забруднення повітря почалося з концентрацією виробництва і ростом населення міст вже у XIX столітті, а у XX столітті воно перетворилося у тривожну, гігієнічну проблему.

У 1970 р. в США кількість забруднюючих речовин, які викидаються у повітря в основному автомобільним транспортом та електростанціями, досягло млн. т. за рік, тобто 1 т на американця. У цій країні частка джерел забруднення повітря розподіляється так: автомобільний транспорт - 60,6 %, промисловість - 12,2, теплоелектростанції - 14,1, АЕС - 5,6, відходи - 3,5%. У деяких великих містах світу забрудненість атмосфери транспортом дося-

гає 90 % (Токіо, Нью-Йорк, Лос-Анджелес).

Забрудненість повітря не тільки згубно впливає на людей. Його не витримують метал, цегла, камінь. Збитки щорічно від пошкодження металевих і цегляних споруд складають 11 млрд. доларів.

Щорічно у світі кількість автомобілів збільшується на 36. млн. і складає сьогодні понад 500 млн. Вони витрачають до 500 млн. т палива щорічно, викидаючи при цьому близько 200 млн. т. шкідливих речовин. Питома вага токсичних речовин у загальному об'ємі забруднювачів від автотранспорту складає 50-80%. Вихлопні гази містять близько 200 шкідливих компонентів. Найбільш небезпечним є забруднення оточуючого середовища свинцем. Сьогодні у бензин як антидетонатор додають щорічно до 300 тис. т тетраетилового свинцю, що складає 10% його світового добування. Тому у повітрі деяких міст його міститься до 1 мкг/м³. У сільській місцевості Фінляндії концентрація свинцю у повітрі становить 0,025 мкг/м³, а у центрі Хельсінкі - 1,3; у промисловому районі Тиккуріха - 2,1 мкг/м³. Свинець із повітря надходить в ґрунт, в ґрунтові води і його поглинають рослини. При середній концентрації свинцю у повітрі 2,1 мкг/м³ у рослинах його приблизно в 100 разів більше, ніж в тих же рослинах в незабруднених умовах.

Одним із головних забруднювачів повітря міст є сполуки сірки. Сірчаний газ надходить в атмосферу з топок, де спалюють вугілля і нафту, із заводів по виробництву сірчаної кислоти, лаків, фарб. Викиди діоксиду сірки у Німеччині, наприклад, збільшувалися з 3,5 млн. т в 1969 р. до 4,2 млн. т у 1973 р. і до 4,6 млн. т у 1980 р. В США з 1960 по 1980 рр. кількість діоксиду сірки у повітрі збільшилася вдвічі. Сірчаний газ у кількості 0,5 мг/м³ викликає серйозні захворювання людини - звуження дихальних шляхів, кашель, задишку, а згідно з даними останніх досліджень сірчаний газ та його похідні, що утворюються у крові, можуть бути причиною генетичних змін.

Зараз встановлена пряма кореляція між підвищеною смертністю від бронхітів і концентрацією диму та сірчаного газу. Підвищена смертність реєструвалася у місцях з концентрацією сірчаного газу понад 0,2 мг/м³. У Генуї виявлено, що коефіцієнт кореляції між частотою бронхітів і концентрацією сірчаного газу у повітрі становить 0,98 мг/м³!

У місцях скопичення транспорту висока концентрація оксиду вуглецю - 5-10 мг/м³ (чадний газ). Концентрація у 20 мг/м³ вже небезпечна для життя

людини. У вихлопних газах автомашин і тракторів окису вуглецю міститься до 2-10 %, у димових газах - 1-4, у тютюновому диму - 0,5-1, в атмосфері населених пунктів - 0,0005 %. В 1970 р. загальна кількість чадного газу, що поступила в атмосферу Японії, досягала 1014,4 т. З цієї кількості на частку автомашин приходилося 93 %, на спалювання відходів - 6,3, на інші джерела - 0,7 %.

Щорічно у повітря Парижу викидається до 1500 т оксиду вуглецю. В численних випадках вміст чадного газу був достатньо серйозним - понад 30 см³ в 1 м³. В тунелі під Західною автомагістраллю забруднення повітря чадним газом буває настільки великим - 150 см³/м³ і навіть до 250 см³ у дні особливого автотранспорту - що іноді тут забороняється рух.

В міському повітрі міститься також велика кількість оксидів азоту. Його основними джерелами є топки, двигуни, заводи по виробництву азотної кислоти. Досить незначна кількість окису азоту - 0,1 мг/м³ - вже небезпечна для здоров'я людини, зокрема він викликає захворювання серця.

Важливими забруднювачами повітря є також оксиданти, які обумовлюють виникнення смогу. Виникнення фотохімічного смогу у містах обумовлюється реакцією між оксидами азоту і вуглеводнями, які надходять в атмосферу з відпрацьованими газами автомобільних двигунів. Ця реакція особливо інтенсивна при яскравому сонячному світлі.

Вуглеводні та окис вуглецю - продукти неповного згорання бензину у циліндрах двигунів. При роботі бензинових двигунів в їх відпрацьованих газах містяться канцерогенні сполуки типу бензапірену. В табл. 11 наводиться груповий склад вуглеводнів товарних бензинів та питома кількість в них бензапірену.

Таблиця 11

Груповий склад вуглеводнів товарних бензинів та питома кількість в них бензапірену

Бензин	Вуглеводні				Питома кількість бензапірену, мкг/л
	ненасичені	парафіни	нафтени	ароматичні	
Б-70	0,7	10,1	47,9	11,3	1
А-73	1,8	40,3	36,7	21,2	5,6
А-76	2,7	38,8	32,8	25,7	10,12
А-93	3,8	41,3	17,2	37,7	47,53

Окрім відпрацьованих газів, джерелом забруднення оточуючого середовища є так звані картерні гази та випарування палива, хоча їх частка відносно невелика, за виключенням вуглеводнів. По окису вуглецю викиди із картерними газами складають 2-8 %, по оксиду азоту - до 2 % по відношенню до відпрацьованих газів. Вуглеводні, які викидаються в оточуюче середовище з відпрацьованими газами двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), мають сильні отруйні властивості, які діють на центральну нервову та м'язову системи людини.

Дуже небезпечні олефінові (ненасичені) вуглеводні. Так, етилен негативно впливає на рослини, викликаючи симптоми їх раннього старіння, пригнічення росту, втрату квітів та плодів. Саме наявність олефінових вуглеводнів у повітрі (а вони складають понад 35% викидних вуглеводнів) є однією із причин утворення смогу.

Гранично допустима концентрація шкідливих речовин залежить від часу впливу забруднювача на середовище і людину. Ось чому встановлені максимально разова та добова ГДК. Максимально разова ГДК є основною характеристикою небезпечності шкідливої речовини і встановлює її граничну концентрацію, яка при короткочасному впливові (20-30 хвилин) не викликає у людини негативних реакцій. Середньодобова ГДК визначає допустимий ступінь забруднення протягом тривалого періоду часу. Найбільша концентрація окремої шкідливої речовини не повинна перевищувати максимально разової ГДК.

Допустимий вміст основних шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів визначається законодавчими актами. В СРСР з 1.01.88 введений у дію ДержСТ 17.2.2.03-87 «Охорона природи. Атмосфера. Норми та методи вимірювання вмісту окису вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з бензиновими двигунами».

Досить шкідливим забруднювачем повітря є і промисловий пил. Найбільш шкідливими є частки розміром від кількох мілімікрон до кількох мікрон. Спеціальні спостереження, проведені в Нью-Йорку, показали, що за рік у місті осідає понад 600 тис. т пилу; в найбільш забруднених частинах міста випадає понад 5 тис. т пилу за рік на 1 км². Пил також проникає у легені і викликає різні захворювання людей. Дуже токсичним є пил сполук свинцю, цинку, міді, кадмію, пестицидів.

Не тільки забрудненням токсичними сполуками характерне повітряне середовище міст. У містах спостерігається перевитрата кисню. При

спалюванні викопного палива щорічно витрачається 6 млрд. т кисню. Реактивний літак «Боїнг» за один рейс від Парижу до Нью-Йорку споживає кисню 36 т; понадзвуковий «Конкорд» споживає під час зльоту 750 кг повітря за секунду. Світова комерційна авіація спалює щорічно стільки ж кисню, скільки його споживають 2 млрд. чоловік. Для 250 млн. автомобілів світу необхідно стільки ж кисню, скільки його необхідно всьому населенню землі.

З метою зменшення забруднення повітря біля джерела використовують високі димарі (понад 300 м висотою). Димові труби висотою в 100 м розсіюють речовини у радіусі 20 км до концентрації, нешкідливої для організму. Труби висотою до 250 м розсіюють шкідливі домішки у радіусі до 75 км. Димові факели залежать від метеорологічних умов і їх форма буває різноманітною, що впливає на ступінь забруднення навколишньої території. Для виведення шкідливих речовин на значні висоти використовують і так звані факельні викиди. За допомогою вентилятора з великою швидкістю (20-30 м/с) через конічні насадки викидають у повітря шкідливі гази. Зрозуміло, що зазначені методи не позбавляють атмосферу від забруднення в цілому.

Автомобільний транспорт є домінуючим джерелом щодо забруднення атмосфери токсичними речовинами. Тому він і вимагає першочергової уваги. Повсюдно йдуть пошуки підвищення якості двигунів, систем нейтралізації відпрацьованих газів, покращення якості пального, і в першу чергу - за рахунок зменшення у ньому сполук свинцю і сірки. Вже є ефективні аналітичні установки та прилади для автомобільних заводів і дорожньої контрольної служби. Розгорнуті роботи по вдосконаленню якості доріг.

Суттєвим внеском у зменшення забрудненості повітря автотранспортом є орієнтація випуску автомобілів на зменшення використання пального: найбільш економічні автомобілі витрачають 3,5-5 л пального на 100 км, розробляються моделі з витратою пального не більше 2,5 л на 100 км.

Останнім часом в Японії, США, Нідерландах, Канаді і в Україні, а особливо у Новій Зеландії широко використовують автомобілі на зрідженому газі. В Україні вже в 1991 році експлуатувалося 24 тис. газобалонних двигунів. Це дозволило зменшити викид шкідливих речовин майже на 130 тис. т (23 % загальної кількості викидів у повітря). Використання

газу як двигунового палива дозволяє суттєво знизити токсичність відпрацьованого газу - оксиду вуглецю у 2-9-разів, оксидів азоту – в 1,2-3,5 рази, вуглеводнів - у 1,5-5,5 разів. Це відповідає вимогам більшості національних стандартів.

Сьогодні у практиці використовуються вже альтернативні двигуни. Так, електромобілі з пробігом від зарядки акумулятора на відстань до 12 км розвивають швидкість до 70 км/год. Перспективним є використання сонячної енергії для автомобілів – сонцемобілі. Наприклад, в автоталі по Австралії у 1987 р. перемогу отримав сонцемобіль однієї з фірм Швейцарії; джерелом енергії для нього була сонячна батарея з кремнієвими елементами.

Фахівці вважають, що особливо перспективними є автомобільні двигуни на етанолі (етилловий спирт). Це пальне має неабиякі переваги над іншими завдяки легкості переобладнання двигуна на нього. У деяких країнах зараз ведуться експлуатаційні випробування автомобілів, які працюють на бензометанольній суміші і на чистому метанолі (метилловий спирт). Це дозволяє зменшити кількість шкідливих речовин на 20-40 %. Стримуючими факторами використання метанолу є недостатня його кількість, корозійні властивості та отруйність.

Проводяться дослідження по створенню водневого двигуна. Встановлення реактора по одерженню водню з вуглеводів прямо на автомобілі набагато вигідніше, ніж постачати це пальне у спеціальних балонах. Вирішуються проблеми безпечності таких автомобілів.

Південно-Африканська республіка наполовину задовольнила свої потреби в автомобільному паливі за рахунок використання вугілля. З тарових пісків (гудронні піски), запаси яких у світі дуже великі, у Канаді отримують 50 тис. барелей нафти за день. Розробками синтетичного палива на біологічній основі, спиртового палива з цукристої тростини успішно займаються у Бразилії. 25 % потреб автомобільного палива Бразилія задовольняє за рахунок спирту. У 1983 р. у США було вироблено 375 млн. галонів спирту, що забезпечило 0,5 % потреби в автомобільному паливі. У Сполучених Штатах спирт отримують головним чином з кукурудзи. Спирт використовують і для підвищення октанового числа звичайного бензину.

В СРСР ще в 1963 р. вперше у світі були розроблені національні стандарти якості повітря, а раніше - у 1949 р. наші гігієністи розробили і сфор-

мулювали критерії шкідливості, що відіграло важливу роль у розробці гранично допустимих концентрацій атмосферних забруднень. Професор В.А.Рязанов тоді в журналі «Гигиена и санитария» навів критерії оцінки дії малих концентрацій атмосферних забруднень на організм:

1. Допустимою може бути визнана лише така концентрація тієї чи іншої речовини в атмосферному повітрі, яка прямо чи опосередковано шкідливо не впливає на людину, не знижує її працездатності, не впливає на її самопочуття або настрої.

2. Привикання до шкідливих речовин повинно розглядатися як несприятливий фактор.

3. Недопустимі також такі концентрації шкідливих речовин, які несприятливо впливають на рослинність, клімат місцевості, прозорість атмосфери і побутові умови життя населення.

У наш час у більшості розвинених країн уже прийняті стандарти якості атмосферного повітря. Важливу роль у цій роботі відіграє Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ), яка регулярно публікує огляди по різних проблемах охорони здоров'я, зокрема, по охороні атмосферного повітря.

В різних країнах світу прийняті закони і інструкції по охороні повітря атмосфери, які заслуговують ретельного вивчення. Наприклад, створення у великих містах Англії «бездимних зон», державний контроль за викидами автотранспортом в Австралії, Франції, Швеції. Особливо наочний приклад Японії, де в період бурхливого розвитку промисловості заходи по охороні атмосферного повітря просто ігнорувалися. Але це забруднення стало настільки серйозним, що уряд вимушений був прийняти Закон про чисте повітря. З 1970 р. заходи по боротьбі із забрудненням і контролю стали дуже суворими. Промислові підприємства вимушені зараз замість вугілля використовувати рідке паливо, а потім нафту з низьким вмістом сірки. Заводам прийшлося встановити пиловловлююче устаткування і установки для десульфатизації. Приймаються заходи для зменшення інтенсивності вуличного руху автомобілів, яких зараз в Японії у 10 разів більше, ніж у США, і у 2 рази більше, ніж у Німеччині. Цей захід у Токіо, де 2-річна програма передбачала зменшення інтенсивності руху на 13 %, зменшив надходження в атмосферу окислів азоту на 13 т на день. Втричі збільшилася у місті кількість «зон життя», де заборонений автомобільний рух. Введений також суворий контроль над складом відпрацьованих газів.

Місто і ґрунтовий покрив

Кожні 5 років площа земель, які відводяться під міську забудову, збільшується у середньому на 20%. З 1966 по 1978 рр. в Україні площа сільськогосподарських угідь зменшилася на 480 тис. га. Щорічно під забудову відводиться 35-40 тис. га земель, з яких половина орних.

Раціональний процес урбанізації передбачає додержання принципів раціонального користування міськими землями, обмеження надмірного розширення території міст за рахунок вилучення під забудову приміських земель сільськогосподарського призначення. Мова йде про раціональне співвідношення природної та штучної підстилаючої поверхні, тобто про екологічну рівновагу. Чим більше у місті земель із зеленим покривом, тим здоровіше оточуюче середовище. Земля міст не повинна втрачати родючість, бо це необхідно не тільки для одержання сільськогосподарської продукції, але й для ведення зеленого будівництва, для природного оздоровчого лісового господарства.

На жаль, якість міських земель, включаючи і приміську зелену зону, постійно погіршується. Ґрунт урбанізованих територій підлягає тим же негативними впливам, що і повітря і гідросфера. Хоч ґрунт і має деякі здатності до біологічного самоочищення, порушення цього механізму самоочищення у результаті її перевантаження веде до деградації.

Перша значна зміна властивостей міських ґрунтів відбулася у результаті використання їх у процесі забудови. Захороненні ґрунти змінюють свій хімічний склад, оскільки зменшується доступ кисню, вологи і тепла, послаблюється життєдіяльність мікроорганізмів, припиняється ґрунтоутворювальний процес. У місцях старої забудови древніх міст антропогенні наноси значної потужності лежать суцільним шаром - у Парижі на глибині 20 м, у Лондоні - 25 м, в Москві - на глибині 22 м. Найбільш потужний культурний шар виявлений у Києві (36 м), якому вже понад 1500 років. Стратиграфія Подолу дозволила встановити чергування темних (культурних) і світлих (піскових) шарів, що свідчить не тільки про періодичність наступу Дніпра на Подол, але й про потужні виноси з Київських гір. Культурних шарів нараховується тринадцять, вісім нижніх відносяться до періоду Київської Русі.

Освоєння ґрунтів під зелені насадження - це одна з головних проблем містобудування. Зелені насадження - це легені міста. Вивчення ґрунтів парків, скверів, бульварів старовинного Львова, наприклад, показало, що вони поділяються на дві головні категорії - природні (Стрийський, Личаківський, За-

лізно-Водський парки) і насипні (парки ім. Івана Франка, Високий замок, вуличні насадження, сквери).

Природні ґрунти в насадженнях Львова мають підвищену кислотність і недостатню кількість поживних речовин: на 100 г ґрунту у них 0,2-11,6 мг фосфору, 9,5-40 мг калію, 0,03-0,19 мг азоту.

Насипні ґрунти Львова мають нейтральну або лужну реакцію (рН 7,1-7,9) і достатню кількість поживних речовин. Вони часто містять більше гумусу, ніж природні. Наприклад, у ґрунтах Стрийського парку гумус складає 1,1-1,9%, у той час, як у парку Високий замок, де ґрунти насипні, - 3,15%. Але високий вміст гумусу в насипних ґрунтах не завжди відбиває умови ґрунтового живлення. При ущільненні і погіршенні аерації у них погіршуються умови життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, що приводить до голодування, особливо азотного.

Насипні ґрунти мають ще одну негативну властивість - вони містять значну кількість будівельного сміття. Особливо це стосується парків, скверів та бульварів, створених на місці середньовічних оборонних стін, а також у зруйнованих війною кварталах. Деколи будівельники заривають будівельні залишки під час планування та благоустрою території: ґрунти, змішані з будівельним сміттям, як правило, відзначаються високою дренажністю, що приводить до порушення гідрологічного режиму і погіршення живлення рослин.

До погіршення механічного складу і властивостей ґрунтів приводить забруднення побутовим сміттям, промисловими відходами, сухим мулом. Наприклад, у США склад відходів такий: папір - 31,3%, скло - 9,7, пластмаса - 3,4, шкіра - 2,6, деревина - 3,7, харчові відходи - 17,6, металеві відходи - 9,9, текстильні відходи - 1,4, інші відходи - 20,4%. З вироблених у США 54,3 млн. т паперу 49,1 млн. т попадає у відходи. Щорічно у відходи в цій країні попадає 48 млрд. шт. металевих пляшкових кришок і 6 млн. відпрацьованих автомобілів.

«Якщо ми не хочемо, щоб зростаючий потік відходів поглинув суспільство, як один за одним були поховані під залишками семи шарів «цивілізації» сім міст древніх халдеїв, - з тривогою попереджає Б.Уорд і Р.Дюбо у книзі «Земля тільки одна», - необхідно вирішити дві проблеми. Перша із них і найважча полягає у збиранні сміття... Спалювання є другим найбільш розповсюдженим способом видалення сміття і відходів». Автори розповідають, що побудована в Дюссельдорфі установка для спалювання сміття за-

безпечує 700-тисячне місто і приносить прибуток у розмірі 3,4 долари за кожен тону перероблених відходів. Теплова енергія використовується для опалювання; металевий брухт, який вилучають з установок для спалювання, реалізується за комерційними цінами, попіл купують для добрива, або для виготовлення шлакоблоків.

У Нідерландах багато років у ґрунти вносять як мінеральне добриво 30% загальної кількості комунальних відходів. У США за допомогою гідролізу одержують синтетичні гази, рідке паливо, первинну сировину для виробництва гуми і пластмаси. Такі установки споруджені у Балтиморі і Сан-Дієго (штат Каліфорнія).

У Ленінграді був побудований перший в СРСР завод з переробки сміття, потужність його 400 тис. м³ твердих відходів за рік. У Москві такий завод переробляє 35,0 тис. м³ сміття за рік, у Владивостоці - 400 тис. м³ побутових відходів, теплову енергію яких використовують для опалення житла.

Процес гуміфікації відходів на місцях звалищ закінчується через 30-50 років. У Будапешті, наприклад, із звалищ щорічно вивозять 40-50 тис. т цінного добрива. Але у перспективі в результаті скорочення кількості придатних для компостування органічних відходів таке використання відходів малоімовірне.

Відомо, що ґрунт має буферні властивості і може нейтралізувати шкідливу дію деяких агентів. Але міські ґрунти в результаті багатоговікової діяльності людини давно втратили цю здатність. При цьому об'єми комунальних відходів такі, що без спеціальних інженерних споруд не обійтися. Сьогодні у сміття потрапляють вироби з поліетилену, пляшки з-під миючих засобів, пакувальні пакети із синтетичних матеріалів, обривки покривної плівки, які не горять і не розкладаються мікроорганізмами.

Але об'єми побутових відходів, які різними шляхами вибирають з міських територій, набагато менші, ніж колосальні об'єми відходів теплових електростанцій і металооброблювальних заводів, відвалів порожніх порід і рудників. Підраховано, що одного лише вугільного шлаку було викинуто на поверхню землі близько 18 млрд. т. Димучі терикони не тільки нагадують місяцевий ландшафт, але й отруюють повітря.

Ще одна суттєва проблема: місто поглинає колосальну кількість органічної маси, знятої з ґрунту, яка не повертається в нього у вигляді екскрементів, а спалюється на звалищах, нагромаджується у вигляді смітників гір, змивається каналізаційними водами, чи піднімається в атмосферу. Багато шко-

ди наносить парковим біоценозам спалювання листя, бо порушується основний геохімічний цикл - повернення поживних елементів у ґрунт, звідки вони поглинаються рослинами. У результаті порушується структура ґрунтового покриву.

Важче всього ґрунт справляється з рідинними і твердими токсичними відходами. Внаслідок промислових викидів у ґрунті накопичується надлишкова кількість хімічних сполук, які згубно діють на організми людини і тварин. Це сполуки ртуті, миш'яку, міді, свинцю, фтору, марганцю тощо. Навколо промислових підприємств створюються зони, ґрунт яких дуже забруднений подібними елементами. Наприклад, у районі суперфосфатного і ртутного комбінатів 1 кг ґрунту може містити 1,3-4,63 мг ртуті. В ґрунт попадають і так звані канцерогенні речовини, які викликають злоякісні утворення: сажа, продукти осмолення, нафтопродукти і т.п. Зараз можна з упевненістю говорити про те, що сірка і її сполуки, хлористий водень викликають підкислення ґрунтів, а аміак, сода та сполуки магнію - залуження. Надлишкове накопичення у ґрунті токсичних елементів безпосередньо та опосередковано впливає на рослини, знижуючи їх працездатність.

Корисна дія мікробіологічних процесів у ґрунті понижується пестицидами і особливо хлорорганічними сполуками. Попавши в ґрунт, вони тривалий час не піддаються розкладанню.

Серед агротехнічних заходів найбільший вплив на загальноєкологічну ситуацію має меліорація. Раніше меліорація була пов'язана з необхідністю осушення заболочених земель. З одного боку, осушення покращувало продуктивність сільськогосподарських угідь і сприяло розширенню місць рекреації, а з другого - негативно вплинуло на водний баланс, привело до збідніння флори і фауни.

Суттєвим джерелом забруднення ґрунту є побутові та промислові стічні води. Найбільш доцільним методом знешкодження стічних вод є ґрунтовий метод. Застосовують два ступені очистки стічних вод - обезфенолювання мікробним методом (1 ступінь) і очистка роданруйнуючими мікроорганізмами (2 ступінь).

У спеціальних дослідах встановлено, що вода після першого ступеня очистки пригнічує ріст капусти та інших дослідних рослин, у десятки і сотні разів зменшує кількість бактерій-нітріфікаторів. Ці негативні явища не виявлялися після другого ступеня очистки. В табл. 12 наведені дані по хімічному складу води в залежності від ступеню очистки.

Склад стічних вод коксохімічного заводу (за М. Г. Шандала та ін.)

Інгредієнт	Вода після першого ступеня очистки, мг/л	Вода після другого ступеня очистки, мг/л
Феноли	2,14	3,07
Роданіди	247,8	20,9
Ціаніди	2,85	1,85
Піридин	220,5	166,0
Аміак загальн.	549,0	404,0
Аміак леткий	200,0	136,0

Отже, доцільно економічно і з гігієнічної точки зору використовувати стічні промислові води для зрошування. Але при цьому необхідною умовою є визначення вмісту у стічних водах токсичних сполук, ступеня накопичення та міграції їх у ґрунті і транслокації з ґрунту у рослини. Ця ж вимога відноситься і до осаду стічних вод. Адже при повній очистці 200 млн. м³ стічних вод виходить 1 млн. м³ осаду. Цей осад також широко застосовують як добриво у сільському господарстві. При змішаному характері стічних вод сучасних міст осад доповнюється різними хімічними інгредієнтами, такими як барій, кальцій, магній, залізо, алюміній, нікель, хром, свинець, ПАР, сполуки міді, цинку, ціаніди, феноли, роданіди тощо. Тому при використанні осаду для удобрення полів необхідно враховувати санітарну безпеку його і притримуватися певної величини навантаження на поля, виходячи із встановлених нормативів.

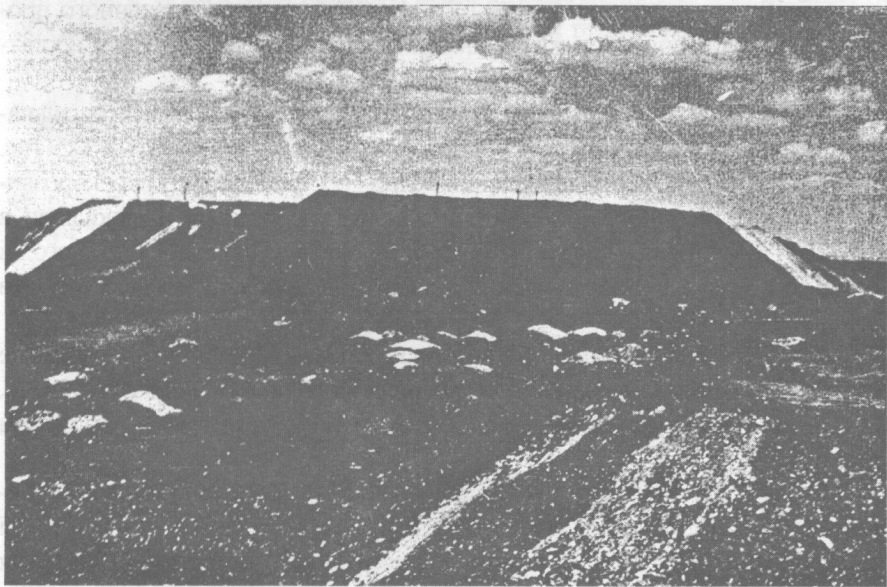
Ґрунт може стати джерелом вторинного забруднення зовнішнього середовища. Хімічні забруднювачі можуть змиватися з ґрунту у поверхневі водні джерела і приводити до забруднення ґрунтових вод. Можливе забруднення повітря ртуттю, яка надходить з ґрунту у районі ртутних підприємств, можлива десорбція з ґрунту у повітря деяких отрутохімікатів.

У нашій країні накопичений великий досвід відновлення, рекультивациі порушених земель і їх подальшого використання у лісовому і сільському господарствах, а також використання їх для рекреаційних потреб. Наприклад, в Орджонікідзенському гірничозбагачувальному комбінаті, що у Дніпропетровській області, на рекультивованих землях створена єдина у цьому місті зона відпочинку. На терасованих схилах кар'єру створено заповідник з рідкими тваринами (лами, страуси, павичі та ін.).

За останні роки в усьому світі значно зросли рекреаційні навантаження на ґрунти скверів, парків, лісопарків, приміських лісів, луків. Головна причина деградації біогеоценозів - зміна під впливом витоптування воднофізичних властивостей ґрунтів, руйнування структури ґрунту і його ущільнення. Наприклад, у буковому лісі в околицях Львова, який рідко відвідується відпочиваючими, щільність ґрунту становить 10 кг/м^2 , а у зонах відпочинку - $30\text{--}40 \text{ кг/м}^2$. Це зменшує порізність ґрунту, знижує капілярну вологоємність, погіршує аерацію. Спостерігається зменшення гумусу, змінюється його склад, порушується життєдіяльність мікроорганізмів; зменшуються запаси підстилки, послаблюються її захисні властивості.

Особливо багато шкоди приносить витоптування на схилах, що приводить до ерозії.

Сьогодні і в нас, і за кордоном ведуться інтенсивні дослідження впливу антропогенних навантажень на природні та штучні екосистеми, що дозволить виробити раціональні шляхи рекреаційного природокористування.



Мал. 49. Горнорудні розробки на місці родючих чорноземів

Таким чином, ґрунт серед інших об'єктів оточуючого середовища у більшій мірі підлягає впливу різноманітних антропогенних факторів, стає

об'єктом більш інтенсивного і надзвичайно різноманітного забруднення (мад.49-50).

У березні 1992 року Верховна Рада України затвердила Земельний кодекс. Цей законодавчий акт відкрив нові можливості користування землею в Україні при різних формах господарювання і посилює відповідальність до її раціонального використання і охорони. Зокрема, він забороняє вилучення для несільськогосподарських потреб цінних продуктивних земель та земель, зайнятих природними та історико-культурними об'єктами.

Місто і вода

В умовах урбанізації постійно збільшується потреба у воді і постійно збільшуються викиди відпрацьованої води. Цей процес супроводжується постійним погіршенням якості води, якості водних джерел та зменшенням можливостей використання їх для пиття, культурно-побутових та рекреаційних потреб, для риборозведення, зрошування і навіть для промислових потреб. Тому можливості подальшого розвитку науково-технічного прогресу і покращення умов життя людей залежить від забезпечення достатньою кількістю прісної води.

Проблема загострюється тим, що основні зони споживання води не співпадають із зонами її наявності. На одного жителя Землі приходить 12,9 тис. м³ води на рік. Але розподіл наявних водних ресурсів такий: у високорозвиненій Європі на одного чоловіка припадає 4,9 тис. м³ на рік наявної води, в Азії - 6,7, в Австралії - 27,4 тис. м³ в рік. У цілому ж за даними ООН сьогодні близько 1,3 млрд. чоловік не забезпечені питною водою ні в кількісному, ні в якісному відношенні.

Маловірогідно, що людство в реально близькому майбутньому зможе реалізувати проекти використання льодовикового та морського запасів води. Для опріснення морської води знадобилося б 2 кВ енергії на кожного жителя планети.

Прісну воду, необхідну для життєдіяльності людини, випиває його творіння - сучасна індустріалізація. Наприклад, для виготовлення 1 т текстильної тканини необхідно 270 тис. л води, для одержання 1 кг паперу - 100 кг, для отримання 1 т капрону - 10 т, 1 кг цементу - 5 л; на бойнях потрібно 500 л чистої води з розрахунку на 1 голову худоби.

В цілому на земній кулі сумарний водозбір на промислові потреби становить, за даними ЮНЕСКО, близько 500 км³ за рік. На частку сільського

господарства приходиться 80% всієї витрати, на побутові потреби - 120 км³ на рік. В промислово розвинених країнах на одну людину витрачається 1,2-1,5 тис. м³ води на рік.

Щоб забезпечити питною водою місто з мільйонним населенням і розвинутою промисловістю при кількості річних опадів не менше 1000 мм за рахунок підземних вод, необхідна площа в 750 км². Запаси підземних вод в містах катастрофічно вичерпуються, а водоводи гонять воду в міста за багато сотень кілометрів.

У минулому столітті один житель міста витрачав 30-40 л за добу води, житель сучасного міста витрачає на свої потреби 300 л води на добу. У Києві на одного жителя приходиться близько 300 л води; те ж саме стосується Дніпропетровська. У Москві на одного жителя є в наявності 400 л, у Лондоні - 170, у Парижі - 160, у Брюсселі - 85 літрів чистої води на добу.

Для задоволення своїх фізіологічних потреб мешканець міста використовує лише 5 % загальної кількості води, яку він споживає: для купання не обхідно 37 %, для змиву унітазу - 41%, для приготування їжі - 6, для підтримання чистоти в квартирі - 3, для прання білизни - 4, для зрошення - 3 і для миття автомашини - 1 %. Решта 5 % використовується для пиття.

Витрати води на побутові потреби з кожним роком збільшуються. У 2000 році вони виростуть до 130 млн. м³. Річний «раціон» промисловості зараз становить 440 млн. м³, на початок ХХІ століття він збільшується до 600 млн. м³.

У США, найбільш індустріальній країні світу, загальна кількість води, що споживається, у 1950 р. становила 275 млрд. м³ (при кількості населення 200 млн. чоловік), зараз становить приблизно 850 млрд. м³, а в 2000 р. збільшилась до 3 тис. л на рік на одну людину. Запасів води, за підрахунками американських вчених, вистачить до 2050 р. Потім будуть вичерпані підземні води і наступить «водний голод». У країнах Європи споживання води йде такими ж темпами, як і у США, але запаси води тут менші, тому виснаження водних запасів тут очікується раніше. Споживання води промисловістю і населенням, наприклад Будапешту, за останні 25 років зросло у 25 разів. Приблизно 45 % води споживається населенням, 34 % - промисловістю. Передбачають, що до 2000 р. загальна потужність водозбірних споруд центральних міст досягне 475 млн. м³.

Забруднення поверхневих вод і все більш загрозливе забруднення підземних стало проблемою усіх густонаселених країн світу.

Вже у ХІХ столітті для збереження запасів питної води паралельно з во-

доповідною системою споруджувалися водогони для підприємств. У наш час широко використовується метод рециркуляції води, суть якого полягає в очищенні і повторному використанні стічних вод. Потребують подальшого удосконалення технологічні процеси, які зменшують витрати води до мінімуму. Екологічна ситуація вимагає більш революційного підходу до безвідходних технологій. Недавно у США, Англії, Франції і Японії почали застосовувати сухе формування паперу, при якому потреба у воді при виробництві паперу взагалі відпадає.

Зараз людство використовує всього лише понад 13 % річкового стоку. Але при цьому у водоймища скидається близько 600 млрд. м³ промислових, комунальних та сільськогосподарських вод, нейтралізація яких потребує 5-12-кратного розбавлення природно-чистою водою. У Нью-Йоркську бухту щорічно скидається 7,3 млн. м³ стічних вод, половина яких неочищена. Більше 100 млн. жителів США споживають воду, яка уже один раз пройшла через колекторну мережу. Справа у тому, що довжина забруднених річок у США перевищує 2 тис. км.

Інтенсивно забруднені річки Англії. Жителі Лондону споживають воду, яка 5-6 разів проходить очисні споруди в містах, які лежать вгору по течії річки Темзи.

Водні екосистеми - сусіди міських агломерацій, з давніх часів використовувалися для викидів побутових відходів. Біологічні можливості водних екосистем настільки великі, що до певної межі використовуючи кисень, розчинений у воді, самоочищаються від побутового сміття.

Перехід людства від примітивного землеробства до індустріалізації проявився у зміні кількісних і якісних характеристик міських відходів, які різко погіршили біологічну цінність водних ресурсів. Технічний прогрес у промисловості трансформував їх структуру, властивості. Збільшується питома вага хімічної промисловості, яка споживає величезну кількість води. Відпрацьовані води, збагачені відходами чорної і кольорової металургії, хімічної та інших видів промисловості, знову надходять в акваторії. Промислові процеси у значній мірі збільшують вміст домішок, які не піддаються мікробіологічному розкладанню. Окрім того, солі міді, цинку, ванадію, свинцю, нікелю, кобальту, марганцю, ціаніди, фтористі сполуки і т.п. діють як справжні отрути на біопродукцію річок. Ці сполуки, їх активні іони можуть спричиняти серйозну шкоду здоров'ю людей, які п'ють цю воду.

Першою мертвою річкою Європи став Рейн, який перетворився у стічну

канаву промислових відходів. Річка щорічно несе у своїх водах 40 тис. т повареної солі, 16,15 тис. т сульфату, 22,6 т нітратів, 104 т фосфату, 554 т аміаку, 295 т заліза, 2640 кг органічних продуктів. Очисні споруди, які роблять воду придатною до пиття, потребують величезних затрат. А воду з Рейну п'ють 20 млн. людей. Раніше Рейн славився своїми рибними запасами, а тепер випадково спійману у річці рибу, згідно з інструкцією, необхідно перед споживанням декілька тижнів потримати у чистій воді.

Тільки один Париж скидає щоденно в р. Сену 1 200 000 м³ стічних вод без попередньої очистки (Париж очищає лише 1/3 своїх стічних вод). З червня по листопад у Сені тече більше стічних, ніж річкових вод. Маса речовин, які скидаються у річку у завислому стані, досягає 250000 т за рік. Вище Парижу Сена має своєму складі 15 хвороботворних бактерій в 1 см³ води, нижче - 1500000. У Парижі і його околицях Сена - це небезпечна смердюча канава. Подібна доля спіткала і інші європейські річки - Дунай, Віслу та ін.

У стічну канаву перетворена одна із найкращих річок Північної Америки - Потомак, на берегах якої стоїть Вашингтон. Отруйними стали річки, які протікають через японські міста Токіо, Нагоя, Осака.

В останній час помітне розповсюдження одержало ртутне забруднення водних екосистем. В кінці 50-х років у пресі з'явилося тривожне повідомлення про хворобу під назвою Мінамата, яка викликала ранню смертність і слабкий фізичний розвиток японців, що мешкали в селищах навколо затоки Мінамата та річки Агано. Причиною цього захворювання виявився скид промислових стічних вод у затоку Мінамата. Відходи метилової ртуті попадали в організм риби та інших морських організмів, а потім при вживанні - в організм людини. Виявилось, що метилова ртуть, яка утворюється як побічний продукт при виробництві ацетальдегіду та оцтової кислоти, скидалася зі стічними водами заводів місцевої корпорації багато років в затоку. До цього часу, незважаючи на те, що корпорація припинила використання ртуті з виробничою метою, виявляються окремі хворі з ознаками цієї хвороби. Токсичні властивості ртуті відомі давно, але накопичення їх у водних екосистемах виявлені зовсім недавно. До недавнього часу сільське господарство використовувало до 10 тис. т ртуті. У Швеції вперше було доказано, що у птахів, які скльовували оброблене алкілом ртуті насіння, у дзьобах і пір'ї міститься значна концентрація цієї отрути. Виявлений алкіл ртуті і у хижаків, які харчувалися цими птахами. Тобто, було виявлено зараження не окремих біологічних видів, а цілої екосистеми.

Концентрація ртуті у деяких риб в Балтійському морі зроста настільки, що уряди Швеції, Данії, Фінляндії заборонили виловлювання риби поблизу берегів, біля яких розташовані промислові підприємства.

Перше масове отруєння кадмієм було зареєстровано в Японії серед жителів, які мешкали вздовж берегів річки Йінгсу: захворіло 200 чоловік, половина з яких померла. Численні мешканці м. Тояма скаржилися на болі в попереку. Болі були неможливі, хвороба одержала назву «тай-ітай» («ой-ой»). Причиною отруєння виявилися стічні води копалень важких металів, у тому числі і кадмію. Ці стічні води використовували для зрошення рисових полів. Споживання в їжу отруєного таким чином рису і привело до масових захворювань.

Все більше фактів забруднення води свинцем. Наприклад, у водах північного узбережжя Середземного моря викиди свинцю підприємствами настільки великі, що у результаті кумулятивної дії в організмі риб його концентрація перевищує ГДК в 20 разів.

Забруднюють водні екосистеми і миючі матеріали, які мало затримуються очисними спорудами. Пухнаста піна та поверхнева плівка перешкоджають надходженню кисню і самоочищенню води.

Аналогічна по дії і поверхнева плівка, яку утворюють відходи нафтоперобки. Часто вода забруднюється і безпосередньо самою нафтою, що відбувається при аваріях нафтопроводів і при транспортуванні нафти. Причому, 1 л нафти робить непридатними до пиття 1 млн. л води. В 1969 р. на одному з підприємств штату Массачусетс (США) відбулася катастрофа, в результаті якої у прибережні води потрапило 160 тис т. нафти, що обумовило загибель 95% рибних запасів.

Великою бідою водних екосистем стала їх евтрофікація, тобто надмірне збагачення їх поживними речовинами. Є природна та культурна евтрофікація. Перша - це процес природного старіння водоймищ у результаті намівання мулу та поживних речовин. У першу чергу природній евтрофікації підлягають застійні водоймища та річки з малою течією. Закінчується цей процес утворенням високопродуктивних боліт, а потім - утворенням наземних рослинних угруповань.

Другий тип евтрофікації відбувається у результаті попадання у водоймища великої кількості антропогенних відходів: не перероблених побутових та промислових відходів, стоків, дренажних вод із сільськогосподарських полів.

Яскравим прикладом трагічної долі водних екосистем в умовах урбані-

зації є доля озера Ері у США. Уже в 1974 р. воно почало вироджуватися: на поверхні води плавала величезна маса загиблої риби та різних нечистот; нафта, яку скидає в одну з приток озера нафтоперероблюючий комбінат, часом загорається, що порушує біологічний баланс озера.

Культурна евтрофікація у значній мірі обумовлена забрудненням водоймищ нітратами та нітритами, фосфатами. Нітрати як сильні біостимулятори інтенсивно посилюють процес евтрофікації у прибережних водах. Фосфати викликають інтенсивний розвиток водоростей.

Очистка стоків, охорона акваторій та підземних вод - це турботи не тільки про питну воду, а насамперед про здоров'я усіх міських екосистем. В єдиній екосистемі разом з повітрям, ґрунтом, рослинами та тваринами тільки чиста вода може забезпечити нормальне функціонування організмів. Зараз розроблені три методи очистки стічних вод: первинний, вторинний та третинний. Усі вони ґрунтуються на забезпеченні води киснем, без якого не можуть існувати аеробні бактерії - активні розкладачі органічних відходів. Для цього визначають коефіцієнт біохімічної потреби в кисні. При першому методі очистки видаляється близько 60% твердих часток і 30% відходів, які поглинають кисень. Фільтри затримують гравій, пісок, сміття, шлаки; дрібні відходи осідають у відстійниках, утворюючи мул. Отже, при цьому методі у воді залишається половина відходів, які поглинають кисень. Крім того, розкладання їх бактеріями теж може привести до виснаження екосистеми по кисню.

Вторинна обробка води відбувається у відстійниках, де за допомогою бактерій та кисню розкладається більшість органічних відходів. При цьому більш коштовному методі видаляється близько 90% усіх органічних відходів, але вода ще містить хімічно більш складні домішки. Це нітрати, фосфор (до 70%), 95% розчинних солей, у тому числі і важкі метали, усі радіоізотопи та стійкі пестициди. Це обумовлює подальший процес евтрофікації. Окрім того, виникає нова проблема - використання мулу, який містить різні хімічні домішки.

Ще більш коштовна третинна обробка, яка застосовується досить рідко, вона видаляє до 95% забруднювачів і перетворює стічну воду у питну. Перші такі установки були створені у США. В них остання стадія обробки води - це пропускання її через активоване вугілля, яке зв'язує більшість залишкових домішок.

Проблема культурної евтрофікації має значення не тільки екологічне, але

й естетичне. Поверхневі води мають значне естетичне та рекреаційне значення, а підземні -курортно-оздоровче.

У нашій країні проблема культурної евтрофікації водних екосистем стоїть достатньо гостро: забруднений Дніпровсько-Бузький басейн, прибережні води Чорного моря і все Азовське море. Тому необхідні подальші заходи, спрямовані не тільки на припинення забруднення водних екосистем, але й на їх оздоровлення.

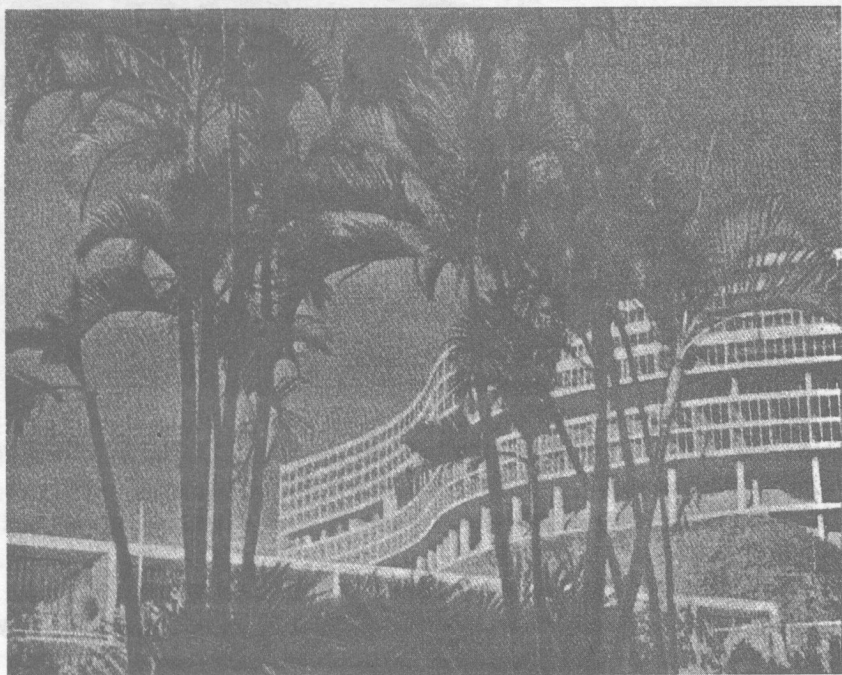


Мал. 50. Гірничорудний регіон в експлуатації (вид із космосу)

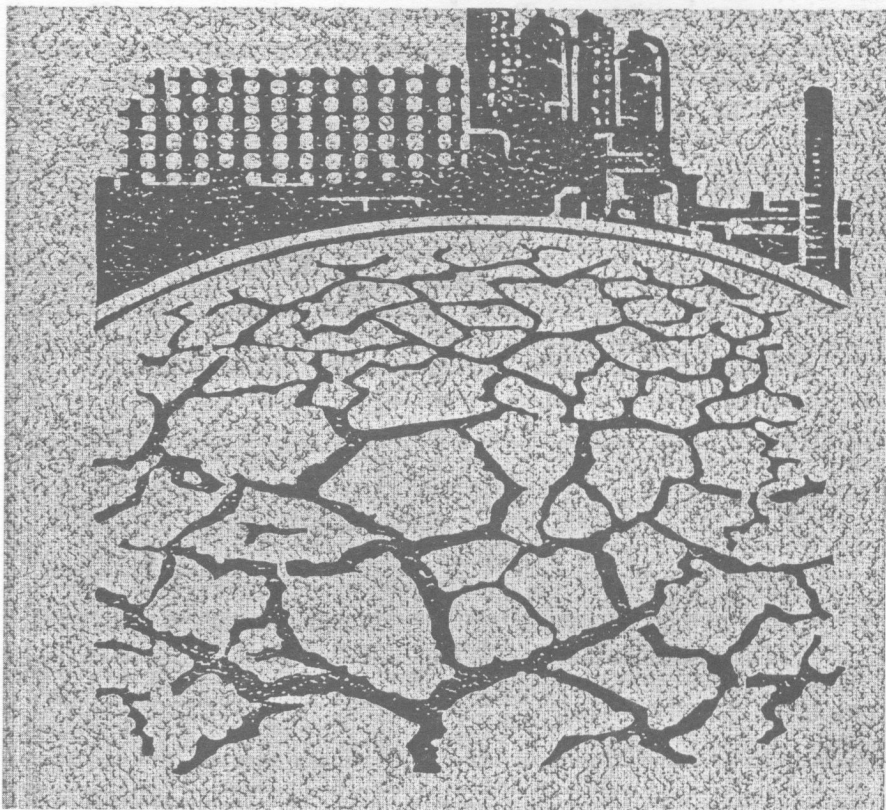
Питання для самоконтролю

1. Що таке забруднення середовища?
2. Які ви знаєте типи забруднення з екологічної точки зору?
3. Які є зараз види агропромислового забруднення?
4. Які є альтернативні інтегральні методи захисту рослин?
5. Які ви знаєте гербіциди?
6. Які ви знаєте пестициди?
7. Дайте коротку характеристику токсичних для людини речовин.
8. Яка дія основних токсичних забруднювачів на організм людини?

9. Які особливості забруднення урбанізованого середовища?
10. Як класифікують фізичні фактори міського середовища?
11. Дайте коротку гігієнічну класифікацію фізичних факторів середовища.
12. Як діє на організм людини шум?
13. Чи має місце фізіологічне звикання до шуму?
14. Які основні джерела шумового забруднення населених місць?
15. Дайте коротку характеристику електричним факторам.
16. Наведіть гранично допустимі величини електромагнітної енергії в житлових забудовах.
17. Які основні джерела радіоактивного випромінювання?
18. Наведіть дозові межі опромінення в звіртах.
19. Які ви знаєте основні джерела забруднення атмосфери?
20. Які основні забруднювачі міської атмосфери?
21. Які ви знаєте альтернативи бензинових ДВЗ?
22. Охарактеризуйте в основних рисах ґрунтовий покрив міст.
23. Наведіть хімічний склад стічних промислових і побутових вод.
24. Яку кількість води за добу споживає один мешканець великих міст?
25. Наведіть схему очищення стічних вод.



РАДІАЦІЙНА ЕКОЛОГІЯ



Радіаційна екологія займається радіоактивним забрудненням оточуючого середовища. Існує два різних аспекти у розвитку цього напрямлення екології:

1) вивчення впливу випромінювання на особини, популяції і та угруповання;

2) виявлення долі радіоактивних ізотопів, що потрапили в екосистеми, і вивчення механізмів, за допомогою яких угруповання і екосистеми регулюють розподіл радіоактивності.

Типи іонізуючого випромінювання

Випромінювання з високою енергією, здатні віднімати електрони від атомів і приєднувати їх до інших атомів з утворенням пар позитивних і негативних іонів, називається іонізуючим випромінюванням. Іонізація є основною причиною пошкодження цитоплазми, яке пропорційне числу утворених пар іонів. Джерелом радіоактивного випромінювання є гірські породи і космос. Ізотопи елементів, що випромінюють іонізуючу радіацію, називаються радіоактивними ізотопами.

Важливе екологічне значення мають три види іонізуючого випромінювання - корпускулярне (альфа- і бета- частки) і електромагнітне (гама - випромінювання і рентгенівське випромінювання).

Корпускулярне випромінювання складається з потоку атомних і субатомних часток, які передають енергію всьому, з чим вони стикаються. Альфа-частки - це атоми гелію, мають величезні розміри порівняно з другими частками. Довжина їхнього пробігу вимірюється сантиметрами і їх можна зупинити навіть листком паперу. Вони викликають у момент зупинки сильну локальну іонізацію.

Бета-частки — це електрони, їх розміри малі, довжина пробігу вимірюється метрами, а в тканині — сантиметрами. Енергію віддають протягом всього свого пробігу в речовині.

Електромагнітне випромінювання подібне до світла, але має більш коротку довжину хвилі. Воно проходить великі відстані, легко проникає в речовину і віддає енергію протягом довгого сліду. Гама-промені легко проходять крізь організм, не виявляючи ніякого впливу, або навпаки викликаючи іонізацію на великому відрізку свого шляху. Це залежить від енергії, їх числа і відстані організму джерела випромінювання.

У послідовності альфа, бета, гама-випромінювання проникливість зростає, а локальне пошкодження зменшуються. Тому альфа і бета-випромінювання біологи називають «внутрішніми випромінювачами», бо вони мають найбільший ефект, коли їх поглинають, проковтують, тобто коли вони опиняються всередині, або на живій тканині, гама-випромінювання називають «зовнішніми», бо вони впливають на організми, знаходячись за його межами.

Інші види випромінювання - нейтрони, рентгенівські, космічні промені мають також екологічне значення, хоча і побічне. Так, нейтрони не викликають самі іонізацію, але вибиваючи атоми зі стабільного стану, викликають

наведену радіоактивність. При рівній кількості поглиненої енергії нейтрони викликають в 5-10 разів більші ураження, ніж гама-промені. Вони зустрічаються поблизу реакторів і в місцях ядерних вибухів, тобто відіграють головну роль при утворенні радіоактивних ізотопів, які потім широко розповсюджуються в природі. Рентгенівські промені утворюються на зовнішніх оболонках, а не в ядрі і не випромінюються радіоактивними речовинами. Їх дія подібна до дії гама-променів. Космічні промені - випромінювання, що приходить до нас із космосу і складається із корпускулярної та електромагнітної компонентів, інтенсивність їх невелика, вони являють небезпеку лише при космічних польотах.

Космічні промені та іонізуюче випромінювання природних радіоактивних речовин, поширених в оточуючому середовищі, утворюють фонове випромінювання, до якого адаптована вся біосфера. В різних місцях біосфери Землі фон природної радіації відрізняється у 2-3 рази. Але внаслідок діяльності людини з'явилась штучна радіоактивність, що додається до фону.

Вимірювання кількості радіоактивної речовини за її масою важке, крім того, різні ізотопи при одній і тій же масі мають різну радіоактивність. Тому кількість радіоактивної речовини прийнято оцінювати її активністю, під якою слід розуміти кількість радіоактивних розпадів ядер за одиницю часу (розпад в секунду). За одиницю активності прийнято кюрі. Кюрі - це така кількість радіоактивної речовини, в якій відбувається 37 млрд. розпадів ядер атомів за секунду. 1 кюрі (К) = 1000 мілікюрі (Мк) - 1 000 000 мікрोकюрі (Мкрк).

Але кюрі — це позасистемна одиниця активності. Зараз введена Міжнародна система одиниць (СІ).

Активність радіоактивної речовини безпосередньо не характеризує іонізуючої дії випромінювання: при одній і тій же активності іонізуюча дія залежить від виду та енергії випромінювання, фізичних властивостей випромінюваного середовища та інших факторів. Іонізуючий вплив випромінювань і їх вражаюча дія на організм характеризується дозою опромінення.

Дозою опромінення (випромінювання) називається енергія, поглинена одиницею об'єму чи маси за весь час впливу випромінювання. Таким чином, доза опромінювання характеризує ступінь іонізації речовини: чим більша доза, тим вища ступінь іонізації. Тому саме доза випромінювань є мірою вражаючої дії радіоактивних випромінювань на організм. Одна і та ж доза може накопичуватися за різний час, і біологічний ефект залежить не тільки від дози, а й від часу її накопичення. Чим швидше отримана доза, тим більша її вражаюча дія.

Є три види доз: експозиційна, поглинена і еквівалентна.

Доза випромінювання, що характеризує іонізаційний ефект рентгенівського та гама-випромінювань у повітрі, називається експозиційною. Саме її вимірюють дозиметричними приладами. Вона характеризує джерело і радіоактивне поле, яке воно створює. Це потенційна небезпека опромінення. Людина може увійти в це поле і опромінитися, але може і не увійти і не опромінитися. Але поле з певною дозою випромінювання залишається. Її вимірюють в рентгенах (Р), а в системі СІ - в кулонах на кілограм (Кл/кг).

Поглинена доза випромінювання - це кількість енергії різних видів радіоактивних випромінювань, яке поглинено одиницею маси даного середовища. Одиницею є джоуль на кілограм (Дж/кг) - грей, а широко розповсюдженою позасистемною одиницею є рад.

Еквівалентна доза опромінення враховує ту обставину, що різні види випромінювань викликають різний біологічний ефект при одній і тій же дозі. Наприклад, альфа-випромінювання наносить людині вражаючий ефект в двадцять разів більший, ніж така ж доза гама-випромінювання. Всі міжнародні норми встановлені саме в еквівалентній дозі опромінення. Позасистемною одиницею цієї дози є бер, а в системі СІ - зиверт (Зв).

Рівень радіації (потужність дози) характеризує інтенсивність випромінювання (як правило - гама-випромінювання). Це доза, утворена за одиницю часу, характеризує швидкість накопичення дози. Вимірюється в рентгенах за годину (Р/год). Чим більший рівень радіації (фон), тим менше часу повинна знаходитися людина в забрудненій території, щоб отримана нею доза опромінення не перевищила допустиму. Природний фон на Землі коливається в широких межах (в районі Алтайських гір він у 10-20 разів вищий, ніж в м. Києві). Ступінь забруднення радіоактивними речовинами характеризується щільністю забруднення, яка вимірюється кількістю радіоактивних розпадів атомів за одиницю часу на одиницю поверхні, в одиниці маси чи об'єму, тобто одиницями питомої активності. Радіоактивне забруднення може бути поверхневим, або ж об'ємним і масовим.

Вченими встановлено, що тільки опромінення від природного фону для людини нешкідливі. Навіть слабкі від хвороби люди, діти, старі не страждають від природного фону. В той же час будь-які надфонові опромінення для людини небезпечні. Зараз добре вивчені наслідки від великих доз (50-100 бер), що приводять до променевої хвороби I, II, III і IV ступенів. Виникає слабкість, головний біль, нудота, рвота, пронос, підвищується температура, змінюється склад крові, наступають корчі і втрата свідомості. Потім виникає лейко-

пенія, лімфопенія, зменшення кількості еритроцитів і гемоглобіну. Відмічаються променеві опіки, кровотечі, облісіння, порушення менструального циклу у жінок. При III і IV ступенях променевої хвороби настає смерть.

Багато менше вивчені наслідки від малих доз хронічного незначного понадфонового опромінювання. Як показують результати останніх досліджень, таке опромінення може проявитися у зменшенні швидкості росту, уповільненні темпів розвитку, понижженні опору організму до інфекцій і іншим факторам зовнішнього середовища та в скороченні тривалості життя.

Прилади та методи радіаційного контролю

Згідно з «Основними санітарними правилами роботи з радіоактивними речовинами...» в поняття «радіаційний контроль» входять чотири види контролю: дозиметричний, радіометричний, індивідуальний дозконтроль і спектрометричні вимірювання. У відповідності з цим і всю апаратуру радіаційного контролю за своїм призначенням поділяють на групи.

1. Дозиметричні прилади, призначені для вимірювання потужності дози (рівня радіації), або фону. Сюди ж відносяться також індикатори-сигналізатори - найпростіші прилади для виявлення іонізуючих випромінювань, або сигналізації про перевищення заданого порогу радіації.

2. Радіометричні прилади для визначення радіоактивного забруднення поверхні різних предметів, а також їх питомою радіоактивність. Наприклад, радіометром можна виміряти радіоактивне забруднення обладнання, транспортних засобів, одягу, шкіри людини, продуктів, сировини, кормів, води, ґрунту, рослин, добрив тощо.

3. Портативні прилади, мініатюрні, переносні призначені для індивідуального дозиметричного контролю. Тобто, з допомогою цих приладів можна вимірювати отриману людиною дозу в конкретній ситуації за певний період часу.

4. Спектрометричні установки, які дозволяють встановити спектр (вміст) радіонуклідів, ізотопів в забрудненому об'єкті. Це складна і дорога апаратура, за допомогою якої визначається радіоізотопний склад «чорнобильського букету», що забруднює навколишнє середовище до сього часу.

Зараз в Україні фіксуються п'ять радіонуклідів: церій-144, рутеній-106, цезій-134, стронцій-90, цезій-137. На півночі країни, окрім того, фіксуються ще і трансуранові елементи: торій, америцій, плутоній, уран.

В останній час з'явилося ще одне поняття — професійні і побутові прилади. Цей умовний поділ почався з моменту виготовлення за кордоном дози-

метричних приладів для населення (Японія, Фінляндія, Франція, а з 1989 р. - і в СРСР).

В країнах СНД (ще за існування СРСР) прийнято було рішення щодо забезпечення населення в зоні забруднення як побутовими дозиметрами («Бриз», «Бела», «Рось», «Десна», «Прип'ять»), так і професійними («Бета», «Бета-2», «Бета-4», СРП-68-01, СРП-88М, ДКС-04, ДРГ-01Т, ДРГ-05Н).

Практично територія України зараз і в майбутньому буде забруднена цезієм-137, стронцієм-90, плутонієм-239, 240. На ґрунті зараз знаходиться 110 тис. Ки цезію-134, 100 - стронцію-90 і 1 тис. Ки плутонію. В пунктах захоронення та тимчасової локалізації радіоактивних відходів знаходиться ще 140 тис. Ки цезію-137, 60 тис. - стронцію-90 і 1400 - плутонію. І які б заходи не вживалися, а виніс радіоактивності за межі 30-кілометрової зони все ж відбувається. Основний шлях - водний. В ґрунті поїм і донних відкладеннях знаходиться приблизно 15 тис. Ки цезію-137, 7,5 тис. - стронцію-90 та 250 тис. Ки - плутонію. По Київському водосховищу щороку зноситься 350 Ки стронцію. Зараз по цих радіонуклідах встановлені норми вмісту їх у ґрунті: до 15 Ки/км² - цезію-137, 3 - стронцію-90 та 0,1 Ки/км² - плутонію.

Відомо, що радіоактивні ізотопи стронцію і цезію мають високу біологічну рухомість, бо є аналогами кальцію та калію. При наявності в ґрунті вони надходять в рослини. Перехід із ґрунту в рослини (період кореневого надходження) настає на другий - третій рік після радіоактивного забруднення території. Інтенсивність переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини визначають коефіцієнтом накопичення K_n . Це відношення вмісту радіонукліду в одиниці рослинної маси C_p до його вмісту в одиниці маси ґрунту C_n :

$$K_n = C_p / C_n$$

Наприклад, K_n для стронцію-90 досягає 30 і більше. По K_n можна прогнозувати вміст радіонуклідів в урожаї. Найбільш небезпечними є стронцій-90 та цезій-137, які характеризуються відносно високим виходом при аварії на ЧАЕС, великим періодом напіврозпаду, високим K_n та інтенсивністю включення в біологічні ланцюги. Середньоживучі радіонукліди (церій-144, рутеній-106, прометій-147 та інші) не являють собою великої небезпеки для забруднення рослинної та тваринної продукції. Наприклад, при надходженні з ґрунту в злакові рослини вони в основному затримуються (на 90%) в кореневій системі і практично не накопичуються в рослинах.

Дуже токсичний плутоній, що також входить до «чорнобильського букету», але він практично не поступає з ґрунту в рослини і відноситься до радіонуклідів з дуже низькою біологічною рухомі-

стю. Основна небезпека забруднення плутонієм рослин - це поверхневе забруднення після аварії на ЧАЕС.

Надходження радіонуклідів в організми

Для радіонуклідів спостерігається пряма залежність між вмістом їх в ґрунті і кількістю переходу з нього в рослини. Наприклад, збільшення концентрації радіонуклідів в ґрунті у 10 разів підвищує їх вміст і в рослинах також. В товарній частині рослинницької продукції на одиницю сухої маси більше всього міститься стронцію-90 в коренеплодах (буряк, морква), дещо менше - в бобових культурах, потім іде картопля і менше всього — в злакових зернових культурах. Причому, озимі накопичують стронцію та цезію менше, ніж ярові.

Велика різниця у вмісті радіонуклідів спостерігається у різних рослин луків та пасовиськ. Вони взагалі відрізняються більшим накопиченням радіонуклідів у порівнянні з рослинами поля. Це пов'язано із забрудненням дернини. Найменші накопичення радіонуклідів відмічаються у плодах фруктових дерев та ягодах кушів, і вони зараз практично чисті.

Висока радіоактивність смородини, калини, обліпихи в 1986 році була обумовлена тільки поверхневим радіоактивним забрудненням квіткової зав'язі. За рахунок поверхневого забруднення відмічалася висока радіоактивність щавлю, салату, зеленої цибулі, петрушки, бадилля картоплі (при абсолютно чистих бульбах).

Таким чином, встановлені закономірності надходження радіонуклідів з ґрунту в рослини вказують на практичні заходи по зменшенню забрудненості рослинницької продукції: вапнування, внесення органічних речовин, глин, розширення посівних площ за рахунок ярових, надання переваги пізньоспілим сортам, бо вони в 1,5-2 рази менше накопичують радіонуклідів, ніж скороспілі. Ступінь забрудненості радіонуклідами продукції тваринництва пов'язана з особливостями годівлі тварин. Правда, вовна забруднених овець практично не піддається дезактивації. Молоко дуже чутливе до чистоти корму. Так, воно вже буде радіоактивним при забрудненні території в 1-2 Ки/км². Тому в зоні забруднення корів та кіз можна утримувати лише на окультурених пасовиськах. При відсутності чистих кормів молоко вживати не можна. Його треба здавати для переробки на масло.

Очищення м'яса від радіонуклідів можливо шляхом годівлі тварин чистими кормами в передзабійний період.

Допустимі рівні радіації

З метою зменшення можливого негативного впливу іонізуючого випромінювання на організм людини розроблено та введено в дію «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97), які враховують наслідки аварії на Чорнобильській АЕС. Це - основний державний документ, що встановлює на цей час систему радіаційно-гігієнічних регламентів для тих, хто працює з джерелами іонізуючого випромінювання та населення в цілому.

Норми радіаційної безпеки складаються із системи принципів, критеріїв, нормативів та правил, виконання яких обов'язкове в політиці держави щодо забезпечення протирадіаційного захисту людини та радіаційної безпеки. НРБУ-97 розроблено відповідно до основних положень Конституції та Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення».

Залежно від наслідків впливу іонізуючого випромінювання на організм населення поділяють на такі категорії.

1. *Категорія А (персонал)* - особи, які постійно чи тимчасово працюють із джерелами іонізуючого випромінювання.

2. *Категорія Б (персонал)* - особи, які безпосередньо не працюють із джерелами іонізуючого випромінювання, але за умовами праці чи проживання можуть зазнати додаткового опромінення.

3. *Категорія В* - все населення.

Виділяють також *критичні групи* — це частина населення, яка за своїми статевими, віковими, соціально-професійними ознаками, місцем проживання тощо отримує чи може отримувати найбільші дози опромінення від даного джерела іонізуючого випромінювання.

Числові значення радіаційно-гігієнічних нормативів (*ліміт дози* - ЛД), які обмежують опромінення всіх категорій населення, встановлюються на рівнях, що виключають можливість виникнення негативних ефектів. Значення річної дози опромінення осіб, які входять до критичної групи, не повинне перевищувати ліміт дози, встановленої для категорії В.

Річна ефективна доза (РЕД) - це сума ефективної дози зовнішнього опромінення протягом одного року та очікуваної ефективної дози внутрішнього опромінення від радіоізотопів, що надходять до організму протягом цього самого року.

Крім ліміту ефективної дози (ЛДе) встановлюється також ліміт еквівалентної дози зовнішнього опромінення окремо для кришталика ока (ЛД_{lens}),

шкіри (ЛД_{scin}) та кісток і стоп (ЛД_{extrim}). Числові значення лімітів дози для різних категорій населення наведено в Табл. 13.

Для жінок репродуктивного (дітородного) віку (до 45 років), яких віднесено до категорії А, вводиться *додаткове обмеження*: середня еквівалентна доза зовнішнього локального опромінення за будь-які два послідовні місяці не повинна перевищувати 1 мЗв. За весь період вагітності ця доза не повинна перевищувати 2 мЗв. Крім того, для вагітних жінок (категорії А і Б) ліміт річного надходження радіоізоотопів до організму не повинен перевищувати 1/20 від допустимого рівня.

У НРБУ-97 регламентується також медичне опромінення — опромінення внаслідок медичних обстежень чи лікування. Під час проведення профілактичного обстеження населення річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв. Перевищення цього рівня допускається лише за умов несприятливої епідеміологічної ситуації за узгодженням з органами Державної санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України. Особи, які добровільно надають допомогу пацієнтам під час проведення діагностичних та терапевтичних процедур, не повинні зазнавати опромінення в дозах, що перевищують 5 мЗв х рік. Особлива увага приділяється радіаційно-гігієнічній регламентації в умовах радіаційної аварії.

Особи, молодші 18 років, не допускаються до роботи з джерелами іонізуючого випромінювання.

Для обмеження внутрішнього опромінення НРБУ-97 регламентують допустимі рівні надходження радіоізоотопів через органи дихання, травлення, а також допустимі концентрації у повітрі та питній воді. У зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС введено допустимі рівні (ДР-97) вмісту найнебезпечніших радіоізоотопів цезію і стронцію в харчових продуктах та питній воді. (Табл. 14).

Ліміти доз опромінення, мЗв/рік Таблиця 13

Назва дози опромінення	Умовне позначення ліміту дози	Категорія осіб, яка зазнає опромінення		
		А	Б	В
Ефективна доза	ЛДе	20**	2	1
Еквівалентна доза зовнішнього опромінення:				
для кришталика ока	ЛД ^{lens}	150	15	15
для шкіри	ЛД ^{scin}	500	50	50
для кісток і стіп	ЛД ^{extrim}	500	50	—

* Примітки: розподіл дози опромінення протягом календарного року не регламентується; у середньому за будь-які послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв за окремий рік (ЛД_{max}).

Допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію-137 та стронцію-90 у продуктах харчування та питній воді (ДР-97), Бк/кг, Бк/л

Назва продукту	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Хліб, хлібопродукти	20	5
Картопля	60	20
Овочі (листові, коренеплоди, столова зелень)	40	20
Фрукти	70	10
М'ясо і м'ясні продукти	200	20
Риба і рибні продукти	150	35
Молоко і молочні продукти	100	20
Яйця (шт.)	6	2
Вода	2	2
Молоко згущене і концентроване	300	60
Молоко сухе	500	100
Свіжі дикорослі ягоди й гриби	500	50
Сушені дикорослі ягоди й гриби	2500	250
Лікарські рослини	600	200
Інші продукти	600	200
Спеціальні продукти для дитячого харчування	40	5

Порівняльна радіоактивність

Різні організми сильно розрізняються по своїй чутливості до опромінення. Великі дози опромінення, що отримують організми за короткий час, називаються гострими дозами, а доза така ж велика, але отримана протягом всього життя, називається хронічною дозою. Ссавці мають найбільшу чутливість до опромінювання, а мікроорганізми найбільш стійкі. Доза в 90 рад викликає загибель ембріонів ссавців, доза в 200 рад приводить до стерильності, а щоб вбити всіх ссавців потрібна доза в 900 рад. Щоб вбити всіх особин комах потрібно було б 100000 рад. Найбільш чутливі до опромінення клітини, що швидко діляться, тому чутливість знижується з віком. В зв'язку з цим будь-який компонент екосистеми, що зазнає швидкого росту, виявляється сприйнятливим до порівняно низького рівня випромінювання незалежно від свого систематичного положення.

Будь-яке перевищення фонових випромінювання може підвищити частоту шкідливих мутацій. Низьке хронічне опромінення оцінити важко, бо воно може мати віддалений генетичний ефект. Наприклад, доза опромінення сосни в 25000 Р за 10 років викликає такий же ефект, як гостра доза в 60 Р. У вищих рослин чутливість до опромінювання пропорційна величині ядра, а точніше - об'єму хромосом. Рослини з великим об'ємом хромосом гинуть при гострій дозі нижче 1000 Р, а рослини з малими хромосомами витримують 50000 Р і більше. Це пояснюється тим, що при збільшенні хромосомної мішені збільшується вірогідність прямого попадання атомних пострілів.

У тварин такої залежності не виявлено; у них різні системи мають різну чутливість. Так, ссавці погано переносять навіть низькі дози через велику чутливість до іонізуючого випромінювання кровотворної тканини кісткового мозку, що швидко ділиться.

Різна чутливість видів викликає великий екологічний інтерес. Для того, щоб екосистема стала стійкою до радіації, що перевищує фонову, при якій вона розвивалася, повинна відбутися адаптація. Ця адаптація повинна супроводитися зникненням найбільш чутливих видів та ліній. Тому в природі вже зараз спостерігаються приклади зменшення видової різноманітності угруповань під впливом радіації. Радіаційний стрес може змінити міжпопуляційні взаємодії, наприклад, між хижаками та їх жертвами.

Радіаційний природний фон, до якого організми звикли, має три джерела: 1) космічні промені; 2) калій-40, що входить до складу тканин (in vivo); 3) опромінення від радію та інших ізотопів, що зустрічаються в ґрунтах та гірських породах. Дози, що створюються цими джерелами, вимірюються десятками мілірад на рік.

Генетики дійшли висновку, що для мутагенної дії радіаційного випромінювання порогової дози не існує. Встановлення гранично допустимих як і мінімальних доз опромінення — всього лише штучний тимчасовий захід. Ми повинні пам'ятати, що людина — найбільш чутлива з усіх видів до іонізуючого випромінювання, тому потрібно ретельно слідкувати за рівнем радіації в тому мікросередовищі, де ми постійно знаходимося. Добре сказав Лаутіт: «Ми впевнені, що якщо людина забезпечує радіобіологічний захист самому собі, то зрештою природа, за небагатьма винятками, також потурбується за себе сама». Та все-таки це небезпечне спрощення. Радіоактивне забруднення ґрунту, океану, річок, де людина не живе, впливатиме на життєзабезпеченість людини. Будь-яка речовина, що має великий період напіврозпаду, рано чи пізно попадає з різноманітної частини біосфери в організм людини. Тому єдине допустиме правило - щоб охоронити людину, ми повинні потурбуватися про екосистему.

Радіоактивне випромінювання можна розумно використовувати в інтересах людини. Наприклад, диференційну чутливість в межах одного виду вже використовують для боротьби зі шкідниками. Так, самців стерилізували гострою дозою 5000 Р і випускали в дикі популяції. Вони нормально спарювалися, але потомства не виходило. Наводнивши природну популяцію стерильними самцями колорадських жуків, вдалося подавити чисельність цього основного ворога тваринництва на півдні США.

Радіаційні ефекти на екосистемному рівні

Проведені і проводяться численні експерименти і спостереження з виявлення характеру впливу іонізуючого опромінювання на компоненти екосистеми. Так, зокрема, встановлено, що найбільш стійкими в екосистемі дубово-соснового лісу до гама-опромінення виявилися осоки, дещо менш стійкими - злаки та верески (у клітин сосни ядра крупніші). Уповільнення росту рослин і зменшення видової різноманітності тварин були відмічені вже при 2 рад на добу. При високих рівнях опромінення (до 40 рад на добу) ліс продовжував існувати, але дерева були пригнічені і з'явилися осередки сприйнятливості до комах. На другий рік в лісі, що отримував щодоби 10 рад, чисельність дубової тлі стала у 200 разів більшою, ніж в контрольному лісі. Вздовж градієнта випромінювання можна виділити 5 зон: 1) центральна зона - біля джерела випромінювання - в ній жодна рослина не виживає (вища); 2) зона осоки; 3) зона пасліну та чорниці; 4) пригнічений дубовий ліс; 5) інтактний сосново-дубовий ліс, де немає загиблих рослин.

Вінших експериментах було встановлено, що після короткочасного інтенсивного опромінення ліс замінюється однорічними злаками. Однак, через декілька років виник варіант низькостовбурної рослинності. Взагалі радіаційний стрес зменшує видову різноманітність.

Попадаючи в оточуюче середовище, радіоактивні ізотопи можуть розсіюватися і розбавлятися. Але якщо швидкість їх надходження вище швидкості розпаду, то відбувається їх накопичення у воді, ґрунті, повітрі. Таким чином, ми можемо поставляти природі несуттєву кількість радіоактивної речовини, а потім одержувати назад радіоактивність в летальних дозах.

Відношення вмісту радіоактивного ізотопу в організмі до його вмісту в оточуючому середовищі називається коефіцієнтом накопичення.

Людина чекала, що радіоізотопи будуть накопичуватися в харчових ланцюгах і організмах в колосальних кількостях. Наприклад, при незначній концентрації в річці 32 р - всього 0,00003 мг в 1 г води - його концентрація в жовтці яєць водоплаваючих птахів була в 9×10^6 разів вища. Встановлені коефіцієнти накопичення багатьох ізотопів: для цезію-137 він рівний 250 в мускульній тканині, для стронцію-90 в кістках — 500 тощо. В різних частинах харчових сіток відбувається різне накопичення ізотопів. Це демонструється прикладом одного невеличкого озерця, куди скидали низькоактивні відходи. Коефіцієнти накопичення стронцію-90 були такими: у дрібної риби - 1000, в кістках окуня - 3000, а в м'яких тканинах - лише 5; в кістках норки, що

живиться окунем - 1000; в донних опадах - лише 5; а далі по ланцюгу - у водних рослинах - 300, в кістках бобра - 1400, в кістках ондатри — 3 900! Концентрація радіоактивного йоду в щитовидній залозі зайця в 500 разів вища, ніж в місцевих рослинах.

Сама по собі радіоактивність не впливає на надходження ізоотопу в живі системи; лише потрапивши в організм, ізоотопи й починають свою руйнівну діяльність. Факт накопичення ізоотопів в організмах обумовлює необхідність поправки при встановленні «гранично допустимих рівнів» радіації. Особливо небажані ізоотопи, що активно накопичуються в організмах - такі, як йод, що накопичується в щитовидній залозі, стронцій, що накопичується в кістках.

Радіоактивний пил, що осідає на землю після радіоактивних вибухів, називається радіоактивними опадами. Характер цих опадів залежить від типу бомби. Розрізняють два типи ядерної зброї: 1) атомна бомба, де відбувається розщеплення важких елементів (уран, плутоній), при якому виділяється енергія та інші ізоотопи, що заново утворюються - радіоактивні «продукти розпаду»; 2) воднева бомба, де легкі елементи (дейтерій) з'єднуються, утворюючи більш важкі з виділенням енергії та нейтронів. Воднева бомба - це термоядерна зброя. В ній реакція поділу використовується для реакції синтезу.

Опади від вибухів відрізняються від радіоактивних відходів тим, що ізоотопи, які утворюються при вибухові, з'єднуються з усім, що виявляється на шляху (залізо, пил, кремній), утворюючи нерозчинні частки розміром від кількох сот мікронів до величини колоїдних часток. Вони прилипають до листя, викликаючи радіоактивні пошкодження. З листям попадають в організми рослиноїдних тварин.

Хоча радіоактивність знижується у міру віддалення від епіцентру вибуху, деякі ізоотопи, як стронцій-90 в найбільших кількостях виявляються у тварин на відстані 100-150 км. Те ж саме спостерігається і з цезієм-137. Справа в тому, що при утворенні цих ізоотопів є їх газові попередники, що і сприяє їх розповсюдженню. При вибухах малопотужних атомних бомб для мирних цілей радіоактивні опади лягають на землю у вигляді вузької смуги в напрямі вітру. При вибухах потужних мегатонних бомб, які широко випробувалися в 60-х роках, відбувається викид радіоактивного матеріалу прямо в стратосферу, що призводить до випадання радіоактивних опадів на всій земній кулі протягом багатьох років.

У морських організмах у великих кількостях виявляються радіоактивні ізоотопи, які утворюють нерозчинні міцні комплекси з органічними речови-

нами. Це кобальт-60, залізо-59, цинк-65, марганець-54, які породжені нейтронним бомбардуванням. В наземних організмах накопичуються розчинні продукти розпаду - стронцій-90 і цезій-137.

Кількість радіоактивних ізотопів, які включаються в харчові ланцюги і вреспі-решт в організм людини, залежить не тільки від того, скільки їх упало з повітря, але й від структури екосистеми і характеру її біогеохімічних циклів. В малокормних екосистемах в склад харчових ланцюгів зразу ж включається значно більше радіоактивних ізотопів, ніж в багатому середовищі. В Англії, наприклад, вівці на високогірних пасовиськах накопичують стронцій-90 в кістках в 20 разів більше, ніж в долинах.

В тканинах людини концентрація ізотопів нижча, ніж у травоядних тварин. Людину захищають її положення в харчовому ланцюзі та способи приготування їжі. Однак, зараз в організмі людей, які харчуються головним чином м'ясом тварин, що мешкають в малокормних місцемешканнях (олені, наприклад), концентрація радіоактивних ізотопів досягає концентрації в тканинах тварин. Ні до чого хорошого привести це не може.

Проблема відходів

При всій небезпечності проблем опадів проблема знищення відходів, що утворюються при використанні атомної енергії в мирних цілях, є потенційно значно небезпечніша. Ядерна енергія практично невичерпна, але переповною її використання є екологічна дія, що виникає при цьому, на оточуюче середовище.

Є три категорії радіоактивних відходів.

1. Високоактивні відходи. Це рідини, або тверді речовини, які за їх надзвичайну небезпечність не можна викидати в оточуюче середовище. При розщепленні однієї тони ядерного пального утворюється 400 л таких речовин. Щорічно потребується сотні тисяч м³ ємностей для зберігання цих високоактивних відходів. Зберігають відходи або в рідинному вигляді, або у вигляді кераміки на великих глибинах. Та вони виділяють багато тепла, що може призвести до розплавлення стін шахт схову, або навіть до невеликих землетрусів.

2. Низькоактивні відходи. Це газу, рідини, або тверді речовини з низькою радіоактивністю, але вони утворюються в об'ємах, занадто великих для зберігання. Тому їх розсіюють в оточуючому середовищі.

3. Відходи з проміжною активністю. Активність цих відходів достатньо висока і викликає місцеві забруднення.

Найбільша частина відходів АЕС утворюється в реакторі. Відходи другої

чи третьої категорії виникають в безпосередній близькості від реактора та при добуванні і виготовленні ядерного пального. Щоб звести загрозу забруднення до мінімуму, біля АЕС повинні бути залишені значні ділянки землі. Для захоронення в ґрунт на кожні 3000 м³ відходів з проміжною активністю потрібно 0,5 га землі. В процесі використання урану, торію, плутонію в реакторах постійно будуть накопичуватися стронцій-90, цезій-137, йод-129, плутоній-238, 240 та інші ізотопи з великим періодом напіврозпаду.

Якщо б радіоактивні відходи не лімітували використання атомної енергії, то лімітуючим фактором стали б теплові відходи. Перехід на атомне пальне в деякій мірі зменшує теплове забруднення повітря, але збільшує теплове забруднення води. Так, при виробництві 1 кВт/год електроенергії теплові відходи у воду становлять на тепловій електростанції 135 ккал, а на АЕС середніх розмірів — 1900 ккал. АЕС середніх розмірів (3000 мВт) виробляє теплові відходи з інтенсивністю 5×10^9 ккал за годину. Для розсіювання тепла потрібно 0,6 га водної поверхні на кожний 1 мВт енергії в помірному кліматі. Одна тільки перша 25-кілометрова зона відчуження Чорнобильської АЕС займає близько 200 тис. га.

Локальні шкідливі наслідки теплового забруднення водних екосистем такі:

- 1) підсилюється сприйнятливість організмів до токсичних речовин;
- 2) перевищуються критичні величини для стеноTERMних стадій життєвих циклів;
- 3) відбувається заміна популяцій звичайної флори водоростей небажаними синьо-зеленими бактеріями, знижується вміст кисню у воді при збільшенні потреби в ньому організмів.

Захоронення радіоактивних відходів академік П. Л. Капіца вважав найважчим завданням ядерної енергетики. Складність, зазначав він, полягає в тому, що їхня радіоактивність досить значна і дуже повільно зменшується, а будь-які контейнери, в яких будуть захоронені радіоактивні шлаки, з часом зруйнуються і радіоактивність розповсюдиться. Кількість відходів з розвитком ядерної енергетики стає надзвичайно великою і поки що чіткого і загальноприйнятого вирішення цієї проблеми немає. Аналогічну думку висловив і академік М.А. Доллежаль, який зазначив, що ще не створено гарантовані, надійні та опрацьовані технології всіх виробництв зовнішнього паливного циклу.

Найпридатніші умови для захоронення відходів високої питомої активності можуть бути забезпечені в континентальних геологічних формаціях глибокого залягання. В таких геологічних формаціях не повинно бути цир-

куляції ґрунтових вод, вони повинні мати високу водонепроникність і гарну теплопровідність. Майже ідеально відповідають цим вимогам товсті шари кам'яної солі. Крім того, для захоронення ядерних відходів розглядаються також гранітні, гнейсові та базальтові формації, розташовані на глибині кількості метрів.

Загалом, операція по захороненню радіоактивних відходів передбачає наявність складних інженерних споруд в місцях із суворо визначеним ґрунтом. Розгерметизація контейнера здатна викликати катастрофу, а якщо зважити, що зберігатися він повинен, по суті, вічно, то тут є над чим замислитися.

Проблема захоронення посилюється й тим, що вони виділяють значну кількість тепла. Так, радіовідходи, що зберігаються в могильниках, розташованих в соляних шарах, можуть нагрітися до 200°C (за рахунок залишкового тепла). За такої температури в соляних шарах може розпочатися процес розкладання з виділенням горючих та вибухонебезпечних газів. Ці гази сприяють посиленню корозії контейнеру та затверділих радіоактивних відходів. Через певний час бетонні контейнери мають тенденцію тріскатися відповідно до законів еволюції матеріалів, які поки що не повністю досліджені. Все це приводить до необхідності споруджувати в могильниках складні та дорогі системи вентиляції і видалення агресивних газів. Крім того, останнім часом західними спеціалістами відзначається різке збільшення витрат на транспортування та захоронення радіоактивних відходів. Так, в США з 1975 року ціни на транспортування радіоактивних відходів зросли вдвічі, а на захоронення - в 10 разів. З'ясувалося, що в США, наприклад, дуже складні умови в районах уранових копалин. Дощовий стік вимиває з їхніх відвалів радіоактивні елементи, які потрапляють у водні об'єкти. Саме таким чином були забруднені деякі водоймища в басейні ріки Колорадо. Радіоактивні відходи, являючи собою дрібний пил, легко переносяться вітром, забруднюючи поля, посіви, водоймища. З'ясувалося також, що в США накопичилося близько 2,7 млн. м³ відходів, значна частина яких викинута в звалища без дотримання відповідних норм безпеки, внаслідок чого герметичність багатьох контейнерів була порушена. За повідомленням агентства Франс Прес, до 2000 року США повинні позбавитися 50 тис. тонн радіоактивних відходів, при цьому до 1999 року не передбачено жодної операції з їх захоронення. А всього західні країни повинні були до 2000 року захоронити 125 тис. тонн відходів.

Нагромаджені радіоактивні відходи доведеться переправляти шосейни-

ми дорогами зі сходу (де містяться основні ядерні об'єкти) на захід (до місця захоронення), і на думку спеціалістів міністерства енергетики США, для перевезення потрібно буде відправляти щоденно 17 автоколон протягом 20 (!) років. З низки об'єктивних причин перевезення радіоактивного палива АЕС може провадитися лише невеличкими партіями, і в міру зростання масштабів ядерної енергетики і відповідно до масштабів перевезення відпрацьованого палива ймовірність аварій у дорозі буде неухильно збільшуватися. Відомо, що спеціальні контейнери для перевезення радіоактивних відходів мають власну вагу 30-100 тонн і можуть вмістити вантаж до 6 тонн. Тобто, для нейтралізації радіації необхідно здійснювати дуже складний та дорогий комплекс заходів з ліквідації, транспортування, переробки та захоронення радіоактивних відходів. Постає питання: невже створення та удосконалення очисних споруд для ТЕС коштуватиме дорожче?

Атомна енергетика та її перспективи

Наведені дані свідчать про недоцільність використання атомної енергетики на сучасному рівні знань у мирних цілях так же, як і у воєнних. Необхідно признати, що сучасне розгортання атомної енергетики є екологічною, а значить і економічною, і політичною помилками.

Атомники пишуться тим, що в радіоактивному пальному АЕС досягнута велика концентрація урану, чим обумовлюється несуттєвість відходів. Але еколога приголомшує той факт, що багатотисячна концентрація в одному місці природного радіоелемента - урану - в будь-яку мить може викликати катастрофу планетарного масштабу, не беручи до уваги знищення цілого регіону біосфери. Адже ж підступна дія урану практично нескінченна (період напіврозпаду з високою енергією становить 4,5 млрд. років). Ось і настав час фатальної розв'язки.

Вночі проти 26 квітня 1986 року в реакторі четвертого блоку Чорнобильської АЕС почалася некерована реакція ділення. Температура уранових паливних стержнів зросла до кількох тисяч градусів; вода, яка охолоджувала їх, вмиль перетворилася на пару. За умов високих температур цирконій (в трубах з якого встановлені стержні) вступив в реакцію з водою і виділився водень. Стався вибух, який розірвав дві тисячі сталевих та цирконієвих труб і комунікацій, що з'єднували активну зону з верхнім переkritтям реактора, і вистрілив у зоряне небо півторатисячтонною плитою. Наче бризки, полетіли у врізнібіч розпечені до тисяч градусів шматки уранових паливних стержнів, труб та графіту. При гасінні пожежі загинули люди.

Атомні електростанції дають лише 10% електроенергії, що виробляється в країнах СНД, а потужність теплових електростанцій використовується далеко не повністю. Крім того, енергоємність нашого прибутку майже в 165 разів вища, ніж у більшості західних країн. Тобто спочатку необхідно розробляти і впроваджувати енергозберігаючі технології. Наприклад, у Швеції було досягнуто зростання промислового виробництва при одночасному зменшенні на 20% енерговитрат; в США за рахунок впровадження нових енергозберігаючих технологій вдалося зменшити енергоємність виробництва на 33%, в Японії - на 78%.

Ліквідація наслідків аварії на ЧАЕС обійшлася в мільярди карбованців. Таких коштів вистачило б для створення в Україні екологічно багато безпечнішої енергетики. За шість років до Чорнобилю у Швеції було проведено референдум, який привів до рішення про закриття шведських АЕС до 2010 року (до часу закінчення їх дії). Внаслідок протидії громадськості не була запущена жодна АЕС в Австрії. Припинено спорудження АЕС в Бразилії. Відмовилася від будівництва АЕС Данія.

З'ясувалося, що будівництво АЕС займає в середньому близько 10 років, а в США через жорсткі вимоги безпеки цей строк розтягнувся на 13 років. Зауважимо принагідно, що в цій країні замовлення на будівництво нових реакторів не приймалися з 1977 року. Збільшення строків будівництва АЕС - результат дій громадськості, її вимог забезпечення цілковитої безпеки АЕС. А після найбільшої (до ЧАЕС) аварії на АЕС «Тріймайл Айленд» у 1979 році в світі різко зросла кількість розірваних контрактів на будівництво атомних реакторів. «Внаслідок цієї аварії», - писав В. Легасов, - було підірвано довір'я до атомної енергетики, загальмовано її розвиток». Цікава й динаміка замовлень на будівництво АЕС в Сполучених Штатах. В 1973 році - 42 замовлення, в 1974 - 35, в 1975 - 5, а в 1977 році й до сьогодні, як уже зазначалося, - жодного. Причому, в 1975 році було анульовано замовлення на 12 реакторів та припинено експлуатацію в цілому 72 установок. Чим же це пояснити? Звичайно ж, що не лише протидією громадськості, а ще й економічними міркуваннями.

Як уже зазначалось, будівництво АЕС займає близько 10 років, а тривалість експлуатації не перевищує 25-30 років, після чого АЕС доводиться піддавати захороненню через неможливість її подальшої експлуатації. Тобто час, витрачений на будівництво АЕС, становить від 30 до 50% часу її експлуатації. Щоправда, в Японії будують АЕС за 3,5 років. Але для безпечнішого постачання енергією доводиться створювати резервні потуж-

ності. У разі ж закриття АЕС з будь-яких причин - ще резервні потужності, які забезпечуються звичайними тепловими електростанціями. Ось чому зростання кількості АЕС стабілізувалося. Бо ж випадок величезної аварії показує, що економіка може стати заручницею атомної енергетики, а постійно нарощувати резервні потужності не вигідно подвійно.

У США резерв потужності складає 30%, у колишній ФРН - 50, у Франції - 65%. Тобто у ФРН на 2 діючі АЕС припадає одна резервна. І тут постає питання: звідки ж така висока питома вага АЕС в енергозабезпеченні країн Заходу: 15 - у США, 31- у колишній ФРН, 65% - у Франції?

Тут є свої нюанси. Справа в тому, що будівництво АЕС надзвичайно вигідне монополіям, які одержують солідний шмат із держбюджету по статтях, відповідних ядерним програмам. При цьому експлуатаційні витрати на АЕС нижчі, ніж на ТЕС.

Оскільки енерговитрати в країнах Заходу внаслідок впровадження енергозберігаючих технологій не зростають і не ведеться будівництво нових електростанцій (через надмір електроенергії), то за таких умов вигідно експлуатувати АЕС (адже експлуатаційні витрати на них нижчі), а ТЕС переводити в резерв. Так збільшується частка АЕС в межах системи виробництва електроенергії. Певна річ, такі сприятливі умови створюються монополіями за рахунок споживача, тобто за рахунок держбюджету, а не економічного зиску АЕС.

Виникає суперечлива ситуація, коли держава з одного боку підтримує ядерні програми і тим самим будівництво АЕС, а з другого - гальмує їхнє будівництво через небезпеку стати їхньою заручницею. Важливо зазначити ще одне. Стабільна експлуатація АЕС не гарантована. Так, у ФРН число незапланованих зупинок таке велике, що коефіцієнт використаної потужності виявився значно нижчим за очікуваний. А у Франції він становить всього 50% замість запланованих 70%.

Як зазначали незалежні, тобто незалежні від ядерної індустрії західнонімецькі експерти, теза про економічність АЕС - легенда навіть за тієї умови, що не враховуються витрати на видобуток, переробку палива, захоронення відходів, захоронення АЕС та будівництво резервних ТЕС. Вартість електроенергії на АЕС, виявляється, на 63% дорожча, ніж на ТЕС.

Питання про те, як і коли виникла легенда про економічність АЕС - тема для дослідження. Однак треба визначити, що встановлені на Заході ціни на електроенергію, що виробляється на АЕС - результат величезних дотацій монополіям з боку держави. Чому здійснюються ці дотації - пи-

тання, що так само потребує окремого розгляду і вростає воно корінням у початок - в середину 50-х років і відповідно у плани створення ядерної зброї країнами Західної Європи; про вичерпання ресурсів тоді думали мало. Що стосується колишньої ФРН, то й тут внаслідок прийняття ядерної програми, початок якої можна віднести до 1955 р., є всі передумови для створення ядерної зброї. На цьому постійно наголошує демократична громадськість Німеччини.

У збереженні ядерної енергетики зацікавлені величезні монополістичні об'єднання, що контролюють свій корпус лобі та політиків, значну кількість спеціалістів, кровно пов'язаних ядерною індустрією. Аналогічна ситуація і в інших країнах. Проте розвиток атомної енергетики - це не лише результат діяльності атомних лобі - а й результат певного культурно-історичного розвитку суспільства, в котрому досягнуте ототожнюється з бажаним, з шаленою гігантоманією, а патологічний гігантизм - з прогресом.

На основі опублікованих в засобах масової інформації даних стосовно радіаційного впливу АЕС на населення можна дійти висновку, що вони практично нешкідливі. Та преса чомусь вперто забуває про акумулюючий ефект радіоактивних викидів АЕС (накопичення в живих організмах радіоактивного бруду), про радіоактивні викиди підприємств по регенерації ядерного палива та могоильники радіоактивних відходів. Не рахується так само і ефект впливу на навколишнє середовище цілої низки високоактивних довголітніх радіонуклідів.

Наприклад, дослідження ріки Колумбії в штаті Вашингтон, де розташований атомний реактор, засвідчили, що, радіоактивність води незначна. Водночас, встановлено, що концентрація радіоізоотопів в планктоні в 2 тисячі разів вища, ніж в річковій воді; в організмі риб та водоплавних птахів, що живляться планктоном, відповідно в 15 і 40 тисяч разів; в організмі пташенят ластівок, яких батьки годують комахами, в жовткові яєць водоплавних птахів більш, як у мільйон разів вища, ніж у воді Колумбії.

Дуже серйозною є проблема водних ресурсів. Щорічне валове водоспоживання електростанціями становить понад 100 км³, Причому, безповоротні втрати води на випаровування для Європейської частини СНД відповідно до умов розсіювання скидного тепла електростанцій вже становить 2 кубічних кілометрів на рік. За очікуваних масштабів розвитку ядерної енергетики наприкінці століття втрати води щонайменше подвоються. Ось хоча би тому проблема вибору нових майданчиків для АЕС та їх водозабезпечення для України стає нерозрешуваною.

Наслідки аварії на Чорнобильській АЕС

Завдяки необізнаності широкої аудиторії і виступам компетентних осіб (Ізраїль, Веліхов, Легасов та ін.) в травневі дні 1986 р. радіація асоціювалася виключно з радіоактивним йодом. Люди з полегшенням довідалися, що радіоактивний йод, а точніше - J-131, є короткоживучим нуклідом з періодом напіврозпаду 8 діб, а J-131 і того менше — 20 годин. Щоправда, невдовзі з'ясувалося, що ще є й J-129 (період напіврозпаду $1,7 \times 10^7$ років) і що на заводах з переробки палива витік радіонуклідів йоду відбувається з витоком повітря.

Йод, що потрапляє в атмосферу, осідає на овочі та трав'яний покрив. Йод, що міститься в рідині, які скидаються у водоймища на ядерних підприємствах, накопичується в рибі, чи рослинах. Шляхи проникнення йоду в організм людини різні: з повітрям, яке вдихаємо, при споживанні овочів, риби, чи молока - і, поглинений людиною, він концентрується в основному в щитовидній залозі. Але що б там не було, а знання періоду напіврозпаду йоду-131 діяло заспокоїливо. Чи так вже й небезпечні аварії на АЕС, якщо через 8 діб радіоактивний фон суттєво знижується?

Але зруйнована активна зона реактора (в тому числі і четвертого блоку ЧАЕС) викидає ще багато інших радіонуклідів, зокрема:

1. Стронцій-90 (період напіврозпаду - 29,1 рік). В організм потрапляє з їжею та водою. Як і кальцій, відкладається переважно в кісткових тканинах, та кістковому мозку. Через це стронцій-90 дуже небезпечний для людини - біологічний час виведення його з організму - 18 років, а продукти розпаду дають бета-випромінювання

2. Цезій-137 (період напіврозпаду - 30 років). Для нього разом з бета-випромінюванням характерне ще й гама-випромінювання. Потрапляє в організм людини з їжею. В живих організмах він може замінювати калій і розповсюджуватися по всьому організмові у вигляді високорозчинних сполук. Дуже небезпечний для людини.

3. Нукліди плутонію - плутоній-228 (період напіврозпаду 87,8 років), плутоній-239 ($2,4 \cdot 10^4$ років), плутоній -240 (650 років), плутоній -241 (14,4 років), плутоній-242 ($3,9 \cdot 10^5$ років). Найбільш небезпечним для людини є вдихання плутонію, який накопичується в легенях. Плутоній може потрапляти з їжею та водою і відкладається в кістках. Особливо небезпечний для людини.

4. Криптон-85 (так званий благородний газ з періодом напіврозпаду 10,7 років). Є продуктом ділення. Після розбавлення він випускається з установок паливного циклу безпосередньо в атмосферу. При цьому його концент-

рація, яка міститься в атмосфері, не може бути зменшена за рахунок осадження чи вимивання, він практично нерозчинний у воді. Радіологічний вплив на людину відбувається здебільшого через опромінення шкіряного покриву. Вдихання криптону-85 відіграє меншу роль. Дуже небезпечний для людини. Крім того, накопичення в атмосфері криптону являє собою також потенційну небезпеку суттєвої зміни електропровідності повітря, що може спричинити глобальні наслідки.

5. Тритій (період напіврозпаду - 12,4 років). Утворюється в активній зоні реактору. Радіаційний вплив тритію є наслідком споживання людиною продуктів харчування та питної води. Крім того, може потрапити в організм людини при вдиханні, а також через шкіряний покрив. При наявності тритію весь організм людини піддається дії бета-випромінювання. Може бути одним із компонентів ядерної зброї. Дуже небезпечний для людини.

6. Вуглець-14 (5770 років). Утворюється в активній зоні реактора, дає бета-опромінювання. Дія іонізуючого випромінювання зумовлена головним чином споживанням продуктів харчування (молоко, овочі, м'ясо). Небезпечний для людини.

Повернемося до розрахунків ймовірності аварій на АЕС. За оцінками західних спеціалістів, ймовірність аварій із зруйнуванням активної зони реактора становить всього один раз на 10 тисяч років. Щоправда, неясно, коли аварія може статися через 10 тис. років, чи завтра, і що тоді робити. Німецькі вчені вважають, що в серйозному випадку суспільство виявиться просто безпорадним.

Доречно буде нагадати, що дві аварії із зруйнуванням активної зони реактора вже сталися протягом семи років (на АЕС «Трімал Айленд» у 1979 р. та на АЕС ім. Леніна в Чорнобилі).

Вплив радіації на живе - дуже індивідуальне явище, і справа тут не лише в дозах, які одержали люди, тварини. Та ж сама доза радіації, що потрапила в організм з різними ізотопами, по-різному діє на живе; може вразити мембрану, ядро чи протоплазму. До того ж діє вона на різні органи. Результати, звісно, будуть теж різні. Найнебезпечніше — ураження ядра, бо в ньому — генетичний матеріал клітини.

Викидання із зруйнованого четвертого блоку тривало принаймні протягом десяти днів. Перша радіоактивна хмара пішла на захід та північний захід. Друга - на північ. Затим вітер у черговий раз змінив напрямок і частина радіоактивної хмари пройшла між Києвом та Каневом.

Радіоактивні речовини випали на різні ландшафти та ґрунти, на села, ліси,

болота, на сільськогосподарські угіддя. На українській території, що терпить від забруднення, ліси становлять в різних районах від 10 до 40%, решта ж – сільськогосподарські угіддя.

Тепер уже ясно, що радіоактивним забрудненням охоплені значні сільськогосподарські території з найрізноманітнішими культурами, які, природно, по-різному реагують на забруднення. Ситуація погіршується і тим, що аварія не має аналогії у світовій практиці не лише за масштабами. В повітря у Чорнобилі було викинуто близько 450 ізотопів радіонуклідів. З них більша пайка припадає на короткоживучий ізотоп йод-131. Він давав буквально 80-90% радіоактивності в перші дні аварії. Поступово, з припиненням викидання, радіоактивність спадала. Вимирали короткоживучі ізотопи. На сцену виступали короткоживучі, наприклад, рутеній, радій та інші. Зараз вміст ізотопів значно зменшився, і перше місце посідають цезій-137 та стронцій-90. Крім того, виявлені трансуранові елементи: плутоній, америцій та деякі інші.

Оскільки аварія мала дуже своєрідний характер, горів графіт, сильно підвищилася температура, то і фізико-хімічний стан їх радіонуклідів виявився незвичайним. І на ці особливості радіонуклідів слід обов'язково зважити при оцінці екологічних наслідків аварії. Особливо ж на дію «гарячих частинок».

Що це за частинки? Перш за все - оксиди та карбіди деяких рідкісних металів. Вони погано змиваються водою з рослин та ґрунту. Рослини поглинути їх не змогли, вони постійно мандрували. Їх підхоплював вітер і відносив з місця на місце. Все це створювало специфічні, невідомі раніше типи забруднень. Таким чином, чорнобильська аварія не була подібна жодній з таких аварій у світі не лише за масштабами, а й за якістю забруднення території.

Наріжним каменем, який має бути покладено в основу радіаційної екології, є уявлення про так звані стохастичні та нестохастичні ефекти.

Коли доза опромінення невелика, можна з певним ступенем ймовірності припускати, скільки людей захворіє. А коли доза дуже велика, то можна вже впевнено говорити про те, що людина, яка одержала її, захворіє на лейкемію, або загине. Ці ефекти можна передбачити з 100-процентною ймовірністю. Спеціалісти називають їх нестохастичними. В Чорнобилі не доводиться, за винятком декількох десятків випадків, говорити про нестохастичні ефекти. Випадки променевої хвороби непоодинокі.

Виявлення ж стохастичних ефектів залежить від багатьох умов, та насамперед - від величини дози. Із стохастичними ефектами пов'язане ще одне надзвичайно важливе в нашому випадку поняття колективної дози опромі-

нення. Колективне опромінення - це сумарне опромінення великих популяцій. Це бомба сповільненої дії. Річ в тім, що більша частина пошкоджень в популяції має характер прихованих рецесивних мутацій. Але при шлюбх такі мутації можуть переходити в гомозиготний стан і проявлятися, що в наступних поколіннях призводить до різних генетичних порушень. Ступінь ймовірності цих порушень визначається за так званим коефіцієнтом ризику.

Для оцінки екологічних наслідків чорнобильської аварії дуже важливо знати точні коефіцієнти ризику. Проте тут є свої труднощі. Коефіцієнти ризику розраховані давно - для Хіросіми та Нагасакі, для тих, хто піддався рентгенотерапії, для сімей рентгенологів. Для умов Чорнобилю коефіцієнту ризику, по суті, немає. Тим паче, що останнім часом коефіцієнти ризику навіть для цих давніх катастроф будуть переглядатися. Є офіційно затверджені міжнародною комісією з радіологічного захисту коефіцієнти ризику, і за ними в принципі можна підрахувати можливі наслідки. Проте ці коефіцієнти дуже орієнтовні й помилки в підрахунках, напевне, будуть дуже великі.

Якими можуть бути приблизні екологічні наслідки аварії і як їх подолати?

Нещодавно одержані цікаві дані, що дозволяють передбачити деякі можливі екологічні наслідки. Радіація пошкоджує ДНК. Проте в Чорнобильській трагедії на арену виступають якраз інші процеси, як не дивно, не пов'язані з утворенням пухлин чи появою аномалій у нащадків. Віддалені ушкодження, що виявляються через місяці, роки, чи десятиріччя після опромінення – результат в основному ендокринного балансу. Проте, як не дивно, внаслідок цих ушкоджень розвиваються деякі «звичайні» захворювання, як от: запалення легенів, інфаркти (при уражених судинах), нервові захворювання. В деяких випадках може вражатися навіть імунна система. До речі, це найбільш вірогідний наслідок таких аварій.

Одразу ж після аварії в Києві з'явилася велика кількість здохлих мишей та пацюків. Сама по собі обставина незвичайна. Відомо, наприклад, що на атолі Бікіні після вибухів саме пацюки почувалися непогано. В Києві ж не було такої високої радіації, яка б привела до смерті цих тварин. Що ж було? Ось тут постало питання про можливість передбачити реакції організму і розв'язувати рівняння з багатьма невідомими. Яка ланка подалася в цих тварин, що мимоволі виявилися піддослідними? Чи не можна використати цю інформацію для вивчення становища з людьми?

З'ясувалося, що смерть тварин не пов'язана напрямки з радіоактивністю, що тут вступають в дію механізми опосередкованих реакцій. Під час аварії

були викиди радіоактивного йоду. Цей йод, як показали експерименти, накопичувався в щитовидній залозі, спричиняючи зміни в її роботі. Це впливало на гіпофіз, що регулює імунні відгуки організму. У тварин послабився імунітет, і вони загинули не від радіації, а від епідемії, що спалахнула серед них.

Така ж історія може статися і з людьми, в даному разі, на щастя, не з такими трагічними наслідками. Епідемії не було, та все ж певне зростання захворювань мало місце (і має). Послаблення імунітету як непрямого наслідку радіації зараз спостерігається в багатьох контингентів мешканців м. Києва. Збільшилась тривалість різних захворювань, в тому числі запалення легенів, важче протікає епідемія грипу. Медики нарікають на послаблення імунітету, і цілком можливо, що це - результат аварії. Втім, тут немає нічого катастрофічного. Є чимало засобів виправити становище. На жаль, ніхто не повідомляє населення, як поводитися. Адже є прості засоби, котрі допоможуть зміцнити імунну систему. Наприклад, потрібні вітаміни. Багато хто взагалі перестав їсти зелень, боячись радіації. Це зовсім неправильно. На організм, позбавлений вітамінів, радіація діє сильніше.

Зараз виник цілий клас завдань, які потребують наукового вирішення саме в плані зменшення колективної дози. Є, наприклад, речовини, що називаються радіопротекторами. Вони посилюють стійкість організму до радіації. Деякі протектори створюють в клітині нестачу кисню. Внаслідок цього клітина ділиться не так активно і кількість пошкоджень від радіації значно зменшується. Відомі такі речовини для гострих променевих ушкоджень. Проблема зараз полягає в тому, щоб знайти радіопротектори для хронічного опромінення. Завдання можна вирішити. Це - різні групи вітамінів, пектини, янтарна кислота, каротин, що міститься в моркві, і ще цілий ряд сполук. Найефективніші з радіопротекторів посилюють опір радіації приблизно вдвічі.

Під час аварії збільшилося вживання алкоголю. Люди довідалися, що етиловий спирт також є радіопротектором. Це так і не так. Річ у тім, що спирт, справді, посилює стійкість проти радіації в 1,13 рази, проте водночас він руйнує молекули вітамінів, котрі самі є протекторами. Тобто, ефективність спирту скоріше негативна. Значно краще пити морквяний сік, або інші соки, в яких міститься каротин. Як видно, незважаючи на слабкість теоретичної бази та своєрідність аварії, радіобіологія може дати деякі корисні рекомендації.

Є певні засоби зменшення колективної дози опромінення. В найближчі

роки радіоактивні атоми в дуже великому обсязі почнуть включатися в трофічні ланцюги, що ведуть в організм людини та тварин. Приховувати це безглуздо. Треба не приховувати, а діяти.

Зростання колективної дози можна сповільнити в основному за рахунок правильного харчування та використання речовин, що блокують вплив радіації. Блокування надходження радіоактивних часток по трофічних ланцюгах - проблема величезної складності. Але вже чимало тут зроблено. Дуже багато питань потребують термінового вирішення. Наприклад, з ряду районів, розташованих по західному та північному сліду радіоактивної хмари (Народницький, Поліський райони) й досі можливе надходження забрудненої продукції. На цих територіях необхідно вирощувати технічні культури. При певних забрудненнях ґрунту слід підвищувати кількість добрив та вапна. Наприклад, цезій поводить ся стосовно рослин так само, як і калій. Якщо вносити калійні добрива, то за певних умов можна зменшити надходження в рослини цезію. Тому потрібно дуже дбайливо ставитися до калійного живлення рослин. А от надходження стронцію гальмується за допомогою кальцію. Можна й треба застосовувати позакореневе підживлення, яке зменшує інтенсивність всмоктування радіоактивних речовин. Тут можна досягти великого ефекту. В остаточному підсумку ці прості заходи зменшують колективну дозу.

На жаль, розглянуті питання вирішуються дуже повільно. Так, в лабораторії Д.Н. Гродзинського був розроблений спосіб позакореневого підживлення рослин за даних умов радіоактивного забруднення. Спосіб був випробуваний вже в 1986-1987-х роках. Щоб встигнути до посівної, ламали, вирубували моноліти ґрунту з озиминою, ставили експерименти, вивчали, як поводять себе сполуки в ґрунті. Внаслідок цього вчасно були розроблені рекомендації, і лабораторія зразу ж подала документи до Агропрому України. Відповідь, до того ще й негативна, надійшла тільки влітку, коли підживлювати було вже запізно. В цьому відомості навіть не розібралися, про яке підживлення йдеться і для чого воно потрібне. На жаль, це не поодинокий випадок недбалого ставлення до пропозицій вчених.

У нас є велика ймовірність попадання на стіл неконтрольованої забрудненості сільськогосподарської продукції. Те ж відбувається і з водою. Можна виміряти рівень радіоактивності води, і він не перевищить норми, проте накип на чайнику може бути радіоактивним.

Ми не можемо поки що певно передбачити всі екологічні наслідки, однак запобігти зростанню колективної дози в популяції ми повинні. Бо це можли-

во. Через непоінформованість люди самі собі підвищують дози опромінення. Наприклад, останнім часом на селах часто трапляються випадки підвищеної радіоактивності в печах. Палять печі соняшником, а саме в ньому виявилася велика кількість радіонуклідів.

Виникають і найнесподіваніші проблеми. Наприклад, в районі Чорнобиля з'явилася величезна кількість качок. Це природно: тут спокійно, мало людей, багато корму. Проте ці сотні тисяч качок акумулюють радіоактивні речовини, відлітають в різні місця. На стіл може попасти радіоактивна дичина. Це не дрібниця, бо в справі радіації дрібниць нема. Це проблема і вона ще раз говорить про те, що необхідні (окрім всього іншого) і індивідуальні засоби контролю. Незважаючи на те, що вже є посібники з радіоекології, за рекомендацією спеціалістів ми наводимо найголовніші індивідуальні засоби контролю.

Всім слід пам'ятати

1. Середня річна доза опромінення людини від зовнішніх і внутрішніх випромінювачів іонізуючої радіації становить 77 мілірад, що відповідає радіаційному фону 0,0087 мілірад за годину (мрад за год).

2. Поверхневому забрудненню ґрунтів радіонуклідами, що випромінюють гама-радіацію, в 100 кюрі на 1 км² відповідає фон радіації над землею 1 мР/год. Отже, по радіаційному фонові можна оцінювати ступінь радіоактивного забруднення навколишнього середовища.

3. Зараз внаслідок аварії на ЧАЕС основними радіонуклідами, що забруднюють середовище, є цезій-137, стронцій-90, рутеній-106, церій-144. Стронцій-90 випромінює бета-частки, тому його наявність не реєструється по гама-радіації.

4. Надходження радіонуклідів в сільськогосподарські культури залежить від типу ґрунту: на чорноземах винесення рослинами цезію-137 та стронцію-90 менше, ніж на легких сіро-лісових або луково-болотяних ґрунтах.

5. Накопичення радіонуклідів в рослинних та тваринних організмах може перевищувати вміст їх в ґрунті.

6. Через те, що частина радіонуклідів міститься в нерозчинному стані в так званих «гарячих частках», то, крім зовнішнього опромінення від радіаційного фону та від внутрішнього - від продуктів харчування, певного значення набуває потрапляння «гарячих часток» при диханні - інгаляційна компонента опромінення. Тому слід у належний спосіб зменшувати запиленість приміщень та уникати пилу. Це має особливе значення в сільськогосподарському виробництві при тих технологічних процесах, де працю-

ючий перебуває в умовах сильної запиленості. Необхідно забезпечити герметичність кабін тракторів, комбайнів, автомобілів тощо.

7. Зменшити накопичення радіонуклідів в продукції рослинництва можна шляхом підвищення доз мінеральних добрив, вапнування кислих ґрунтів, позакореневого підживлення розчинами добрив, що містять калій і кальцій, та внесенням органічних добрив.

8. Критичними продуктами щодо радіонуклідів можуть бути молоко та м'ясо, які становлять важливу частину раціону людей.

9. Технічна обробка продуктів харчування приводить до зменшення вмісту в них радіонуклідів. Зокрема, з м'яса при його варінні переходить в бульйон до 50% стронцію-90, 20-50% цезію-137. З картоплі та буряків при чищенні вилучається 30-40% стронцію-90. З риби при варінні в юшку переходить незначний відсоток стронцію, але до 60% цезію-137.

При обробці молока радіонукліди розподіляються таким чином: у вершки переходить лише 50% стронцію-90, а в сир - до 45%.

10. Режим харчування дозволяє контролювати рівень надходження радіонуклідів в організм людини. Зменшує засвоєння радіонуклідів введення в раціон продуктів, що містять в своєму складі пектин та деякі органічні кислоти. Тому раціон необхідно збагачувати на фруктові соки, яблука та інші фрукти.

11. Слід стежити за тим, щоб у раціоні була достатня кількість овочів, які завдяки наявності в них значної кількості баластних речовин сприяють моторній функції кишечника. Водночас слід зберігати повноцінність раціону стосовно білків, вуглеводів, мінеральних речовин, жирів тощо.

12. Зважаючи на можливі віддалені наслідки підвищеного рівня фону радіації бажано в раціоні забезпечити наявність природних речовин антимутагенної дії. До таких природних речовин належать каротиноїди - жовті, або жовтогарячі пігменти. Багатим джерелом каротиноїдів є морква, обліпіха. Каротин моркви найкраще засвоюється при вживанні її в тушкованому вигляді. Багато каротиноїдів міститься і в інших овочах та ягодах; є вони і в гарбузах. Антимутагенною дією характеризуються і антоціани - пігменти рослин, що містяться в клітинному соковій й надають забарвлення квіткам, плодам та листкам. Отже, споживаючи ягоди, можна збагачувати раціон і на ці важливі з точки зору профілактичної дії речовини.

13. Антимутагенну активність виявлено в таких лікарських рослинах: льонок звичайний, підбіл звичайний (мати-й-мачуха), пижмо звичайне, грицики звичайні, буркун білий, лопух павутинистий, герань лучна, верба біла,

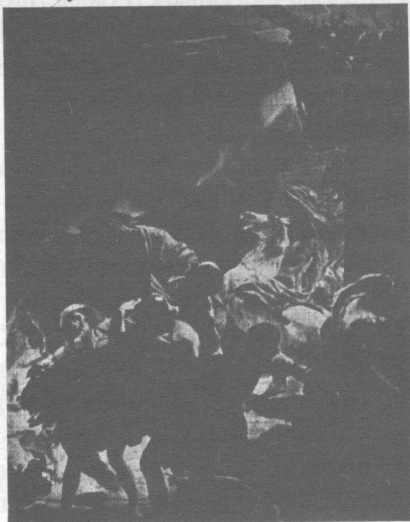
дягель лікарський, звіробій звичайний. Використання лікарських рослин необхідно здійснювати під керівництвом лікаря, або народного цілителя.

14. Антимутагенна дія притаманна також екстрактам з деяких овочів. Наприклад, екстракти з капусти, редьки, капусти цвітної інактивують мутагенну активність продуктів перетворення нітрату. Високою антимутагенною активністю характеризуються також екстракти із зеленого перцю, яблук, лопуха, цибулі, листя м'яти, імбиру, баклажанів.

15. Оскільки під дією йоду-131 може дещо послаблятися і імунітет, так само, як і під дією інших отруйних забруднювачів, слід стежити за тим, щоб у раціоні була достатня кількість всіх необхідних людині вітамінів. На особливу увагу заслуговує вітамін С, аскорбінова кислота. Багатими на цю речовину рослинами є чорна смородина, плоди шипшини, суніці, червоний перець, зелена цибуля, капуста, томати тощо. У фруктах вітамін С поєднується з вітаміном Р, що має істотне значення. Зауважимо, що аскорбінова кислота досить нестійка і руйнується при зберіганні продуктів та при кулінарній обробці. Тому необхідно стежити за тим, щоб в раціоні обов'язково були свіжі овочі й фрукти, соки, екстракти.

16. Дуже важливим у підвищенні стійкості організму до будь-яких несприятливих впливів є здоровий спосіб життя: правильне чергування праці й відпочинку, перебування на свіжому повітрі, фізичні вправи, повноцінне, ні в якому разі не надмірне, харчування.

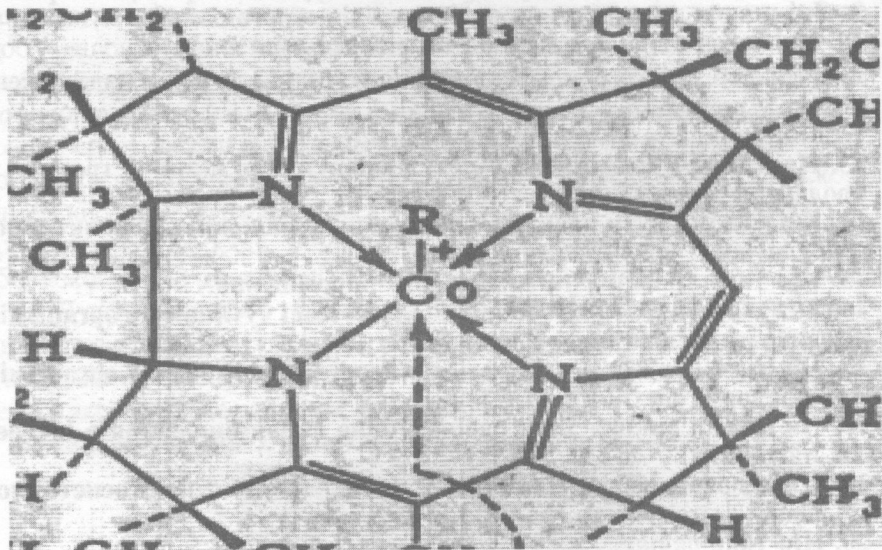
Бажано по можливості уникати психологічних стресів.



Перевірте себе

1. Які ви знаєте типи іонізуючого випромінювання?
2. Що таке доза опромінення?
3. Що таке рівень радіації і в яких одиницях він вимірюється?
4. Що таке природний радіоактивний фон Землі і який він?
5. Які наслідки для здоров'я людей має радіоактивне випромінювання?
6. Що таке радіаційний контроль?
7. На які групи поділяють прилади радіаційного контролю?
8. Якими радіоізотопами зараз особливо забруднена територія України?
9. Які шляхи надходження радіонуклідів в організми?
10. Які зараз найбільш небезпечні радіоізотопи і чому?
11. Яка залежність між вмістом радіонуклідів у ґрунті і надходженням їх у рослини?
12. Які ви знаєте ліміти доз опромінення?
13. Назвіть допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію і стронцію в продуктах харчування і питній воді?
14. Які можуть бути практичні заходи по зменшенню радіоактивної забрудненості рослинної продукції?
15. Що таке хронічна та гостра дози опромінення?
16. Яка залежність між величиною хромосом і чутливістю організмів до радіоактивного опромінення?
17. Чи існує порогова доза радіоактивного опромінення організмів з точки зору генетики і чому?
18. Чи можна використати радіоактивне випромінювання в інтересах людини?
19. У чому особливість радіоактивного опромінення на екосистемному рівні?
20. Що таке радіоактивні опади?
21. Які радіоізотопи накопичуються в особливо великій кількості у водних організмах?
22. Які особливості накопичення радіоізоотопів в організмі людини?
23. Які є категорії радіоактивних відходів?
24. В чому переваги і недоліки атомної енергетики?
25. Коротко охарактеризуйте наслідки аварії на ЧАЕС.
26. Який термін експлуатації АЕС?
27. Який взаємозв'язок між АЕС і водними екосистемами?
28. Що таке колективна доза опромінення?
29. Дайте пояснення стохастичним і не стохастичним ефектам радіоактивного опромінення.
30. Що таке радіопротектори?
31. Яке значення вживання алкоголю під час радіоактивного забруднення?
32. Яких основних правил слід дотримуватися людям після аварії на ЧАЕС?

СИСТЕМНА ЕКОЛОГІЯ



Застосування системного аналізу в екології називається системною екологією. У минулому проблеми, пов'язані з середовищем мешкання людини, намагалися вирішувати методом проб та помилок. Досвід показав, що таким шляхом йти далі не можна. Тому на сцену вийшла самостійна наука - системна екологія, як формалізований цілісний підхід. Це стало можливим по двох причинах: 1) розвиток могутніх формальних методів - математичних методів, кібернетики та обробки даних на ЕОМ тощо; 2) формального спрощення складних екосистем (як найреальніший шлях вирішення проблем середовища мешкання людини).

Природа математичних моделей

Математичні символи - це зручний спосіб стислого описання найскладніших по своїй структурі екологічних систем; математичні рівняння дозволяють виразити можливий характер взаємодії компонентів системи. Процес переведення хімічних, фізичних, або біологічних процесів, що протікають в будь-якій системі у математичні залежності, рівняння і операції над одержаною таким чином математичною системою і називається системним аналізом. Математична система називається математичною моделлю, яка, звичайно, являє собою абстрактне і неповне уявлення про екосистему, або іншими словами, абстрактне і спрощене відображення реального світу. Однак усяка теорія про природні явища обов'язково основана на спрощенні тому, як висловився Напте Шоу, являє собою... чарівну казку.

Математичні моделі служать екологу могутнім інструментом, бо орієнтовані відповіді та завбачення відносно істотних моментів значно важливіше точного знання неістотних деталей. Бо для завбачення поведінки системи не обов'язково точно знати про найпростіші субкомпоненти.

Цілі побудови моделей

Моделі будуються для різних цілей. Частіше їх будують для завбачення зміни системи у часі. Їх можна використовувати для визначення загального напрямку досліджень. Моделі оцінюються по трьох параметрах: реалістичності, точності і загальності.

Реалістичність - це ступінь відповідності словесних виразів моделі біологічній дійсності. Точність - це ступінь відповідності кількісних показників моделі реальності. Загальність - це діапазон прикладності моделі (число ситуацій, в яких модель може працювати).

Математична модель складається з чотирьох основних елементів. Системні перемінні — це ряди чисел для представлення стану системи в будь-який момент часу. Передаточні функції описують потоки енергії, речовин, або взаємодії між компонентами екосистеми (блоками). Вимушуючі функції описують фактори, які впливають на компоненти, а самі під їх вплив не підпадають. Постійні величини, або константи математичних рівнянь, називаються параметрами.

Моделі бувають детерміновані і стохастичні. Детерміновані на відміну від стохастичних не враховують випадкових змін параметрів та функцій.

Приклади. Біологічні перемінні кількості енергії на трофічних рівнях, час, що необхідний хижаку для засвоєння однієї жертви, число тварин чи рослин у популяції, швидкість якого-небудь процесу тощо; їх позначають символами і записують у вигляді:

$$B = 430$$

$$P = 800$$

$$R = 370$$

де B - чиста продукція, що в якийсь момент часу рівна 430;

P - валовий фотосинтез, рівний 800;

R - дихання, рівне 370 в той же момент часу.

Тоді математична модель буде складатися з набору рівнянь, що описують перенесення енергії від компонента до компонента.

Параметрами цієї моделі будуть - ефективність споживання, швидкість дихання і тому подібні величини. Передаточні функції задаються (в загальному виді) вказівкою того, як змінюється кожна перемінна:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = f(B, FB),$$

де $\frac{\Delta B}{\Delta t}$, або $\frac{dB}{dt}$ — швидкість зміни у часі чистої продуктивності,

$f(B)$ - функції від B ; F_B - значення вимушуючої функції.

Майже всі екосистеми являються відкритими, тобто пов'язані входами і виходами з більшою екосистемою. Ефекти входів можуть виражатися вимушуючою функцією (F_B).

Методи побудови моделей

Тут немає твердих правил. На практиці при екологічному моделюванні застосовують дві стратегії.

1. При побудові блокових моделей основна увага приділяється кількості енергії і речовин в окремих блоках (компонентах) системи. Блокові моделі будують у вигляді систем простих диференційних рівнянь. Блокові моделі є узагальненими, але не реалістичними. Параметри оцінюють за даними експериментальних спостережень за змінами величини блоків у часі; ці спостереження не викликають змін і порушень в екосистемі. Основна увага приділяється описанню і узагальненню даних.

2. У методі, основаному на аналізі експериментальних компонентів, основна увага направлена на докладний аналіз екологічних процесів (конкуренція, хижацтво тощо), на рівнях, що описують систему, а не на виявленні кількісних оцінок. Моделі, що основані на аналізі експериментальних компонентів, звичайно реалістичні і точні. Параметри встановлюють на основі експериментального вивчення процесів, виділених з екосистеми. Дані польових спостережень використовую лише для загальної перевірки. Тут головне значення надають завбаченню реакції системи на порушення.

При великомасштабних дослідженнях складних екосистем поєднують риси обох підходів.

Застосування в екології блокових моделей описано Патте-ном (1971) і Ван Дайном (1969). Екосистема розглядається як складена з окремих блоків енергії або поживних речовин. Припускається, що складні процеси, що створюють кожний блок, врівноважують один одного, в результаті чого поведінка блоків в цілому виходить простою. Дані для блокових моделей звичайно отримують вимірюванням величин блоків у часі. Для знаходження параметрів багаторазово вирішують рівняння, змінюючи константи до тих пір, доки не буде досягнута найбільша відповідність результатів, що видаються моделлю, польовим вимірюванням блоків. Модель вважається незадовільною, якщо її неможливо підігнати до наявних польових даних.

Як приклад практичного використання блокової моделі наведемо випадок системного аналізу досить простої екосистеми - скельного залізорудного відвалу, що являє собою первинну екосистему на початковому етапі сукцесії (Чайка, 1987). Продуктивність їх обумовлена життєдіяльністю гетеротрофних (оліготрофних бактерій та грибів) і фототрофних (ціанобактерій та водоростей) мікроорганізмів. Було встановлено, що скельні породи містять незначну кількість органічного вуглецю, який дає початок гетеротрофному розвитку екосистеми. Які темпи розвитку екосистем (відвалів), як підвищити їх продуктивність? Відповіді на ці питання на основі прямих спостережень одержати не можна через «молодість» відкритих залізорудних родовищ. Наявність же тисяч гектарів, що являють собою протягом ось уже більше двох десятиріч місячний ландшафт і потребує термінової відповіді на ці питання. У даній ситуації незамінним є системний аналіз. Побудуємо математичну модель екосистеми скельного відвалу, спираючись на експериментальні дані по відвалах різного віку до 20 років («найстаріші») і за її допомогою спробуємо відповісти на поставлені питання.

Вивчення скельних відвалів показало, що основними компонентами цих первинних екосистем є фракції 1 мм - дрібнозем (М), гетеротрофні (Н) та фототрофні (Р) мікроорганізми і пізніше - рослини (Р), накопичувана в системі органічна речовина (G). Розвиток екосистем базується на енергетичних взаємозв'язках між компонентами, що в даному випадку можна представити наочно у вигляді блокової моделі (мал. 51). Згідно з моделлю на вході в систему - дрібнозем гірської породи. При розробці кар'єрів, транспортуванні породи та відсіпці відвалів утворюється стартова доза дрібнозему - M_0 . В ньому знаходиться певна кількість органічного вуглецю і мікроорганізми, що використовують це джерело енергії на побудову своїх клітин і на дихання. В результаті життєдіяльності мікроорганізмів руйнуються кам'янисті фракції - збільшується блок М. Руйнування гірської породи відбувається також під впливом факторів неживої природи. В певний момент t в системі (яка розвивається) набуває еко-

логічної значущості блок Р: в системі починає діяти нове джерело енергії - фотосинтез; з часом блок Р рослин - P_1 . В кінці кінців розвиток екосистеми буде проявлятися у накопиченні чистої продукції - у зростанні блоку G. Межа цього росту, як можна припустити, буде досягнення запасів гумусу в зональному чорноземному ґрунті (на контрольній ділянці в 10-сантиметровому шарові на 1 м^2 запаси гумусу становлять 24750 ккал).

Компоненти - блоки Н, Р і P_1 ми виразимо у річній продукції в кілокалоріях (1 г сухої речовини бактерій і грибів - 5,3 ккал, фототрофів - 4,9 ккал, 1 г органічного вуглецю - 10 ккал). Характеристика компонентів системи кварцитних відвалів різного віку, що відображає динаміку системи на початкових етапах (до 20 років) одержуємо експериментальними вимірюваннями.

Ми не наводимо характеристику блоку z: енергетична значущість протистів, згідно з нашими даними, невелика; екологічну значущість тварин виражаємо як 80%-ну втрату чистої первинної продукції рослин, а останню приймаємо за 13000 ккал / м^2 рік (Одум, 1975). Значення G приймаємо як вміст викопного органічного вуглецю в Мо. Динаміку блоку виражаємо диференційним рівнянням

$$(1) \quad \frac{dN}{dt} = a_1 + a_2 H + a_3 P,$$

де a_1, a_2, a_3 - параметри при факторах зовнішнього середовища, гетеротрофних та фототрофних мікроорганізмах. Ріст популяцій організмів виражаємо рівнянням логістичного росту (2; 3, 4):

$$(2) \quad \frac{dH}{dt} = rH \frac{(K - H)}{K},$$

$$(3) \quad \frac{dP}{dt} = TP \frac{(K_1 - P)}{K_1},$$

$$(4) \quad \frac{dP_1}{dt} = T_1 P_1 \frac{(K_2 - P_1)}{K_2},$$

де r, T і T_1 - біотичні потенціали, що характеризують притаманну організмам внутрішню здатність до збільшення чисельності; $K, K_1,$

K_2 - максимально можливі річні продуктивності гетеротрофів та фототрофів.

Блок G до вступу в дію блоку P_1 буде поповнюватися викопним вуглецем з блоку M (kM , де k - вміст в кварцитах вуглецю, помножений на 10 ккал; в нашому випадку - $0,0025 \times 10 = 0,025$), продукцією H і P за відрахуванням гетеротрофного дихання - nH .

Оскільки $H - nH = (1 - n)H = bH$ і n завжди більше одиниці, вираз bH буде із знаком мінус. Отже, динаміку блоку G виражаємо диференціальним рівнянням (до появи рослин):

$$(5) \quad \frac{dG}{dt} = \frac{dkM}{dt} + P - bH$$

Інтегруючи рівняння (2), (3) і (4), одержуємо:

$$(2.1) \quad H = \frac{K}{1 + e^{a-t}}$$

$$(2.2) \quad P = \frac{K_1}{1 + e^{a_1 - Tt}}$$

$$(2.3) \quad P_1 = \frac{K_2}{1 + e^{a_2 - T_1 t}}$$

де a - константа інтегрування, що визначає положення кривої відносно початку координат і рівна значенню $a = \frac{\ln(K-H)}{H}$ при $t = 0$; e — основа натуральних логарифмів.

Використовуючи експериментальні дані, складаємо для рівнянь 2.1 і 2.2 систему лінійних рівнянь при $t = 0, 3, 10, 20$ років і методом найменших квадратів знаходимо значення a, K, T, a_1, K_1 . Вони рівні: $a = 4,5$; $K = 30580$, $a_1 = 6,6$; $K = 8200$; $r = 0,17$; $T = 0,26$. Інтегруючи рівняння (1), підставляючи в нього інтегральні вирази H і P, виконуємо ряд спрощень і одержуємо рівняння (1.1):

$$M = M_0 + t(a_1 + a_2 K + a_3 K_1), \text{ звідкіля}$$

$$(1.2): \quad t_m = \frac{M - M_0}{a_1 + a_2 K + a_3 K_1},$$

Використавши експериментальні дані для M при різних значеннях t , складаємо систему лінійних рівнянь і, вирішивши їх, знаходимо значення параметрів: $a_1 = 710$; $a_2 = 0,08$, $a_3 = 0,004$. Час повного розпаду кам'янистих фракцій на дрібнозем в системі становитиме (вага породи в 10-сантиметровому шарові на 1 м² відвалів - близько 24500 г):

$$t_m = \frac{M_{\max} - M_0}{a_1 + a_2 K + a_3 K_1} = \frac{24500 - 39100}{1488} = 138 \text{ років}.$$

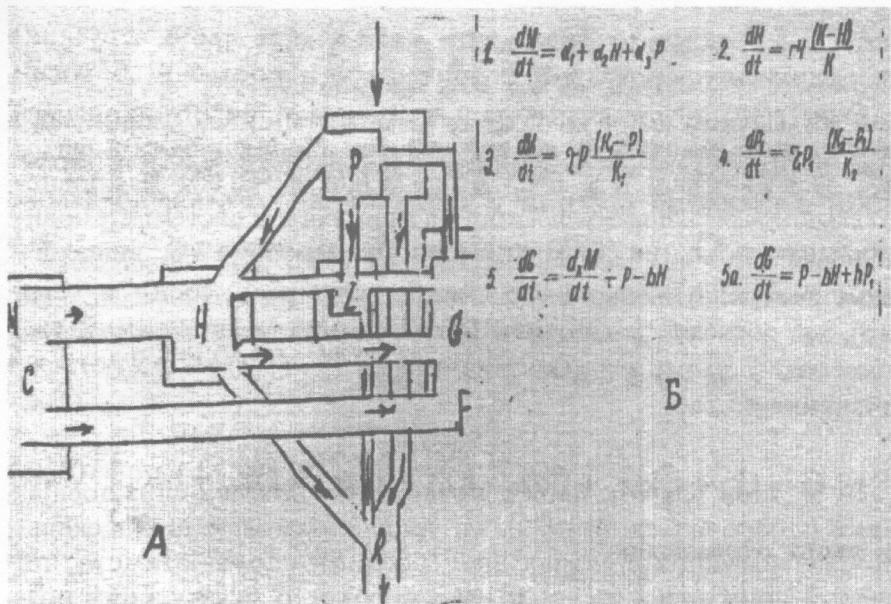
Виходячи з власних даних, а також результатів інших дослідників (Добровольский, 1979), ми дійшли висновку, що на скельних залізородних відвалах вищі рослини набувають істотної енергетичної ролі десь через 100-150 років. В зв'язку з цим розвиток екосистем на скельних відвалах можна грубо розділити на два етапи, до t_m , коли $M < M_{\max}$, і після t_m . Тоді рівняння (5) доповниться рівнянням (5а)

$$(5a) \quad \frac{dG}{dt} = P - bH + hP_1.$$

Повністю математична модель техногенних екосистем скельних залізородних відвалів представляється шістьма диференціальними рівняннями (мал. 51). Інтегруємо рівняння 5, підставивши в нього інтегральні вирази M , H і P , одержуємо:

$$(3.1) \quad G = G_0 + t[Ka_1 + (Ka_2 - b)K + (Ka_3 + 1)K_1] \quad \text{до } t_m$$

$$(3.2) \quad G = G_m + t(K_1 - bK + hK_2), \quad \text{після } t_m$$



Мал. 51.

А - Блокова модель потоку енергії через екосистему скельних відвалів.
 Б - Математична модель.

Час, за який система досягне зональних запасів гумусу, становить

$$t_{zon} = t_m + \frac{G - G_m}{K_1 - bK + hK_2}$$

Оскільки $G_m = C_{140}$ знаходимо по рівнянню 3.1, що $G_m = 4530$.
 Тоді при природному перебігу подій скельні відвали досягнуть зонального едафічного клімаксу за

$$t_{zon} = 140 + \frac{24750 - 4530}{30580 - 30586 + 52} = 580 \text{ років}$$

Це швидше, ніж прийнято класичним ґрунтознавством, але таке прискорення можна пояснити наявністю в залізистих породах суттєвої кількості органічної речовини, що включається мікроорганізмами в метаболізм. Наші дослідження показали, що при втручанні в хід природних подій на скельних відвалах можна створювати штучні фітоценози, які швидко розвиваються. З точки зору системного аналізу суть цього втручання у слідує: проводячи розрихлювачем посадочні борозни, ми збільшуємо вміст дрібнозему (а значить - і G_0), скажімо, в два рази (за даними конкретного дослідження). Вносячи торфофекалії в посадочні борозни у кількості 30 т/га, ми додатково збільшуємо G_0 на 3000 ккал/м². На підготовлену таким чином поверхню висаджуємо сіяння, наприклад, сосни кримської, що дозволяє виключити безрослинну стадію сукцесії екосистеми. У цьому випадку рівняння (3.1) і (3.2) об'єднуються в рівняння (3.2а):

$$(3.2a) \quad G = G_0 + t[ka_1 + (ka_2 - b)K + (ka_3 + 1)K_1 + hK_2]$$

$$\text{з якого отримуємо: } t = \frac{G - G_0}{ka_1 + (ka_2 - b)K + (ka_3 + 1)K_1 + hK_2}$$

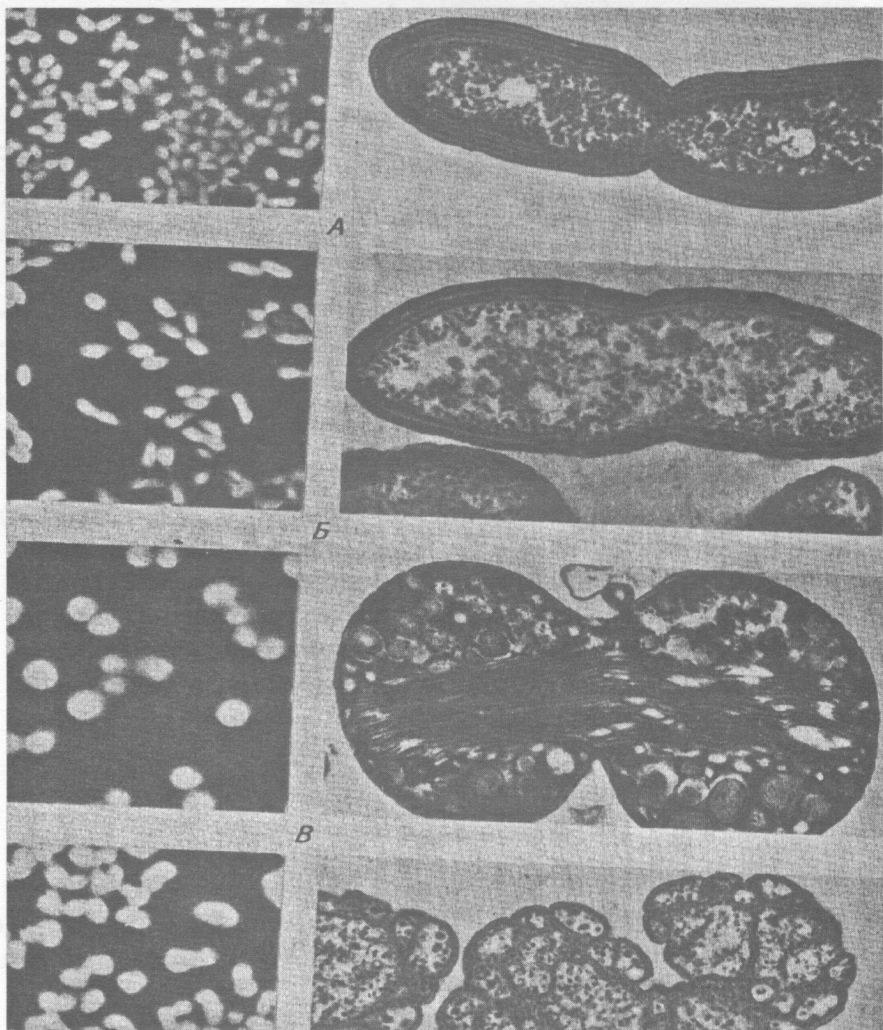
Підставляючи значення величин і вирішивши останнє рівняння, знаходимо, що рекультивация скельних залізорудних відвалів по простій схемі скорочує розвиток техногенних екосистем до 237 років.

Таким чином, можна планувати комплекс агротехнічних заходів, які прискорять розвиток техногенних екосистем. Застосування системного аналізу прояснює картину як природного розвитку відвалів, так і ефективності рекультивации.

Перевірте себе

1. Що таке системна екологія?
2. Значення і природа математичних моделей?
3. Для чого служать математичні моделі в екології?
4. Які ви знаєте правила побудови моделей?
5. Яка різниця між блоковими і математичними моделями?
6. Наведіть приклади практичного застосування математичного моделювання.

ПРОБЛЕМА ЕКОЛОГІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ



Основні принципи вивчення екології мікроорганізмів були розроблені в кінці XIX століття С.М.Виноградським і Бейерінком.

СМ. Виноградський підкреслював необхідність вивчення мікроорганізмів в їх природному середовищі. Відомі два правила Бейерінка: 1) все є повсюди; 2) середовище відбирає. Бейерінк відмічав, що екологічний підхід в мікробіології складається з двох фаз: вивчення умов розвитку мікроорганізмів і виявлення нових організмів, які з'являються в певних природних умовах, або в умовах культивування, тобто «відібрані середовищем» таким чином, що в цих умовах можуть існувати лише вони одні, або тому, що вони перемагають своїх конкурентів.

Останнім часом в екології мікроорганізмів превалює аспект їх вивчення, при якому увага приділяється аналізу функцій і рівня активності сукупності мікроорганізмів, а не вивченню окремих форм. Придається особливе значення кількісному ефекту метаболізму мікроорганізмів в оточуючому середовищі.

Численні труднощі, пов'язані з вивченням мікроорганізмів в середовищі їх мешкання, переважно технічні.

На перший погляд здається, що визначити кількість організмів у пробі дуже легка задача. Але у випадку з мікроорганізмами виявляється, що це надзвичайно складна експериментальна задача. Існує два підходи у вирішенні цієї задачі: 1) підрахунок колоній, що утворюються при рості клітин на плоскій поверхні живильного середовища; 2) прямий підрахунок у світловому мікроскопі.

Роберт Кох (1881) розробив метод, при якому підрахунок клітин зводиться до підрахунку колоній, що ростуть на твердому середовищі. Його ідея ґрунтувалася на двох передумовах: клітини повинні рости на вибраному середовищі і кожна колонія повинна уявляти собою потомство єдиної клітини. Метод Коха придатний для визначення розмірів популяції певних типів клітин і для порівняння розмірів популяцій з одним типом метаболізму, але він не може бути використаний для визначення загальної кількості мікроорганізмів. Чашечці методи дозволяють також виділяти окремі штами мікроорганізмів для вивчення в чистих культурах.

Другий метод визначення числа мікроорганізмів у пробі — пряме вивчення під мікроскопом. Тут використовують багато методик: клітини роблять флуоресцуючими за допомогою різаних фарбників, вико-

ристовують фарбники, що діють вибірково, застосовують електронний скануючий мікроскоп. Найбільш доступний метод — це прямий підрахунок мікроорганізмів у світловому мікроскопі з використанням фарбника карболового еритрозину.

При вивченні неперервної культури було показано, що численні ізоляти бактерій не здатні підтримувати ріст в певних природних водоймищах при концентрації лімітуючої речовини нижче деякої межі. Рівень цих остаточних концентрацій, які доступні, але не використовуються мікроорганізмами, залежить від різноманітних факторів (рН, Eh тощо). Для отримання порівнювальних даних необхідно кількість різних груп мікроорганізмів виражати їх біомасою. Для цього корисні такі критерії:

10^{13} бактеріальних клітин = 1 г. абс. сух. біомаси; питома вага мікроорганізмів = 1; середній діаметр гіфів мікроскопічних грибів 2 мкрм, актиноміцетів = 1 мкрм.

Біомасу грибного міцелію (і актиноміцетів) розраховують по загальній довжині обривків міцелію в 100 полях зору; об'єм спор, ціано-бактерій і водоростей визначають по їх кількості і середніх розмірах клітки основних груп.

Важливе значення при вивченні екосистем має вимірювання активності, яку проявляє мікробна популяція. Ця задача вирішується або з чистими культурами, або за допомогою хімічного аналізу на пробах з оточуючого середовища. В культурах за допомогою різних добавок були вивчені кругообіги неорганічних сполук. Фактично всі ключові організми в цих кругообігах були виділені завдяки застосуванню специфічних добавок. Цей метод є потужним засобом вивчення метаболізму в екологічних цілях, але для більш прямих досліджень природних популяцій необхідні додаткові методи.

Наприклад, визначення органічного вуглецю, ліпідів, вуглеводів дає якісні та кількісні оцінки запасів для усїєї системи. Ці дані дозволяють оцінити кількість і типи сполук вбудь-який момент. Найбільш важливою проблемою екології мікроорганізмів є кількісне вимірювання типів і потоків активності мікроорганізмів *in situ*.

Для дрібних організмів «швидкість» більш важлива, ніж стан стійкості. В деяких місцемешканнях - озерах, річках, в океані - загальний рівень метаболітичної активності мікроорганізмів дуже низький. Чутливість методів вимірювання багатьох реакцій значно підвищилась

завдяки застосуванню радіоактивних ізотопів. Виявилось, що залежність між швидкістю поглинання і концентрацією субстрату виражається кривою насиченості, а це свідчить про наявність кінетики першого порядку. Тобто природна змішана популяція в пробі води веде себе подібно чистій культурі, для якої характерна пряма лінія поглинання, що вказує на одноферментну реакцію. Але більш детальні аналізи показали наявність двох різних механізмів поглинання — один у бактерій і другий у водоростей. При низьких концентраціях субстрату у бактерій була виявлена специфічна система активного транспорту, тоді як у водоростей спостерігається градієнт дифузії при високих концентраціях субстрату. Слід відмітити, що всі бактерії можна розглядати як водні, чи всередині якого-небудь живого організму.

Зараз добре відомо, що врожай сухої речовини клітин (біомаси) анаеробних бактерій постійно пов'язаний з кількістю доступної завдяки бродінню енергії, яку можна виразити в молях АТФ. Середній урожай (УАТФ) рівний 10,5 г клітин на моль АТФ, що утворюється молям розщепленого субстрату.

Але величину УАТФ не можна використовувати для аеробів, бо число молей АТФ, що утворюються при аеробному катаболізмі невизначене і дуже варіює у різних мікроорганізмів. Ось чому роботами багатьох вчених був визначений інший, більш універсальний і точний показник - урожай Уккал - це урожай на 1 ккал засвоєної з субстрату енергії.

Лейберрі, Прохазі і Пейн (1967) показали, що зручніше розглядати субстрати з точки зору числа доступних електронів (д.е.), які вони мають. Наприклад, глюкоза містить 24 д.е., оцтова кислота - 8, гліцерин - 14, бензойна кислота - 30. Число д.е. для будь-якої органічної сполуки можна визначити, розрахувавши кількість кисню, необхідного для повного спалювання 1 моля сполуки, і помноживши отримане число молей O_2 на 4 - число електронів, необхідне для відновлення моля кисню. Вони встановили, що У д.е. в середньому становить 3,14 г/д.е. Вони ж передбачили, що відношення урожаю клітин при будь-якому типі бактеріального росту до суми енергій, отримуваних з культурального середовища в результаті як асиміляції, так і дисиміляції, повинно бути постійним. Вони вивчали теплоту згорання багатьох органічних субстратів, які використовують бактерії для росту і знайшли, що в середньому величина загальної енергії, отримана з культурального середови-

ща E_c - 26,5 ккал/д.е. Відтак, $E_c = E_a + E_d$, де E_a - асимільована в клітинній структурі енергія,

E_d - дисимільована при аеробному (окислювальному), або анаеробному (ферментативному) метаболізмі; теплота згорання бактеріальних клітин становить 5,3 ккал на грам.

$E_a = Y_s \cdot 5,3$, де Y_s - це відношення урожаю до числа молей засвоєного С із субстрату. При аеробному рості $E_c = E_a$.

При анаеробіозі E_d можна розрахувати, якщо знати баланс бродіння. Наприклад, при молочнокислому бродінні 1 моль глюкози (теплота згорання 673 ккал/ моль) розщеплюється на 2 моля лактату (326 ккал/моль).

Таким чином, на кожну кілокалорію енергії, отримуваної клітинами з культурального середовища, утворюється аеробно, або анаеробно 0,118 г клітин.

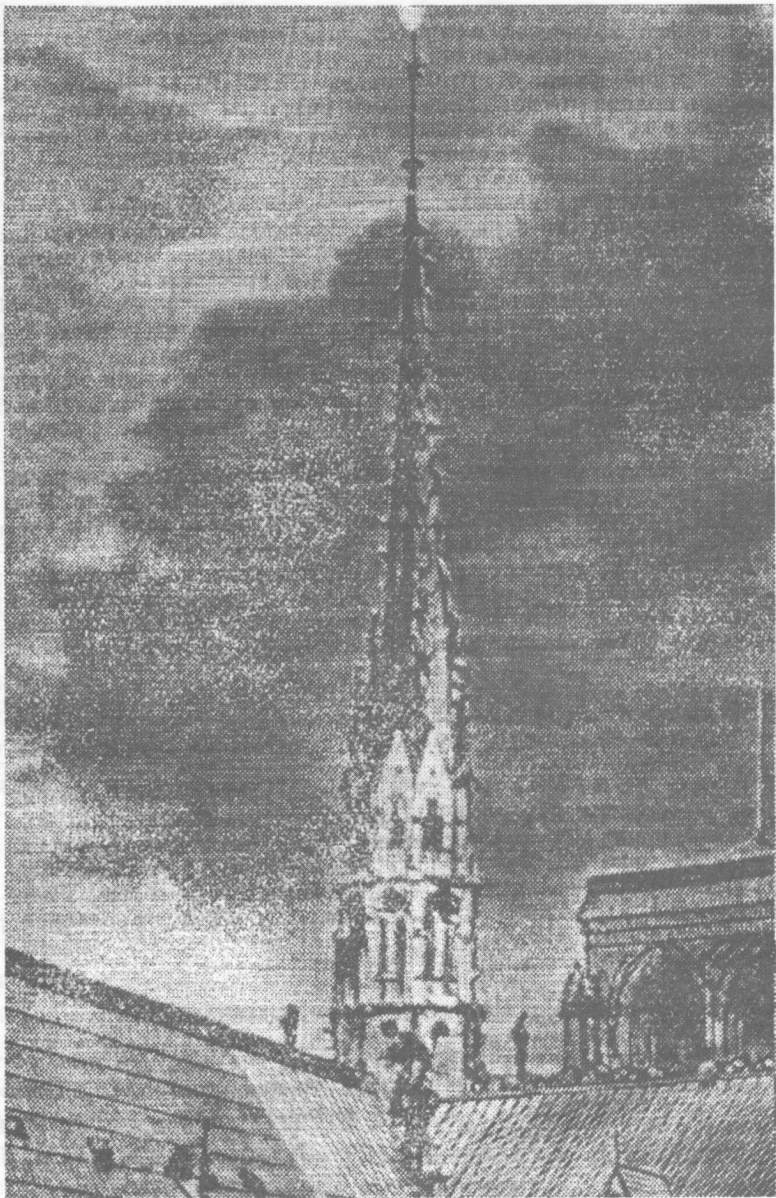
По вмісту поживних речовин місцемешкання діляться на дві обширні категорії: 1) з високим рівнем вмісту субстратів (31 г на 1 л або 1 кг) і 2) з низьким рівнем вмісту субстратів (мг на 1 л або 1 кг). З точки зору потоку, або постачання поживними речовинами місцемешкання можна поділити на 1) безперервні і 2) переривчасті; зустрічаються, звичайно, і проміжні градації. До середовищ з переривчастим постачанням і високим рівнем субстратів можна віднести лісову підстилку. Система складного шлунку жуйних тварин являє собою середовище з неперервним постачанням поживних речовин на високому рівні. Оскільки ця система анаеробна, вона неефективна для розвитку бактерій (тільки 10% енергії), але завдяки цій неефективності жуйні взагалі можуть існувати на такому субстраті, як клітковина. Основна частина енергії, що отримана в результаті діяльності бактерій, запасується в жирних кислотах, які утворюються з клітковини, але не розщеплюються далі. Жуйні самі здатні безпосередньо асимілювати ці кінцеві продукти. Таким чином, термін «ефективність» може бути досить обманливим. В цьому прикладі анаеробний метаболізм неефективний для бактерій, але високоефективний для жуйних.

Інша добре вивчена неперервна система з високим вмістом поживних речовин — активований мул. Тут важливу роль відіграють найпростіші, які, поїдаючи бактерії, підтримують тим самим їх метаболізм на певному рівні.

Слід добре засвоїти, що природне місцемешкання мікроорганізмів складається із стількох окремих відкритих систем, скільки в ньому представлено видів, причому кожна популяція контролюється своїм власним лімітуючим фактором; всі вони більше або менше взаємопов'язані і залежать від доступної енергії. Основні відношення між щільністю популяції, швидкістю росту і концентрацією лімітуючої речовини абсолютно різні в закритих і відкритих системах. У відкритих системах, наприклад, щільність популяції максимальна, коли швидкість росту і концентрації поживних речовин мінімальні. Концентрації поживних речовин збільшуються при зменшенні щільності популяції, а максимальна швидкість росту досягається тоді, коли поживних речовин багато і щільність низька. Ось чому при простому відборі проб система перетворюється із відкритої в замкнуту - тобто відбувається різка зміна оточуючого середовища агаром, часто вибіркоче для організмів типу «бур'янів», не здатних в природних умовах брати участь в метаболізмі субстратів. На звичайних контрольних середовищах такі «бур'янові» види заглушають ті форми, які активно ростуть при природних концентраціях субстрату. Таким чином, «клімаксні» мікроорганізми малокормних місцемешкань можуть залишитися непоміченими, бо в звичайних бактеріологічних середовищах рівень поживних речовин досить високий. Такі «зимогенні» та «автохтонні» мікроорганізми ґрунту. Для перших характерна вибагливість до високих концентрацій субстрату (їх активний ріст та діяльність проявляються тільки під час випадкового, або сезонного підвищення вмісту поживних речовин). Для другої групи характерні більш-менш постійні процеси кругообігу при низьких (звичайних для ґрунту) концентраціях поживних речовин. Зрозуміло, що автохтонна мікрофлора певного типу ґрунту і є власне ґрунтовою, притаманною тому чи іншому ґрунту.

Питання для закріплення матеріалу

- 1. Хто засновник екологічного напрямку в мікробіології?**
- 2. Які ви знаєте методи визначення кількості мікроорганізмів у пробі?**
- 3. У чому особливість визначення кількості міцеліальної мікрофлори (грибів, актиноміцетів)?**
- 4. Що таке УАТФ і яке значення його визначення?**
- 5. Що таке зимогенна і автохтонна мікрофлора ґрунту?**



БИОСФЕРА

Загальна характеристика біосфери

Початок вчення про біосферу пов'язують з іменем французького натураліста Ж.Б.Ламарка. В 20-х роках в роботах В.І.Вернадського було розроблено уявлення про біосферу як про глобальну одиницю системи Землі, де всі енергетичні та геохімічні перетворення визначаються життям. Ідеї Вернадського по-справжньому були оцінені у другій половині 20-го століття після виникнення концепції екосистеми.

Біосферою В.І.Вернадський назвав ту область нашої планети, в якій існує, чи коли-небудь існувало життя і яка постійно підлягає впливу живих організмів. Власне, термін «біосфера» був запропонований ще австрійським геологом Е.Зюссом у 1875 р. Але широке і глибоке уявлення про біосферу дав Вернадський. Основні ідеї свого вчення Вернадський опублікував у 1926 р. у книзі «Біосфера». За Вернадським організми представляють собою живу речовину, тобто сукупність усіх живих організмів у даний момент, виражену численно і в елементарному хімічному складі, у вазі і енергії. Вона пов'язана з оточуючим середовищем біогенним потоком атомів: своїм диханням, живленням і розмноженням. Отже, за Вернадським найістотнішою особливістю біосфери є біогенна міграція атомів хімічних елементів, обумовлена променистою енергією Сонця і яка проявляється в процесах обміну речовин, рості і розмноженні організмів. Ця біогенна міграція атомів підкоряється двом біогеохімічним принципам.

1. Прагне до максимального виявлення: виникає «всюдність» життя.

2. Приводить до виживання організмів, які збільшують міграцію атомів.

Це положення Вернадського зараз увійшло до основних екологічних законів – положення про біологічну міграцію атомів.

Згідно з сучасними уявленнями біосфера - це своєрідна оболонка Землі, яка містить усю сукупність живих організмів і ту частину речовини планети, яка знаходиться у безперервному обміні з цими організмами. Біосферу розглядають як найбільшу екосистему планети, яка підтримує глобальний кругообіг речовин.

Сучасне життя розповсюджене у верхній частині земної кори (літосфері), в нижніх шарах повітряної оболонки Землі (атмосфері) і у водній оболонці Землі (гідросфері).

Влітосфері життя обмежує перш за все температура гірських порід і підземних вод, яка поступово зростає з глибиною і на рівні 1,5-15 км перевищує +100°C. Найбільша глибина, на якій були виявлені бактерії - 4 км. В нафтових родовищах на глибині 2,5 км бактерії знаходяться у великій кількості.

Останнім часом виявлені бактерії на дні «чорних гейзерів» – на глибині близько 9 км.

У хімічному відношенні основну масу земної кори взагалі складають лише 8 елементів: O, Si, Al; Fe; Ca, Mg, Na, K, причому ведучим, найбільш розповсюдженим елементом, є кисень. Земна кора складена гірськими породами різного типу і походження: осадочних порід – 9,2%, метаморфічних – 20,0%, магнетичних – 70,8%.

В океані життя розповсюджене до більш значних глибин і зустрічається навіть на дні океанічних впадин на 10- 11 км від поверхні, де температура близько 0°.

Але за Вернадським нижню межу біосфери слід проводити ще глибше. Гігантські товщі осадочних порід поступово накопичуються в океані; вони теж частина біосфери, бо їх походження пов'язано з життєдіяльністю живих істот. У відповідності з динамічними процесами в земній корі осадочні породи поступово втягуються у глибину і метаморфозуються під дією температури і тиску. Отже, метаморфічні породи, як похідні від осадочних, є теж витвір життя.

Верхня межа життя в атмосфері визначається ультрафіолетовою радіацією, яка зростає з висотою. На висоті 25-27км більшу частину ультрафіолетового випромінювання Сонця поглинає тонкий шар – озоновий екран. Усе живе, піднімаючись вище озонового шару, гине. Спори бактерій і грибів виявлені на висоті до 25 км, але основна частина аерофітону зосереджена на висоті 1- 1,5 км. В горах межа розповсюдження життя сягає 6 км над рівнем моря.

Жива речовина біосфери

Хімічний елементарний склад живих організмів (за Вернадським – живої речовини) нашої планети характеризується перевагою небагатьох елементів – H, C, O, N, P, S, які є головними елементами живої речовини і називаються вони біогенними. Але у складі живих організмів виявлені усі хімічні елементи таблиці Менделєєва. Атоми цих елементів створюють в живих організмах складні молекули у поєднанні з водою і мінеральними солями. Ці молекулярні структури представлені головним чином вуглеводами, білками, ліпідами та нуклеїновими кислотами. Біохімічні процеси, які здійснюються в організмах, представляють собою складні, організовані в цикли ланцюги реакцій. На їх відтворення в неживій природі знадобилися б величезні енергетичні витрати. В організмах вони протікають при участі білкових каталі-

зоторів - ферментів, які знижують енергію активації молекул на декілька порядків величин. Жива речовина нашої планети існує у вигляді величезної кількості організмів зі своїми індивідуальними ознаками, різноманітністю форм і розмірів. Серед живих організмів є найдрібніші одноклітинні мікроорганізми і крупні багатоклітинні рослини і тварини. Розміри організмів коливаються від мікрометрів (бактерії) до десятків метрів. Гігантські рослини евкаліпти та секвої досягають висоти 150 м, сині кити мають довжину до 30 м і вагу до 150 т.

Населення біосфери дуже численне у видовому відношенні. Зараз на Землі існує понад 2 млн. видів організмів, з яких частка рослин - понад 500000 видів, тварин - понад 1,5 млн. Весь світ живих організмів поділяється на дві великі систематичні групи - прокаріоти (бактерії) і еукаріоти (усі інші організми). Бактерії і мікроскопічні еукаріотні гриби - це світ невидимих неозброєним оком живих організмів, представлений приблизно 100 тис. видів.

Серед рослин найчисленніші за видовим багатством – покритонасінні, представлені приблизно 300 тис. видів; серед тварин найчисленнішими у видовому відношенні є комахи (близько 1 млн. видів) і слимаки (10 тис. видів).

Органічний світ суші у видовому відношенні більш різноманітний, ніж органічний світ водного середовища: число видів тварин становить 93%, а водних – 3%. Серед рослин аналогічна закономірність – 92% припадає на сухопутні флори, 8% - на водні. Звідси витікає той факт, що умови для видоутворення на суші більш сприятливі, і що вихід організмів із води на сушу в геологічному минулому планети відкрив широкі можливості для прогресивної і прискореної еволюції. Було підраховано, що біомаса усього живого на Землі складає 1/11 000 000 маси усієї планети. Маса живої речовини поверхні континентів у 800 разів перевищує біомасу Світового океану. На континентах рослини рідко переважають своєю масою над тваринами. В океані ж має місце зворотне співвідношення – понад 90% біомаси моря складають тварини (дуже дрібні рослинні організми швидко поїдаються тваринами, але й швидко розмножуються).

Різні форми життя проникають в атмосферу планети. Мікроорганізми піднімаються угору повітряними потоками до великих висот. Активно і на великі відстані переміщуються птахи і деякі комахи.

Виникнення і еволюція біосфери

Виникнення життя і біосфери є чи не найбільша проблема сучасного

природознавства, яка ще повністю не вирішена. Сьогодні можна вважати, що життя виникло при переході хімічної еволюції до еволюції біологічної. Але час і місце цього переходу є загадка, до вирішення якої ми підійшли тільки в останній час. Спочатку користувалися неточними і некоректними методами визначення віку Землі. Але з відкриттям радіоактивності і використанням цього явища для вимірювання геологічного часу картина прояснилася. Методи ядерної геохронології виявили величезну тривалість геологічного часу, достатню для повного проявлення природного добору у віковому процесі біологічної еволюції. Вік Землі по сучасних оцінках становить 4,55 млрд. років, а вік найдревніших ділянок земної кори, що збереглися - приблизно 4 млрд. років.

Більшість авторів гіпотез про походження життя на Землі допускали, що протягом величезного проміжку часу наша планета була позбавлена життя, і на її поверхні, в атмосфері і в океані відбувався повільний абіогенний синтез органічних сполук, який привів до утворення перших примітивних організмів. Ця тривала хімічна еволюція охоплювала інтервал часу близько 1 млрд. років. Але для отримання точних відповідей необхідно було врахувати останні дані палеонтології і палеогеохімії.

Наші знання про живі організми, які були на Землі у далекому минулому, досить таки скудні. Мільярди особин предків сучасного живого світу безповоротно зникли в геологічному минулому, не залишивши після себе ніяких викопних залишків. Палеонтологи оцінюють, що в геологічному літопису збереглося лише 0,01% від числа видів, які колись населяли поверхню Землі. Відбитки та окаменілості (окаменіння – фосилізація) зустрічаються у відкладеннях останніх етапів геологічної історії, що охоплюють 570 млн. років. Цей період назвали фанерозоем, до якого відносяться три останні ери в історії земної кори: палеозойська, мезозойська і кайнозойська. Більш тривала попередня частина історії названа криптозоєм - 570-4550 млн. років тому. Вона позначається як докембрій. Організми криптозоєю не мали твердого скелету і були представлені переважно мікрофосиліями, вираженими в строматолітах.

У морфологічному відношенні строматоліти виявляються найбільш стародавніми проявами життя. Геохімічні сліди існування древніх організмів залишаються і у вигляді органічних сполук в

осадочних гірських породах земної кори. Накопичений величезний фактичний матеріал результатів аналізу ізотопних і інших методів сучасної геохімії підтверджують узагальнення Вернадського: «Для нашої планети встановлено існування життя в найдревніших нам доступних відкладеннях; з іншого боку, ніде ми не знайшли у біосфері гірських порід, які б вказували на їх утворення у відсутності живої речовини.

Згідно із сучасними даними космохімії, Земля належить до внутрішніх планет Сонячної системи і виникла в інших термодинамічних умовах, ніж гігантські зовнішні планети типу Юпітера і Сатурна, які дійсно у своїх воднево-гелієвих атмосферах містять аміак, метан та інші вуглеводні. Найближчі за складом атмосфери до Землі внутрішні планети Венера і Марс. Первинна атмосфера Землі містила головним чином H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , N_2 . Газу подібного складу виявлені в метеоритах. Таким чином, усі дані геохімії і космохімії не дають ніяких вказівок на присутність водню, аміаку і метану в ранніх планетах земної групи. Ці дані на користь того, що утворення основної маси органічних сполук, як родоначальників життя здійснювалося за межами Землі в період, що передував її утворенню.

Органічні сполуки містяться в метеоритах, яких зараз розглядають як документальних історичних свідків тих подій, що відбувалися в період утворення Сонячної системи, чи одразу ж після завершення цього процесу, оскільки їх вік (4,5-4,6 млрд. років) співпадає з віком Землі і Місяця. Правда, органічні речовини містяться не в усіх метеоритах, а у вуглистих хондритах. Метеорити - це уламки астероїдів. Більшість астероїдів, які рухаються в астероїдному поясі на відстані 2,3-3,3 астрономічних одиниць від Сонця, має склад вуглистих хондритів, тобто містять багато органічних речовин. Отже, дані свідчать, що утворення органічних сполук в Сонячній системі на ранніх стадіях її розвитку було типовим і масовим явищем.

В певних областях протопланетної туманності виникали водень-метан-аміачні суміші.

У цій суміші під впливом іонізуючої радіації могли протікати реакції, які дали набір органічних сполук. Слід відмітити, що протопланетна туманність була непрозора для ультрафіолетових променів.

Таким чином, зроблено висновок, що синтез досить складних органічних сполук, як попередників живої речовини, був законо-
мірним етапом в хімічній еволюції Сонячної системи напередодні
формування планет. Органічна речовина, що виникла в космічних
умовах, увійшла до складу багатьох тіл, та лише на Землі реалізува-
лися можливості подальшої прогресивної еволюції, які забезпечили
швидке виникнення саморегулюючих високомолекулярних систем
– безпосередніх попередників перших живих організмів. В метеори-
тах та астероїдах хімічна еволюція виявилася замороженою. При
цьому відмічають два шляхи вирішення проблеми подальшої ево-
люції. Або хімічна еволюція, розпочавшись в космічних умовах,
продовжилася в умовах Землі і за відносно короткий час привела
до утворення перших примітивних живих організмів; або ж до утво-
рення перших складних молекул ДНК, що лежать в основі спадко-
вості, відбулося в космічних умовах, а повна реалізація можливос-
тей ДНК настала в перших водоймищах нашої планети, які містили
розчинені органічні речовини. Тобто, космічний синтез органічних
речовин створив на ранній Землі кормову базу для перших гетеро-
трофних організмів (вірніше, їх попередників) .

Отже, перша біосфера в історії Землі носила відновлювальний ге-
теротрофний характер в цілому. Перші форми життя були біохіміч-
но прості одноклітинні прокариотні організми, гетеротрофні за спо-
собом життя. Важливим переломним етапом в еволюції біосфери
був перехід до стадії автотрофної, що ґрунтується на диханні в окис-
лювальних умовах. Це було обумовлено виникненням фотосинте-
зуючих організмів, якими були ціанобактерії. У зв'язку з ростом і
розмноженням фотосинтезуючих організмів збільшилася кількість
вільного кисню і із водоймищ кисень перейшов в атмосферу, що ство-
рило передоснову утворення озонового екрану. Цей переломний етап
у розвитку біосфери відбувся понад 4 млрд. років тому.

Поява еукаріотних одноклітинних організмів 2-1,5 млрд. років
тому була важливою подією в історії органічного світу, необхідною
для виникнення багатоклітинних тварин. Другою подією було
збільшення вільного кисню в атмосфері, що створило передумови
для експансії органічного світу на поверхню континентів. Точна дата
виникнення багатоклітинних тварин не зафіксована. Були знайдені

лише залишки численних представників м'якотілих безхребетних тварин (фауна бентосу) у верхньодокембрійській формації в Австралії, що відноситься до періоду 600-700 млн. років тому. На початку фанерозою (600 млн. років тому) відбулися важливі зміни у складі морської фауни. Багато тварин набувають хребет - тверду частину тіла. Еволюція тварин протягом тривалого періоду відбувалася у водному середовищі, насиченому киснем.

В межах біосфери відбувалося утворення осадових порід, які відображали еволюцію живого. Біогенний етап седиментації тривав протягом усього фанерозою.

В ранньому палеозої (в силурійському періоді) жива речовина планети у масовій кількості виходить із водного середовища на поверхню континентів. Утворюється наземна флора і фауна. Різко зростала маса живого. Жива речовина континентів незабаром стала різко переважати над масою океанічної живої речовини. Збільшення маси живої речовини супроводжується ускладненням її якісного складу, а також використанням мінеральних компонентів для побудови внутрішнього та зовнішнього скелетів. У метаболізмі клітин беруть участь складні металоорганічні сполуки (гемоціанін, гемоглобін тощо). Різко зростає вплив живих організмів на геохімію океану та атмосфери. Формується сучасний хімічний склад атмосфери і розчинених речовин гідросфери.

Розвиток біосфери носив незворотний характер. Бельгійський палеонтолог Л.Долло сформулював закон незворотності еволюції: «Організм не може повернутися, хоча б частково, до попереднього стану, який вже був здійснений його предками».

Геологічний і біологічний кругообіги речовин. Стабільність біосфери

Понад 90% енергії, яка надходить на поверхню Землі, складає випромінювання Сонця. Ця енергія витрачається у величезних кількостях у фізичних і хімічних процесах в гідросфері, атмосфері, літосфері: перемішуванні повітряних і водних мас, вивітрюванні, випаровуванні, перерозподілу речовин, розчиненні мінералів, поглинанні і виділенні газів тощо.

На Землі є один-єдиний процес, при якому енергія не тільки витрачається, але й зв'язується, запасається на дуже тривалий період. Іде процес фотосинтезу. Спалюючи кам'яне вугілля, нафту, ми витрачаємо сонячну енергію, яку запасли рослини мільйони років тому. Основна планетарна функція живої речовини на Землі полягає, таким чином, у зв'язуванні і запасанні сонячної енергії, яка згодом витрачається для інших процесів в біосфері. Для сучасної біосфери характерні поклади вугілля та інших органічних речовин, що утворилися в далекому минулому (палеозой, мезозой).

В біосфері мікроорганізми здійснюють у великих масштабах окислення та відновлення елементів із перемінною валентністю (сірка, азот, залізо тощо). Мікроорганізми-відновлювачі гетеротрофні: вони використовують як джерело енергії органічну речовину. Це денітрифікатори, сульфатредуючі бактерії. Вони відновлюють азот до елементарного стану, а сірку - до сірководню. Мікроорганізми-окислювачі можуть бути як гетеротрофами, так і автотрофами. Це бактерії, що окислюють сірководень у сірку, нітрифікуючі бактерії, залізо- та марганцеві бактерії, які концентрують ці метали у своїх клітинах.

Геологічні результати діяльності цих організмів проявляються в утворенні покладів сульфідів металів (в анаеробних умовах), залізо- та марганцеворудних покладів (в аеробних). Під дією мікроорганізмів відбувається в масштабах усієї Землі робота по розкладанню органічних залишків. Це процес мінералізації. Продукти мінералізації знову використовуються автотрофами. Крім того, у ґрунті частина мінералізованих речовин ароматичної природи під впливом мікроорганізмів знову конденсується у складний комплекс сполук - гумус із значним запасом енергії. Гумус, як відомо, є основою родючості ґрунту. Його розкладання потім протікає дуже повільно під впливом автотонної мікрофлори ґрунту. Цим досягається стабільність у забезпеченні рослин доступними поживними елементами мінерального живлення.

Процес розкладання органічних речовин, при якому звільняється енергія, характерний для усієї біосфери, де є живі організми, тоді як фотосинтез протікає лише на поверхні суші і у верхніх шарах водоймищ. Частина органічних речовин потрапляє в несприятливі для деструкторів умови і захоплюється, консервується у складі осадових порід. Тому синтез органічних речовин в масштабі біосфери дещо переважає над деструкцією. Ця незбалансованість процесів синтезу і розкладання органічних речовин в біосфері визначила кисневий режим сучасної атмосфери Землі.

Єдине джерело надходження вільного кисню в атмосферу - фотодиссоціація молекул води у верхніх шарах атмосфери - незначне. Виділений кисень знову використовується на дихання при окисненні органічної речовини. Але оскільки частина органічних речовин знаходиться в осадових породах, то еквівалентна кількість кисню залишається в атмосфері. Значна його частина витрачається на окислення мінералів.

Накопичення кисню в атмосфері почалося ще в докембрії; на початку палеозою його вміст в атмосфері становив близько 10% від сучасного. З того часу його вміст в атмосфері постійно зростає (хоч і були різкі коливання). Весь наявний запас кисню в атмосфері - $1,6 \times 10^{15}$ г; зелені рослини можуть відновити його за 10 тис. років.

У верхніх шарах атмосфери під впливом ультрафіолетового випромінювання із кисню утворюється озон. Утворення озонового екрану із кисню біологічного походження є факт створення живою речовиною собі області життя.

Вуглекислий газ надходить в атмосферу в результаті дихання організмів. Абіогенний вуглекислий газ, що надходить в атмосферу при виверженні вулканів, складає лише 0,01% біогенного. Витрачається CO_2 при органічному синтезі і при вивітрюванні гірських порід та утворенні карбонатів. Вміст CO_2 в атмосфері у ранній період розвитку життя був вищим. У девоні і карбоні він перевищував сучасний у 6-10 разів.

Азот атмосфери хімічно інертний, але його здатні засвоювати мікроорганізми-азотфіксатори (азотфіксуючі бактерії). Після їх загибелі азот переходить у доступні для рослин форми і включається у кругообіг.

До газів органічного походження відносяться також сірководень, метан, фітонциди тощо. Продукуючи і споживаючи газоподібні речовини, організми підтримують постійність складу повітряної оболонки Землі.

Багато організмів здатні накопичувати різні елементи у своєму тілі, не зважаючи на те, що деякі із них знаходяться в мізерних концентраціях в оточуючому середовищі. При відмиранні організмів ці елементи можуть у великій масі захоронятися, утворюючи поклади корисних копалин.

Жива речовина біосфери активно бере участь у міграції атомів у біосфері через систему великих і малих кругообігів.

Сонячна енергія обумовлює кругообіг води в планетарних масштабах. В межах планети він виражається у водообміні океан - материки. Вода випаровується із поверхні океану, надходить на материки, випадає на них у вигляді опадів і з річковим та підземними стоками зову повертається в океан.

Робота, яка здійснюється на Землі водами - вивітрювання, розчинення тощо, відбувається або з участю організмів, або за рахунок продуктів їх життєдіяльності. Переміщення води в біосфері здійснює процеси ерозії, транспорту, перерозподілу, осадження і накопичення механічних та хімічних осадків на суші і в океані.

Сонячна енергія обумовлює і планетарне переміщення повітряних мас в результаті нерівномірного їх нагрівання. Виникають грандіозні процеси атмосферної циркуляції, які носять сезонний характер.

Усі ці планетарні процеси на Землі тісно переплетені, утворюючи загальний, глобальний кругообіг речовин, який перерозподіляє енергію Сонця. Він здійснюється через систему дрібних, локальних кругообігів. До цих циклів підключаються тектонічні процеси обумовлені вулканічною діяльністю.



Мал. 52. Приклад біосферних кругообігів - кругообіг азоту.

В результаті на Землі підтримується великий кругообіг речовин (мал. 52).

Будь-який малий біологічний кругообіг характеризується багатократним включенням атомів в тіла живих організмів і їх виходом в оточуюче середовище, звідки вони знову можуть бути використані організмами. Швидкості цих включень і тривалість утримання у складі організмів для кожної конкретної екосистеми різні. Тому біологічний кругообіг характеризується такими показниками: а) ємністю біологічного кругообігу - кількістю хімічних елементів, що одночасно знаходяться в біомасі організмів в екосистемі; б) швидкістю кругообігу - кількістю живої речовини, яка утворюється і розкладається за одиницю часу.

Швидкість біологічних кругообігів на суші становить роки і десятки років, а у водних екосистемах - декілька днів або тижнів.

Біологічні кругообіги суші і гідросфери об'єднують кругообіги окремих ландшафтів водним стоком та атмосферними переміщеннями.

Великий геологічний кругообіг втягує осадові породи у глибину земної кори, надовго виключаючи елементи, що містяться в них, з біологічного кругообігу. В геологічній історії метаморфізовані осадові породи, опинившись знову на поверхні Землі, поступово руйнуються діяльністю води, повітря і живих організмів і знову включаються у біосферний кругообіг.

Для кожного елемента характерна своя швидкість міграції в малих і великих циклах. Так, весь кисень атмосфери проходить через живу речовину за 2 тис., а увесь вуглекислий газ - за 300 років. Локальні кругообіги здійснюються значно швидше.

Біосфера виступає як величезна, надзвичайно складна екосистема. Стабільність біосфери ґрунтується на високій різноманітності живих організмів, окремі групи яких виконують різноманітні функції у підтриманні загального потоку речовин і розподілу енергії, на тісному сплетінні і взаємозв'язку біогенних і абіогенних процесів. У біосфері діють складні системи зворотних зв'язків і залежностей.

Дослідження показали, що за останні 600 млн. років, починаючи із кембрію, характер кругообігів на Землі суттєво не змінювався. Змінювалися лише швидкості цих процесів. Допускають, що маса живого залишалася приблизно однаковою, починаючи із карбону, тобто, біосфера з того часу підтримує себе у певному режимі кругообігів. Стабільний стан біосфери обумовлений у першу чергу діяльністю самих живих організмів, які забезпечують певну швидкість фіксації сонячної енергії і біогенної міграції атомів. Таким чином, життя на Землі само стабілізує умови свого існування, що дає йому можливість розвиватися нескінченно довго.

Але стабільність біосфери має певні межі і порушення її регуляторних можливостей може мати серйозні негативні наслідки. Зараз на Землі з'явилася нова сила, що майже не поступається по могутності впливу на поверхневі оболонки Землі сумарній дії живих організмів - людство з його соціальними законами і потужною технікою. Сучасна діяльність людини багато в чому нанесла непередбачену шкоду оточуючому середовищу, але ці зміни ще не є непоправними. Тому одна із найголовніших задач екології - вивчення регуляторних механізмів в біосфері і створення наукової основи її раціонального використання.

Ноосфера

Поступовий розвиток живого в межах біосфери Землі приводить до зміни якісного стану самої біосфери, до переходу її в **ноосферу**.

Під ноосферою розуміють сферу взаємодії природи і суспільства, в якому розумна діяльність людей стає головним, визначаючим фактором розвитку. Ноосфера походить від грецького «ноос» – розум, визначає, таким чином, сферу розуму. Цей термін під впливом робіт Вернадського запропонував французький вчений Е. Леруа у 1927 р. В.І.Вернадський ноосферу розглядає як вищу стадію розвитку біосфери, яка пов'язана з виникненням і розвитком людського суспільства, яке, познаючи закони природи і розвиваючи техніку до високого рівня, стає найбільшою планетарною силою, яка незабаром перевищить усі геологічні процеси. Людське суспільство вже впливає на протікання усіх процесів в біосфері, глибоко змінюючи її своєю працею. Наукове та практичне значення робіт В.І. Вернадського, як засновника вчення про біосферу у тому, що він вперше глибоко обґрунтував єдність людини і біосфери.

Виникнення людського суспільства явилось результатом тривалого розвитку живого в межах біосфери. В межах біосфери виникла спочатку сфера первісної діяльності людського суспільства, яку можна назвати **антропосферою**. Початок її обумовив розселення людини по усій поверхні суші в результаті використання вогню. Оволодівши вогнем, людина стала відносно незалежною від клімату і заселила усі континенти, окрім Антарктиди. **Але антропосфера неминуче переходить в ноосферу – сферу свідомої діяльності.**

Оцінюючи роль людського розуму і наукової думки як планетарного явища, Вернадський прийшов до таких висновків.

1. Хід наукової творчості є тією силою, якою людина змінює біосферу, в якій вона живе.
2. Це змінення біосфери є неминуче і супутнє зростанню наукової думки.
3. Ця зміна біосфери відбувається незалежно від людської волі, стихійно, як природний процес.
4. А так, як середовище життя є організована оболонка планети – біосфера, то входження в неї нового фактору її змінення – наукової роботи людства – є природний процес переходу біосфери у нову фазу, у новий стан – в ноосферу.

5. В сучасний історичний момент ми бачимо це більш чітко, ніж могли бачити раніше. Тут розкривається перед нами «закон природи». Геохімія

та біогеохімія дають можливість виразити деякі важливі риси процесу математично.

Після Вернадського накопичився і продовжує накопичуватися величезний фактичний матеріал по біосфері, по господарській діяльності людського суспільства. Ноосфера, що народжується, характеризується такими головними ознаками.

1. Зростаючою кількістю добування матеріалу літосфери – зростанням розробки родовищ корисних копалин. Зараз вона перевищує 100 млрд. т за рік, що у 4 рази більше маси матеріалу, який виноситься річковим стоком в океан.

2. Масовим споживанням продуктів фотосинтезу минулих геологічних епох, переважно в енергетичних цілях. У зв'язку з цим в біосфері хімічна рівновага зміщується у бік, протилежний глобальному процесу фотосинтезу. Це неминуче приводить до зростання вмісту вуглекислого газу в біосфері і зменшенню вмісту вільного кисню.

3. Процеси в ноосфері приводять до розсіювання енергії Землі, а не до її накопичення, що було характерним для біосфери до появи людини. Виникає важлива енергетична проблема.

4. В ноосфері в масовій кількості створюються речовини, що були відсутні раніше, у тому числі чисті метали. Відбувається металізація біосфери.

5. Для біосфери характерне виникнення нових трансуранових хімічних елементів у зв'язку з розвитком ядерної технології і ядерної енергетики. Відбувається оволодіння ядерною енергією за рахунок поділу важких ядер. У недалекому майбутньому передбачається одержання термоядерної енергії за рахунок синтезу легких ядер, що дозволить повністю відмовитися від горючих корисних копалин, які використовуються як джерело енергії.

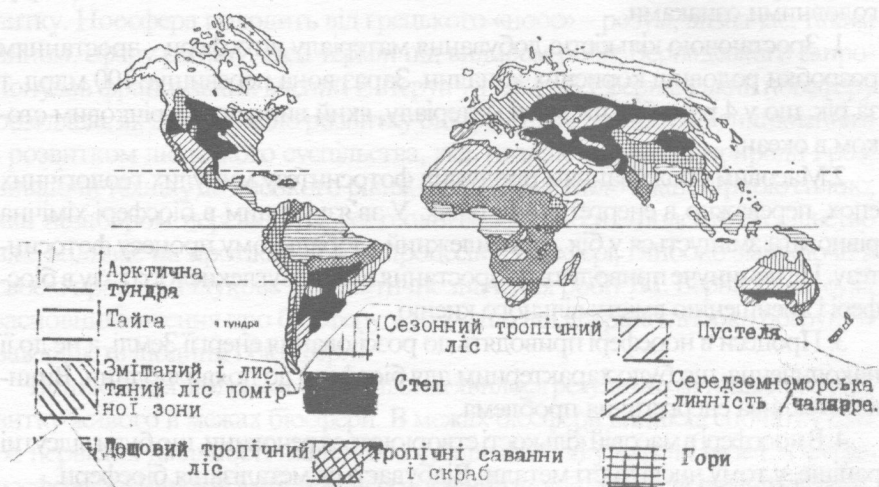
6. Ноосфера виходить за межі біосфери у зв'язку з величезним прогресом науково-технічної революції. Виникла космонавтика, яка забезпечує вихід людини за межі рідної планети. Відбувається освоєння космічного навколосонячного простору з непередбачуваними можливостями. Виникає можливість для створення штучних біосфер на других планетах.

7. У зв'язку з утворенням ноосфери в цілому наша планета переходить у новий якісний стан. Якщо біосфера – це сфера Землі, то ноосфера – це сфера Сонячної системи. Ноосфера у майбутньому стане особливою зоною Сонячної системи в пізнавальних і виробничих цілях людського суспільства.

Академік В.Є.Соколов справедливо відмічає: «Поки наші уявлення про біосферу не будуть закріплені у вигляді непорушних моральних норм, ми навряд чи зуміємо повністю побороти у собі безвідповідального спожива-

ча. Значить, екологічна мораль потрібна і потрібно, щоб вона була сформульована». Отже, вчення про біосферу суттєво зачіпає моральні сторони майбутніх поколінь, які повинні засвоїти досвід поколінь попередників.

Крупномасштабні просторові структури - біоми



Мал. 53. Розподіл на земній кулі основних сухопутних біомів

Типи екосистем, або структури, характерні для великопросторових кліматичних зон, називаються **біомами**. Їх межі в значній мірі довільні – вони переходять поступово один в другий, і остаточної згоди про їх число ще не досягнуто. Тут ми наводимо вісім біомів суші, розподіл яких по планеті наведений на мал. 53.

Остаточним фактором, який визначає тип біому, є клімат, оскільки і характер середовища обумовлюється в основному температурою, дощами і вітрами.

Тундра знаходиться навкруги Північного полярного кола за межами лісової зони. Невеликі її ділянки зустрічаються і на субантарктичних островах Південної кулі. Альпійська тундра присутня в подібних кліматичних умовах на великих висотах над рівнем моря (включаючи деякі гори в тропіках). Для цього біому характерна наявність вічної мерзлоти. Типову флору складають лишайники, мохи, осоки та карликові дерева. Комахи з'являються в обмежено певний сезон, а місцева фауна птахів та ссавців влітку поповнюється за рахунок мігрантів із більш низьких широт.

Північні хвойні ліси (тайга) поширена широким поясом, який охоплює Північну Америку і Євразію. Тут домінують вічнозелені хвойні породи дерев. Характерне зайняття величезних просторів одним-двома видами дерев.

Біом лісів помірної зони простягається від змішаних хвойно-широколистяних лісів (на більшій частині Північної Америки і Центральної Європи, де більшість місцемешкань змінено людиною) до вологих угруповань широколистяних порід. Останніх іноді називають дощовими лісами помірної зони.

Тропічний ліс дощовий – надзвичайно різноманітний, розташований між тропіками, у зонах, де річна норма опадів перевищує 200 см, де навіть у найпосушливіші місяці їх випадає не менше 12 см.

У більш посушливі частині тропічної та помірної зон розташовані трав'яні формації. Степ помірної зони має багато місцевих назв: **прерія, пампа, вельд**. У тропічній трав'янистій екосистемі, або **саванні**, можуть зростати як одні трави, так і окремі розкидані серед них дерева.

Чаппарель характерний областям середземноморського клімату (м'який, сира зима, посушливе літо) у Європі, на північному заході Мексики, в Каліфорнії, а також місцями на півдні Австралії, Африки і в Чилі. На різних континентах цей біом також має локальні назви: **маккія, фінбош, маторраль**. Опадів тут менше, ніж у степу. Домінують стійкі до засухи жорстколисті чагарники та низькорослі дерева з повільним ростом.

Пустелі розташовані у місцях з надто посушливим кліматом (середньорічна норма опадів менше 25 см, а якщо вона вища, то волога швидко випаровується). Для цього біому характерний досить широкий діапазон температур – від високих, наприклад у Сахарі, до дуже низьких, як в пустелі Гобі (Монголія).

Усі ці біоми наземні. Можна додати до них ще **прісноводний і морський**, які, звичайно, можна підрозділити більш детально.

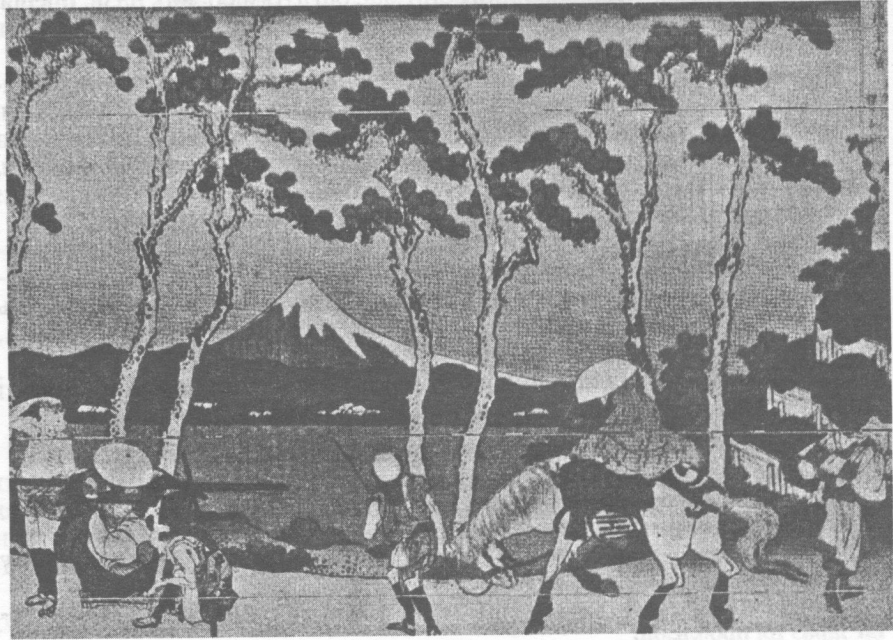
Питання для самоконтролю

1. Що таке біосфера?
2. Які межі біосфери?
3. Що таке жива речовина біосфери?
4. Де багатіший у видовому відношенні органічний світ - на суші, чи у водному середовищі?
5. У чому суть сучасних уявлень про виникнення життя на Землі і чи вирішена зараз ця проблема?
6. Яка різниця між хімічною та біологічною еволюціями? Що було першим?
7. У чому суть закону Долло?
8. Хто сформулював закон незворотності еволюції?
9. Яка різниця між геологічним та біологічним кругообігами речовин в біосфері?
10. Що таке малий і великий кругообіги речовин в біосфері?
11. На чому ґрунтується стабільність біосфери?
12. Чи має стабільність біосфери якісь межі? Якщо ні, в чому причина?
13. Що ви розумієте під ноосферою?
14. Як Вернадський оцінював роль людського розуму і наукової думки як планетарного явища?
15. Що таке біоми і назвіть їх.

...вони є найбільш розповсюджені в Європі та в Україні. Вони є найбільш розповсюджені в Європі та в Україні. Вони є найбільш розповсюджені в Європі та в Україні.

Троханський ліс добувають - надзвичайно різноманітний, розташований між тронками в зонах де рівня норми опадів перевищує 200

РЕЗУЛЬТАТИ ВПЛИВУ ЛЮДИНИ НА БІОСФЕРУ



...вони є найбільш розповсюджені в Європі та в Україні. Вони є найбільш розповсюджені в Європі та в Україні. Вони є найбільш розповсюджені в Європі та в Україні.

Масштаби впливу людини на природу сьогодні стали планетарними і ефект цього впливу перевищує природні процеси.

Людина щорічно добуває із земних надр більше 100 млрд. т корисних копалин, виплавляє 800 млн. т різних металів, розсіює на полях 500 млн. т мінеральних добрив. Щорічно спалюється близько 9 млрд. т умовного палива, що призводить до викиду в оточуюче середовище більше 2 млрд. т вуглекислого газу і більше 700 млн. т інших сполук. На нашій планеті за останні два століття площа лісів зменшилась з 56 до 26% поверхні суші.

Надмірне добування корисних копалин і підземних вод почало викликати осідання земної поверхні. Наприклад, в Донецькому вугільному басейні прогинання поверхні складає декілька метрів при діаметрі депресій до кількох кілометрів. Просідання основи греблі Красноярської ТЕС до 1972 р. досягла 30 мм. В Таджикистані при заповненні Нурекського водосховища на річці Вахш збільшувалась в декілька разів кількість землетрусів.

Величезні площі на земній кулі займають нафтогазоносні провінції, крупні вугільні басейни та кар'єри гірничодобуваючих підприємств. Тільки в СНД кар'єри займають площу більше 20 тис. км². Щорічне збільшення їх площ досягає 35 км².

Великі площі займають міста. В промислово розвинутих країнах вони займають 7-12% території держави. Найбільш активні дії людини на земну кору пов'язані з проведенням підземних ядерних вибухів в мирних цілях (для створення озерних котловин, підземних порожнин, гасіння газових пожеж, посилення нафтовіддачі тощо).

Клімат

Людина з давніх давен своєю діяльністю впливала на клімат. Проявлялися вирубка лісів, зрошення посушливих земель, створення штучних каналів та багато іншого. Ці зміни клімату до певного часу не були суттєвими. В останні ж десятиріччя діяння людини в окремих районах стали критичними та небезпечними для існування самої людини. В результаті господарчої діяльності в атмосферу викидаються величезні кількості хімічних сполук. Щорічно ця кількість становить 100-2600 млн. т. Це приводить до збільшення концентрації атмосферних аерозолей, що зменшує пряму сонячну радіацію на поверхню Землі. В результаті спалювання горючих корисних копалин кількість вуглекислого газу в атмосфері збільшується, що підвищує глобальну температуру поверхні Землі. Найбільш яскравим прикладом впливу антропогенного фактору на клімат планети є виникнення «озонової діри» над

Антарктидою. Відомо, що озон утворюється в атмосфері внаслідок складних фотохімічних реакцій. Хоч вміст його і невеликий, та значення величезне. Озон охороняє все живе на Землі від загибелі, бо поглинає ультрафіолетове випромінювання.

На початку 80-х років було встановлено, що кількість озону в атмосфері південної полярної області Землі почало зменшуватися. В жовтні 1985 р. з'явилося повідомлення, що концентрація озону в шарі 15-25 км над японською станцією Сьова в Антарктиді весною зменшилася в 2 рази, а вміст озону в атмосфері над англійською антарктичною станцією Халлі-Бей за останні роки катастрофічно падає. Це явище отримало назву «озонової діри».

В серпні 1986 р. експедиція Національного наукового фонду США провела комплекс робіт на Південному полюсі, що дозволило виявити основні причини утворення «озонової діри». Найбільш важливою причиною виявилось застосування фреонів (хлорфторвуглеводнів).

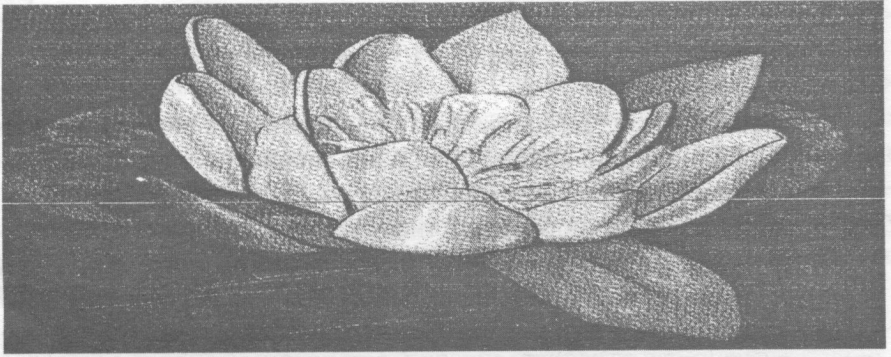
Фреони широко застосовуються у виробництві і в побуті як холодоагенти, розчинники тощо. Тривалість перебування їх в атмосфері — 50-200 років. В атмосфері фреони під впливом сонячного опромінення розкладаються на ряд сполук, з яких окис хлору руйнує озон. Встановлено, що над Антарктидою на висоті 18 км концентрація окису хлору в 100 разів вища, ніж в середніх широтах. Це призвело до зменшення вмісту озону на 50% в зоні «антарктичної діри» з 1980 по 1987 роки. Крім того, фреони збільшують, як і CO_2 «парниковий ефект», сприяючи глобальному потеплінню клімату. В розвинених країнах (Англія, Канада, США, Норвегія, Швеція) вже забороняється використання фреонів в аерозольних упаковках та вже знайдені заміновачі.

Благодатні краплі дощу завжди радували людину, але в деяких районах Землі дощі перетворилися в серйозну небезпеку. Виникла важка проблема кислотних дощів. Техногенні надходження сірки в атмосферу Землі досягають 100 млн. т щороку. 60% таких викидів пов'язано зі спалюванням вугілля, ще 30% - нафтопродуктів, 10% приходяться на підприємства хімічної промисловості та металургії. Проблему кислотних дощів вперше підняла Швеція в 1972 році на конференції ООН по оточуючому середовищі. З того часу вона перетворилась в одну з головних природоохоронних проблем людства.

Кислотні дощі, тобто сірчана та азотна кислоти, розчинені в атмосферних опадах, згубно діють на організми, наносять збитків сільському та лісовому господарствам; є певна небезпека для здоров'я людини. Тисячі озер в

різних країнах перетворилися в кислотні водоймища. Підвищена кислотність прискорює корозію металевих конструкцій, руйнує пам'ятники архітектури, плотини, мости.

Водні ресурси



Антропогенні перетворення вод також досягли глобальних масштабів. В 2000 році водоспоживання збільшилося у порівнянні з 1900 роком майже в 10 разів.

Зрошування є основним споживачем водних ресурсів. Причому, на відміну від промисловості більшість води при зрошуванні використовується безповоротно.

В минулому зрошувальне землекористування було життєво необхідним, його масштаби не приводили до серйозних змін гідросфери. В наш час у світі споруджено близько 30000 штучних водосховищ. Загальний об'єм водосховищ перевищує 60 млн. м³. В СНД у 237 великих водосховищах міститься 1173 м³ води, тут знаходиться найбільше водосховище - Братське море, а Куйбишевське займає друге місце в світі за поверхнею водного дзеркала. Вуликі штучні водосховища, канали проявляють серйозні негативні впливи на оточуюче середовище: змінюють на гірші ґрунти та рослинні угруповання, їх акваторії займають величезні ділянки родючих земель.

Куйбишевське водосховище, наприклад, розмиватиме свої береги 15-20 тисяч років. Якщо його не спустити, кожні 15 років доведеться вкладати мільйони карбованців, щоб урятувати навколишні землі. Що до каналу Дунай-Дніпро - у випадку реалізації цього проекту, в Україну буде

спрямована забруднена вода Дунаю, що збирається з усього промислового регіону середньої Європи.

Взагалі зараз ясно, що зрошувати водами сухі степи - злочин. На півдні України на глибині кількох десятків метрів лежать товщі четвертинних покладів солі. Кожен кубометр поливу в Одеській області підіймає за рік кілька грамів солей. Через деякий час весь благодатний південь України буде засолений. Чорнозем після 7—10 років поливу перетворюється в зливу гірську породу.

За 20 років площа перезволожених поливом земель в Україні збільшилась на мільйон гектарів. Поряд з введенням нових осушених площ понад 30% староорних земель виводиться з сільськогосподарського обігу. Тобто, якщо вводимо щороку 135 тисяч гектарів, то виводимо земель внаслідок їхньої деградації - з числа меліоративних - щорічно 46 тисяч гектарів. Отже третина капіталовкладень - 100 мільйонів гривень - гине.

Та й саме зрошування в Україні йде з перевитратою води. 50% зрошувальних земель підтоплено, бо перевитрачається на кожному гектарі 700 м³ води на рік. Сама норма поливу завищена на 30%. В цілому «переливається» 4 кубокілометри води.

Отже, зрошення на півдні України завдає великої шкоди чорноземам. Який вихід? Вихід, альтернатива є. Це - суха меліорація: пари, лісосмуги, безвідвальний обробіток землі.

В цілому по Україні за роки Радянської влади (до 1985 року) площа зрошуваних земель збільшилася з 17,6 тисяч га до 2,3 млн. га, осушених - з 430 тис. га до 2,9 млн. га. На 1990 рік площа поливних земель становила 2,8 млн.га, а на 2000 рік - 4,2 млн. га. Обсяг капітальних вкладень на меліоративне будівництво в одинадцятій п'ятирічці - 4,5 млрд. карбованців.

Такий розмах справ. А наявні потужності?

Виготовлення проектно-кошторисної документації для водногосподарського будівництва забезпечують п'ять проектних інститутів з філіалами в усіх областях республіки. В системі Мінводгоспу УРСР працювало 29 будівельно-монтажних трестів, у складі яких - 236 будівельних організацій. Обсяг щорічно виконуваних робіт становив близько 800 млн. карбованців. Довжина всієї зрошувальної мережі (каналів і трубопроводів) в Україні сягає 60 тисяч кілометрів, споруджено 828 водосховищ і близько 24 тисячі ставків. Загальний об'єм води у водосховищах країни досягає 52 куб. км. Здійснення широкої програми будівництва розподільних і

міжбасейнових каналів дає можливість подавати в маловодні райони з Дніпра 15 куб. км води (тобто, близько половини тієї кількості, що протікає в найбільшій річці республіки у маловодний рік).

У 1985 році з усіх річок, водосховищ, підземних горизонтів було забрано 36 млрд. кубометрів води, зокрема безповоротне водопостачання (тобто та кількість води, яка вже не повертається у водні джерела), становило 18,8 млрд. кубометрів.

Цифри вражаючі. Міністерство, яке є державним органом по регулюванню використання і охороні вод, оперує десятками мільярдів кубічних метрів води, щороку вкладає у будівництво мало не мільярд карбованців народних грошей. Діяльність його бурхлива: довжина тільки зрошувальних водоводів (не кажучи вже про осушення) значно перевищує довжину екватора Землі, а площа затоплених угідь утрічі більша за територію окремих держав, скажімо, Люксембурга.

А які ж результати такої масштабної трати сил і коштів? Може, населення і народне господарство України цілковито забезпечене водою - чистою, без шкідливих домішок? Може, завдяки тим мільйонам гектарів меліорованих земель і мільярдам кубічних метрів використаної на це води у нас уже вдосталь сільськогосподарської продукції? Або наші великі й малі річки тішать зір повноводністю і джерельною чистотою, розкішними луками і галями на своїх берегах? Можливо, не марнується винятково цінний ресурс природи - прісна вода, заощаджується кожна її краплина? І чи не стає за такого господарювання вода злою силою, яка перетворює родючі землі на болота, солонці, змиває ґрунти, спричинює зсуви, осідання, селі?

Дотепер понад 500 населених пунктів на півдні України терплять від нестачі вологи - питна вода завозиться сюди в цистернах, бо хоча й існує галузь «водне господарство», ніхто не подбав про розвиток конче потрібної мережі сільського водопостачання. Та хіба лише на півдні? Водного достатку не чекайте, заявляв Мінводгосп і повідомляв, що за його підрахунками щороку потреби у воді зростатимуть більш, як на один мільярд кубічних метрів. І вихід із становища вбачає в наступному: з метою залучення додаткових водних ресурсів, хоча б і з-за меж України, будувати все нові й нові водогосподарські об'єкти.

В 1970 році валовий збір на поливних землях сільгосппродукції склав 3,5 відсотки від тієї, що збиралася на всіх посівних площах республі-

ки, в 1985-му - 8,44 відсотки. Не більше! Спеціаліст одразу ж зрозуміє мізерність такого «приросту» - адже він менший навіть від коливання врожайності залежно від погодних умов. То заради чого ж тоді мільярди карбованців буквально зарито в землю і до всього ще й так грубо порушено екологічну рівновагу?

Не витримує критики й інший показник, яким «козиряють» меліоратори, - зростання за останні 15 років на 4,93 відсотки питомої ваги продукції зрошуваних земель. Мінводгосп намагався переконати в тому, ніби благополучного результату досягнуто за рахунок підвищення продуктивності, віддачі поливних земель. Та це не більше, ніж хитра маніпуляція цифрами, розрахована на простаків. Адже в останні роки завдяки масовому будівництву систем зрошення невпинно зростала площа поливних земель, а суходольних, навпаки, зменшується. Причому, вельми суттєво: якщо в 1970 році питома вага зрошуваних площ в Україні складала 2,33 відсотки, то в 1985 році — 6,67. Тобто маємо 4,34 відсотки приросту. А тепер виконаємо просту арифметичну дію - від 4,93 віднімемо 4,34 і матимемо реальний, а не удаваний показник «благополуччя», дарованого нам меліораторами. Так, усього лише на піввідсотка темпи зростання врожайності на поливі перевищили темпи розширення поливних площ. І ця мізерна величина, яку й зростанням якось ніяково назвати, обійшлася народу в мільярди карбованців витрат і екологічними збитками, які навіть визначити важко! Втім, про фіаско меліораторів не менш переконливо свідчать і полиці продовольчих магазинів, на яких бракувало стільки необхідного.

А тепер прикиньмо, як змінилося б наше життя, коли б усі ці кошти, матеріальні, людські ресурси було спрямовано на справжнє впорядкування водних багатств України, насамперед - відродження «капілярів» гідросфери: розчищення, благоустрій джерел і малих рік, тисячі з яких замулилися, зміліли, а то й пересохли зовсім; на впровадження технологій, що економлять воду; на припинення промислового й сільськогосподарського забруднення навколишнього середовища. Адже малі ріки й джерела не випадково називають кровоносною системою землі. І мудрість попередніх поколінь саме й полягала в тому, що така винятково важлива природна система оберігалася як святиня. До того ж не слід забувати, що вода - лише один з факторів врожайності, не менш важливим є стан ґрунтів, агротехніки, інших видів меліорацій земель (згадаймо хоча б лісо-

ву, що дає такі чудові результати в Україні), вміння використовувати добрива тощо.

Словом, об'єктивний аналіз переконливо свідчить: для умов нашої країни водні меліорації ефективні лише як локальний захід, а не як «загальнонародне завдання», аж ніяк не стануть вони фантастичним засобом, що, мов чарівна паличка, вирішить усі проблеми Продовольчої програми.

Величезне значення мають і малі річки, які слід довести до ладу. Це наша спільна любов і спільний наш біль. 60 відсотків водних ресурсів України дають ці скромні зовні річечки. Бо їх 22 тисячі - загалом завдовжки близько 200 тисяч кілометрів.

Води малих річок поливають чверть усіх зрошуваних земель, їхні заплави багаті на культурні пасовища і сінокоси. Вони відіграють визначальну роль у формуванні місцевого ландшафту і клімату, в їхніх басейнах багатий рослинний і тваринний світ. Нарешті, узбережжя річок - чи не найкраще місце для організації відпочинку, оздоровлення людей. Тобто, малі річки - справжня краса землі. Для багатьох із нас - незабутній спомин дитинства, той свій куточок рідної землі, де починається Батьківщина.

В якому ж стані перебуває ця наша водна скарбниця? На жаль, за минулі декілька десятиріч стан багатьох малих річок погіршився, скоротилася водність, збідніла флора і фауна. Тепер зрозуміло, що причиною цього була інтенсивна і здебільшого безконтрольна господарська діяльність. Вирубання лісів у басейнах, особливо біля джерел, призвело до скорочення стоку, розорювання земель до урізу води - до розвитку вітрової й водної ерозії, отже і забруднення, замулення русел ґрунтом. Далися взнаки й брудні стоки підприємств, тваринницьких комплексів, а також змиті з полів пестициди і мінеральні добрива.

Коли замулюються джерела, міліють невеличкі річки, виникає небезпека й для великих рік, для всього водного господарства. Щоб запобігти цій небезпеці, й було затверджено урядом республіки положення про водоохоронні зони малих річок і водоймищ. Відповідно до цього здійснюються захисні насадження, будуються гідротехнічні споруди. Безпосередньо біля річок виділено прибережні смуги, де заборонено регулярне розорювання ріллі, застосування отрутохімікатів, розміщення тваринницьких комплексів.

Роботи важливі, і намічений їхній обсяг - значний. Чималий досвід успішної їхньої реалізації мають у Полтавській, Сумській, Тернопільській, Рівненській, ряді інших областей. А от у Черкаській, Запорізькій, Донецькій, Одеській, Миколаївській областях справи набагато гірші. Тут чимало річок, ставів, водоймищ занедбані, втратили водорегулюючу спроможність. Органи водного господарства, місцеві ради народних депутатів ще не залучають необхідних коштів підприємств для розчистки русел. У цілому по країні виконуються ці роботи вкрай повільно.

І ще не скрізь пам'ятають: роботи по оздоровленню річок і водоймищ лише тоді дадуть належний економічний і екологічний ефект, коли проводитимуться комплексно, своєчасно, на основі наукових розрахунків. Тому й є таким важливим завдання, що вирішують на Україні вчені та спеціалісти - провести паспортизацію, скласти на її основі каталог малих річок.

Ґрунтовий покрив

В результаті впливу людини на біосферу суттєво змінюється природне життя земної поверхні - її ґрунтовий та рослинний покрив. На планеті лише близько 10% земель знаходиться під ріллею і в сільськогосподарській культурі. Землеробство світу на 40% зосереджено на чотирьох типах ґрунтів: чорноземах, темних ґрунтах прерій, сірих лісових та бурих лісових ґрунтах. Ці ґрунти розорані на 31-45%. Кращі ґрунти розорані, і в майбутньому людина змушена буде освоювати несприятливі земельні ресурси, застосовуючи меліорацію.

За 1961-1983 рр. площа ріллі збільшилася на 0,08, а пасовиськ - на 0,12 млрд. га. Незважаючи на величезні зусилля, приріст площ оброблених земель був незначним, тому забезпеченість ними людства знизилася з 0,45 до 0,31 га/чол.

В СНД на частку сільгоспугідь приходиться близько 600 млн. га, з яких ріллею та насадженнями зайнято 232 млн. га. При цьому серед оброблених земель 17,5 млн. га зрошуються. При неправильному використанні вони руйнуються, що пов'язано з розвитком ерозії, вторинного засолення, або прямим знищенням ґрунту при відкритому добуванні корисних копалин. Наприклад, в Криворізь-

кому басейні залізорудними відкритими розробками знищено близько 30 тисяч га родючих ґрунтів.

У світі спостерігається тенденція скорочення площ продуктивних земель за рахунок інтенсивної діяльності людини. Тільки в СНД загальна площа земель, порушених гірськими розробками, перевищує 1 млн. га. Тому виникла проблема рекультивації техногенних ландшафтів. Кінцева мета цих робіт - створення на порушених землях продуктивних біоценозів. За останні роки у світі досягнуті певні успіхи по рекультивації, загальна площа рекультивованих земель - близько 100 тис. га. Призначення продуктивних біоценозів різноманітне. Це і сільськогосподарські, і лісові угіддя, і рекреаційні зони. У кожному конкретному регіоні повинен бути свій підхід. Наприклад, в одному з найкрупніших в Україні промисловому регіоні - Кривбасі - принцип рекультивації сформульований в концепції докторської дисертації автора цієї книжки. Наведемо її тут.

Екосистеми скельних залізорудних відвалів починають розвиток з гетеротрофної сукцесії, завдяки чому зразу ж забезпечується можливість мінерального живлення рослин, але природної інспермації для швидкого розвитку фітоценозів недостатньо. Первинні мікробіоценози відвалів впливають на різні рослини при їх поселенні на відвалах, а специфічність хімічного складу гірських порід обумовлює своєрідність хімічного складу рослин. Простота енергетичної структури екосистем відвалів дозволяє змінювати її та прискорювати розвиток простими економічними засобами.

Лімітуючими факторами формування продуктивних культурних фітоценозів є на скельних відвалах кількість дрібнозему, на відвалах пухких порід - конкуренція рудерантів, на промайданчиках - промислові емісії, на шламосховищах - рухливість субстрату. Компенсацією лімітуючих факторів можуть бути деякі агротехнічні прийоми і толерантність певних видів рослин.

Оптимізація техногенних залізорудних відвалів можлива шляхом максимального прискорення розвитку їх структурних елементів, що можна здійснити шляхом створення на їх основі зелених насаджень захисно-декоративного призначення.

Ліси

Ліси займають близько 1/3 поверхні континентів. Загальна їх площа на земній кулі оцінюється в 422916 тис. га. Ліси - це один із видів ресурсів, які відновлюються. З кожним роком потреба в деревині зростає, а площа лісів зменшується. Особливо швидко знищуються тропічні ліси, що пов'язано з переводом земель, зайнятих ними, в сільськогосподарське використання, а також з будівництвом.

В рамках програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» на території Венесуели вченими проведений унікальний експеримент з вивчення екосистеми вологих тропічних лісів. За допомогою «мічених атомів» поживних речовин (кальцій, фосфор) було встановлено, що понад 99% їх було абсорбовано кореневим шаром. Це вказує на те, що практично всі поживні речовини, що звільнюються внаслідок розкладання органічних речовин, засвоюються безпосередньо коренями рослин, обходячи мінеральну частину ґрунту. Кореневий шар у вологих тропічних лісах запобігає втраті поживних речовин, не даючи їм вийти із системи. Ці дослідження дали змогу виявити велику слабкість екосистеми тропічних лісів при їх знищенні; незважаючи на життєстійкість і багатство біомаси, продуктивність цих екосистем різко падає. Вологі тропічні ліси виявились малостійкими до антропогенного впливу порівняно з лісами помірних широт; деякі вчені відносять їх навіть до категорії невідновлюваних ресурсів.



воюються безпосередньо коренями рослин, обходячи мінеральну частину ґрунту. Кореневий шар у вологих тропічних лісах запобігає втраті поживних речовин, не даючи їм вийти із системи. Ці дослідження дали змогу виявити велику слабкість екосистеми тропічних лісів при їх знищенні; незважаючи на життєстійкість і багатство біомаси, продуктивність цих екосистем різко падає. Вологі тропічні ліси виявились малостійкими до антропогенного впливу порівняно з лісами помірних широт; деякі вчені відносять їх навіть до категорії невідновлюваних ресурсів.

Людина зрозуміла, що її існування на планеті пов'язане з життям лісових формацій. Тому в усьому світі зараз проводяться роботи по штучному лісорозведенню.

Останнім часом робляться спроби кількісної оцінки негосподарської вартості лісів. Німечькі вчені підраховали, що рекреаційний ліс дає прибуток у 20 разів більший, ніж був би від використання його деревини. Прогулянки в приміському лісі сприяють підвищенню продуктивності праці, а також зменшують витрати на медичну допомогу. Прибутки національних парків у 10 разів вищі, ніж виручка від прямої експлуатації природних ресурсів. Жодні найефективніші ліки не можуть замінити лікувальної дії природних факторів. Повітря у хвойних лісах не тільки чисте від пилу та газів, шкідливих домішок, але і насичене іонізованим киснем, озоном, летючими цілющими речовинами - фітонцидами, що знищують хвороботворні мікроби.

Питома вага СНД в загальній площі лісів планети складає 21,9%, а по запасах деревини цей показник рівний 25,6%. У нас щороку заготовляється близько 400 млн. м³ круглого лісу - такого у світовій практиці немає. Та незважаючи на це, численні галузі народного господарства країн СНД відчують постійний дефіцит деревини. Досягнутий рівень використання деревини відстає від рівня, досягнутого в розвинутих країнах. Крім того, відбувається виснаження найбільш доступних лісових ресурсів.

Так, розрахунки інституту лісу і деревини Сибірського відділення АН Росії свідчать про те, що при існуючих пропорціях у розвитку лісопромислового комплексу лісові ресурси в освоєних районах Сибіру вичерпаються за 50-70 років. Щоб запобігти цьому, необхідно впроваджувати комплексне використання лісових ресурсів на основі застосування передових технологій і форм організацій виробництва.

В цілому наша лісоперероблююча промисловість відстає від розвинутих країн по виробництву целюлози, фанери, паперу і картону, із розрахунку на вивезену деревину, у 5-6 разів. А ось в об'єднанні «Прикарпатліс» впровадження безвідхідних технологій дозволило у 4 рази скоротити вирубку, у 3 рази збільшити випуск продукції на одиницю сировини.

Рационалізацію організаційних структур у лісопромисловому комплексі можна забезпечити такими екологічними принципами господарювання. По-перше, ці структури повинні поєднувати в собі елементи лісозаготовок і лісового господарства, тобто заготовки деревини повинні супроводитися роботою по її відновленню. По-друге, організація виробництва повинна повністю відповідати вимогам комплексного використання всієї заготовленої деревини.

По-третє, організація переробки деревини повинна передбачити найбільш повне використання її відходів.

Під прямим, чи побічним впливом людини численні види рослин стали рідкісними, або зникаючими. Зараз під загрозою зникнення на планеті знаходяться 20-30 тисяч видів судинних рослин, тобто 8-10% загальної кількості їх на Землі. В друге видання Червоної книги СРСР (1984 р.) увійшло 603 види рідкісних вищих рослин. Це водяний горіх, залізне дерево, шовкова акація, дуб понтійський, платан східний, тис ягідний, туранга та інші. Охорона рідкісних та зникаючих видів рослин здійснюється в різних типах охоронних територій (заповідники, заказники).

Господарська діяльність людини сильно вплинула також і на тваринний світ нашої планети. З 1640 року на Землі вимерло 94 види птахів та 63 види ссавців. Особливо постраждала фауна океанських островів. На Гаванських островах, наприклад, вимерло 60% фауни, на Маскаренських островах - 86% місцевих видів птахів. Вплив людини на тварин виражається як у прямому переслідуванні та порушенні популяцій, так і через зміну місць мешкання. Останнім часом до загальної зміни умов мешкання приєднався потужний фактор забруднення оточуючого середовища, особливо пестицидами. В Червону книгу СРСР занесено 94 види ссавців, 80 видів птахів, 9 видів риб, 37 видів рептилій. Це - вихухоль, червоний вовк, закавказький бурий ведмідь, каракал, сніговий барс, амурський тигр тощо; із птахів - рожевий пелікан, фламінго, стерх, дрофа, рожева чайка та інші.

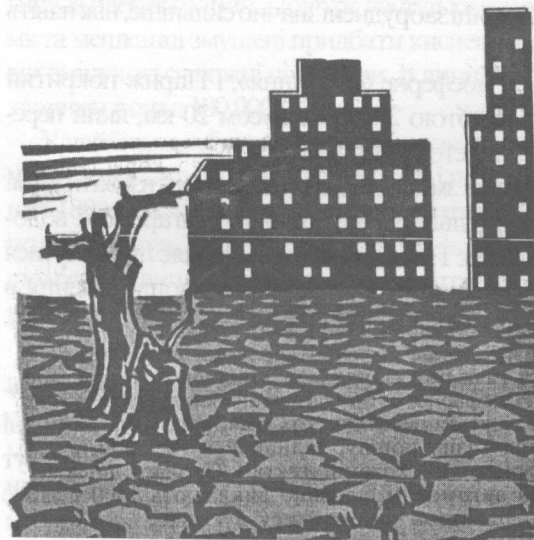
Таким чином, діяльність людини досягла глобальних масштабів впливу на біосферу, змінюючи кругообіг речовин, водний баланс планети, впливаючи на ґрунти, рослинність і тваринний світ.

В 1948 р. був створений Міжнародний союз охорони природи і природних ресурсів, задачею якого було сприяння оптимальним взаємовідносинам між людиною і природою. В 1971 р. ЮНЕСКО організувала міжурядову програму «Людина і біосфера», присвячену вивченню впливу людини на природне середовище і природні ресурси різних районів земної кулі з метою їх охорони. В цих дослідженнях брали участь вчені з багатьох країн, вирішуючи складні глобальні проблеми. Українські вчені також брали участь у цій програмі по багатьох наукових проектах. В колишньому СРСР в 1973 р. при Президії Академії наук була організована наукова рада з проблем біосфери, яка проводила експертну оцінку різних природоохоронних заходів в нашій країні.

Деградація біосфери у великих містах

В будь-якому великому місті природне середовище буквально задавлене людською масою. Кожний квадратний кілометр в Бордо населяє 8000 чоловік, в Ліоні - 9500, в Лондоні - 10000, а в Парижі - 25000 чоловік (найбільш щільнозаселена столиця світу).

Цей постійний людський водоверт є справжнім лихом, бо обумовлює інтенсивне спустошення природи. За даними Сен-Марка, Париж серед найбільших столиць світу має найменшу спадщину по садах та громадських парках: $1,3 \text{ м}^2$ на одного жителя замість 9 м^2 в Лондоні, Римі, 13 м^2 в Берліні, 25 м^2 у Відні.



Довга зелена стрічка, яку утворюють Сент-Джеймспарк, Грін-парк, Гайд-парк, Кенсінгтонський сад та Ріджент-парк, оточує Лондон зоною тиші, чого немає в Парижі. Усередині столиці ансамбль особливо знедолених

кварталів утворює «чорне місто», яке задихається в бетоні, асфальті та камені. Площа зелених насаджень загального користування на одного жителя не перевищує 30 см^2 у двох округах, 15 см^2 - в трьох та 7 см^2 в одному її окрузі (!). Такі приклади у світі знайти важко! Навіть щоб досягнути явно занижених містобудівних норм, в Парижі слід уп'ятеро збільшити площу садів, скверів та парків загального користування, в 70 разів - площу садів для дітей. На 1 жителя приходить лише 1 м^2 приватних садів, а зелені насадження на вулицях, пришкільних ділянках та цвинтарях пропонують лише 1 дерево на 20 жителів.

Замкнуте в клітку з бетону населення Парижу дихає отруєним повітрям. Автомобілі, квартирне опалення, заводи постійно викидають величезну масу пилу та отруйних газів - окис вуглецю, сірчаний ангідрид, окис азоту. Пил та

гази при сполученні утворюють туман, або смог - вид атмосферного бруду, який складається з часток вугілля, сажі та маслянистих речовин, або дими - суміш горючих газів, попелу, залишків вуглеводнів.

Щорічно на кожний гектар Парижу випадає 100 кг пилу, а автомобілі щоденно викидають 1500 т забруднювачів, головним чином окису вуглецю. В тунелі під Західною автострадою забруднення повітря часто буває настільки великим - до 250 куб. см. окису вуглецю на кубічний метр повітря - що часто тут забороняють рух.

Житлові квартали в центрі столиці забруднені значно сильніше, ніж навіть промислові райони передмістя.

Забруднювачі утворюють «атмосферне баговиння», і Париж покритий куполом із газовидного бруду висотою 2 км і радіусом 20 км, який перешкоджає проникненню ультрафіолетових променів.

Нестача зелених насаджень не дає змоги уникнути або амортизувати шум. Площа Сент-Отюстен в Парижі більш шумлива, аніж Ніагарський водограй. Мотоцикліст, який проїжджає Париж вранці, заставляє прокинутися 100 000 чоловік. Шум понад 80 децибел викликає різні пошкодження в організмі. Шум на площі Опері досягає 100 децибел, а на площі Сент-Отюстен - 95 децибел.

Поблизу паризьких аеродромів ситуація ще гірша. 500 000 чоловік є жертвами шуму літаків аеропорту Орлі; причому 70 000 із них живуть в зоні інтенсивного шуму і 11 000 - в зоні сильного шуму. 500 літаків злітають тут щоденно, кожного разу піднімаючи до 100 децибел (тобто в 100 разів вище небезпечного порогу) звуковий рівень у сусідніх житлових будинках.

В кінці XVIII ст. воду для споживання брали прямо із ріки Сени. Тепер же вона повністю забруднена стічними водами. В цьому культурному «бульйоні» кишать небезпечні хвороботворні бактерії, у тому числі віруси-збудники поліонеліту та гепатиту.

В межах великих міст концентрація забруднювачів така, що повністю знищує всяке життя у воді. Париж очищає лише 1/3 своїх стічних вод, скидаючи без усякої очистки в Сену 12 000 000 м³ стічних вод. З червня по листопад в Сені тече більше стічних, ніж річкових вод. Купатися там небезпечно для життя. Вище Парижу ця річка містить 15 хвороботворлих бактерій в 1 см³, а нижче - 1 500 000.

Аналогічна ситуація характерна і для багатьох інших агломерацій.

Ліон має лише 3,5 м² зелених насаджень на душу населення, Бордо і Мар-

сель - 2 м², Тулуза - 0,5 м², в Ліллі та Рубе вони займають лише 4 % міської території.

Поблизу берегів Марселя море містить 740 000 мікроорганізмів в 1 см³ води, в бухті Ніцци в 100 мл води міститься до 1 млн. колі-бактерій і до 100 000 фекальних стрептококів.

Для Японії «економічне чудо» обертається біологічною катастрофою. В Токіо, де проживає близько 12 млн. чоловік, лише третина міста має сучасну каналізацію. Води Токійської затоки настільки забруднені, що риба в них гине за чверть години. Повітря настільки забруднене, що в деяких кварталах міста мешканці змушені придбати кисневі маски, а поліцейські на перехрестях змінюються кожні півгодини. В липні 1970 р. фотохімічний смог зробив хворими понад 100 000 чоловік.

У найбільш забрудненому із американських міст - Лос-Анджелесі - автомобілі займають половину простору і понад 10 млн. його мешканців вдихають 1800 т вуглеводнів, 500 т окису азоту та 1100 т окису вуглецю, які щоденно вивергають 3 млн. автомашин. В Нью-Йорку на кожну квадратну милю щомісячно випадає 80 т сажі, а в центрі міста автомобілі щоденно викидають 3500 т різноманітних забруднювачів.

Забруднення біосфери у великих агломераціях має тенденцію до двократного підсилення під впливом двох основних факторів: загромождження простору та гонитва за прибутком. Це особливо чітко проявляється в земельному питанні. Загромождження простору збільшує попит на землю під будівництво, ціни на неї зростають - а це є джерелом підвищених прибутків. Стимулюється приватне будівництво, збільшуючи тісноту. За цим слідує будівництво громадських будівель. Все це стимулює економічну активність та викликає новий притік робочої сили, населення та нове розширення будівництва. Нестача земельних ділянок та їх висока ціна спонукає будувати на тих площах, які мають низьку вартість - на зелених просторах, лісах, садах, полях, які повинні були бути збережені згідно з планами забудови.

Отже, ріст міської тісноти викликає всезростаючий занепад життєвого середовища.

В густонаселених районах у великих містах середовище деградує, викликаючи розширення «зони зубожіння», приносячи біди агломерації в передмісті, а в сільську місцевість - біди передмістя.

Окрім кількісного зменшення у великих містах спостерігається і якісне погіршення зелені: цінні породи дерев замінюються часто хирлявими дерев-

цями, які задавлені бетонними стінами та мізерністю клаттика землі, на який їх посадили, приречені на животіння. Зрозуміло, що така рослинність міста погано очищає повітря і втрачає як естетичну привабливість, так і заспокійливу дію на організм людини.

Так, новий стрибок в руйнуванні рослинності зафіксований в генеральній схемі забудови Паризького району, згідно з якою до кінця століття планується збільшення числа жителів на 6 млн. чоловік, і забудов 100 000 га, що в 10 разів перевищує площу Парижу. Це - створення нових 8 міст, відмова від політики децентралізованої промисловості, висування широкої програми будівництва громадських будинків.

Розміщення цих нових забудов обумовить руйнування зеленого поясу навкруги Парижу, того ансамблю лісів та полів, який оточував Париж рослинністю та сільським спокоєм. Наймальовничі річкові долини річок Сени, Уази, Марни та Монморансі стануть вісями забудови. Створення агломерацій з мільйонним населенням передбачається в Палезо і Жуар-Порншан-трен, на тому самому Південному Заході, який є одним із «зелених легень» Парижу.

Межа міста пройде біля Рамбуїє, Понтуаза, Манта, Мелана, тобто понад 40 км від старої границі Парижу. Зелений пояс навкруги Парижу перетвориться в бетонний пояс, на відміну від Лондона, який ретельно зберігає і навіть розширює свій зелений пояс. Як вважає Сен-Марк, політика масованого розширення паризької агломерації веде до біологічної катастрофи, і якщо цей безумний ріст не буде зупинений, то через 20 років Паризький район перетвориться у фізіологічне пекло.

Все більш і більш нездорове середовище травмує населення великих міст. Кожне велике лихо, яке б'є по ньому - шум, забруднення атмосфери, води, зникнення зелених просторів, самі по собі і кожне зокрема викликають певні органічні розладнання, але оскільки вони - усі четверо - діють спільно, то їх результати багаторазово посилюються і роблять міське середовище небезпечним.

Сьогодні доводиться визнати патологію великого міста. Її жертвами робляться перш за все слабі, хворі та діти.

Особливо великі страждання спричиняє шум. В залежності від сили та частоти він викликає головні болі, шум у вухах, безсоння, навіть глухоту, збентеження, шлунково-кишкові, мозкові, нервові та серцеві розлади. Надмірний вуличний шум є причиною 80 % мігрень, 52 % - розладів пам'яті

і у всякому разі половини зіпсованих характерів. У Великобританії кожний четвертий мужчина і кожна третя жінка страждають неврозами через шум. У психіатричних лікарнях Франції кожний п'ятий хворий втратив розум через шум. В шумливих кварталах Нью-Йорку відмічено тривожне відставання дітей у рості та розумовому розвитку. За думкою австралійського вченого Гриффіта шум є причиною 30 % старіння городян і скорочує їх життя на 8-12 років. Він штовхає до насильства, самогубства і навіть до вбивства.

Безперервна дія шуму може наштовхнути на вбивство мешканців великих будинків, доведених до краю концентрацією та постійністю оточуючого шуму: сімейними сварками, тріскотнею мотоциклів, гудінням ліфту, надто ранніми відбуваннями на роботу та надто пізнім поверненням.

Забруднення повітря також має тяжкі наслідки. Воно отрує організм, порушує психічні та фізіологічні функції, рефлексії, зменшує здатність до розумової праці, затруднює керування автомобілями, викликає розлади зору, запоморочення голови, втрату свідомості та рак легенів. В містах з населенням понад 100 000 чоловік кількість летальних наслідків від запалення легень, бронхіту та раку легень у тих, що не палять, становить відповідно 0,048%, 0,062 %, 0,015 % замість 0,032 %, 0,037 % та 0 % в сільській місцевості.

За даними Крекенберга, в Норвегії процент смертності за вказаними причинами у чотири рази вищий у столиці, ніж у сільських округах.

Професор Котін викликав у мишей та пацюків рак шкіри за допомогою продуктів окислення вуглеводнів, які містяться в атмосфері Лос-Анджелеса. Професор Трюо також викликав рак шкіри у мишей, змазуючи їх екстрактами з атмосферного пилу Парижу (Сен-Марк, 1977).

Руйнування зелених просторів в містах, окрім естетичних збитків, має і серйозні психічні наслідки. Зелені насадження - це природні оазиси серед бетонної пустелі, де людина насолоджується листям та квітами, співом птахів, джорчанням води та ароматом сирової землі. Рідкість таких міст відпочинку біля установ та заводів, а також місць для відпочинку у вихідні дні створює у мешканців гнітюче враження замкнутого у клітку і що вони постійно підлягають усім міським нещастям - тобто вони зацьковані.

Звідси постійна втомлюваність, нервова депресія, зловживання заспокійливими та збуджуючими засобами, які в свою чергу примножують число нещасних випадків на вулиці та на роботі.

Забруднення води в межах великих міст робить неможливим купання у водоймищах. Риби та ракоподібні, виловлені у забрудненій воді, часто вияв-

ляються переносниками сальмонельозу, ботулізму, інфекційного гепатиту та тифозних захворювань. Небезпека епідемій дуже зростає у період жаркої погоди, коли стічні води складають особливо велику частку в дебеті річок.

Таким чином, в той час, як численні голоси пропагують привабливість урбанізації, міське життєве середовище стає все більш хвороботворним, і навіть небезпечним для здоров'я людей. Постійна втома, відраза до життя, тривога, фізичне та психічне виснаження - усі ці ознаки міських негараздів безпосередньо пов'язані із забрудненням повітря, шумом та зникненням зелені. Постійно нездорове та небезпечне міське середовище погрожує перетворити будь-яку серйозну неприємність у катастрофу.

Достатньо несприятливих атмосферних умов - інверсії температури, відсутність вітру, наявність смогу, а іноді усього цього разом - щоб шкідливість забрудненого повітря різко посилилася і зросла смертність.

Так, смог періодично тероризує Лондон. П'ять днів грудня 1952 р., коли вміст диму та сірчаного ангідриду був відповідно у 5 і 6 разів більше звичайного, принесли додатково 4000 смертей, у січні 1955 р. - 240 смертей, у січні 1956 р. - 1000, у грудні цього ж року - 400; в грудні 1957 р. - 800, у січні 1959 р. - 200, за шість днів грудня 1962 р. - 850 додаткових смертей.

В Лос-Анджелесі в 1970 р. через смог була об'явлена тривога і прийшлося зупинити автомобільний рух. В Ліоні 3 листопада 1970 р. температура інверсія викликала осідання на ґрунт забруднювачів, 30 чоловік були отруєні.

Ці «смогові лиха» повторюються в різних країнах по сьогоднішній день (Мехіко, Чилі тощо).

Два найбільш урбанізованих суспільства на планеті б'ють тривогу. «Покласти край отруєнню повітря, або перетворитися у народ, присуджений постійно носити протигазу, блукати навпомацки в містах, приречених на смерть - такий вибір, перед яким поставлені США», - заявив у 1968 році президент Джонсон.

«Якщо це буде тривати, не пройде і десяти років, як жителі Токіо одягнуть протигазу, щоб вижити в умовах забруднення повітря», - визнавав у 1970 р. Мігітака Каіно, директор Інституту дослідження забруднення.

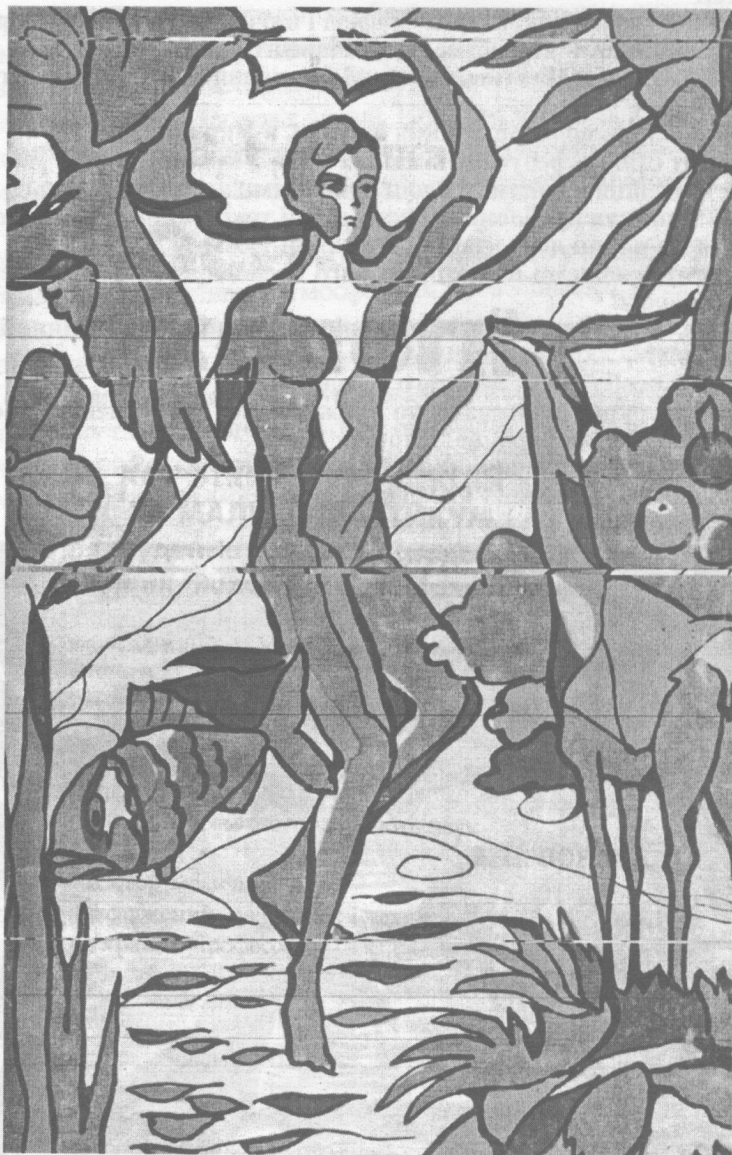
Своїм падінням сучасні вавілоні погрожують розчавити своїх мешканців. Вони роблять городян чужими природі, яка їм так необхідна, віднімають її у них, роблять фізично та духовно неповноцінними, ставлять перед загрозою фізичного та психічного знищення.

Питання для закріплення матеріалу

1. Яке значення має збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері?
2. Що таке «озонові діри» в атмосфері і що є причиною їх утворення?
3. Чому виникають кислотні дощі? Наведіть дані.
4. У чому полягає негативний вплив зрошення земель? Наведіть приклади.
5. Які проблеми водопостачання існують в Україні?
6. В якому стані перебувають малі річки в Україні?
7. Яка тенденція у динаміці площ орних земель спостерігається зараз?
8. Чому виникла проблема рекультивації техногенних ландшафтів?
9. Які зараз площі лісів і запаси деревини у світі?
10. У чому проблеми нашого лісового господарства і лісопереробної промисловості?
11. Як впливає господарська діяльність людини на рослинний і тваринний світ?
12. У чому особливість міського середовища?
13. Назвіть окремі приклади по вражаючому забрудненню міського середовища - атмосфери, води тощо.
14. Які головні шкодочинники міського середовища?
15. Яка динаміка зелених насаджень у великих містах?
16. Що таке смог і яка його дія на населення міста?



ДІЯЛЬНІСТЬ ЛЮДИНИ – В ЕКОЛОГІЧНЕ РУСЛО



Прикладна екологія людини – нова галузь екології

Усвідомлення того, що можливості оточуючого середовища у відношенні до ресурсів і життєвого простору взаємопов'язані, взаємозалежні і обмежені, спричинили революційний переворот в наших умонастроях, що дозволяє надіятися, людина виявиться готовою застосовувати в широких масштабах принципи екологічної регуляції.

Екологію людини можна розглядати як популяційну екологію дуже своєрідного виду *Homo sapiens*. Екологія людини як наука ширше демографії, яка займається популяційним аналізом населення, бо її цікавлять не тільки внутрішні фактори динаміки популяції, але і зв'язки популяції з більш крупними структурами і з зовнішніми факторами. Популяція людини, подібно іншим популяціям, являє собою лише частину біоценозів і екосистем.

Головна відміна популяції людини від інших популяцій - це ступінь домінування, на яке здатні люди як група. Людина часто думає, що вона на 100% домінує над своїм оточенням, хоча в дійсності це може бути дуже далеко від істини. Вона може забезпечити кондиційним повітрям своє житло і робочі приміщення і вважати себе при цьому незалежною від клімату, але якщо вона не забезпечить також кондиційним повітрям свої посіви і домашніх тварин, то буде залишатися в дуже сильній залежності від спеки і холоду, посухи та інших кліматичних явищ. Повне домінування над природою неможливе, бо людина дуже залежний гетеротроф, який займає високе місце у харчовому ланцюзі. Було б набагато краще, якби людина зрозуміла, що існує певна бажана ступінь екологічної залежності, при якій вона повинна розділити мир з багатьма іншими організмами, замість того, щоб розглядати кожний квадратний сантиметр як можливе джерело їжі, або як місце, на якому можна спорудити щось штучне. Якщо поведінка людини дійсно розумна, то вона повинна: 1) вивчити і зрозуміти форму власного популяційного росту; 2) визначити кількісно оптимальні розміри і конфігурацію населення у зв'язку з ємністю даної області; 3) бути готовою до прийняття «культурної регуляції» там, де «природна регуляція» недієспроможна.

Форма росту популяції людини - одна із найсуперечливіших проблем. В дискусіях про «проблему населення» люди часто звертаються до Мальтуса, чий знаменитий «Досвід про народонаселення» витримав шість видань. Мальтус не знав про різницю між факторами, що залежать від густоти, або про те, що перші можуть діяти за принципом негативного зворотнього зв'яз-

ку, що запобігає перенаселенню. Не міг Мальтус передбачити, що сумарне використання енергії (не тільки енергії їжі) і супутнє йому забруднення, стануть факторами, які обмежують кількість людей, що можуть жити на Землі. Важливо відмітити, що регуляція населення, яка залежить від густоти, сьогодні не проявляється в характері росту населення. Навпаки, зараз ріст населення прискорюється при збільшенні густоти населення (Азія, Африка тощо) на відміну від більшості інших видів, у яких швидкість росту зменшується при збільшенні густоти; тобто ріст популяції людей не регулюється «автоматично» біля певного стаціонарного рівня, як у дріжджів в тісній судині, де клітини починають швидко гинути під впливом власних відходів. Але це до певної межі. Уже відомі факти суттєвого збільшення захворювань і навіть смертності дітей в індустріальних регіонах. Якщо густота населення перевищить певні межі, більшості людей прийде загинути, або злидарювати. Людині з її етикою та мораллю краще не народитися, ніж передчасно вмирати (хто не народився, той не може вмерти).

В попередніх лекціях наводилися деякі дані про руйнівну дію на екосистеми і здоров'я людей окремих антропогенних факторів. До сьогодні екологи мали на озброєнні компонентні карти, в яких відображався стан окремих природних середовищ: атмосфери, вод, лісів тощо. Але ж на різну територію впливає цілий ряд різних антропогенних дій (індустріальних, сільськогосподарських, рекреаційних та інших), в результаті яких виникає не одна, а декілька проблем. Причому, ці проблеми пов'язані з певною дією і напряму, і опосередковано. Вони - результат складних інтегрованих зв'язків і процесів. В СНД в 1991 році створена карта гострих екологічних ситуацій на території країни групою вчених під керівництвом кандидата географічних наук Б.І. Кочурова.

За ступенем екологічної гостроти автори виділяють шість ситуацій: катастрофічну, кризову, критичну, напружену, задовільну, умовно сприятливу. На карті перші три види ситуацій означені як «досить складні» і виділені червоним кольором. Вони займають ареали площею близько 4 млн. кв. км, або 16% території колишнього СРСР. Найбільша кількість таких ареалів (всього їх 300) у Західному Сибіру (523). Площа усієї території з гострою екологічною ситуацією в СНД у 70 разів перевищує площу територій, що охороняються.

Із загального комплексу негативних екологічних явищ на перше місце виходить забруднення повітря і води, що загрожує здоров'ю населення. Про-

блема багатократно посилюється за рахунок високої густоти населення (райони Донбасу, Середнього Поволжя, промислова зона Донбасу, Ферганська долина).

Наступною по гостроті є проблема деградації і руйнування природних комплексів (головним чином лісових).

Складні, або перехідні ареали із набором кількох проблем, де на першому місці - втрати природних ресурсів, також характеризується загрозою здоров'ю людини (Приаралля, Молдова). У Приаралля це пов'язано з відсутністю нормального водопостачання населення, із неправильним зрошуванням ґрунтів та надмірним використанням отрутохімікатів; у Молдові - з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва без врахування екологічних вимог і високим застосуванням пестицидів та мінеральних добрив.

Прості ареали також пов'язані з виснаженням і втратою певних видів природних ресурсів. Це території з інтенсивними лісорозробками, з дуже забрудненими водними об'єктами, що втратили своє ресурсне значення (Ладозьке озеро), деградовані орні та пасовищні землі (Центральні чорноземні області, Північний Казахстан, Калмикія). До цих же ареалів віднесені унікальні природні ландшафти, що знаходяться під загрозою знищення (Байкал).

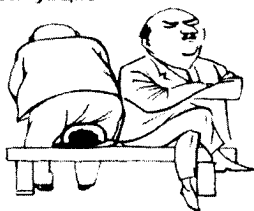
Аналіз карти дозволив встановити, що 25% населення колишнього СРСР, або 39% міського населення, проживають в умовах гострої екологічної ситуації. Зрозуміло, що в різних економічних районах процент населення, що проживає в умовах екологічної загрози, різко відрізняється - від 7,7 до 56%. Причому, в деяких більша частка приходить на міське населення (райони Поволзький, Уральський, Центральний, Східно-Сибірський), а в деяких - наслідки екологічного лиха відбиваються лише на 10-20% городян (Північний, Волго-В'ятський, Прибалтика).

У катастрофічному стані знаходяться Арал і Приаралля, Чорне море, Кольський півострів, зона впливу аварії на Чорнобильській АЕС, Середнє Поволжя.

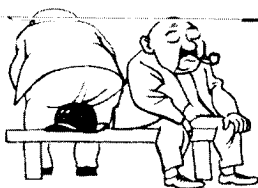
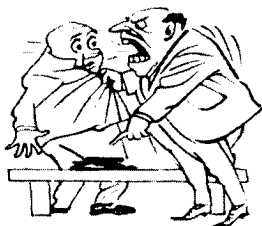
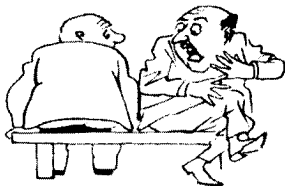
Автори підкреслюють, що для рішення проблем населення і забруднення екологічні принципи абсолютно не залучаються. І все ж таки уявлення про необхідність управління екосистемою як цілим швидко розповсюджується у всьому світі. Якщо людина хоче управляти сама собою, а також ресурсами, від яких залежить її життя, то необхідно здійснити такі реформи і заходи.

1. Відміна усіх заборон на планування сім'ї, контроль за народжуваністю

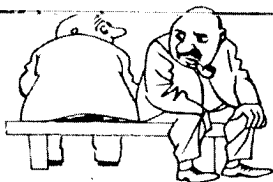
**Реакція людей
різних
темпераментів
на ту саму
ситуацію**



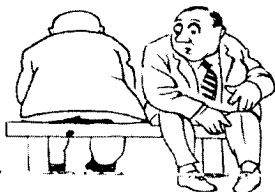
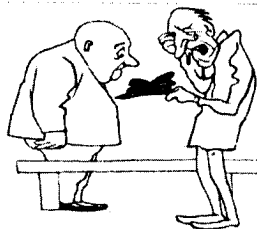
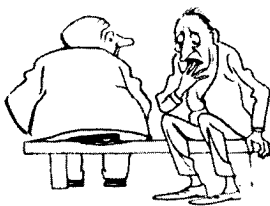
холерик



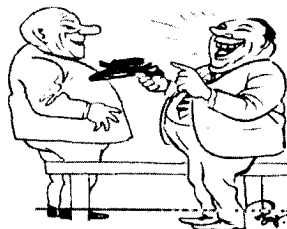
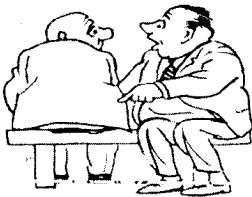
флегматик



меланхолік



сангвінік



з тим, щоб народжувалися лише ті діти, яким забезпечені любов батьків, освіта та хороші умови життя у межах локальних ресурсів і простору. При цьому швидкість росту населення буде в більший мірі відповідати ємності

середовища, як у випадку численних популяцій тварин із хорошою регуляцією чисельності.

2. Регіональне планування землекористуванням (поділ на зони), як засіб регулювання чисельності і розміщення населення і як засіб залишити вільною у крайнім разі третю частину території в нових і тих, що розростаються, міських місцевостях (аналог територіальної регуляції в природних популяціях).

3. Реорганізація податкової системи з тим, щоб у міру збільшення густоти населення і тиску на ресурси різко знижувалися «стимулятори росту» (аналог стримування росту в природних популяціях).

4. Великий натиск на медицину в охороні оточуючого середовища і споживача.

5. Оцінка оптимальної величини населення з тим, щоб мати якийсь «вихідний рівень», стосовно якого будуть діяти засоби регуляції із зворотнім негативним зв'язком.

6. Встановлення вартості кожного даного продукту із врахуванням усіх стадій, щоб запобігти прорахунків, пов'язаних з тим, що вартість виробництва, забруднення і відновлення розглядаються нарізно. У сільському господарстві основна увага повинна бути спрямована на якість, різноманітність, стійкість до хвороб, а не на розміри урожаю як такого.

7. Розвиток економіки «космічного корабля», де увага направлена головним чином на якість основних запасів і людських ресурсів, а не на рівень виробництва і споживання як такі.

8. Регенерація і сувора економія води і всіх мінеральних та біологічних ресурсів.

9. Відношення до відходів, як до побічних продуктів, яке складається із об'єднаних заходів по повній переробці з організацією місць відпочинку, із спортом і охороною водного і повітряного басейнів.

10. Загальне визнання того, що у відношенні усіх своїх життєвих ресурсів місто залежить від зеленої міської місцевості, а село — від міста по більшості своїх економічних ресурсів, і створення єдиного сільсько-міського комплексу.

11. Переключення наукових досліджень із пошуків окремих відповідей на окремі питання, або скороспілих технічних рішень на моделювання довгочасних рішень кардинальних проблем (тобто перехід від «інженерного мислення», присвяченого частині, до розглядання цілого).

12. На всіх ступенях системи освіти (від середньої до вищої шкіл) більше уваги потрібно приділяти принципу єдності людини і оточуючого середовища, тобто екології екосистеми.

Екологічні основи просторового розселення

Збереження екологічної рівноваги на певній території залежить не стільки від особливостей господарств, скільки від ступеню відповідності урбаністичних структур природно-ландшафтним особливостям території. Розгортання процесів урбанізації привело до великої полярності в розподілі населення по території, до концентрації його у великих містах і агломераціях, в урбанізованих районах, які стали ареною особливо глибоких змін у природному середовищі. У зв'язку з цим особливу актуальність набувають питання щільності населення на урбанізованих територіях, які у свою чергу пов'язані з проблемою раціонального розподілу місцевості на ділянки різного функціонального призначення.

Існують різні підходи до визначення критичних антропогенних навантажень на урбанізовану територію і раціонального її використання. Більшість із них базується на санітарно-гігієнічних критеріях, або на забезпеченості населення зонами різного функціонального призначення. Різниця у підходах пояснюється у значній мірі різницею підходів до визначення меж агломерацій.

У Німеччині вважають критичною щільність населення в межах міської агломерації від 100 до 1500 чоловік на 1 км². Територія агломерації розподіляється так: промисловість, транспортні комунікації - 28 %; зони відпочинку, сільськогосподарські угіддя - 42 %; ліси, акваторії - 30%.

За даними американських авторів, урбанізовані території, сільськогосподарські землі і відкриті простори повинні співвідноситися як 1:1:1, а екологічною нормою для однієї людини можна вважати 3 га території,

В Польщі вважають граничними для ядра агломерації 3000-5000 чоловік, для агломерації у цілому - 800-2000 чоловік і для урбанізованого району - 300-1000 чоловік на 1 км².

В СРСР був запропонований норматив території на 1 жителя промислових районів 3-3,5 тис. м². Існує також думка, що щільність населення в міських агломераціях не повинна перевищувати 300 чоловік, у центральному місті - 2500 чоловік на 1 км².

Загальноприйнятим зараз є той факт, що важливим елементом розселення в межах щільнонаселених територій (більше 50 чоловік на 1 км²) є визначення демографічної ємності території, тобто того максимального числа людей, які можуть бути розміщені в межах району при забезпеченні найбільш важливих потреб населення за рахунок місцевих ресурсів.

Такі поняття, як «природний каркас» району, «екологічна орієнтація в організації території», «нова екологічна поляризація», «система особливо охоронних територій» та ін. з'явилися в результаті прагнення зрівноважити негативні наслідки індустріалізації та урбанізації шляхом створення в безпосередній близькості до міст територій-противаг.

Тому при проектуванні регіональних систем розселення доцільно виділяти три специфічні зони - найбільшої господарської активності, екологічної рівноваги та буферну.

Площу зони найбільшої господарської активності можна розрахувати за такою формулою (Владимиров, 1986):

$$Z = D \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N_{ij}$$

де: D - питомий показник забезпечення територією з урахуванням задоволення потреб населення регіону, км² на 1 тис. чоловік;

N_{ij} - населення i-вої групової системи населених місць (i=1,..., m, i-вого щільнонаселеного ареалу (j=1,...,n), тис. чоловік.

В умовах середньої смуги в межах зони найбільшої господарської активності щільність населення не повинна перевищувати 50-60 чол. на 1 км².

Для відновлення найважливіших природних ресурсів повинні бути збережені зони екологічної рівноваги, площі яких можна розрахувати за формулою:

$$Z_g = \frac{H_r \cdot T \cdot 2,5}{m} \cdot P_i$$

або:

$$Z_g = \frac{H_r \cdot B}{n} - Z_j \cdot V_j$$

де H_i - чисельність населення регіональної системи розселення, тис. чоловік;

P_i - середня величина щорічно продукованого кисню на i -ій території, тис.т;

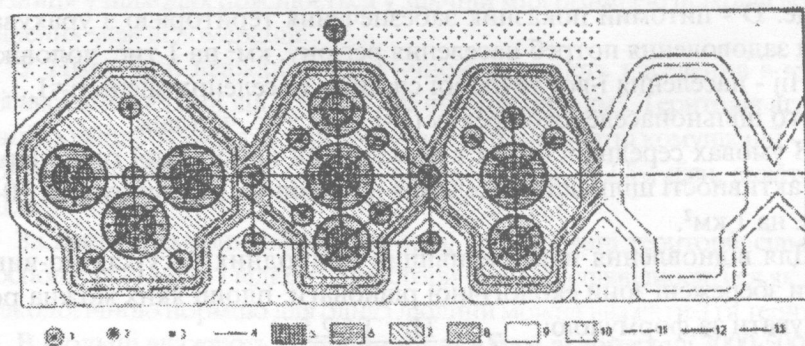
2,5 - коефіцієнт переходу для підрахунку вилученого з атмосфери кисню;

V - середнє щорічне водоспоживання 1 тис. чоловік, тис. м³;

V_j - середня величина щорічно продукованої води на j -ій території, тис. м³;

Z_g - величина зони найбільшої господарської активності, км².

В розрахунок приймають більші значення Z_g (по воді, чи по кисню). В зонах екологічної рівноваги встановлюються найбільш суворі господарські та екологічні режими: обмеження у розміщенні нових промислових виробництв, отримання росту великих міст та нового транспортного будівництва: заборона всіх видів вирубки лісів, окрім санітарних, розширення мережі парків, заказників, охоронних ландшафтів, підтримка лісистості на рівні 40-50 %, збереження чистоти водоймищ, заборона полювання, регламентація застосування пестицидів, застосування біологічних методів боротьби з шкідниками тощо.



Мал.55. Просторова структура екологічного каркасу розселення

- 1- центри регіональних систем розселення; 2- центри групових систем населених місць та інших систем розселення; 3- інші значні місця розселення; 4 - головні зв'язки; 5 - зона обмеженого розвитку; 6 - зона переважного розвитку; 7- зона активного розвитку; 8 - зона екологічної рівноваги; 9 - буферна зона; 10 - компенсаційна зона; 11- межі регіональних систем розселення; 12 - межі групових систем населених місць; 13 - межі інших систем розселення.

На стикові меж регіональних систем розселення повинні бути передбачені буферні зони, в задачу яких входить компенсація екологічної неповноцінності деяких систем розселення в найбільш щільно заселених районах. Ширина таких швів між регіональними системами повинна бути не меншою 100-150 км.

При формуванні екологічного каркасу просторової організації розселення необхідно враховувати і стійкість екосистем різних природних зон.

Так, в арктичній та тундровій зонах природні екосистеми повинні займати не менше 98 % території, у північній зоні тайги та у гірських тайгових зонах не менше 80-90 %, у зоні південної тайги - не менше 50 %, у лісостеповій зоні і зоні широколистяних лісів - 30-35 %, у степовій зоні - 20-40 %.

В.В.Владимиров і співавтори (1986) запропонували схематичну структуру екологічного каркасу просторової організації розселення (мал. 55). Схема ілюструє просторовий принцип екологічного підходу до містобудівних структур вищого порядку. В конкретних умовах можлива суттєва деформація каркасу на усіх його територіальних рівнях.

На території локальних систем розселення необхідно виділяти центральне ядро, зону обмеженого розвитку і зону переважаючого розвитку населених місць. Центральне ядро включає місто-центр, необхідні резервні території для його розвитку та лісопарковий захисний пояс. Навколо ядра формується зона обмеженого розвитку, внутрішньою границею якої є лісопарковий пояс. За шириною вона повинна бути достатня для захисту проти зростання населених місць системи в агломерацію і одночасно служити базою короткочасного відпочинку населення. Відстань між центром системи і зовнішньою межею зони обмеженого розвитку можна визначити за формулою:

$$R = \frac{N_c \cdot S \left(1 + \frac{h}{N_c}\right)}{\Pi \left(1 + \frac{M}{10}\right) \left(1 + \frac{N}{100}\right)} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

де: N_c - населення центрального міста, тис. чоловік;

h - населення міста-супутника, тис. чол.;

N - питома вага приросту населення міста-супутника у сумарному прирості населення системи;

M - число напрямків росту ядра;

S - територія, що приходиться на 1 тис. мешканців з урахуванням селітебних, промислово-складських, транспортних територій, лісопаркових зон відпочинку, приміських сільськогосподарських земель тощо, км².

K_1 – коефіцієнт наявності непридатних для забудови та сільськогосподарського виробництва територій (акваторії, скелі, яри тощо), які змінюються від 1 до 2;

K_2 – емпіричний коефіцієнт лісистості, який змінюється від 1 до 2 (при лісистості понад 50% K_2 дорівнює 1, від 30 до 50% - $K_2 = 1,2$, від 10 до 30% - 1,5, менше 10% - 2);

K_3 – емпіричний коефіцієнт густоти населення, який змінюється в межах від 1 до 2 (при густоті населення в радіусі 50 км від центрального міста до 100 чол./км² $K_3 = 1$, від 100 до 200 чол./км² – 1,2, від 200 до 300 чол./км² – 1,5, понад 300 чол./км² – 2).

Розрахунки показують, що в середніх умовах центральної частини СНД для міст з населенням понад 1 млн. жителів ширина зони обмеженого розвитку повинна бути не меншою 35-40 км, з населенням 0,5-1 млн. – не меншою 25-30 км, з населенням 100-500 тис. жителів – 20-25 км. За зовнішньою межею зони обмеженого розвитку розташовується зона активного розвитку. Її зовнішньою межею слугить перспективна ізохорна 2-годинної транспортної доступності для міст-центрів з населенням понад 500 тис. жителів і 1,5-годинної доступності для міст з населенням від 100 до 500 тис. чоловік, тобто ширина в середньому становить не менше 40-50 км у першому випадку і 30-35 – у другому.

Отже, збереження екологічної рівноваги в регіональних системах розселення може бути забезпечена в результаті дотримання таких містобудівних принципів:

- формування екологічно збалансованого природного каркасу розселення на основі раціонального територіального розподілу;
- раціонального господарського зонування території, яке забезпечує максимальну ефективність природокористування;
- врахування в містобудівному районуванні закономірностей територіальної локалізації природообмінних процесів з метою обмеження антропогенного тиску на природні ландшафти;
- розглядання природного ландшафту у його динаміці.

Біологічні методи боротьби з шкідниками та хворобами

Ми практично позбавляємося від небезпечного шкідника проведенням спеціального комплексу агротехнічних заходів з використанням (в роки, особливо небезпечні для розвитку жуželиці) мінімальної кількості (0,4 кг/га) інсектициду замість 6—8 кг/га пестицидів, які застосовують для боротьби із жуželицею.

Біологічний метод боротьби з шкідниками і хворобами - один з найбільш ефективних шляхів скорочення кількості застосування пестицидів у рослинництві. Обсяг практичного застосування біометодів за 20 років у колишньому СРСР (1964—1984 рр.) збільшився від 250 тис. га до 32 млн. га.

Застосування різних біологічних засобів, поряд з охороною навколишнього середовища і здоров'я людей, забезпечує високу технічну і економічну ефективність. Особливо високий економічний ефект дають біометоди в умовах закритого ґрунту, де є можливість повного виключення хімічних засобів захисту рослин, а окупність витрат 4-7-разова. Крім того, широке застосування біометоду дає можливість підвищити якість сільськогосподарської продукції.

Біологічний метод регулювання чисельності шкідливих організмів розвивається в двох напрямках. Перший пов'язаний з розробкою прийомів, що враховують і підвищують активність природних ресурсів корисних організмів. До нього належить: визначення рівнів ефективності ентомофагів з метою скорочення обсягів застосування пестицидів, розробка окремих агротехнічних прийомів, які сприяють активізації корисних організмів, застосування токсичних речовин з мінімальним негативним впливом на ентомофагів тощо.

Другий напрям пов'язаний з утворенням і застосуванням активних засобів біологічної боротьби із шкідниками і хворобами. До нього належать біологічно активні речовини (статеві феромони, гормони, речовини антифідантної, аттракційної, репелентної дії тощо), мікробіологічні препарати, хижі й паразитичні членистоногі, яких розводять у промислових масштабах тощо.

Можна навести ряд прикладів високої біологічної активності природних популяцій ентомофагів. Так, за даними Б. П. Адашкевича (1975), на

50 видах шкідників капусти та інших капустяних культур нараховується близько 500 видів ентомофагів, які за вегетаційний період можуть знищити 50-60% основних фітофагів. Теленомини - ентомофаги клопа-черепашки нерідко знижують чисельність у фазі яйця на 60—80 %. Афідофаги на зернових і зернобобових культурах при співвідношенні хижак-жертва 1:20 - 1:40 здатні цілком знищити популяції попелиць.

Із біологічно-активних речовин все більше застосовують феромони комах. Це летючі речовини, які виділяють комахи й інші тварини в атмосферу і які керують поведінкою і багатьма іншими формами життєдіяльності організму. Нині у нас синтезують понад 30 феромонів, головним чином лускокрилих комах. Феромонні пастки щорічно застосовують на сотнях тисяч гектарів у сільському і лісовому господарстві.

Використовують пастки з феромонами, що оброблені хемостериліантами. Комахи, принаджені в пастку, стають нездатними до відтворення, що знижує чисельність популяції. Крім того, принаджені феромонами самці можуть бути знищені при стрічкових обробках інсектицидами з домішками феромонів.

Великі потенційні можливості має мікробіологічний напрямок, який передбачає використання різних груп мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності для отримання масової появи збудників хвороб і регуляції чисельності шкідників. Тепер налагоджено виробництво інсектицидних препаратів. Це ентобактерин, дендробацилін, бітоксидацилін, бактоспеїн, БП, дипел, лепідоцид, гомелін, турінгін 2. Синтезовані вірусні препарати: Вирін-ГЯП, Вирін-ЕКС, Вирін-ЕНШ, Вирін-КШ.

Для боротьби з мишовидними гризунами у виробництво надходить зерновий бактероденцид і амінокислотний бактероденцид.

Нині у виробництво надходять і препарати на основі антибіотиків для боротьби з хворобами. Це трихотетин - антибіотичний препарат на основі антибіотика трихоцетину; фітобактеріоміцин, фітофлавін-100. Перший препарат рекомендується для боротьби з борошнистою росою огірків закритого ґрунту, а два інших - проти кореневих гнилей пшениці та бактеріозів сої.

Вірусні, грибові та інші мікробіологічні препарати виробляють у невеликій кількості, що зумовлено технологічними труднощами.

Певних успіхів досягнуто і при використанні паразитичних і хижих членистоногих проти шкідників. Наприклад, вирішені проблеми масо-

вого виробництва трихограми, яку застосовують щорічно на площі близько 15 млн. га проти совок, кукурудзяного і лучного метеликів, горохової і яблуневої плодожерки, листокруток.

Особливе значення має вдосконалення технічних засобів для розселення трихограми. Створено апаратуру для авіаційного її розселення. Вона забезпечує продуктивність 250 га/год. польоту і ефективність паразита в боротьбі з кукурудзяним метеликом на 65 %.

Особливе значення має біологічний метод захисту рослин у теплицях, де створюються оптимальні умови для розвитку багатьох видів шкідників і хвороб. Вже є багато прикладів ефективності колонізації спеціалізованих паразитичних і хижих організмів. Всі основні шкідники і хвороби овочевих і зелених культур закритого ґрунту вже можуть ефективно стримуватися біологічними засобами. Це енкарзія - ентомофаг тепличної білокрилки; ашерсонія і вертициліум - ентомопатогенні гриби білокрилки; афідоміза і золотоочка - ентомофаги баштанної попелиці; фітосейулюс - ентомофаг павутинного кліща; ізотобактерин - проти хвороб помідорів (фузаріозне в'янення, борошниста роса).

Основна невирішена задача - створення комплексу обладнання, яке дало б можливість організувати рентабельне виробництво біологічних засобів захисту рослин в умовах виробничих біолабораторій.

Подальший успіх біологічної боротьби з хворобами може бути забезпечений насамперед на шляху виявлення фактора індукованого імунітету рослин до основних груп фітопатогенів.

Біометод у боротьбі з бур'янами розвивається по напрямках інтродукції спеціалізованих фітофагів, створення епіфітотії у популяції бур'янів, пошуку природних сполук з високою вибірковістю гербіцидної дії. Підвищення екологічної стабільності агробіоценозів ми, як і багато інших, бачимо також у ботанічній різноманітності культур. Однак в умовах інтенсивного землеробства цей фактор практично зведено до нуля. На наш погляд, у недалекому майбутньому він може мати значення головним чином у ґрунтозахисному землеробстві, при смуговому розміщенні культур впоперек схилу. За нашими спостереженнями, при розміщенні багаторічних трав (люцерни), озимої пшениці й кукурудзи смугами чисельність деяких шкідників значно відрізняється від їх кількості на тих же культурах у польовій сівозміні. Так, за трирічними даними на смугах озимої пшениці чисельність личинок клопа-черепашки становила 0,5, а в польовій

сівозміні - 2,4 особини на 1 м². Пошкодженість яєць паразитами була, навпаки, більш високою (42,8 %) у смугових посівах, а в польовій сівозміні - 12,4 %. Чисельність злакових попелиць на 100 рослинах у польовій сівозміні становила 2830, в ґрунтозахисній - 640 особин, афідофагів - відповідно 3,2 і 18, а авідидів - 31 і 76,9%. Ураженість личинок стеблових пильщиків була 12 і 21,6 %.

На кукурудзі при смуговому вирощуванні пошкодженість рослин кукурудзяним метеликом становила 9, а в польовій сівозміні - 24,8%. Ураженість яєць, навпаки, становила відповідно 39,4 і 17,6, а гусениць - 32,4 і 14,6%.

Навіть такі фрагментарні дані свідчать про наявні можливості підвищення екологічної стабільності посівів у польових агробіоценозах.

Рациональне застосування хімічного методу. Хімічний метод боротьби передбачає використання різних хімічних речовин – пестицидів, отруйних для шкідливих організмів. Перевага його полягає у можливості швидкого й ефективного застосування. Однак хімічний метод боротьби має недоліки, які пов'язані з прямою й побічною дією пестицидів.

Пестициди підрозділяються на інсектициди (для боротьби з шкідниками), фунгіциди (для боротьби з хворобами), гербіциди (для боротьби з бур'янами), акарициди (для боротьби з кліщами), нематоциди (для боротьби з нематодами) тощо.

Для боротьби із шкідниками поряд з отрутохімікатами починають застосовувати хімічні засоби іншого характеру дії. Репеленти мають відлякуючу дію і використовують їх для запобігання нападу шкідників на рослини. Аттрактанти, навпаки, приваблюють шкідників часто з дуже великих відстаней, чим полегшують наступне знищення їх на обмеженій площі.

Нині ряд репелентів використовують для обмазування стовбурів плодкових дерев, щоб захистити їх від пошкоджень гризунами. З аттрактантів переважно вивчають статеві (природного походження або синтетичні), які приваблюють шкідників певної статі, і кормові аттрактанти, що діють як кормові принади.

Проводять випробування хемостерилантів - хімічних сполук, які, потрапляючи в організм шкідників, викликають безплідність, що сприяє скороченню їх чисельності й шкідливості.

Досліджується можливість застосування ювенільного гормону ко-

мах або його штучних аналогів (ювеноїдів), які гальмують метаморфоз і таким чином призводять до загибелі популяції.

Хімічні препарати, які використовують у захисті рослин, випускають у вигляді концентрацій емульсій (к. е.), змочуваних і розчинених порошків (з. п. і р. п.) водних і масляних розчинів (в. р. і м. р.), мінерально-масляних емульсій (м. м. е.), дустів, паст, гранул тощо.

Способи їх застосування різні: оббризування, запилення, фумігація, аерозольні обробки (МО і УМО), передпосівна обробка насіння, отруєні принади, розсівання або внесення у ґрунт гранульованих пестицидів.

Рослини пестицидами можна обробляти наземним способом і за допомогою авіації. При проведенні наземних обробок використовують машини: ПОМ-630, ОПШ-15, ОП-2000-01, ОП-2000-2-01, ОВТ-1200 та ін.

Оббризування за допомогою авіаційної апаратури проводять літаками Ан-2, Ан-2М, вертольотами МШ-1, МІ-2, К-26 з висоти 5 м над рослинністю. Норма витрати робочої рідини – 25 - 50 л/га. Авіаобробки необхідно проводити в ранкові й вечірні години при температурі повітря не вище 25 °С і швидкості вітру не більше як 4 м/с.

В останні роки хімічний метод захисту рослин постійно вдосконалюється. Поліпшується асортимент і препаративні форми пестицидів. Синтезовані нові препарати, досить ефективні проти шкідливих організмів і менш токсичні для корисної фауни.

Розроблені основні біоценотичні принципи застосування інсектицидів. Вони ґрунтуються на необхідності врахування економічних порогів шкідливості шкідників, широкому застосуванні передпосівної обробки насіння, особливо разом з антистресовими речовинами і плівкоутворюючими полімерами, використанні пестицидів у найменш небезпечні строки для корисної ентомофауни в чистому вигляді і у вигляді бакових сумішей, зниженні норм витрат препаратів, локальних обробках посівів, проведенні обробок з урахуванням співвідношення в посівах шкідливих і корисних комах, використанні гранульованих інсектицидів.

Практично безпечні для корисних комах фунгіциди - їх летальні концентрації знаходяться у значно більш високих межах, ніж ті, що застосовують у практиці захисту рослин.

Більш високу рівномірність розподілу препаратів по оброблюваній площі і менше їх знесення забезпечують штангові оббризувачі.

При виборі препаратів перевагу слід віддавати пестицидам, які швидко розпадаються з утворенням нетоксичних залишків. Крім того, вони повинні бути високовибіркової дії і не порушувати екологічної рівноваги. Пестициди першого покоління (хлорорганічні) цим вимогам не відповідали.

Під час вдосконалення асортименту препаратів одержані пестициди другого (фосфорорганічні) і третього покоління (перетроїди). Найбільшого успіху досягнуто в синтезі й використанні аналогів.

Безпека використання хімічних засобів досягається при виконанні двох вимог: необхідно, щоб продукти харчування і корми для тварин не містили залишків токсичних речовин, що перевищують гігієнічні норми; не допускати нагромадження залишків пестицидів в об'єктах навколишнього середовища. При цьому в усіх випадках доцільно використовувати в першу чергу пестициди, які мають більш короткий період розпаду; для того, щоб запобігти наявності шкідливих залишків токсичних речовин у рослинних продуктах (а через корми і в продуктах тваринництва), необхідно враховувати час від строку обробки до запланованого строку збирання врожаю і застосовувати препарати, строк детоксикації яких у рослинних тканинах коротший цього часу (гігієнічний регламент «строк очікування»); слід запобігати багаторазових обробок за сезон одним і тим самим препаратом, навіть при використанні малостійких речовин, пестициди з персистентністю 1-6 місяців можна застосовувати до двох разів за вегетаційний період, а більш стійкі можна використовувати тільки у сівозміні з повторною обробкою одного і того самого поля через 3-4 роки. При необхідності проведення декількох обробок за сезон слід застосовувати різні за хімічним складом препарати. Не рекомендується використовувати суміші інсектицидних препаратів, бо це сприяє відбору популяцій з комплексною стійкістю проти різних груп токсичних речовин.

Механічний метод трудомісткий, тому його застосовують переважно в найбільш інтенсивних галузях рослинництва (плодівництво) або тоді, коли немає можливості застосовувати інші, більш досконалі методи.

Існують такі різновиди механічного методу.

Влаштування перешок. При захисті буряків від бурякового довгоносика копають канавки, в саду на стовбури дерев накладають клейові кільця тощо.

Збирання і знищення шкідників. Застосовують головним чином для бо-

ротьби із плодовими довгоносиками і хрущами, збирання і знищення павутинних гнізд білана жилкуватого і золотогузки.

Принада. Використовують шумуючу мелясу як принаду для метеликів озимої совки та інших шкідників. Ловильні пояси застосовують проти яблуневої плодожерки.

Фізичний метод застосовують головним чином для боротьби із шкідниками у період зберігання врожаю і продуктів його переробки. Так, при охолодженні до мінус 10-11°C протягом 6 днів гине горохова зернівка, а при температурі мінус 10 °C через 12 годин - квасолевий зерноід.

Проводять також дезинсекцію насіння за допомогою струмів високої частоти, іонізуючого опромінення. Останнє широко використовують і для променестерилізації шкідників. До цих методів слід віднести сушіння насіння і зернопродуктів, яке застосовують як профілактичний і знищувальний заходи проти комірних кліщів, комірного і рисового довгоносиків тощо.

Світопастки і жовті клейові пастки також є різновидами фізичного методу боротьби.

Карантин рослин передбачає систему заходів, спрямованих на запобігання ввезення в країну нових видів шкідників і хвороб, а також на виявлення, обмеження і ліквідацію вогнищ розмноження уже прониклих на нашу територію іноземних видів, які у нас мають локальний характер поширення. У зв'язку з цим розрізняють зовнішній і внутрішній карантин рослин.

На закінчення зазначимо, що, на думку ряду провідних вчених (Поляков І. Я., Васильєв В. П., Павлов І. Ф., Шапіро І. Д., Сусідко П. І., Новожилов К. В. та інші), в системах захисту рослин повинні бути представлені: методи агротехнічної профілактики, включаючи використання спеціальних агротехнічних прийомів з профілактики або пригнічення розвитку шкідливих об'єктів; стійкі проти шкідливих організмів сорти сільськогосподарських рослин; прийоми, які зберігають і активізують діяльність корисних організмів, що регулюють динаміку популяцій шкідників, фітопатогенів і бур'янів; активні заходи пригнічення шкідливості шкідливих організмів (біологічні, хімічні й використання речовин, які керують розвитком і поведінкою шкідливих видів) на основі детального аналізу агробіоценозів і суворої об'єктивної оцінки очікуваного розвитку шкідників та рівнів економічного збитку.

Екологічний паспорт сільськогосподарського підприємства



Рівень антропогенного навантаження на сільськогосподарський ландшафт у багатьох районах України призвів до того, що в ряді господарств немає можливості виробляти продукцію для дитячого та дієтичного харчування. Продукція може бути забруднена радіонуклідами, пестицидами, важкими металами, нітратами. Її використання призводить до тяжких захворювань людей, особливо дітей. У зв'язку з цим підвищився інтерес до вирішення проблеми вирощування екологічно чистої продукції.

В економічно розвинутих країнах всіляко заохочують господарства, які вирощують таку продукцію. У США, наприклад, марка «продукція біологічного землеробства» присвоюється лише після того, як вона пройде контроль на екологічну чистоту, що здійснюється спеціальною організацією, яка видає фермеру сер-

тифікат якості. Витрати виробництва екологічно чистої продукції компенсуються вищими (на 110—115 %) цінами на неї, ніж на звичайну.

Оскільки в Україні спеціалізованої організації, яка проводить контроль за екологічною чистотою продукції ще немає, ряд співробітників Національного аграрного університету (Шикула М. К., Доля Н. Н., Гнатенко А. Ф., Заїка В. В.) вважають, що необхідно йти шляхом розробки екологічних паспортів для господарств, і на підставі їх надавати дозвіл на виробництво екологічно чистої продукції. У цих господарствах сертифікати видають на підставі розробленого екологічного паспорта господарства, без проведення аналізів на екологічну чистоту кожної партії продукції, але з можливим її контролем.

Нині ще не існує методик для створення екологічних паспортів сільськогосподарських підприємств. Першою спробою вивести виробництво екологічно чистої продукції на науково контрольований рівень екологічної чистоти з'явилася розробка вказаними раніше вченими Національного аграрного університету в 1993 р. екологічного паспорта колгоспу ім. Орджонікідзе Шишацького району Полтавської області.

Це господарство вибрано не випадково. Воно знаходиться в одному з районів, придатних для виробництва екологічно чистої продукції у північній частині Полтавської області і віддалене від великих промислових центрів міст-забруднювачів. Під час аварії на Чорнобильській АЕС роза вітрів склалася так, що сюди не потрапило радіонуклідне забруднення. Це господарство є базовим з біологічного землеробства Національного аграрного університету.

З 1979 р. тут не застосовують пестициди. Норма внесення органічних добрив зросла до 24,5 т/га, а мінеральних - зменшилася до 125 кг/га. Співвідношення між органічними і мінеральними добривами за діючою речовиною становить 1:5. По всіх параметрах у господарстві застосовують біологічне землеробство і воно вирощує екологічно чисту продукцію на рівні світових стандартів.

Для створення екологічного паспорта було проведено карти-

рування всіх 26 полів на забрудненість ґрунтів і продукції радіонуклідами, важкими металами, пестицидами. Для аналізу на екологічну чистоту взяли гранично допустимі концентрації (ГДК) на рівні світових стандартів.

На основі визначеного в ґрунтах і рослинах рівня забруднення їх радіонуклідами сформовано прогноз можливого забруднення вирощеної продукції у майбутньому. Якщо він показує забруднення вирощеної продукції нижче ГДК, продукцію можна вважати екологічно чистою без додаткового аналітичного визначення у кожній партії, але з можливим оперативним контролем.

Основні розділи екологічного паспорта такі: забрудненість господарства радіонуклідами, важкими металами та пестицидами; нітратне забруднення, якість сільськогосподарської продукції; умови для ведення біологічного землеробства; заходи щодо зменшення надходження забруднювачів з ґрунту в рослини; заходи по зменшенню забруднення продукції тваринництва; висновки.

По кожному з вказаних розділів, за винятком тваринництва, проводять докладні дослідження в межах кожного поля сівозміни.

При характеристиці забрудненості господарства радіонуклідами в усіх полях сівозмін проводять аналізи на вміст та інтенсивність радіонуклідів у ґрунті.

У кінці розділу роблять висновок про вміст радіонуклідів і його відповідність природним показникам для даного типу ґрунту.

У розділі «Забрудненість важкими металами» наведено результати аналізів по вмісту в ґрунті і рослинах ртуті, свинцю, кадмію, цинку, міді та деяких інших важких металів. Аналіз вмісту цих елементів проводять з врахуванням показників їх гранично допустимого вмісту в ґрунті та рослинах.

У кінці розділу роблять висновок про придатність даних ґрунтів для вирощування екологічно чистої продукції.

Аналіз матеріалу розділу «Забрудненість пестицидами» проводять на основі даних по визначенню залишкових кількостей пестицидів у ґрунтах і врожаю основних сільськогосподарських культур.

Нітратне забруднення господарства аналізують на основі виз-

начення вмісту нітратів у джерелах водопостачання, а також продукції рослинництва (овочі, картопля тощо).

У розділі «Якість сільськогосподарської продукції» розглядають матеріали аналізів по забрудненню радіонуклідами, важкими металами і пестицидами продукції, яка виробляється в господарстві.

Для кожного виду продукції (овочі, крупа, молоко, м'ясо тощо) прикладені сертифікати (або їх копії) про вміст токсикантів або результати експертизи по дослідженню на наявність залишків пестицидів, важких металів, нітратів у продукції тваринництва (молоко, м'ясо).

Аналіз умов для ведення біологічного землеробства проводять в ґрунті на вміст гумусу, реакцію ґрунтового розчину, вміст нітратного азоту, рухомого фосфору, обмінного калію тощо.

Роблять висновок про те, що основним питанням переходу на біологічне землеробство є розширене відтворення гумусу як інтегрального показника потенційної родючості, який впливає на всі ґрунтові режими - поживний, водний, повітряний, тепловий і фіто-санітарний.

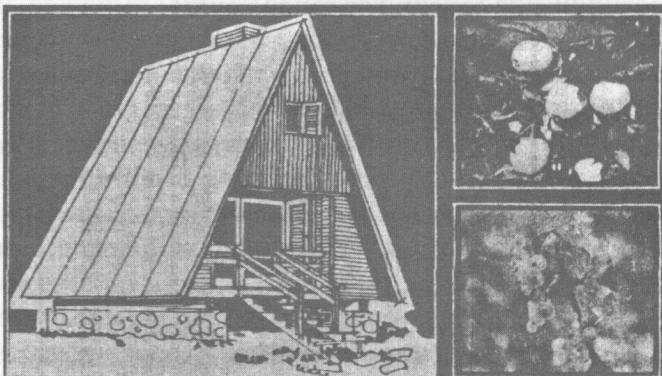
Розділи про заходи щодо зменшення надходження забруднювачів з ґрунту в рослини і зменшення забруднення продукції тваринництва ґрунтуються на матеріалах, викладених у попередніх розділах по кожному із факторів, які забруднюють продукцію сільськогосподарського виробництва.

На закінчення слід відзначити, що нині, за прикладом економічно розвинутих країн, необхідно налагодити виробництво екологічно чистої продукції рослинництва і тваринництва в районах, де є чисті ґрунти і можна її одержувати без засобів активної хімізації і застосування біологічного землеробства.

Цьому буде сприяти створення екологічного паспорту господарства, який свідчитиме, що господарство має або не має права виробляти екологічно чисту продукцію рослинництва і тваринництва на рівні світових стандартів.

Сертифікати на екологічно чисту продукцію видають контролюючі органи без проведення аналізів, але з періодичним контролем. Згідно із світовою практикою екологічно чисту продукцію господарство продає за підвищеними цінами.

Система забезпеченості життєдіяльності



САДОВО-ГОРОДНІ ДІЛЯНКИ



В результаті урбанізації і техногенезу вплив людини на природу досяг дії геологічних сил. При цьому головний зміст науково-технічної революції полягав у всебічному розвитку людини. Найважливішим аспектом всебічного розвитку людини є питання розвитку «якості» народонаселення і здоров'я людини як основи цієї якості. Оперуючи поняттям здоров'я, слід розрізняти здоров'я на рівні індивідумів і на рівні крупних груп народонаселення - популяцій.

Здоров'я індивіду - це динамічний стан збереження та розвитку його біологічних, фізіологічних та психічних функцій, оптимальної працездатності і соціальної активності при максимальній тривалості життя. В умовах урбанізованого індустріалізованого суспільства здоров'я людини - об'єкт нової синтетичної науки - екології людини. В умовах цього суспільства головне значення глобального масштабу має не індивід, а популяція - соціально-біологічно організований колектив, який на селяє певну територію і відтворює себе в часі.

Поняття здоров'я індивіду не може поширюватися на популяційний рівень. В умовах НТР здоров'я популяції управляється та гарантується (у всякому разі так повинно бути повсюди) соціальними інститутами суспільства за допомогою особливого механізму - системи забезпечення життєдіяльності (СЗЖ). Метою СЗЖ є організація життєдіяльності та основ відтворення здоров'я населення, яка забезпечує виконання виробничо-економічних задач, підтримання та розвиток певного рівня виробничих сил у межах певної території. Сумарний ефект суспільного виробництва популяції в даній СЗЖ можна оцінювати за двома показниками: 1) величині виробничого ККД; 2) рівню стану здоров'я популяції. В СЗЖ потоки живої сили сполучаються з потоками матеріалів, енергії, інформації на основі специфічних соціальних, соціально-психологічних та екологічних закономірностей.

Наприклад, в СЗЖ стан здоров'я може бути благополучним, а величина випуску продукції задовільною. Але працівники виїжджають в інші СЗЖ. Яка там ситуація? Це питання дуже актуальне для таких агломерацій, як Кривбас (м. Кривий Ріг), міст Донецька, Дніпропетровська, Запоріжжя та ін. Цей потік живої сили потребує створення спеціальних систем організації праці, відпочинку тощо. Така організація для місцевих підприємств може виявитися непосильною і через деяке число міграційних циклів популяція може «вийти з ладу».

У другому прикладі функції СЗЖ і функції виробництва суміщаються повністю, утворюючи узгоджену систему «виробництво - осідле населення - природа».

В наш час напруженість міграційних потоків обумовлена не завжди економічною метою, але тим, що СЗЖ на певній території не відповідають інтересам та вимогам людей, що там проживають. В таких випадках починається формування потоку живої сили з однієї СЗЖ в іншу. Такі потоки

порушують економічну схему виробництва, вносять аритмію, ускладнюють виробничі плани. Це неорганізовані, стихійні потоки. Разом з тим у сучасній індустрії, в сільському господарстві, при будівництві великих нових заводів і виникненні у зв'язку з цим нових міст може бути необхідним організований потік живої сили, який необхідно передбачати у планах.

Явища, пов'язані з міграційними потоками, використовують показники:

1) «кількісне розбавлення» - величина медичних втрат на «вході» та «виході» в дану популяцію по вікових та статевих демографічних групах; 2) «якісне розбавлення» - величина ступені та особливостей захворюваності по тим же демографічних показниках; 3) «рекреаційний ефект» - медичні втрати частини популяції, що лікується та відпочиває за межами регіону; 4) «ефект запізнення» - реєстрація даного рівня здоров'я як еталону і закріплення його через соціально-гігієнічні та природні нормативи (Казначеев, 1978). В.П.Казначеев (1963) пропонує таку математичну інтерпретацію цього явища.

Напруженість потоку живої сили через названі чотири критерії можна виразити: 1) $K = \frac{\text{Кількість, якість входу}}{\text{Кількість, якість виходу}}$;

$$2) H = \frac{\text{Величина витрат (у чол.-днях)}}{\text{Розрахункова ідеальна величина чол.-год. активного життя всієї популяції}}$$

3) Р - показники здоров'я за наступні періоди життя (тривалість життя);

4) М - кількість та якість потомства у період роботи та наступного життя.

При $K=1$ потік реалізується планово і напруженість його оптимальна для даних умов. При невідповідності показників потоку на вході і виході $K \neq 1$.

Якщо відхиляються показники входу, причину слід шукати за межами СЗЖ, якщо відхиляються показники виходу, то причини знаходяться усередині СЗЖ. На базі теорії ланцюгів Маркова можна побудувати імітаційну модель міграції. Призначення моделі:

1) розрахунок та прогнозування структури здоров'я популяції;

2) оцінка ефективності систем рекреації;

3) перевірка гіпотез відносно структури міграційних потоків;

4) оцінка термінів перебудови структури здоров'я популяції;

5) систематизація статистичних та експертних оцінок відносно процентів втомлювання і рекреації;

6) введення поправок до оцінки рівня захворюваності населення на основі даних про міграційні переміщення;

7) вивчення перехідних процесів при введенні нових елементів.

Як приклад, наводяться умовні якісні розрахунки.

В наведених прикладах задаються три групи населення - А, В і С. Умовно - це «здорові», «напружені», «хворі». У розрахунках прийнято, що населення розміщено на територіях T_1 і T_2 , між якими здійснюється міграційний обмін.

Стан групи позначається через S, де S (A,B,C) \in 1, 2 так, що, наприклад, А - група здорових, які проживають в місті T_2 . Нехай $n(S)$ - абсолютна, а $P(S)$ - відносна чисельність групи S. Структура популяції визначається статистичним розподілом $P(S)$, а структура популяційних потоків - квадратною матрицею, елемент якої $P(S_i)$ \in вірогідність переходу із стану S_i в стан S_{ii} . Наприклад, вірогідність переходу із стану «напружений» у стан «хворий», з одночасним переміщенням із T_2 в T_1 .

Таким чином, для моделі, що містить 6 станів, повинні бути задані 36 елементів матриці слідуючих типів:

1. Показники екологічного втомлення населення T_1 .
2. Показники рекреації населення T_1 .
3. Показники екологічного втомлення населення T_2 .
4. Показники рекреації населення T_2 .
5. Показники рекреаційного втомлення населення при переїзді із T_2 в T_1 .
6. Показники міграційного втомлення при переїзді із T_2 в T_1 .
7. Показники, які характеризують збереження стану («ядро» популяції) в T_1 і в T_2 .
8. Показники рекреаційного впливу переїзду із T_1 в T_2 .
9. Показники рекреаційного впливу переїзду із T_2 в T_1 .
10. Показники інтенсивності міграційних потоків при переїзді із T_2 в T_1 .
11. Показники інтенсивності міграційних потоків при переїзді із T_2 в T_1

для різних груп населення.

Коефіцієнти матриці вірогідних переходів різних типів

		T_1			T_2		
		A_1	B_1	C_1	A_2	B_2	C_2
T_1	A_1	7	1	1	10	5	5
	B_1	2	7	1	8	10	5
	C_1	2	2	7	8	8	10
T_2	A_2	11	6	6	7	3	3
	B_2	9	11	6	4	7	3
	C_2	9	9	11	4	4	7

Визначаючи конкретні значення коефіцієнтів матриці, одержуємо різні варіанти задач для прогнозування перехідних процесів у системі.

Задача № 1. Дослідження структури населення T_1 і T_2 в умовах інтенсивного переміщення.

Вихідні умови:

$$n(A_1) = 500000 \quad n(B_1) = 400000$$

$$n(A_2) = 50000 \quad n(B_2) = 40000, \quad n(C_1) = 100000 \quad n(C_2) = 10000$$

Матриця вірогідностей переходу

		T_1			T_2		
		A_1	B_1	C_1	A_2	B_2	C_2
T_1	A_1	0,95			0,05		
	B_1		0,99			0,01	
	C_1			1,00			
T_2	A_2	0,05			0,95		
	B_2		0,01			0,99	
	C_2			0,20			0,80

В даній моделі фіксовані тільки міжрегіональні переміщення і не відображені процеси стомлення і рекреації, так що зміна «структури здоров'я» T_2 відбувається лише в результаті вибіркової міграції. В силу «демпфіруючої» дії значних мас населення структура здоров'я великого населеного пункту T_1 практично не змінилася, в той час, як в малому місті T_2 якість популяції покращалася: суттєво зросла чисельність групи A , більш ніж у три рази зменшилася чисельність групи C , причому чисельність населення T_2 збільшилася. Цей процес протікає виключно в результаті нееквівалентного обміну населення між T_1 і T_2 .

Таким чином, не вживаючи ніяких рекреаційних заходів ні в T_1 ні у T_2 , ми отримали в T_2 виражений «оздоровчий ефект». Цей ефект повністю пояснюється нееквівалентним обміном населення, властивостями вибіркової, або селективності міграції. Описаний статистичний ефект приводить до парадоксального на перший погляд явища - покращенню якості попу-

ляції там, де умови менш сприятливі, і погіршенню якості популяції там, де умови більш сприятливі. В результаті може бути втрачена можливість виявлення зв'язку між умовами конкретного регіону і станом здоров'я його населення. Очевидно, що традиційні форми медичного статистичного обліку, яке орієнтоване на стаціонарне населення, в даному випадку виявляється неадекватним. Саме про це йшла мова при характеристиці екологічної ситуації міста Кривий Ріг. Для одержання об'єктивної картини необхідні знання міграційних потоків, статевовікової структури населення, тривалості проживання в даному районі хворих і здорових людей та багато інших характеристик, які не враховуються медичною статистикою.

Є ще досить суттєва обставина, яка витікає з властивостей марковської моделі популяції: кінцевий розподіл станів системи повністю визначається вірогіднісними коефіцієнтами переходів і практично не залежать від вихідного розподілення станів популяції, так що, вивчаючи кінцевий розподіл станів популяції, ми не можемо відновити початковий розподіл. Аналіз системи з подібними вихідними обмеженнями зменшує нашу здатність оцінювати фактичний стан популяції.

Задача № 2. Дослідження структури населення T_1 і T_2 в умовах екологічної напруженості, рекреації, інтенсивного міграційного обміну.

Вихідні умови:

$$T_1/P(A_1) = 500000, T_2/P(A_2) = 50000, P(B_1) = 40000, P(B_2) = 0, \\ P(C_1) = 100000, P(C_2) = 1$$

Матриця вірогідностей переходу:

		T_1			T_2		
		A_1	B_1	C_1	A_2	B_2	C_2
T_1	A_1	0,95			0,05		
	B_1		0,99			0,01	
	C_1			1,00			
T_2	A_2	0,05			0,95		
	B_2		0,01			0,99	
	C_2			0,20			0,80

Коефіцієнти, $(p/A_1, B_2, p/B_2, C_2)$ характеризують виробниче стомлення, $(p/A_2, B_2)$ - міграційне стомлення, $(p/B_1, A_2, p/C_1, B_1)$ - ефект рекреації в T_1 . Припускається, що T_2 не має власних рекреаційних потужностей - коефіцієнти $(p/B_2, A_2, p/C_2, B_2)$ рівні нулю. Динаміка зміни структури населення в T_1, T_2 і популяції в цілому показана в наступній таблиці.

Динаміка популяції (до задачі № 2)

Крок	T_1				T_2			
	Всього	А	В	С	Всього	А	В	С
0	10000000	50,0	40,0	10,0	500000	100,0	0	0
1	965500	53,6	34,0	12,4	85500	76,9	23,1	0,0
2	934985	56,4	29,8	13,8	115015	68,9	27,7	3,4
3	908569	58,7	26,8	14,5	141431	66,0	27,6	6,4
4	862338	64,1	22,5	15,4	187662	64,2	27,2	8,6
5	843740	63,2	21,4	15,5	206260	63,6	26,1	10,3

При даному розподілі потоків якість популяції T_2 порівняно швидко погіршується, через 5 років залишається лише 63,6 % осіб групи А, а близько 10% населення виявляються в групі С. Дещо погіршується структура здоров'я, частка групи С по усій популяції зростає з 9,5 до 14,5 %.

Задача № 3. Дослідження впливу на стан популяції перерозподілу витрат в T_1 .

З метою дослідження ефекту суттєвого покращення рекреаційної служби у T_1 будується модель, яка відрізняється від попередньої більшим значенням рекреаційних коефіцієнтів, так що строка матриці T_1 - В має такий вигляд:

	T_1			T_2		
	A_1	B_1	C_1	A_2	B_2	C_2
B_1	0,27	0,60	0,10		0,03	-

Динаміка структури населення

Крок	Т ₁				Т ₂			
	Всього	А	В	С	Всього	А	В	С
0	1000000	50,0	40,0	10,0	50000	100,0	0	0
1	965500	66,6	26,0	12,5	84500	76,9	23,1	0,0
2	933625	67,4	19,5	13,1	116375	70,4	26,2	3,4
3	905003	72,0	15,1	12,9	144977	68,2	25,7	6,1
4	879665	75,1	12,4	12,5	170345	67,6	24,4	8,0
5	857354	77,3	10,7	12,0	192646	67,5	21,2	9,3

Звернемо увагу на той факт, що збільшення потужності рекреаційної служби в Т₁ майже у три рази (коефіцієнт $r(B_1, A_1)$ не вплинуло істотно на структуру здоров'я населення в Т₂. Звідси слідує важливий організаційний висновок: рекреаційна служба повинна бути по можливості ближче висунута до джерел стомлення.

Таким чином, дослідження показників стану та рівня здоров'я населення неможливе без урахування міграційних переміщень, без урахування процесів здоров'я і адаптації.

Наведені розрахунки свідчать, що медичні втрати для певної популяції можуть не тільки відображати стан здоров'я, але й бути наслідком складних демографічних процесів. Якщо у даній СЗЖ міграційні потоки невеликі, то рівень та структура захворюваності з врахуванням тривалості активного життя будуть достатньо достовірно відображати дійсний стан здоров'я популяції. Але коли кількість від'їжджаючих і тих, що повертаються різних віків велика (наприклад, 30% і більше від чисельності населення), то стан здоров'я в межах СЗЖ буде визначатися характеристиками самого потоку, пов'язаного, зокрема, з рекреаційними переміщеннями населення в різні сезони року.

Отже, управління популяційним здоров'ям поряд з добре вивченими санітарно-гігієнічними нормативами повинно включати в себе уявлення та критерії, пов'язані з більш широким колом соціальних

та біологічних закономірностей. Останні набувають істотного значення у зв'язку з розгортанням науково-технічного прогресу, прискоренням темпів та ритмів соціального часу.

На основі ймовірнісної моделі, яку використовують для оцінки ефектів «розбавлення» популяції в результаті міграції, можливе дослідження динаміки системи при сполученні впливів факторів навантаження та факторів рекреації.

Припустимо, що стан замкнутої (непроточної) популяції визначається вектором $n = (N_1, N_2, N_3)$, де n - число найбільш здорових людей, N_1, N_2, N_3 - число людей, які характеризуються напруженням, викликаним екологічними факторами А і В. Виражаючи структуру популяції в долях одиниці, отримаємо ймовірносний вектор $p = (P_1, P_2, P_3)$. Матрицю ймовірного переходу запишемо у вигляді:

$$\begin{array}{ccc} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{array}$$

Елементи P_{12} і P_{13} відображають вплив на здорових людей факторів А і В, елементи P_{21} і P_{31} характеризують ефективність рекреаційних засобів, які направлені на компенсацію впливу факторів А і В. Припускаючи, що можливі переходи типу А до В і В до А, позначимо відповідні елементи матриці через P_{23} і P_{32} . Як відомо з теорії марківських моделей, кінцева стаціонарна структура ймовірносного вектору станів повністю визначається матрицею переходів і не залежить від стану, в якому система знаходилася у фіксований момент часу, який визначається як початок процесу. Для збереження стану популяції, або для покращення її якості (зростання частка P_1) необхідно визначити відповідність між величиною «тиску» середовища P_{12} P_{13} і потужністю рекреаційної системи P_{21} P_{31} . Можна уявити собі автомат, який, вимірюючи величини P_{12} і P_{13} , вносить необхідні корективи у розподіл рекреаційних ресурсів, змінюючи величини P_{21} і P_{31} .

Наявний досвід свідчить, що навіть незначне коректування рекреаційних заходів, яке ґрунтується на регулярній інформації про стан природної, техногенної та соціальної ситуації середовища, може виявитися досить ефективним.

Виконаємо деякі елементарні умовні розрахунки. Припустимо, що в антропоєкологічну систему в момент часу $t=0$ виявилася включеною здорова популяція ($P_1=1, P_2=0, P_3=0$) чисельністю 1000 чоловік. Матриця ймовірностей переходів задана таким чином:

0,6	0,4	0,3
0,4	0,5	0,1
0,3	0,2	0,5

Розглянемо дану популяцію у динаміці:

Номер циклу	Здорові	Стан А	Стан В
0	1000	0	0
1	600	100	300
2	490	170	340
3	464	202	334
4	459	214	327
5	459	218	323

Таким чином, протягом 3-4 циклів система виходить на стаціонарний режим, при якому близько 46% здорові, 22% знаходяться у стані А, 39% - у стані В. «Персональний склад» кожної із груп безперервно змінюється, так що у кожний інтервал часу близько 45 чоловік із стану норми переходить у стан А-напруженості, а 140 чоловік - у стан В-напруження. В цей же час рекреаційна система здійснює нормалізацію стану близько 80 чоловік у групі А і близько 100 чоловік у групі В. Визначимо втрати, викликані подібним циклічним рухом «норма-напруженість-норма». Втрати складаються із зниження якості популяції і вартості рекреаційних заходів по відновленню якості. Втрати першого типу визначаються сумою:

$$U = U_2 n_2 + U_3 n_3.$$

Тут U_2, U_3 - питомі втрати (у розрахунку на одного чоловіка). Рекреаційні витрати визначаються сумою $R = n_2 P_{21} K_{21} + n_3 P_{31} K_{31}$.

K_{21} і K_{31} - питомі середні витрати, необхідні для «переміщення» однієї людини із стану А і В у стан норми. Припустимо, що матриця ймовірностей переходу має вигляд:

0,6	0,3	0,1
0,2	0,8	0,0
0,2	0,0	0,8

Прийmemo такі значення питомих витрат:

$$U_2 = 5 \quad U_3 = 1 \quad K_{21} = 2 \quad K_{31} = 7$$

Розглянемо стан популяції у динаміці:

Номер циклу	Здорові	Стан А	Стан В	U	R
0	1000	0	0	1600	260
1	600	300	100		
2	440	420	140	2240	364
3	376	468	156	2496	405
4	351	487	162	2597	418
5	340	495	165	2640	425
6	336	498	166	2655	

Зупинемо процес на шостому такті, оскільки характеристики стаціонарного стану визначилися. Здійснимо перерозподіл рекреаційних ресурсів у відповідності з матрицею:

$$\begin{matrix} 0,6 & 0,3 & 0,1 \\ 0,3 & 0,7 & 0,0 \\ 0,1 & 0,0 & 0,9 \end{matrix}$$

і прослідкуємо подальшу динаміку системи:

7	367	450	183	2433	417
8	373	425	202	2327	396
9	371	410	219	2269	394
10	368	398	234	2224	400

Таким чином, не збільшуючи загального об'єму рекреаційних витрат і навіть дещо зменшуючи їх до рівня 400 шляхом лише кращого їх розподілу (тобто зміненням елементів матриці P_{21} і P_{31} ми отримали суттєве зниження витрат. Цей ефект викликаний зміною структури ймовірнісного вектору - відносним зменшенням числа осіб у стані А, що відповідає більш питомим витратам, і збільшенням числа осіб у стані В, що відповідає менш питомим витратам.

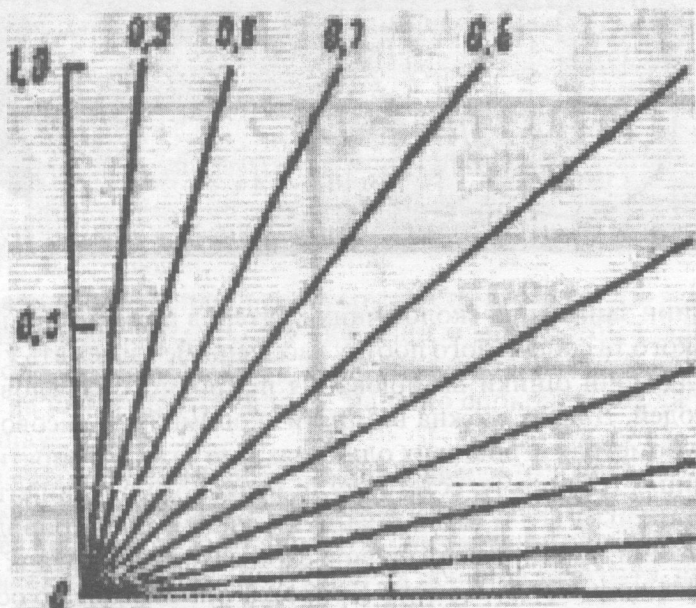
Для виконання подібних розрахунків на практиці необхідні числові значення питомих витрат, пов'язаних з впливом різних екологічних факторів, статистичні дані про переходи частини популяції з одного стану в інший і т.п. Знаючи матрицю ймовірностей переходу, можна, не чекаючи виходу процесу на стаціонарний рівень, здійснити прогноз структури популяції тривалістю в 4-5 циклів і запланувати заходи, спрямовані на зниження екологічного навантаження (шляхом зменшення еле-

ментів P_{12} і P_{13}), а також підвищення в межах наявних ресурсів ефективності рекреаційної системи (шляхом збільшення елементів P_{21} і P_{31}).

Для простої моделі популяції (число станів дорівнює двом - «норма» і «напруженість»), структура переходів задається матрицею 2×2) можлива побудова монограм, які полегшують подібні розрахунки. Для такої моделі кінцевий стан популяції визначається за елементарними формулами:

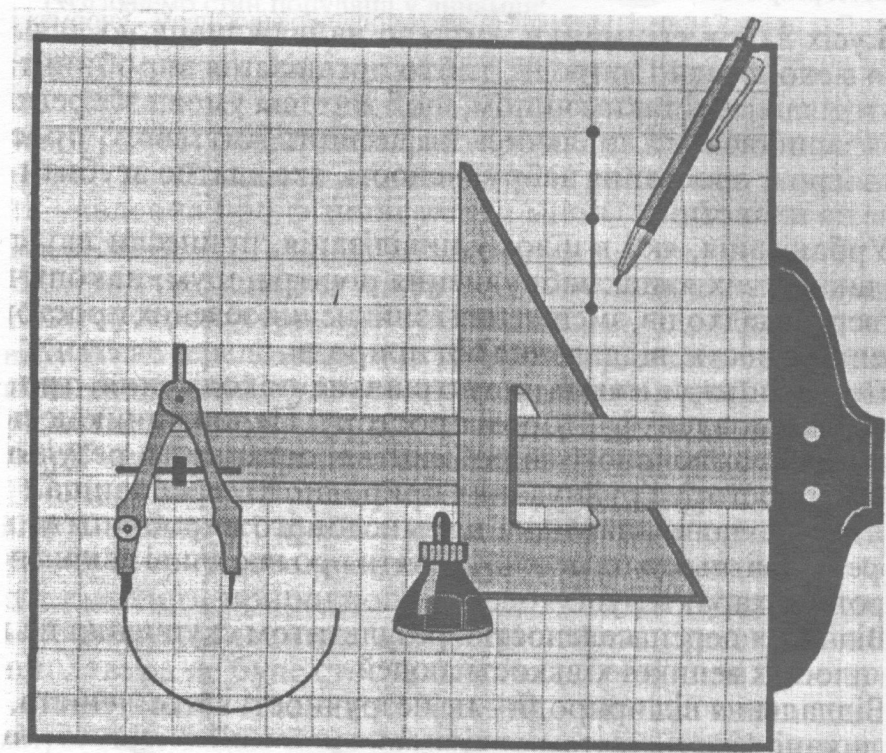
$$P_1 = \frac{P_{21}}{P_{21} + P_{12}} \quad \text{та} \quad P_2 = \frac{P_{12}}{P_{21} + P_{12}} .$$

На мал. 56 для кожної пари значень елементів P_{21} і P_{12} показана частка популяції P_1 , яка знаходиться у стані норми. Наприклад, для $P_{12} = 0,5$ і $P_{21} = 0,8$, $P_1 = 0,62$. Навпаки, знаючи величину P_{12} і задаючись бажаною якістю популяції P_1 , можна визначити інтенсивність рекреаційного потоку на заданому рівні. При нульових екологічних навантаженнях існує природна межа збільшення здорової частки популяції. Так, при $P_{21} = 1$ і екологічному навантаженні, відповідному $P_{12} = 0,5$, здорова частка популяції складе не більше 70%.



Мал. 56. Номограма для визначення стаціонарного значення здорової частки популяції P_1 при різних значеннях факторів навантаження P_{12} і рекреації P_{21}

Вимірювання життєвого середовища



Причини запізнення екологічних критеріїв при організації господарського та соціального побуту населення Землі лежать у складності кількісної оцінки вимірювання природного середовища у житті людей. Дійсно, можна виміряти економічність лісового масиву в кубометрах і грошових одиницях, але важко виміряти в тих же одиницях оздоровчу, естетичну та психологічну цінність зелених насаджень. І все ж економіка природи існує, бо природа має ціну. Відомий французький еколог-економіст Ф.Сен-Марк (1977) робить реальну спробу в оцінці Природи. Він вважав, що остання проявляється у трьох формах: «ціна людства», «ціна економічна» і ціна «політико-економічна».

Перша виражає вплив руйнування Природи на людину: фізичні та психологічні біди у великих містах.

Друга вимірює її цінність з точки зору рентабельності.

Третя конкретизує усі ті зміни, які слід внести у нашу шляхом класичного економічного аналізу промислову та фінансову політику, щоб запобігти зникненню природи.

З усіх ланок економіки життєво найважливішою для людини є економіка Природи, тобто організація виробництва і життєдіяльності таким чином, щоб життєві умови збереглися і покращилися, не дивлячись на дефіцит життєвого простору і загрозу зростання забрудненості, яке здатне згубити усе живе на планеті.

Урбанізація, як і в цілому цивілізація, принесли людству ряд шкідливих явищ: забруднення повітря, шум, накопичення твердих відходів, зменшення і зникнення зелених просторів, перенаселеність, віддалення від природи.

Перші чотири мають індустріальне походження, три останніх обумовлені фактором простору. Перші виникають як наслідок промислового виробництва, останні - в результаті нестачі простору і руйнування природного середовища.

Якщо шкідливі наслідки промислового виробництва вже добре відомі, цього не можна сказати про шкідливі явища просторового характеру.

Відчуття перенаселеності є результатом скупчення на малих площах великої кількості людей.

Віддалення від природи - це незручності і втомленість, які викликані фізичною та психічною дистанцією між містом і сільською місцевістю, довжиною шляху через передмістя, неможливістю вирватися на чисте повітря в лісах, на лоно спокою річок та пташиного співу.

Зараз у всіх цивілізованих країнах здійснюється нова економічна політика, що базується на використанні природних просторів і можливостей промислового виробництва з попереднім економічним аналізом, який би виявив реальну цінність природи та втрати, що виникають через її деградацію.

Для того, щоб підрахувати втрати від руйнування природи для економіки та здоров'я людини, необхідно це руйнування виміряти. Звідси

витікає необхідність індексу життєвого середовища. Він буде конкретно в даний момент виражати загальний стан життя через показники, які дадуть уявлення трьох утворюючих ці умови елементів: землі, повітря, води.

Завдяки цьому стануть можливими об'єктивні порівняння одного міста з іншим, метрополії з її передмістям, одного кварталу з іншим і відкриється шлях новій науці - типології життєвого середовища. Розрахунок цього індексу та аналіз порівнянь будуть основою усякого розумного впливу на оточуюче середовище. У медичному відношенні індекс буде також необхідним для вивчення патології міста. Чисельність психічних та фізичних хвороб, характерних для міста, викликається не окремим шкідливим фактором, а їх комплексом. Звідси виникає необхідність синтетичного показника, який може дати уявлення про фізичні умови міста, про їх вплив на здоров'я людей.

Цей підхід з цифрами в руках приведе до нового розуміння благоустрою території і розвитку.

Життєве середовище має три категорії нематеріальних багатств: біологічні, художні, наукові. Кожна з них повинна вимірюватися окремо. По загальному результату для певної території вимірюється загальний стан фізичного середовища.

Біологічне багатство повинно визначатися таким чином. Коли у наявності крайня кількісна нестача одного із трьох елементів природного середовища, в індекс потрібно включати кількість природного середовища на душу населення. Сьогодні це стосується площі зелених просторів і водоймищ. Завтра це буде стосуватися кількості води і повітря.

Отже, необхідно, щоб кожний споживач мав дані про зелені насадження і водні простори, які б конкретизували тиск міста. З біологічної точки зору нестача води і повітря носить якісний, а не кількісний характер. Що ж до зелених і водних просторів - тут якісна нестача доповнює кількісну.

Зелені простори розташовуються в ієрархії фізіологічних цінностей у відповідності до чотирьох критеріїв: типу рослинності, ступеню концентрації в них шкідливих явищ, їх віддаленості від населених місць та їх доступність для людей.

Перш за все необхідно класифікувати рослинність за її основними типами: польова рослинність, зелений клин, який вводить ґрунт, кисень і життя у мертвий мінералізований світ, дерева та газони на вуличних тротуарах, сад, який дає додаткову можливість для прогулянок та ігор. Лісопарк є місцем спокою, він відкритий для спорту, тут немає шуму, диму та газів. І ліс відновлює цілісність природи.

Крім того, достоїнства зелених масивів залежать від числа проїжджаючих по них автомашин, які приносять окисли вуглецю, шум тощо. Кількість викидів на м² та довжина доріг будуть показниками цих шкідливих явищ.

Відстань, яка відділяє ліс від споживачів, також впливає на соціальну цінність зеленого простору, на кількість його відвідувачів, тривалість відвідувань та соціально-економічний склад відвідувачів. Громадський парк у центрі міста набагато корисніший приміського парку такої ж площі внаслідок великого відвідування і можливості одержати розрядку для тих, хто не має достатньо ресурсів для поїздки за місто.

Значення зелених масивів істотно змінюється в залежності від доступності для відвідування.

Біологічну якість води і повітря виявити легше, ніж якість зелених просторів. Для повітря визначається вміст найбільш небезпечних забруднювачів: димів, свинцю, бензопирену, сірчаного ангідриду, окислів азоту.

Показником шуму в атмосфері є його інтенсивність, яку вимірюють у децибелах, і частоту в герцах.

Щоб визначити якість води, визначають вміст в ній мікроорганізмів, кисню і температуру. Зниження у воді кількості кисню - це реальна ознака наявності в ній якихось органічних сполук або промислових стічних вод, розкладання яких викликає біологічну, або хімічну потребу у кисні. Таким же чином потепління води є ознакою її теплового забруднення відпрацьованими водами.

Якщо для вимірювання біологічного багатства оточуючого середовища можна у цифрах визначити об'єктивні критерії, то по відношенню до художнього та наукового багатства це зробити важко. Одне ба-

зується на красоті пейзажу, друге - на ролі землі і води як зеленої лабораторії. Вимірювання художнього багатства досить суб'єктивно, наукове багатство важко виміряти на основі простих і точних критеріїв. Але оцінити зелені простори з точки зору естетики та науковості необхідно, опираючись хоча б на такий суб'єктивний показник, як частота відвідування.

Індекс життєвого середовища

Стан цих різних категорій може відобразити складний індекс життєвого середовища:

Індекс життєвого середовища = Індекс біологічного багатства
+

Індекс художнього багатства
+

Індекс наукового багатства

Найбільш складний індекс біологічного багатства поділяється на:

Індекс біологічного багатства = Індекс зелених просторів
+

Індекс чистоти повітря
+

Індекс шуму
+

Індекс чистоти води

Ці індекси утворюються так:

індекс зелених просторів розраховується шляхом застосування до кількості наявних зелених просторів на душу населення якісного коефіцієнту, виходячи із чотирьох об'єктивних критеріїв, які позначені в таблиці 15. Якщо необхідно встановити якість обслуговування міського населення зеленими просторами, достатньо перемножити площу міських та приміських зелених просторів для кожного городянина на відповідний якісний коефіцієнт.

Якісні критерії зеленого простору Таблиця 15.

Тип рослинності	Незайманий ліс. Упорядкований лісопарк. Сад. Дерева на вуличних тротуарах. Газон на вуличних тротуарах. Поле (луки)
Концентрація шкідливих явищ	Довжина дорожньої мережі, доступної для автомашин у зеленому просторі. Вага відходів, які вивозяться щорічно з 1 м ²
Віддаленість від населення	Відстань між зеленими просторами і місцем проживання, місцем роботи
Доступність	Приватний доступ. Доступ для обмеженого контингенту. Доступ для всіх. Щоденна тривалість доступу

Для індексу водних просторів розраховується кількість квадратних метрів площі водоймищ, які має у своєму розпорядженні місто чи район.

Для індексів чистоти повітря, чистоти води і індексу шуму вимірюються різноманітні шкідливі явища.

Питома вага окремих індексів у загальному індексі визначатиметься у відповідності із значенням, яке населення придає кожному з цих елементів. Опитування населення буде точним балансом.

Безперечно, що таке вимірювання життєвого середовища може показатися складним. Але воно необхідне, якщо ми хочемо дати кількісну оцінку еволюції шкоди і результатам заходів, які прийняті для відновлення природного середовища.

Розробку таких індексів серйозно ускладнює нестача статистичних даних. Але поступово звернення до вимірювальних складних приладів стає необхідним. Яскравий тому приклад - використання ЕОМ для складання карт загазованості повітря в м. Кривому Розі.

Різні види виснаження природного середовища повинні вивчатися на певній території протягом тривалого часу і з особливою увагою. Необхідно накреслити перспективи їх еволюції на десятки років у перспективних природних балансах. Ці баланси показали б використання кожного із елементів природного середовища у сфері нематеріальних благ так, як економічний баланс впливає використання виробничих сил при реалізації матеріальних благ.

Ці перспективні природні баланси дозволили б співставити «капітал-землю», «капітал-воду», «капітал-кисень» із попитом, який належить задовольнити, порушення загальної рівноваги і дефіцит у деяких зонах проявиться у новому розрізі - екологічному, а не тільки економічному і це визначить новий вибір, який належить зробити заради майбутнього конкретного регіону.



Довгий час забруднення води та повітря у приміщеннях не вважалося проблемою. Здавалося, що вже дома все в нормі. Спохватилися з явним запізненням. Аналізи повітря та води, що були проведені в приміщеннях, показали більшу наявність шкідливих домішок, ніж за межами приміщень.

Те, що в квартирі може бути гірше, ніж на вулиці обумовлено різними факторами.

В екології дому важливі на перший погляд дрібниці. Наприклад, важливо те, чи має підприємство санітарно-захисну зону. Така зона обов'язково повинна бути, але, скажімо, в Одесі 40% підприємств її не мають. Люди живуть буквально під їх огорожею. Зрозуміло, чим вони дихають і як це відбивається на здоров'ї людей.

Небайдуже і те, куди виходять вікна вашої квартири. В Москві діти, що живуть в будинках з вікнами на Садове кільце, хворіють у 6-8 разів частіше за своїх ровесників.

Існує так званий синдром хворого будинку. Ось зведено новий будинок. В нього вселилися мешканці. Але незабаром самопочуття людей в деяких квартирах погіршується. Люди скаржаться на неприємні запахи, головні болі, різь в очах, дертя в горлі, поганий сон. Деколи діти часто хворіють і не можуть нормально вчитися. І ця проблема зовсім не нова. Дуже вірогідно, що ще Наполеон загинув від отруєння речовинами, зокрема арсином, що поступав в повітря із шпалер, якими були обклеєні стіни кімнати, де він жив.

Основна причина синдрому хворих будинків - неякісні будівельні матеріали. Інколи для усунення синдрому достатньо невеликого ремонту: заміни лінолеуму, озонування повітря тощо.

Комунальний центр м. Іспре (Італія) виявив 34 газоподібних сполуки, які входили до складу будівельних матеріалів і меблів, що широко використовуються в побуті і здатні нанести серйозну шкоду здоров'ю людей. Сюди відносяться фарби, клей, аерозолі, інсектициди, пральні порошки, мастики, шкіра, сигаретний дим.

Якість будівельних матеріалів іноді буває дійсно життєво важливим фактором. В Краматорську Донецької області в одній з квартир у двох сім'ях, що проживали там по черзі, вмирають троє дітей, мати і дві дитини важко хворі. Під час обстеження дозиметр виявив в стіні джерело випромінювання в 200 рентген на годину і якраз в тому місці, де стояло дитяче ліжко. В сусідній кімнаті рівень радіації становив 3 рентгени на годину. Саме джерело - частина приладу - очевидно була кинута і попала у пісок для будівництва.

В 1984 році робочий АЕС в Портстауні (США) вирішив перевірити радіаційну ситуацію у себе вдома. Яке ж його було здивування, коли прилад показав цифру, в 700 разів вищу за допустиму норму.

Винуватцем виявився радон, що накопичився в приміщенні. Радон міститься в кожному восьмому приміщенні в США і дає 55% загальної середньорічної дози опромінення людини. В будинки радон надходить з ґрунту, води та радіоактивних відходів. Тут будинки зводилися з використанням відходів уранових розробок: в суміші з цементом цей матеріал використовували для будівництва фундаментів.

Радон, азбест, формальдегід, свинець майже завжди присутні в наших приміщеннях. Наслідки такого сусідства можуть не проявлятися роками, але вони обов'язково дадуть про себе знати. Особливо підлягають небезпеці діти та люди похилого віку. Ситуація ускладнюється і тим, що не має твердих стандартів на рівень забруднювачів в будинках.

Небайдуже також те, чим граються наші діти. В деяких пластмасових іграшках виявлений кадмій - один з найнебезпечніших для здоров'я токсичний елемент. На 41 підприємстві колишнього СРСР випускаються іграшки з пластизоля, в яких вміст кадмію перевищує норму в 1,5 - 1070 разів.

Важливим для нормального життя людини є і добре енергозабезпечення. Ми в нашому домі споживаємо в 8 разів менше енергії, ніж житель США. І це при тому, що наші домашні електроприлади надзвичайно неекономні, прожерливі. В США 65% всієї виробленої електроенергії використовується в побуті, ми ж 70% витрачаємо на виробництво нікому не потрібної продукції.

Важливо ще й те, як ми себе поводимо вдома, чи додержуємося дієти, які напої споживаємо, куримо чи ні. Про шкідливість тютюнового диму дуже багато написано. Має велике значення, звичайно, якість продуктів харчування. Справа не тільки в наявності в продуктах отрутохімікатів. Канцерогени можуть попадати в продукти і з упаковки, наприклад, з картонних пакетів для молока. Картон містить діоксин - найбільш сильнодіючий з усіх відомих канцерогенів. Щоб запобігти цьому, американці покривають пакети всередині фольгою. В цілому по СНД, згідно з деякими даними, не відповідають стандартам харчування: 11,7% зразків харчових продуктів, в тому числі 8,7 молочних, 12,8 рибних, 12,2 кондитерських. У половини населення (результати 200 тис. аналізів) відмічено дефіцит вітаміну С, причому, в деяких районах цей дефіцит становить 70%. А це сонливість, зниження працездатності, підвищення сприйнятливості до хвороб тощо. У дітей захворюваність з цих причин спостерігається в 2,2 рази частіше, ніж у дорослих.

Як видно з такого навіть дуже короткого огляду, проблема екології дому досить складна і потребує відповідного ставлення і подальшого вивчення. Адже людина вдома і в інших приміщеннях знаходить більшу частину свого життя.

Екологія та економіка

Оскільки рушійною силою розвитку будь-якої держави є економіка, вже давно настав час, коли екологія набуває не тільки чисто наукового, морального та соціального значення, але стає і економічною. Життя показало, що одними законами, указами та санкціями суттєвих результатів з екологізації господарської діяльності досягти практично неможливо. На практиці головним забруднювачам навколишнього середовища - заводам та іншим підприємствам — економічно вигідніше платити штрафи в бюджет, ніж витратити кошти на природоохоронні заходи. Екологія повинна органічно вплестися в промислово-господарську діяльність підприємств та установ, а для цього необхідно, щоб вона оперувала кількісними економічними показниками. Нестача наших знань ще не дає можливості розробляти оптимальні варіанти планування виробництва і все ж в останнє десятиріччя досягнуті великі успіхи в справі екологізації економіки і у нас, і за кордоном (особливо за кордоном).

Економічна ефективність природоохоронних заходів з народно-господарської точки зору полягає в тому, що, з одного боку, виникає необхідність у збільшенні капітальних та експлуатаційних витрат, а з другого - відбудеться приріст чистого прибутку і зниження збитків. Причому, ці збитки можуть понизитися і в інших галузях.

Економічні збитки, що наносяться оточуючому середовищу - це виражені у вартісній формі фактичні або можливі збитки, які спричиняються народному господарству забрудненням середовища і додаткові витрати на компенсацію цих збитків. Нині вже встановлений економічний зв'язок між забрудненням оточуючого середовища і його негативними наслідками.

Економісти виділяють такі види збитків екологічного характеру.

Поточний збиток - це збиток, який існує у даний час.

Прогнозний збиток - це збиток, який матиме місце у майбутньому.

Потенційний збиток - це такий збиток, який існує, але на його ліквідацію зараз не виділяються додаткові кошти. Прогресивний розвиток суспільства сприяє переводу потенційного збитку у фактичний (поточний).

Можливий збиток - це економічний збиток, який може бути нанесений народному господарству у результаті викидів забруднювачів в оточуюче середовище. Наприклад, викидами хімкомбінату у водний басейн наноситься збиток у 5 млн. грн. за рік. Якби не були проведені заходи з використанням відходів, то можливий збиток становив би 12 млн. грн. за рік.

Відвернений збиток - це різниця між можливим і фактичним збитками у певний момент часу, або між двома можливими збитками. Цей вид збитку виступає зараз як міра ефективності.

Прогнозування величини економічного збитку від забруднення дає можливість одержати своєчасну інформацію для розробки економічної стратегії і тактики охорони оточуючого середовища. Це можливо при врахуванні усіх факторів, від яких залежить розмір збитку. Зараз враховуються три групи факторів:

фактори впливу - це концентрація шкідливих речовин в середовищі, токсичність забруднювачів та кількість інгредієнтів;

фактори сприймання - кількість основних об'єктів, які попадають у зону забруднення: чисельність населення, кількість основних фондів промисловості, транспорту, зв'язку, розмір сільськогосподарських угідь;

фактори стану - розмір національного прибутку, який виробляє за день один робітник; вартість виплати по лікарняних листах одному робітникові за день, вартість медичного обслуговування одного хворого протягом одного дня; вартість робіт по утриманню об'єктів житлово-комунального господарства та міського громадського транспорту, необхідних для проживання 1 тис. населення; вартість виробництва одиниці продукції, вартість одиниці утилізованої цінної сировини.

В основу визначення загального збитку покладені питомі збитки, які наносяться при певному рівні забруднення умовною розрахунковою одиницею. Показники питомих збитків розраховуються не тільки з урахуванням викидів шкідливих речовин, але і з врахуванням об'єму готової продукції.

Структура економічного збитку залежить від типу міст. Для великих і середніх міст з розвиненою інфраструктурою характерна велика питома вага локальних збитків комунальному господарству

та промисловості, і мінімальна - сільському та лісовому господарствам.

Так, загальний збиток, який завдає один з українських металургійних комбінатів народному господарству в результаті забруднення атмосфери, визначений у 20 млн. грн. за рік. Аналогічний збиток від хімічного комбінату, розташованого в 5 км від міста, визначений у 1,5 млн. грн. за рік. Якби комбінат знаходився в межах міста, збиток зріс би у 8-10 разів.

Комплексний збиток знаходять по окремих питомих збитках. Так, розраховують питомі збитки одному гектарові лісу по ушкодженню дерев викидами (наприклад, 200 грн./га), для зернових, наприклад, збиток може складати 25, для овочевих - 110 грн./га і т.п.

До останнього часу для визначення економічної ефективності природоохоронних заходів застосовували типову методику, розроблену Об'єднаною комісією АН СРСР та ДКНТ. Зараз закінчуються розробки аналогічної методики в Україні.

Економічний результат природоохоронних заходів вимірюється величиною відверненого річного економічного збитку від забруднення оточуючого середовища, або сумою величин відверненого річного економічного збитку і річного приросту прибутку (додатковий прибуток) від покращення результатів діяльності підприємства, чи групи підприємств.

Розрізняють поняття фактичного та прогнозного економічного ефекту природоохоронних заходів. Фактичний економічний ефект визначається співставленням фактичних витрат та досягнутого економічного результату. Прогнозний, або очікуваний економічний ефект визначається на етапах формування планів та проектів.

Показником загальної економічної ефективності природоохоронних витрат є відношення повного річного економічного ефекту до суми приведених витрат, які обумовили цей ефект.

Про ефективність заходів екологічного характеру свідчать численні приклади передового досвіду в нашій країні. Так, на одному з гірничо-хімічних комбінатів протягом 10 років збільшувався викид в атмосферу сірчанистого ангідриду та сірководню. Потім на цьому комбінаті був пущений в експлуатацію цех очищення повітря. Загальна вартість цього цеху становила 2 млн. грн. У зв'язку з пуском

цеху рівень забруднення повітря близько житлового району різко понизився: до роботи цеху в атмосферу викидалося 750 т сірки, після пуску цеху викиди знизилися до 5 т, втрати сировини стали мінімальними, а підприємство одержало додатково продукції на 28 тис. грн. за рік. Скоротилися втрати робочого часу і виплати по соціальному страхуванню у зв'язку із зменшенням захворювань серед населення. Все це принесло економічний вигреш на суму 50 грн. за рік на одного працівника.

В планах по фінансуванню природоохоронних заходів в міському господарстві передбачаються всі джерела фінансування: державні - в межах лімітів, виділених Верховною Радою і відомствами; коштів підприємств, коштів приватних, кооперативних та громадських організацій.

Капітальні вкладення на охорону атмосферного повітря включають затрати на будівництво газопилеуловлюючих установок, дослідно-промислових установок та цехів по розробці методів очищення газів перед викидом в атмосферу, контрольно-регулювальних пунктів з перевірки та зниження токсичності вихлопних газів автомобілей.

До повітряохоронних не відносяться газопилеуловлюючі установки та пристрої, які є елементами технологічної схеми і служать для одержання запланованої продукції; не включаються і витрати на удосконалення конструкцій технологічних агрегатів. До капітальних вкладень по охороні та раціональному використанню водних ресурсів включають витрати на будівництво станцій по очищенню виробничих і комунальних вод, споруд та установок по доочищенню стічних вод, дослідних установок та цехів по розробці методів очищення стічних вод, установок та цехів для збирання, транспортування, переробки та ліквідації рідких виробничих відходів; будівництво полігонів для знешкодження шкідливих промислових відходів, які забруднюють водоймища і підземні води; берегових споруд для приймання із суден господарсько-побутових стічних вод та сміття для утилізації, складування та очищення; окремих споруд первинної стадії очищення стічних вод, в тому числі нафтовловлювачів, жироловок, станцій нейтралізації, флотаційних установок для знешкодження шламів; систем каналізації міст; колекторів для відве-

дення стічних вод; придбання обладнання та технічного флоту по збиранню нафти, сміття та інших твердих і рідких відходів з акваторій річок, водоймищ, портів; створення водоохоронних зон з комплексом технологічних, лісомеліоративних, агро- та гідротехнічних, санітарних заходів; будівництво спеціальних водосховищ з комплексом технологічних та інших заходів, направлених на запобігання забрудненню та виснаженню водних ресурсів; здійснення заходів по запобіганню тепловому забрудненню водоймищ; створення автоматизованих систем управління (АСУ) водогосподарськими комплексами, АСУ водоохоронними комплексами.

В план капітальних вкладень включають також витрати на проведення заходів по охороні та відтворенню земель, рослинного та тваринного світу, рибних запасів, заходи по раціональному використанню надр і мінеральних ресурсів. Оскільки населення міста головну частину свого життя проводить в селітебній зоні (по місцю проживання), стан оточуючого середовища в цій частині міста являє собою чи не найважливішу ланку в структурі виробничо-експлуатаційної діяльності житлово-комунального господарства міста. Тут існує ряд невирішених проблем, що витікає в основному з багатоланкового характеру цього господарства, технічно-технологічних особливостей виробництва та наявності великої кількості малих та середніх підприємств, які за своїми економічними можливостями не володіють необхідною матеріально-технічною базою та фінансовими ресурсами для проведення комплексу екологічних заходів. У великих містах такі заходи можуть бути здійснені лише на пайових засадах в межах екологічної інфраструктури. Екологічну інфраструктуру міста складають: атмосферо-, ґрунто-, водозахисні споруди, інженерні та інші об'єкти природоохоронного призначення, спеціалізовані підприємства, які виробляють екологічне обладнання; виробництва, які забезпечують оборотними фондами природоохоронний комплекс; будівництво об'єктів екологічної інфраструктури та моніторинг оточуючого середовища.

Розмір пайової участі підприємств і організацій у природоохоронних заходах залежить від потужності кожної господарської одиниці та ступеню впливу на різноманітні екологічні параметри.

Критерієм, який визначає розмір платежів у фонд охорони ото-

чучючого середовища, є величина збитків, що наносять середовищу підприємства. Ці збитки оцінюються у нас в таких розмірах (по цінам 1987 р.). Викиди в атмосферу, грн./т: пил неорганічний - 120, фтористий водень - 1100, оксид свинцю - 25000, сірчанистий ангідрид - 150, двоокис азоту - 250, оксид миш'яку - 7000, оксид вуглецю - 70; викиди у воду, грн./т: зважені речовини - 80, натрієва сіль - 700, фтор і фтористі сполуки - 1000; забруднення ґрунту неорганічними відходами - 2.

Виходячи з об'ємів викидів шкідливих речовин підприємствами міста та питомих збитків від забруднення, визначають в цілому по місту необхідні капітальні вкладення на розвиток елементів екологічної інфраструктури K_r , які забезпечують захист повітряного басейну K_1 , водних джерел K_2 , земельних ресурсів K_3 .

Об'єм капітальних вкладень, які формуються за рахунок пайових платежів промислових підприємств K_r по кожному з трьох елементів екологічної інфраструктури, розраховують за формулою $K_r = K_r^I - K_r^{II}$, де K_r^I - необхідний об'єм капітальних вкладень на г-й вид екологічної інфраструктури, який визначається на основі збитків від забруднення оточуючого середовища; г - вид екологічної інфраструктури; K_r^{II} - об'єм капітальних вкладень, передбачений у планах підприємств на г-й вид інфраструктури.

Регіональний фонд природоохоронного призначення K^1 утворюється за рахунок капітальних вкладень у розвиток окремих елементів екологічної інфраструктури:

$$K^1 = \sum_{r=1}^3 K_r^1.$$

Певна частина регіонального фонду K^1 формується за рахунок пайових платежів підприємств міста:

$$K = \sum_{r=1}^3 K_r^1$$

Об'єм капітальних вкладів на розвиток екологічної інфраструктури розподіляється між підприємствами в залежності від їх потужності та рівня забруднення оточуючого середовища за прогресивно зростаючими ставками.

Визначенню прогресивно зростаючих ставок передують групування підприємств в однорідні класи, які характеризують приведені об'єми викидів шкідливих речовин в атмосферу, води, ґрунт.

Для кожного підприємства усі викиди-забруднювачі по видах заб-

руднення перераховуються за допомогою спеціальних коефіцієнтів k у приведений викид (табл. 16).

Коефіцієнт k рівний одиниці для тих інгредієнтів, у яких ГДК приймає максимальне значення (для повітряного басейну - оксид вуглецю, для водного басейну - зважені речовини). В решті випадків він визначається за формулою:

$$K_f^2 = \frac{P_r^2}{P_f^2}$$

де P_r^2 - значення ГДК для найменш шкідливої речовини r -го виду забруднення; P_f^2 - значення ГДК для f - того виду речовин.

Для i -того підприємства визначається приведений викид по g -му виду забруднення:

$$V_i^2 = V_i^{f2}k_1 + V_i^{24}k_2 + \dots + V_i^{f2}k_f = \sum_r V_i^{f2}k_r$$

де V_i^{f2} - об'єм викидів f -го виду шкідливої речовини g -го виду забруднення на i -му підприємстві.

Для кожного i -того підприємства визначаються три об'ємні величини V_i^1 , V_i^2 , V_i^3 , які характеризують забруднення повітряного басейну, води та ґрунту,

Коефіцієнти перерахунку інгредієнтів у приведений викид

Таблиця 16.

Інгредієнти	ГДК мг/м ³	Коефіцієнти
Викиди в атмосферу		
Пил неорганічний	0,5	6,000
Фтористий водень	0,02	150,000
Оксид свинцю	0,0007	428,714
Сірчанистий ангідрид	0,5	6,000
Двоокис азоту	0,085	35,294
Оксид миш'яку	0,903	3,222
Оксид вуглецю	3,0	1,000
Інші		1,000
Викиди у воду		
Зважені речовини	20,0	1,000
Натрієва сіль	2,0	10,000
Фтор та фтористі сполуки	1,5	13,330
Інші		1,000

Для міста формуються три масиви інформації, елементи яких розташовані у порядку зростання:

$$M_1(n), M_2(n), M_3(n),$$

де n - кількість промислових підприємств в місті, забруднюючих оточуюче середовище; $M_1(n)$ - приведені ви-киди підприємств у атмосферу міста ($V_1^1, V_1^2 \dots V_1^n$); $M_2(n)$ - приведені викиди підприємств у водний басейн міста ($V_2^1, V_2^2 \dots V_2^n$); $M_3(n)$ - величини твердих промислових відходів підприємств ($V_3^1, V_3^2 \dots V_3^n$).

Число промислових підприємств в кожній групі визначається за формулою:

$$[b] = \frac{n}{5}$$

Якщо n не ділиться на 5, то остання група містить $v+c$ елементів, де c - залишок від ділення (табл. 17).

Групування підприємств за приведеними викидами г-го виду забруднення V_i^r Таблиця 17

Група підприємств	1	2	3	4	5
A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5

В першу групу входять підприємства, які найменше забруднюють оточуюче середовище. Для цієї групи встановлюється мінімальна ставка платежів на 1000 грн. товарної продукції P_1^r . Розмір ставок для наступних груп підприємств зростає в арифметичній прогресії (табл. 18):

$$P_f^r = P_{f-1}^r + b^r$$

де P_f^r - ставка платежів за г-й вид забруднення для f-ї групи підприємств;

b^r - величина, на яку відрізняються ставки двох суміжних груп підприємств.

Сумарний об'єм товарної продукції T_j^r по кожній групі A_j^r визначається по таблиці 19.

Індивідуальний розмір платежів за г-й вид забруднення

Таблиця 18.

Група підприємств	1	2	3	4	5
Розмір платежів, коп./тис. крб.	P_1^r	$P_1^r + b^r$	$P_1^r + 2b^r$	$P_1^r + 3b^r$	$P_1^r + 4b^r$

Група підприємств	1	2	3	4	5
Об'єм товарної продукції, тис.крб.	T_1^r	T_2^r	T_3^r	T_4^r	T_5^r

Параметр управління b^r - величина, на яку відрізняється ставка виплати за r -й вид забруднення у двох суміжних групах підприємств і визначається з рівняння:

$$P_1^r T_1^r + (P_1^r + b^r) T_2^r + (P_1^r + 2b^r) T_3^r + (P_1^r + 3b^r) T_4^r + (P_1^r + 4b^r) T_5^r = K_r ;$$

$$b^r (T_2^r + 2T_3^r + 3T_4^r + 4T_5^r) = k_r - P_1^r (T_1^r + T_2^r + T_3^r + T_4^r + T_5^r)$$

$$k_r = P_1^r \left(\sum_{j=1}^5 T_j^r \right)$$

$$b^r = \frac{k_r - P_1^r \left(\sum_{j=1}^5 T_j^r \right)}{\sum_{j=1}^5 (j-1) T_j^r}$$

За допомогою формул, наведених в табл. 18, розраховуються індивідуальні розміри плати за r -й вид забруднення для кожної групи підприємств P_j^r . Для кожного підприємства розраховуються абсолютні розміри пайових платежів у регіональний фонд природоохоронного призначення:

$$S_i^r = P_j^r T_i^r,$$

де S_i^r - розмір пайового платежу i -того підприємства; P_j^r - розмір платежів на 1000 крб. товарної продукції для j -ї групи підприємств; T_i^r - об'єм товарної продукції i -того підприємства (Сахаєв П.Г., Щербицький Б. В., 1987). Позначені автори наводять такий приклад. У місті функціонують 16 підприємств, які викидають забруднювачі.

Об'єм капітальних вкладень, передбачений на п'ятирічку $K_1^{II} = 341$ тис. крб. Об'єм капітальних вкладень, який визначається за мінімальними збитками від забруднення атмосфери (70 крб./т), $K_1^I = 716$ тис. крб. Об'єм капітальних вкладень, сформованих за рахунок пайових платежів підприємств $K_1 = K_1^I - K_1^{II} - 716 - 341 = 375$ тис. крб.

Для кожного підприємства усі шкідливі речовини, які викидаються в атмосферу, перераховуються в приведений об'єм викидів V_1 . Формується масив приведених викидів $M_1(16)$, елементи якого розташовані по зростанню. Звідси:

$$[b] = \frac{16}{5} \approx 3.$$

Отже, в кожній групі повинно бути по три підприємства, а в останній - 4.

Сумарний об'єм товарної продукції по кожній групі, тис.крб.: $T_1 = 57017$; $T_2 = 372018$; $T_3 = 157557$; $T_4 = 183170$; $T_5 = 688238$.

Параметр b_1 розраховується за формулою:

$$b_1 = \frac{375 \cdot 10^5 - 10(57017 + 372018 + 157557 + 183170 + 686238)}{372018 + 2 \cdot 157557 + 3 \cdot 183170 + 4 \cdot 686238} = 6,14 \approx 6 \text{ коп./тис. крб.}$$

Індивідуальні ставки пайових платежів для кожної групи промислових підприємств, коп./тис. крб.:

$$P_1 = 10; P_2 = 10+6=16; P_3 = 16+6=22; P_4 = 22+6 = 28; P_5 = 34.$$

Абсолютні розміри пайових платежів для кожного промислового підприємства:

$$S_1^I = 0,1 \cdot 3276 = 328 \text{ крб.}$$

Розмір пайових платежів адміністративного району в регіональний фонд природоохоронного призначення, розрахований по прогресивно зростаючих ставках, складає 375 тис.крб, в т.ч. по 1 групі, куди увійшли підприємства, що найменше забруднюють середовище, - 5,7; по 5 групі (підприємства, що найбільше забруднюють навколишнє середовище) - 233,3 тис.крб.

Питання для самоконтролю

1. Що вивчає екологія людини?
2. У чому особливість популяції людини?
3. Які реформи і заходи необхідно здійснити, щоб оптимізувати діяльність людини?
4. Що таке просторове розселення?
5. Які існують підходи до визначення межі антропогенного навантаження на територію?
6. Які передбачаються зони в системі розселення і як визначити їх величину?
7. Яких містобудівних принципів слід дотримуватися для збереження екологічної рівноваги в регіональних системах розселення?
8. Які ви знаєте біологічні методи боротьби із шкідниками та хворобами сільськогосподарських культур?
9. У чому суть раціонального застосування хімічних методів боротьби з шкідниками та хворобами?
10. У чому суть механічного та фізичного методів боротьби з шкідниками?
11. Що таке екологічний паспорт сільськогосподарського підприємства і в чому його суть?
12. Що таке СЗЖ?
13. Які використовують показники, пов'язані з міграційними явищами?
14. Наведіть приклади математичних моделей міграційних потоків.
15. У чому полягає соціальна та економічна суть вимірювання життєвого середовища?
16. Що таке індекс життєвого середовища?
17. Що таке екологія дому і в чому суть цієї проблеми?
18. Як пов'язані екологія та економіка?
19. Які виділяють види збитків екологічного характеру?
20. Що таке показник загальної екологічної ефективності?
21. Які витрати включаються в план капітальних вкладень на екологічні заходи?

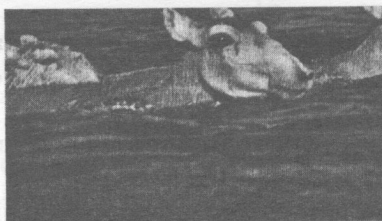
22. Що таке регіональний фонд природоохоронного призначення і як він визначається?

23. Що таке приведений викид забруднювачів?

24. Які масиви інформації екологічного характеру формуються для міста?

25. Як здійснюється класифікація підприємств за приведеними викидами забруднювачів?

26. Наведіть приклади математичних розрахунків розміру платежів екологічного характеру для різних груп підприємств.



Поняття про екологічну експертизу проектів

(Завершення)



Екологічна експертиза проектів - це відрегульована нормами діяльність експертних комісій і підрозділів органів державного контролю по оцінці проектно-планувальної і проектно-кошторисної документації щодо її відповідності правилам і вимогам раціонального природокористування.

Цілі екологічної експертизи проектів:

- визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам;
- підтримання природної рівноваги при реалізації планів і проектів.

Цілі досягаються вирішенням таких задач:

- оцінка проектних матеріалів щодо відповідності їх законодавчим документам України по надрах, земельному і водному кодексах, по охороні природи, тобто не тільки з позицій технічних, а й екологічних;
- встановлення екологічних властивостей проектних матеріалів з позицій глобальних екологічних і галузевих екологічних дисциплін - інженерної екології, технічної екології, урбоекології, екології народонаселення тощо;
- підготовка висновків про ступінь екологічності проектів і рекомендацій оптимальних варіантів природоохоронних рішень по конкретним екосистемам;

Експертні органи повинні давати об'єктивну якісну оцінку проектам по всіх екологічних параметрах і можливості їх затвердження або необхідності внесення в них змін на всіх стадіях проектування. Критеріями оцінки повинні бути правові норми, принципи охорони природи, екологічні імперативи і основні показники затвердженої перед плановою проектно-планувальною і проектно-кошторисною документацією. Враховуються також і ненормативні показники - особливості місцевості, напрямки вітрів, туманів, повітряних інверсій, рельєфу тощо.

Екологічні експертні висновки повинні мати і елементи екологічного прогнозування на перспективу у формі наукового передбачення, направлено на збереження оптимального режиму системи суспільство-природа.

Екологічна експертиза проектів має державно-правовий характер, оскільки контролює проектні матеріали з позиції державної екологічної політики.

Висновки екологічної експертизи проектів повинні бути повними за змістом, не допускати різного тлумачення, містити всебічно обґрунтовані експертні результати, відображати основні моменти розглянутих питань.

Структурно еколого-експертний заключний висновок складається із трьох частин: вступної (протокольної); констатуючої (описової); заключної (оціночно-узагальнюючої).

У другій частині містяться дані про експертний орган, дата і час проведення експертизи, найменування матеріалів, які підлягали експертизі, їх склад, відомості про організацію, вартість проектних і будівельних робіт, відомості про замовника і орган, що затвердив документацію.

У констатуючій частині дається загальна характеристика екологічного змісту матеріалів, функціонально-просторової архітектурно-планувальної організації території, технічні, технологічні, санітарно-гігієнічні і економічні опрацювання та основні рішення по охороні оточуючого середовища, раціонального використання і захисту земель, водних ресурсів, лісів, атмосфери, тваринного світу; вказується місце реалізації проекту і відповідності його природному оточенню.

Заключна частина містить оцінку основних заходів по охороні оточуючого середовища і раціональному використанню природних ресурсів з можливими екологічними наслідками реалізації проекту. В ній розглядається можливість затвердження матеріалів або рішення про повернення для дороблення.

Заключний експертний висновок візують: експерт матеріалів (або керівник експертної групи) та керівник експертного підрозділу.

Затверджений міністерством чи відомством висновок і рекомендації експертизи є обов'язковим для підприємств і закладів - авторів проектів та інших виконавців.

Екологічно-експертний висновок направляється в державний орган, який затверджує проект, в організацію, яка його розробила і в її вищу інстанцію. Один екземпляр залишається в організації, що провела експертизу. Матеріали екологічної експертизи розглядаються, брошуруються і здаються в архів на зберігання.

СПИСОК ОСНОВНОЇ РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- АНУЧИН В.А. Основы природопользования. Теоретический аспект.- М.: Мысль, 1978.- 289 с.
- БИГОН М., ХАРПЕР Дж., ТАУНСЕНД К. Экология. Особи, популяції и сообщества (в двух томах.- М.: Мир, 1989.- 677, 477 с.
- ВЛАДИМИРОВ А.М. и др. Охрана окружающей среды.- Л.: Гидрометеиздат, 1991.- 423 с.
- ДВОРАКОВСКИЙ М.С. Экология растений.- М.: Высшая школа, 1983.- 190 с. ДОВІДНИК з біології (за ред. К.М. Ситника).- К.: Наукова думка, 1998.- 687 с.
- КАЗНАЧЕЕВ В.П. Очерки теории и практики экологии человека.- М.: Наука, 1983.- 260 с.
- КЛАУСНИТЦЕР Б. Экология городской фауны.- М.: Мир, 1990.- 248 с.
- ОДУМ Ю. Основы экологии (пер. с 3-го англ. изд.) - М.: Мысль, 1975.- 740 с.
- РЕЙМЕРС Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник.- М.: Мысль, 1990. — 637 с.
- САХАЕВ В.Г., ЩЕРБИЦКИЙ Б.В. Экономика природопользования и охрана окружающей среды.- К.: Вища школа, 1987.- 263 с.
- СЫТНИК К.М., БРАЙОН А.В., ГОРДЕЦКИЙ А.В., Биосфера. Экология. Охрана природы (справочное пособие.) - К.: Наукова думка, 1987.- 523 с.
- ЧАЙКА В.Є. Основы екології.- Вінниця: ВДАУ, 1995. - 192 с.
- ЧАЙКА В.Є. Урбоекологія.- Вінниця: ВДАУ, 1999.- 365 с.
- ЧЕРНОВА Н. М., БЫЛОВА А.М. Экология.- М.: Просвещение, 1988.- 272 с.
- TISCHLER W. Asseln (Tsopoda) und Tausendfüssler eines Stadtparks in Vergleich mit der Umgebung der Stadt: zum Problem der Urbanbiologie. Drosera 80 /1980/: 41-52/

ЗМІСТ

Вступ	3
Передмова	6
Становлення екології як науки	9
1. Відповідність між організмами і середовищем ...	12
Пристосованість	13
Конвергенція і паралелізм	14
Екотипи	17
Генетичний поліморфізм	19
Життєві форми організмів - один із проявів екологічної адаптації	21
Життєві форми тварин	24
Фактори середовища. Закони Лібіха і Шелфорда	26
Найголовніші фактори, які часто бувають лімітуючими	28
Ресурси	32
2. Індивідуум і вид в екосистемі	35
Що таке особина? Організми унітарні і модулярні	36
Місцемешкання і екологічна ніша	38
Класифікація місцемешкань	39
Внутрішньовидова конкуренція	42
Еколого-географічні та антропогенні фактори розселення видів по планеті ..	45
Флора і фауна великого міста	48
Екологічні особливості міських рослин	54
Острівні види	62
Острівний характер екосистем і місцемешкань у великому місті ..	65
Симпатричне та аллопатричне видоутворення	67
Штучний добір. Одомашнювання	68
3. Організація на популяційному рівні	70
Просторова структура популяцій	72
Вікова структура популяцій	79
Статева структура популяцій	84
Етологічна структура популяцій	86
Щільність популяції та швидкість росту	95
Вікова структура і швидкість росту популяцій	99
R/K- концепція розвитку популяцій	101

Генетика популяцій	103
Типи взаємодії між популяціями	107
Гомеостаз популяцій	113
4. Організація на рівні угруповання	119
Класифікація елементів угруповання та екологічне домінування	120
Видова різноманітність в угрупованнях	122
Структурний тип угруповання	123
Ординація і класифікація угруповань	124
Проблема межі в екології угруповань	126
Ритми і цикли	127
Біологічний годинник	133
5. Екологічна система	137
Концепція екосистеми	137
Основні екосистеми біосфери	139
Урбоекосистеми	155
Синантропія урбофауни	174
Екосистеми печери	176
6. Енергія в екосистемах	180
Продукція та розкладання в природі	181
Концепція продуктивності	184
Показник відношення продукції до біомаси	187
Фундаментальні концепції енергії	190
Трофічні ланцюги. Трофічні сіті та трофічні рівні	191
Трофічна структура і екологічні піраміди	193
Потік енергії в екосистемах	194
Повна модель трофічної структури угруповання	195
7. Потік речовин в екосистемах. Біогеохімічні кругообіги ...	199
Потік речовин в екосистемах	199
Біогеохімічні кругообіги	202
8. Розвиток і еволюція екосистем	210
Стратегія розвитку екосистеми	210
Еволюція екосистем	211
Автогенна сукцесія	212

Деградаційна сукцесія	215
Аллогенна сукцесія	217
Концепція клімаксу	217
9. Забруднення і здоров'я оточуючого середовища	220
Поняття про забрудненість середовища і її ціна	220
Стратегія обходження з відходами	221
Забруднення довкілля і здоров'я людини	225
Забруднення урбанізованого середовища	228
Фізичні та хімічні фактори в урбанізованому середовищі ...	228
Місто і атмосфера	243
Місто і ґрунтовий покрив	250
Місто і вода	256
10. Радіаційна екологія	264
Типи іонізуючого випромінювання	265
Прилади та методи радіаційного контролю	268
Надходження радіонуклідів в організми	270
Допустимі рівні радіації	271
Порівняльна радіоактивність	273
Радіаційні ефекти на екосистемному рівні	275
Проблема відходів	277
Атомна енергетика та її перспективи	280
Наслідки аварії на Чорнобильській АЕС	284
Всім слід пам'ятати	290
11. Системна екологія	294
Природа математичних моделей	295
Цілі побудови моделей	295
Методи побудови моделей	297
12. Проблема екології мікроорганізмів	304
13. Біосфера	310
Загальна характеристика біосфери	311
Жива речовина біосфери	312

Виникнення і еволюція біосфери	313
Геологічний і біологічний кругообіги речовин. Стабільність біосфери ..	317
Ноосфера	322
Крупномасштабні просторові структури - біоми	324
14. Результати впливу людини на біосферу	326
Клімат	327
Водні ресурси	329
Ґрунтовий покрив	334
Ліси	336
Деградація біосфери у великих містах	339
15. Діяльність людини - в екологічне русло	346
Прикладна екологія людини - нова галузь екології	347
Екологічні основи просторового розселення	352
Біологічні методи боротьби із шкідниками та хворобами ...	357
Екологічний паспорт сільськогосподарського підприємства	364
Система забезпечення життєдіяльності	368
Вимірювання життєвого середовища	380
Індекс життєвого середовища	384
Екологія дому	386
Екологія та економіка	389
Поняття про екологічну експертизу проектів	401
Список основної рекомендованої літератури	403
Зміст	404

В. С. ЧАЙКА

В. В. ЧАЙКА

ЕКОЛОГІЯ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Технічний редактор *В. М. Клименко*

Верстка *Н. А. Бурмістр*

Коректор *М. О. Булейко*

Видавець — ТВП «Книга-Вега» ВАТ «Віноблдрукарня»
Свідоцтво ДК № 173 від 12.09.2000 р.

Здано у виробництво 03.03.03 р. Підписано до друку 05.06.03 р. Друк офсетний.

Формат 60x84¹/₁₆. Гарнітура Times. Папір офсетний. Фіз.-друк. арк. 25,5.

Ум. др. арк. 23,72. Обл.-вид. арк. 24,43. Наклад 3000 пр. Зам. 507.

Творчо-виробничий підрозділ «Книга-Вега» ВАТ «Віноблдрукарня»
21050, м. Вінниця, вул. Київська, 4. Тел.: 8 (0432) 35-01-87.

Віддруковано у ВАТ «Віноблдрукарня»
21050, м. Вінниця, вул. Київська, 4. Тел. (0432) 35-56-12.