

Гільберг Т. Г., Засєкіна Т. М.,  
Качко Г. О., Лашевська Г. А.

# ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

Навчально-методичний посібник  
для 10 класу  
(експериментальний)

2 частина



Відповідно до наказу Міністерства освіти і науки України № 863 від 03.08.2018 року «Про проведення експерименту всеукраїнського рівня «Розроблення і впровадження навчально-методичного забезпечення інтегрованого курсу «Природничі науки» для 10–11 класів закладів загальної середньої освіти» на період із серпня 2018 року по жовтень 2022 року» передбачено розроблення навчально-методичного забезпечення, що буде проходити експериментальну перевірку.

Навчально-методичний посібник «ПРИРОДНИЧІ НАУКИ» (експериментальний) для 10 класу закладів загальної середньої освіти, відповідає проекту навчальної програми, що розроблений авторським колективом під керівництвом Т. М. Засекіної.

Зміст навчального матеріалу структуровано за модульним принципом. На початку вивчення кожної теми визначено очікувані результати, які мають бути досягнуті учнями, передбачено посилання на джерела, які містять матеріал для актуалізації раніше вивченого, а також на додаткові джерела, які сприяють засвоєнню навчального матеріалу. Стиль викладу навчального матеріалу має ознаки науково-популярного, інформаційного та проблемного, що забезпечує сприйняття його учнями відповідної вікової категорії, та враховує той факт, що зазначений курс призначено для учнів, які не планують складати зовнішнє незалежне оцінювання із природничих предметів. Завершується кожна тема практичною частиною, що дає змогу перевірити засвоєння теоретичного матеріалу, а також сприяє реалізації діяльнісного підходу для формування практичних умінь і навичок. Система завдань і запитань може бути використана для організації різних форм навчальної діяльності на уроці та в позаурочний час.

Автори й видавництво готові до співпраці.

Усі зауваження та побажання надсилайте на електронну скриньку:

**[prirod-nauk@ukr.net](mailto:prirod-nauk@ukr.net)**

## ЛАСКАВО ПРОСИМО!

Опинитися разом нам вдалося лише після того, як ви пройшли шкільною стежиною шлях у дев'ять років. Ви вивчали мову й літературу, історію й мистецтво, технології й математику, природничі предмети: біологію, географію, фізику й хімію та інші предмети. Одні з них були на початку цікавими, а потім ставали складними й незрозумілими, а тому — нецікавими. Деякі ж упродовж усього навчання були й залишилися вашими улюбленими предметами.

«Природничі науки» — це новий і незвичний предмет. Незвичність його полягає в тому, що у вас є нагода ознайомитися з короткою історією майже всього на світі.

У розділі «Всесвіт» ви дізнаєтесь, як зародився наш світ, яким він є зараз, і які можливі варіанти його розвитку. Ви дізнаєтесь, як людство, застосовуючи науки і технології, намагається розкрити таємниці Всесвіту. Здійснивши, по-справжньому, космічну подорож, ви повернетесь на третю планету від Сонця — Землю, і побачите, що і на рідній планеті ще не все людині відомо. Наприклад, ви знаєте, коли святкує свій день народження Земля? Щоб відповісти на це й багато інших питань, пов'язаних з геофізичними й хімічними процесами на Землі, ми вивчатимемо розділ «Земля».








І третій розділ «Біорізноманіття» ми також почнемо з процесу великого народження. Народження життя. Чи відомо вам, що процеси, які відбуваються у вашому організмі, багато в чому подібні до тих, що відбуваються, наприклад, у банані? Так, бо все, що існує на Землі, взаємопов'язане. І з'ясувати ці зв'язки — одне із завдань курсу «Природничі науки».

Важливо з'ясувати, як людина досліджує природу, як наукові відкриття й винаходи змінюють світ. І, головне, усвідомити, що безпечне й комфортне життя всіх мешканців на планеті Земля (у тому числі й нас з

вами) багато в чому залежить від того, наскільки свідомо ми використовуємо знання з природничих наук.

Незвичність цього курсу ще й у тому, що перед вами експериментальний посібник. Ви не побачите в ньому звичних для вас параграфів. Натомість матимете змогу працювати впродовж кількох уроків над однією темою: опрацьовувати її теоретично й практично. Посібник структуровано за окремими темами. На початку теми ви можете ознайомитися з результатами навчання, на які потрібно очікувати після завершення вивчення її. За допомогою QR кодів ви матимете доступ до матеріалів, які допоможуть пригадати раніше вивчене, та до додаткових джерел інформації. Вивчати деякі питання ви зможете під час виконання практичних робіт і проектної діяльності.

З огляду на те, що цей курс передбачає вивчення об'єктів і явищ живої й неживої природи засобами кількох природничих наук, у текстах вам траплятимуться рубрики, позначені відповідними піктограмами, які

ілюструють думку астронома  , біолога  , географа  , фізика  , хіміка  .

У кожному разі, нам доведеться охопити чималий обсяг інформації, виконати практичні роботи, співпрацювати в команді й набувати досвіду розв'язування проблем, виконавши все це разом за 140 годин, щоб у наступні 650 тисяч годин ці компетентності стали підґрунтям ваших майбутніх досягнень.

**Тож почнімо негайно!**

## ЗМІСТ ПОСІБНИКА

### ЗЕМЛЯ (50 год)

#### **В.1. УТВОРЕННЯ І РОЗВИТОК ЗЕМЛІ (3 год)**

Портрет сучасної Землі

Таємниці народження Землі і Місяця

#### **В.2. ФОРМА І РУХИ ЗЕМЛІ. ЧАС (3 год)**

Незвична куля

Турботливий супутник

Раз оберт, два оберт

Котра година

#### **В.3. ВНУТРІШНЯ БУДОВА І ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ ЗЕМЛІ (4 год)**

Подорож до центру Землі

Земля й її поля

#### **В.4. ЛІТОСФЕРА (6 год)**

Тверда оболонка планети

Пангея

Рух у нас під ногами

Дрижання й гуркіт Землі

Земля вивертається на виворіт

Зовнішні чинники формування поверхні

Бережіть літосферу

#### **В.5. МІНЕРАЛИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ (6 год)**

Царство каменів

Як утворились мінерали і гірські породи.

Хімія і фізика каменів

#### **В.6. ГІДРОСФЕРА (4 год)**

Звідки взялася вода на Землі

Розподіл води на Землі

Що називають Світовим океаном

Рух вод Світового океану

Багатства Світового океану

Води суходолу

Кріосфера

Бережіть воду

### **В.7. УНІКАЛЬНА РІДИНА (4 год)**

Склад і будова молекули води

Фізичні властивості води

Хімічні властивості води

Осмоз

Сучасні системи очищення води. Опріснення морської води.

Якість води і здоров'я людини.

### **В.8. АТМОСФЕРА (8 год)**

Прозора оболонка Землі

На дні повітряного океану

Як сонячні промені досягають «дна повітряного океану».

Вода у повітрі.

Бережіть атмосферу.

### **В.9. ПОГОДА Й КЛІМАТ (4 год)**

Якою буде сьогодні погода

Клімат

Як формуються опади

Керування погодою

Глобальні зміни клімату

Метеочутливість й комфортні умови життєдіяльності

### **В.10. ҐРУНТИ (2 год)**

Як утворились ґрунти

А хто у ґрунті живе

Складові ґрунту та його родючість

Бережіть ґрунти

### **В.11. БІОСФЕРА (6 год)**

Як утворилась біосфера

Жива оболонка планети

Роль ґрунту у біосфері

Жива речовина планети

Колообіги

## БІОРІЗНОМАНІТТЯ (24 год)

### Г.1. ЖИТТЯ ЯК ВОНО Є (4 год)

Як виникло життя

Що таке життя?

Рівні організації живого

### Г.2. ЕНЕРГІЯ ЖИТТЯ (4 год)

Хто на планеті живий?

З чого складається клітинна й організм?

Біоенергетика живих систем

Ще раз про фотосинтез

Ланцюги живлення

Хемосинтез

Клітинне дихання

Біологічний колообіг речовин

### Г.3. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ (5 год)

Дослідження історії Землі

Теорії еволюції

Чинники еволюції

Як виникають нові види?

Як адаптуються організми в процесі еволюції?

### Г.4. БІОРІЗНОМАНІТТЯ (5 год)

Класифікуємо і систематизуємо

Продовжуємо систематизувати

Закономірності поширення рослин і тварин на Землі

Як вижити в різних середовищах?

Бережіть біорізноманіття

### Г.5. ЖИТИ РАЗОМ (4 год)

Ноосфера — сфера взаємодії природи і суспільства.

Екосистема

Бережімо природу, щоб жити разом

(Резерв 2 год.)

# ЗЕМЛЯ

Повернімося на планету Земля. Ми думаємо, що добре знаємо наш спільний дім — Землю — і можемо без проблем розповісти про будь-який її куточок. Та це не зовсім так. Незважаючи на те, що сьогодні природничі науки пояснюють деякі таємниці мікро- й мегасвітів, існує маса фактів про нашу планету, які до цього часу не мають остаточного наукового пояснення. І невідомо, чого вистачить на довше: можливостей людини пізнавати й пояснювати таємниці нашої планети, чи можливостей природи загадувати людству нові загадки.

Нам пощастило жити на такій чудовій планеті, де повітря є саме такою сумішшю хімічних елементів, яка нам потрібна, де є багато води, а температура якраз придатна для існування життя (як мінімум на більшій частині території майже весь час).



Коли висохне останнє дерево й помре остання тварина, ви зрозумієте, що у Всевишнього для вас немає іншої Землі.

*Бі Дорсі Орлі*



# ЗЕМЛЯ



## В. 1. УТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТОК ЗЕМЛІ

Наш світ — планета Земля — великий і непередбачуваний. У ньому стільки всього цікавого й незрозумілого. І насамперед дослідників з усього світу хвилює таємниця народження Землі. Якою була молода Земля? І скільки років життя в неї попереду?

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати:* основні фізичні параметри Землі, оболонки Землі.

*Визначати:* основні етапи в утворенні та розвитку Землі.

*Характеризувати:* умови утворення Землі

### ПРИГАДАЙТЕ

Про утворення Сонячної системи дивися Б.10

## ПОРТРЕТ СУЧАСНОЇ ЗЕМЛІ

Земля — третя від Сонця планета Сонячної системи, єдина її планета, на якій відоме життя, домівка людства. Земля належить до планет земної групи і є найбільшою із цих планет у Сонячній системі. Марс, Венера, Меркурій, Сатурн, Юпітер — що спільного в цих назвах? Це імена міфологічних небожителів. А Земля? Звідки походить її назва? Земля — від спільнослов'янського «зем» — підлога, низ. Землю ще називають *світом*, іноді латинською назвою Терра або грецькою — Гея. (А як звучить назва нашої планети англійською, німецькою, французькою, китайською? Дізнайтеся самостійно.)

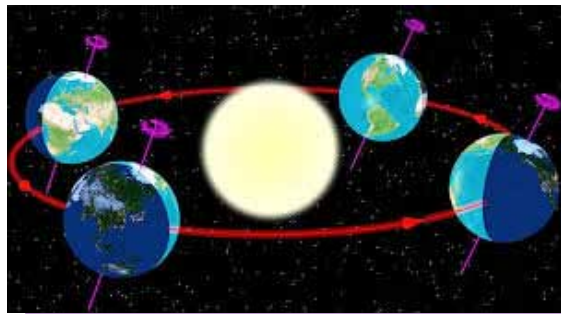
Земля є об'єктом дослідження значної кількості природничих наук. Вивчення Землі як небесного тіла належить до царини астрономії, будову та склад Землі вивчає геологія, стан атмосфери — метеорологія, сукупність проявів життя на планеті — біологія. Географія описує особливості рельєфу поверхні планети — океанів, морів, озер і річок, материків та островів, гір і долин, а також людські поселення й суспільні утворення: міста, села, держави тощо. А ще є геофізика, геохімія, геоєкологія, геодезія та інші науки про Землю.

Основні параметри Землі в цифрах наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Планетарні характеристики			
Тривалість доби (період обертання навколо осі)	23 год 53 хв	Відстань від Сонця	1 а. о. = 149, 6 млн. км
Тривалість року (період обертання навколо Сонця)	365, 26 дів	Кут нахилу площини екватора до площини екліптики	23,5°
Середня орбітальна швидкість	29,785 км/с	Кількість супутників	1
Фізичні характеристики			
Середній радіус	6371,3 км	Маса	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Площа поверхні	510 065 700 км <sup>2</sup>	Середня густина	5,52 г/см <sup>3</sup>
Об'єм	$1,08 \cdot 10^{12}$ км <sup>3</sup>	Прискорення вільного падіння	9,8 м/с <sup>2</sup>

Земля одночасно здійснює два обертальні рухи: навколо власної осі та навколо Сонця (мал. 1.1).



Мал. 1.1. Обертання Землі навколо Сонця

Земля складається з твердих, рідких і газоподібних речовин, що розташовані в певній послідовності. Вони утворюють внутрішнє ядро та оболонки планети (мал. 1.2). Основна маса Землі (понад 99 %) розміщена під твердою землею поверхнею, за межами якої перебувають зовнішні геосфери — гідросфера й атмосфера.

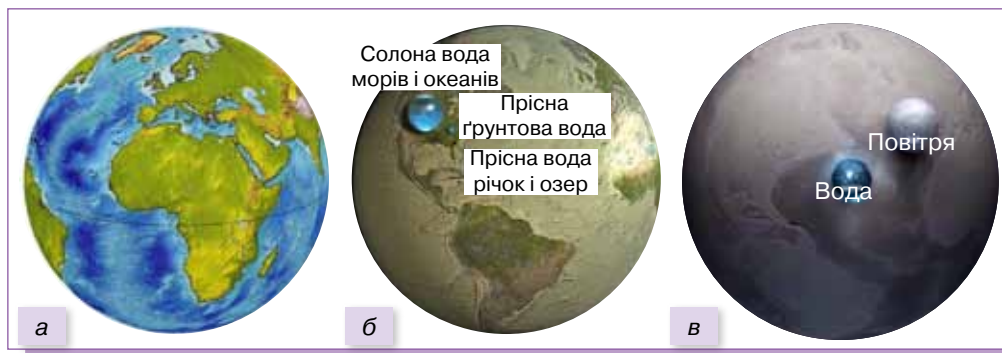


Мал. 1.2: а — із чого складається наша планета; б — геосфери

Суходіл становить 29,2 % поверхні Землі, а інші 70,8 % — водяна поверхня морів й океанів.

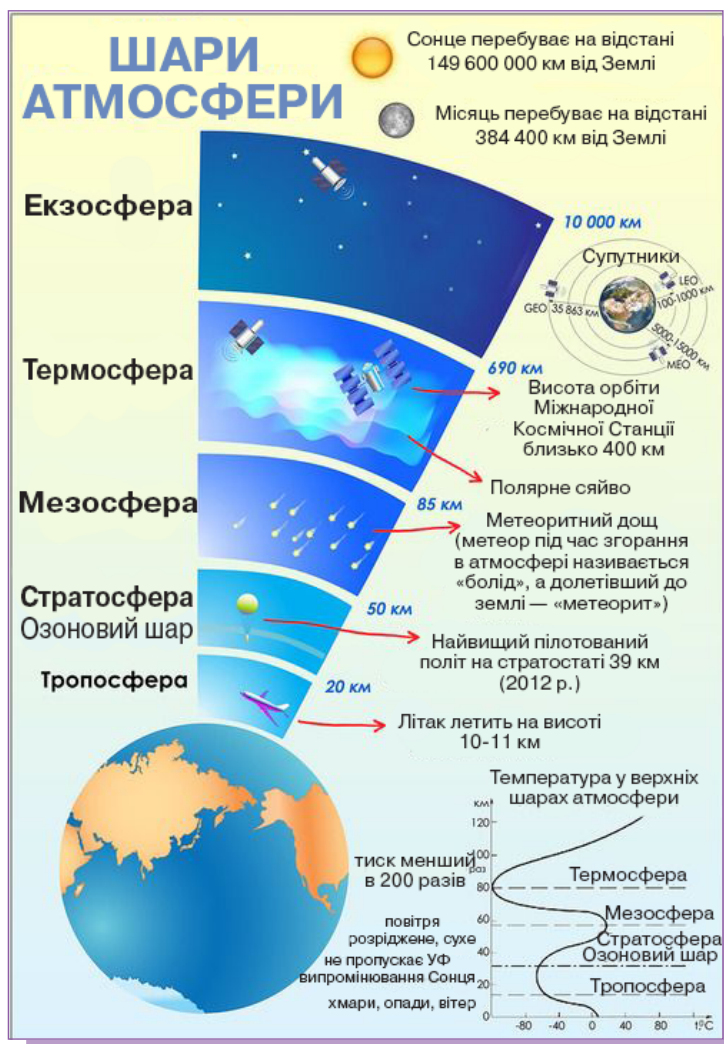
Водяну оболонку Землі, що включає води морів й океанів, води суходолу, льодовики, називають *гідросферою*. Гідросфера (від грец. ὕδωρ — вода і σφαῖρα — сфера) — динамічна система, у якій постійно відбуваються фізичні, хімічні та біологічні процеси. Усі природні води Землі перебувають у безперервному колообігу. У гідросфері вперше зародилося життя на Землі.

В об'ємному співвідношенні, якщо зібрати всю солону воду морів й океанів, то це буде більша кулька на малюнку 1.3, уся прісна ґрунтова вода — ще менша кулька, а прісна вода річок й озер — ота непомітна цятка на поверхні Землі.



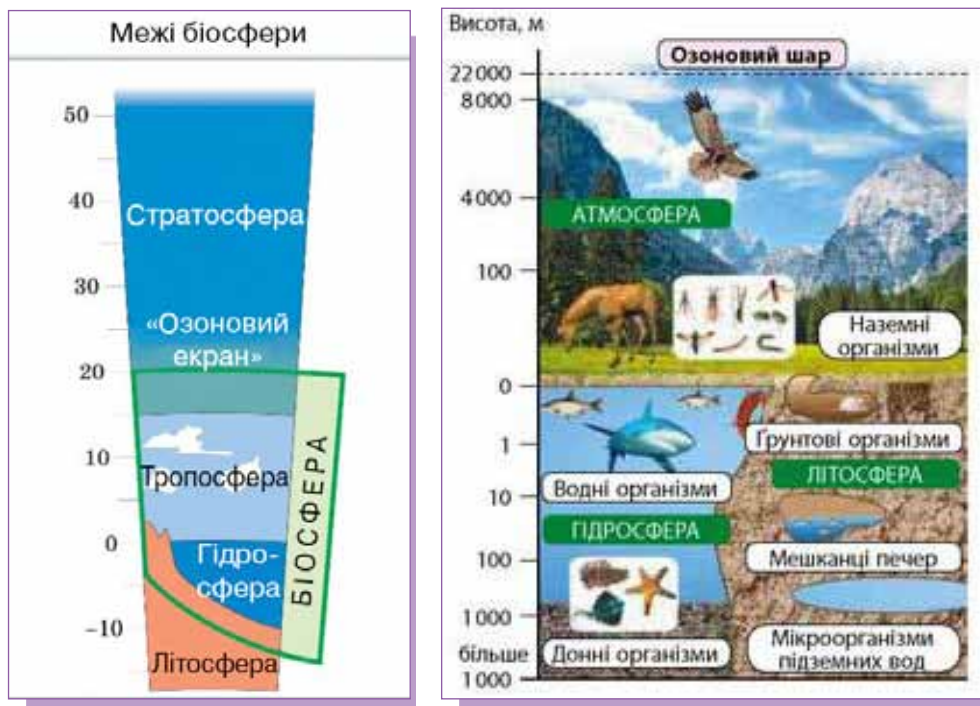
Мал. 1.3: а — вода займає 70,8 % поверхні Землі; б — в об'ємах — це не так і багато; в — а в порівнянні з атмосферою — і того менше

Зовнішня газова оболонка — *атмосфера* (від грец. *ατμος* — пара й *σφαιρα* — сфера) — одна з геосфер, суміш газів, що оточують Землю й утримуються завдяки силі тяжіння. Попри те, що маса атмосфери становить лише одну мільйонну частку маси Землі, вона відіграє вирішальну роль у різних природних циклах (колообігу води, Карбону, Нітрогену), забезпечує фотосинтез та дихання, захищає організми від згубного впливу ультрафіолетового випромінювання, перенесення тепла й вологи, регулювання сезонного й добового коливання температур (якби не існувало атмосфери Землі, добові коливання температури на поверхні сягали б 200 °С). Густина атмосфери швидко зменшується в міру віддалення від поверхні Землі й не має чітко вираженої верхньої границі. Відповідно до зміни температури з висотою в атмосфері виділяють тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу (мал. 1.4). 19 % маси атмосфери зосереджено в її нижньому шарі — тропосфері товщиною 7–12 км.



Мал. 1.4. Будова атмосфери

*Біосфера* (від грец. βίος — життя та σφαῖρα — сфера) — природна підсистема географічної оболонки (мал. 1.5), що є глобальною планетарною екосистемою (населена організмами). Біосфера охоплює нижні шари атмосфери до висоти близько 11 км, усю гідросферу й верхній шар літосфери до глибини 3–11 км на суходолі й 0,5–1,0 км — під дном океану.

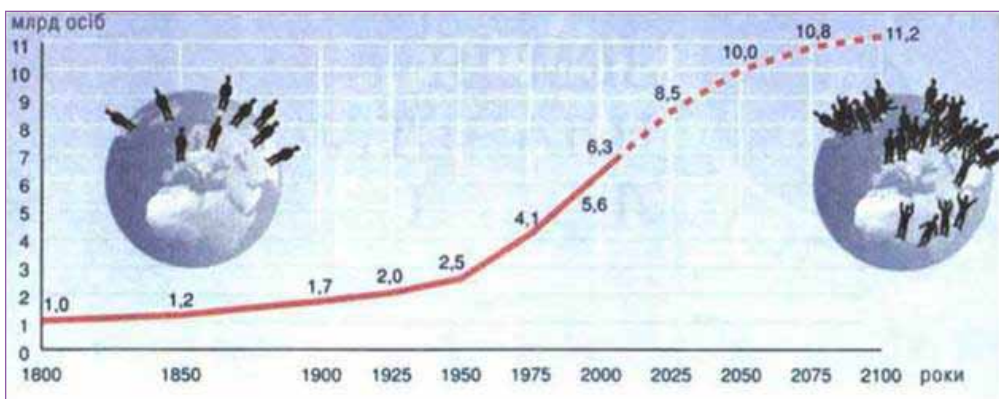


Мал. 1.5. Межі біосфери

Як з'ясували науковці, поррахувати зорі на небі легше, ніж кількість організмів на Землі. За даними вчених, на планеті живуть 8,7 млн (з похибкою 1,3 млн) видів істот, з яких близько 7,7 млн становлять тварини. Маса біосфери — близько 0,05 % маси Землі.

Людина — елемент біосфери. Проте середовище, у якому існує сучасна людина, характеризується за дещо іншими критеріями, ніж ті, за якими характеризується існування організмів. З одного боку, людина — біологічний об'єкт, нерозривно поєднаний із кругообігом речовин системою трофічних (ланцюгів живлення) та енергетичних зав'язків між нею та іншими учасниками екосистем. З другого боку, людство створює високорозвинену соціальну систему, яка ставить суттєві вимоги щодо середовища, обумовлені потребами, котрі зростають у міру розвитку промисловості й зростання чисельності населення. Протириччя такого становища полягає в тому, що людство як соціальна система функціонує набагато ширше, ніж як біологічна система.

Чисельність населення нашої планети стрімко зростає (мал. 1.6).



Мал. 1.6. Скільки нас на планеті

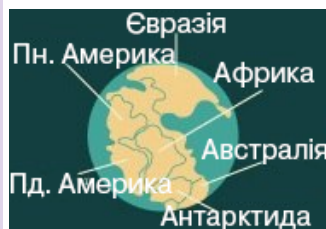
Ще кілька цікавих фактів про Землю (мал. 1.7).



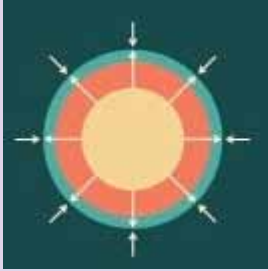
Вік Землі — 4,6 млрд років



Щороку 30 000 тис. тонн космічного пилу випадає на Землю



200 млн років тому всі континенти були одним великим материком — Пангеєю



Джерелом речовини та причиною внутрішнього тепла Землі є земне ядро, у якому відбуваються термоядерні реакції



Найпосушливіше місце на Землі — в Антарктиді. Тут дощів не було більш як 2 млн років. Друге місце займає чилійська пустеля Атакама — 400 років без дощу



Мінімальну температуру на Землі ( $-92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) зафіксовано в Антарктиці, максимальну ( $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) — у Лівії



Періоди зледеніння чергуються з глобальними потепліннями



Щодня вимирають близько 100 видів організмів на Землі



Кожні 10 с у світі народжується 26 дітей

Мал. 1.7. Відкриваємо цікаві факти

Земля має гравітаційне, магнітне, електричне, радіаційне та геотермічне поля.

Це якщо дуже коротко про нашу Землю. А тепер спробуємо з'ясувати, чому саме так усе на Землі існує.

## ТАЄМНИЦІ НАРОДЖЕННЯ ЗЕМЛІ Й МІСЯЦЯ

У темі Б.10 ми вже розглянули гіпотези утворення планет Сонячної системи. Незважаючи на те, що вони мають пояснити наявні факти про планетну систему, а саме — особливості розташування й рухи планет, розподіл планет за масою й хімічним складом, єдиної теорії, яка б усі їх пояснила, достеменно на сьогодні немає. Одні ідеї краще пояснюють особливості руху, інші — розподіл маси тощо. Відповідно до одних припущень, Сонце і планети утворились у єдиному процесі, згідно з іншими — незалежно. Відповідно до одних — планети утворилися з газових згустків, до інших — з твердої речовини («небулярна» й «метеоритна» гіпотези). Є «холодна» та «гаряча» моделі. Є «катастрофічна», що пов'язує утворення планет з катастрофічним явищем, наприклад, з наближенням до Сон-

ця іншої зорі або з вибухом близької наднової, викинута речовина якої, включаючи всі «важкі» елементи, була захоплена Сонцем і привела до утворення навколо нього планетної системи.

Оскільки виникнення планет Сонячної системи остаточно не з'ясоване, розглянемо той варіант, який на сьогодні є загально визнаним.

Близько 4,6 млрд років тому в тій частині космосу, де ми зараз є, з газопилової туманності зародилася наша планета Земля. І як небесне тіло, що є частиною космосу, протягом своєї історії Земля зазнала безліч перетворень. Космічні явища поширюються на неї у вигляді всесвітнього тягіння, сонячної радіації й ін. і великою мірою визначають її розвиток, мають найбезпосередніший стосунок до процесів, що відбуваються на Землі, до її будови. Разом з тим, Землі властиві й суто земні процеси, які в сукупності з космічними процесами створили Землю такою, якою вона є, з бурхливо кипучим життям, з її минулим, що губиться в неозорих просторах Всесвіту, з її майбутнім.

Згідно із сучасними уявленнями, вченими розглядаються три основні стадії структурних перетворень молоді Землі. Перша, що передувала формуванню земного ядра, названа стадією гарячих первинних вулканів, друга — післяядерна стадія вулканів гавайського типу та третя, остання, — біологічна.

Близько 4,5 млрд років тому важкі метали (залізо, нікель) унаслідок дії гравітації і стиснення проникали в центр молоді планети, утворивши ядро. Висока температура створювала всі умови для низки ядерних реакцій. Відбувся поділ мантії і ядра. Виділене тепло плавило й викидало на поверхню легкий силіцій. Він став прототипом першої кори. Так відбувалося *гравітаційне диференціювання речовини* Землі. Цей процес (хоча і не так інтенсивно), триває і в наш час та є одним із джерел внутрішнього тепла Землі.

Новонароджена Земля радше відповідала тій картині, яку приписують «кінцю світу» (мал. 1.8): твердої суші практично немає, навкруги лише вогняне море розплавлених порід. Замість повітря — вуглекислий газ, азот, сірка й водяна пара.



Мал. 1.8. Молода Земля



У Землі воістину було важке «дитинство». Вулканічна діяльність, грози, падіння метеоритів, високоенергетичне ультрафіолетове випромінювання Сонця були дуже інтенсивними. Уламки, що залишилися від формування Сонячної системи, нещадно бомбардували Землю. І все-таки наша планета страждала не дарма. На думку багатьох учених, ці метеорити принесли на Землю воду, мінерали, найпростіші білки й амінокислоти.

Минуло кілька мільйонів років (дитячий вік за мірками планети) після народження Землі, а її вже чекали зовсім «не дитячі» випробування. Молода планета під назвою Тея розміром з Марс мчала назустріч Землі. Уважають, що хоча Тея й зіткнулася із Землею, але, на щастя, пройшла по дотичній. Проте цього вистачило, щоб обидві планети стали нагадувати рідкі кулі: Землею прокочувалися справжні хвилі породи, а в космос викинуло трильйони тонн уламків. У цій космічній катастрофі Земля вціліла. І не лише вціліла, а й отримала «прикрасу»: дуже швидко сила тяжіння нашої планети перетворила уламки, що залишилися після катастрофи, на наш супутник — Місяць (мал. 1.9). Більшість матерії, з якої складається Місяць, походить із земної кори, а не з ядра нашої планети, ось чому на Місяці так мало Феруму, у той час як у нас його вдосталь.



Мал. 1.9. Народження Місяця

Материк роз'єднувалися, знову з'єднувалися, плаваючи в гарячій мантії. Це повторювалося багаторазово.

Остигаючи, Земля викидала зі свого ядра безліч різних газів (це явище називають *дегазацією*). Зазвичай це відбувалося під час виверження вулканів. Легкі гази, такі як водень або гелій, здебільшого випаровувались у космічний простір. Однак сила тяжіння Землі була досить велика, щоб

утримувати в її поверхні більш важкі гази. Вони й становили основу земної атмосфери.

Гідросфера, водна оболонка Землі, сформувалася за рахунок виходу води з внутрішніх областей Землі, а також за рахунок конденсації водяної пари з атмосфери. Коли виникли перші моря й океани, точно невідомо. Але вже 3,8–3,9 млрд років тому рідка вода була на Землі в значній кількості.

В історії Землі виявлено три типи атмосфер. Первинна атмосфера складалася, мабуть, з водню й гелію, які досить швидко відірвалися від Землі й розсіялися. Вторинна атмосфера була сформована за рахунок викидів вулканічних газів і складалася з карбон(IV) оксиду, амоніаку, метану, а також оксидів Нітрогену, Сульфору тощо (складіть їхні хімічні формули). Нарешті, сучасна атмосфера, що містить кисень, почала формуватися близько 2 млрд років тому за рахунок життєдіяльності фотосинтезуючих організмів.

Якби ми мали змогу повернутися на 3 млрд 500 млн років назад і побачити мілководну зону океану, то розгледіли б під водою щось подібне до каменів. Насправді це ціанобактеріальні спільноти, що є конгломератами живих бактерій. Їх рештки називають *строматолітами*. Живляться вони за допомогою фотосинтезу, що під дією сонячного світла перетворює карбон(IV) оксид і воду на моносахарид глюкозу. Під час цього перетворення вивільнювався побічний продукт — кисень (складіть рівняння реакції фотосинтезу). Мільйони років ці непоказні «камені» творили дива, наповнюючи киснем океани й атмосферу. Якби не вони, то на Землі, ймовірно, не існувало б майже ніяких організмів, зокрема й людей.

Після того як в атмосфері нагромадився вільний кисень, утворився озоновий шар. У результаті сонячне ультрафіолетове випромінювання перестало досягати поверхні Землі. Формування озонового екрана стало однією з найбільш значних подій в історії природного середовища, оскільки воно створило умови для розвитку земних біологічних систем.

На Землі немає гірських порід, які за віком були б її ровесниками. Найдавнішим породам трохи менше 4 млрд років. Але на той час, коли ці породи виникли, більш ранні породи вже зруйнувалися й перетворилися в осад, з якого і сформувалися нові породи.

Рухи та розломи земної кори, що відбувалися в різні геологічні періоди, супроводжувалися інтенсивною вулканічною діяльністю, у результаті чого в атмосферу потрапила величезна кількість газів і попелу, що знижувало прозорість атмосфери, отже, зменшувалася кількість сонячної радіації, яка потрапила на Землю. Це стало однією з причин зледеніння.

Потужне зледеніння материків змінювало клімат Землі й тим самим впливало на розвиток органічного світу. У процесі еволюції постійно виникали нові форми організмів, а більш ранні форми, які не пристосувалися до нових умов існування, вимирали. Протягом багатьох мільйонів років на планеті накопичувалися залишки організмів. На основі знахідок викопних форм у відкладеннях земних шарів удалося простежити справ-

жню історію живої природи. Застосування радіоізотопного методу дало змогу з великою точністю визначити вік порід у місцях залягання палеонтологічних залишків і вік викопних організмів.

Еволюція Землі, процеси формування її атмосфери та біосфери відбувалися спільно і в постійному взаємозв'язку. Ці процеси відбувалися в нерозривному зв'язку з геологічною еволюцією Землі, зміною її континентальних масивів.

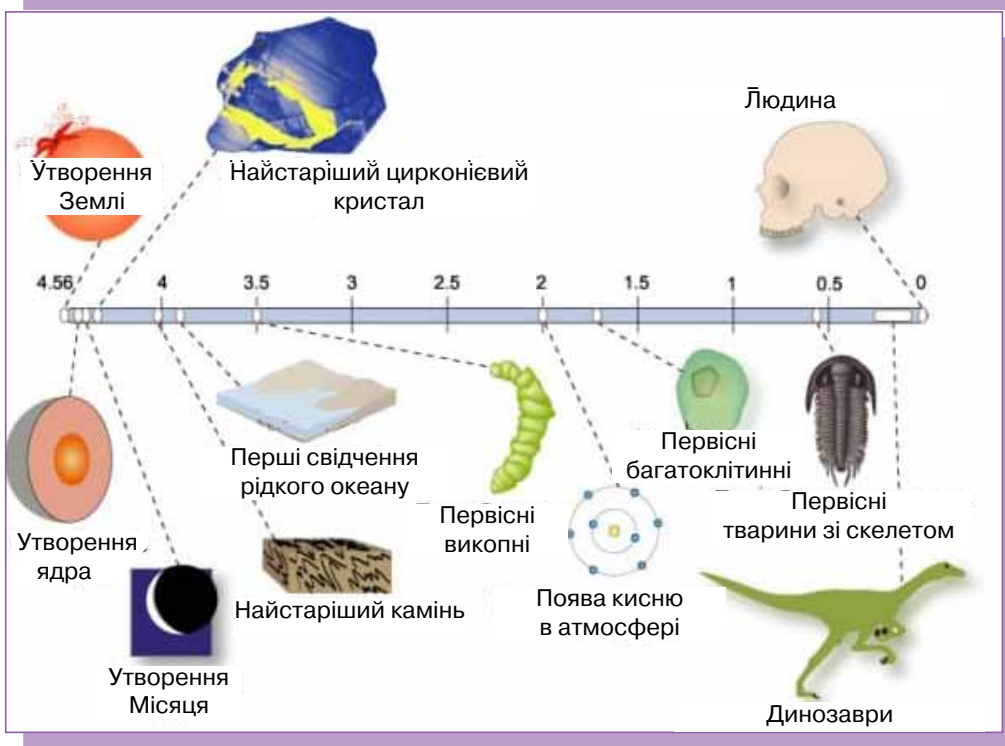
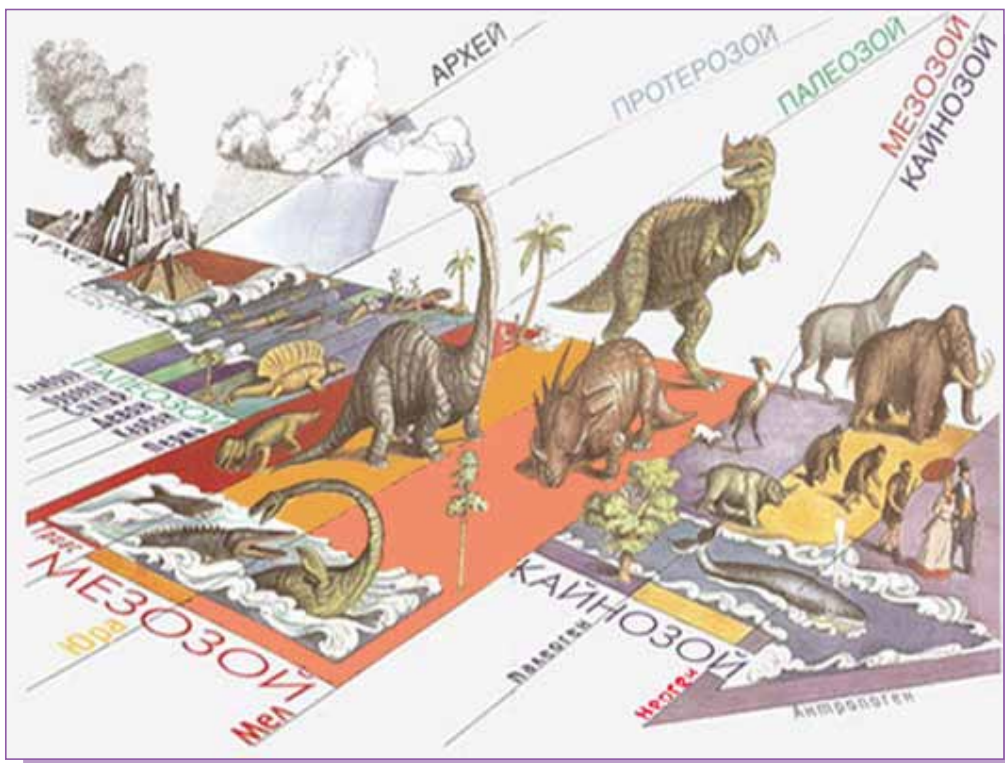
Для зручності всю історію нашої планети вчені поділили на п'ять великих проміжків часу — *ери*. Кожна ера визначає особливий етап у формуванні материків й океанів, розвитку життя на Землі (табл. 1.2). Ери та періоди складають *геологічний час*.

Найдавнішими ерами є *архейська* (її назва з грецької означає «давня») і *протерозойська* («раннє життя»), які разом утворюють *докембрій*. Ця ера охоплює понад 80 % усієї геологічної історії Землі. У докембрії у складі земної кори переважали базальтові породи. Уже тоді починають утворюватися окремі підвищені ділянки суходолу з порід, близьких до гранітних. У той час клімат на Землі був теплим і вологим, з організмів на планеті мешкали лише водорості й бактерії. Інші 20 % історії припадає на *палеозойську* («давнє життя»), *мезозойську* («середнє життя») та *кайнозойську* («нове життя») ери.

Таблиця 1.2.

Ера (млн. років)	Періоди горотворення	Найважливіші події
<b>Архейська</b> (2700–3800)	Архейський (давні платформи)	Інтенсивна вулканічна діяльність. Поява бактерій і деяких водоростей
<b>Протерозойська</b> (570–2700)	Байкальський (хребти Прибайкалля)	Формування материкової земної кори та давніх платформ, поява перших гір на суходолі. Поширення примітивних морських тварин
<b>Палеозойська</b> (185–570)	Каледонський (Скандинавські гори) Герцинський (Урал, Південні Аппалачі)	Існує єдиний материк Пангея, що об'єднує всі сучасні материки. Посилюються кліматичні відмінності між екваторіальними й приполярними широтами. Вихід рослин і тварин на суходіл
<b>Мезозойська</b> (70–185)	Мезозойський (гори Північно- Східного Сибіру)	Материк Пангея розколюється на кілька окремих частин, утворюються западини Атлантичного, Індійського океанів. Розвиток динозаврів, поява ссавців, хвойних рослин
<b>Кайнозойська</b> (70)	Альпійський (Альпи, Карпати)	Формуються обриси сучасних материків і океанів. Потужне материкове зледеніння. Панування квіткових рослин, ссавців. Поява людини

На малюнку 1.10 схематично представлено головні події еволюції Землі на одній і тій же часовій шкалі.



Мал. 1.10. Ключові події еволюції Землі

Щоб легше було простежити еволюцію Всесвіту в часі, американський астроном Карл Саган (1934 – 1996) придумав цікавий спосіб викладу космічної хронології. Усю історію Всесвіту він описав у масштабі, коли **одній космічній секунді відповідає 500 земних років**. У результаті тривалість існування нашого світу стислася до одного уявного космічного року. За масштабом, обраним Саганом, час власне людської цивілізації охоплює **практично кілька миттєвостей цього календаря**.

Розглянемо скорочену хронологію, запропоновану Саганом.

1 січня	Стався Великий Вибух. На цей день припадає й виникнення нашої Галактики — Чумацького Шляху
1 травня	Утворилася Сонячна система
9 вересня	Утворилася планета Земля
14 вересня	На Землі виникло життя
25 вересня	Утворилися найдавніші гори
Жовтень — листопад	Продовжується розвиток життя
2 жовтня	З'явилися найдавніші викропні (бактерії та синьо-зелені водорості)
9 жовтня	Виникло статеве розмноження
1 листопада	Рослини «навчилися» фотосинтезу
1 грудня	На Землі утворилася киснева атмосфера, і процес помітно поживився
5 грудня	Спостерігалися інтенсивні виверження вулканів
16 грудня	З'явилися перші черви
17 грудня	Кінець докембрійського періоду
17 грудня (друга половина дня)	Палеозойська ера й початок кембрійського періоду. Виникнення безхребетних
18 грудня	З'явився перший океанічний планктон. Розквіт трилобітів
19 грудня	Період ордовіка. Перші риби, перші хребетні
20 грудня	Силур. Перші спорові рослини. Рослини завойовують суходіл
21 грудня	Почався девонський період. Перші комахи. Тварини заселяють суходіл
22 грудня	З'являються перші амфібії. Перші крилаті комахи
23 грудня	Кам'яновугільний період. Перші дерева. Перші рептилії
24 грудня	Початок пермського періоду. Перші динозаври
25 грудня	Кінець палеозойської ери й початок мезозойської
26 грудня	Тріасовий період. Перші ссавці
27 грудня	Юрський період. Перші птахи
28 грудня	Крейдовий період. Перші квіти. Вимирання динозаврів
29 грудня	Кінець мезозойської ери. Кайнозойська ера й початок третинного періоду. Перші китоподібні. Перші примати
30 грудня	Початок розвитку лобних часток кори головного мозку в приматів. Перші гомініди. Розквіт гігантських ссавців

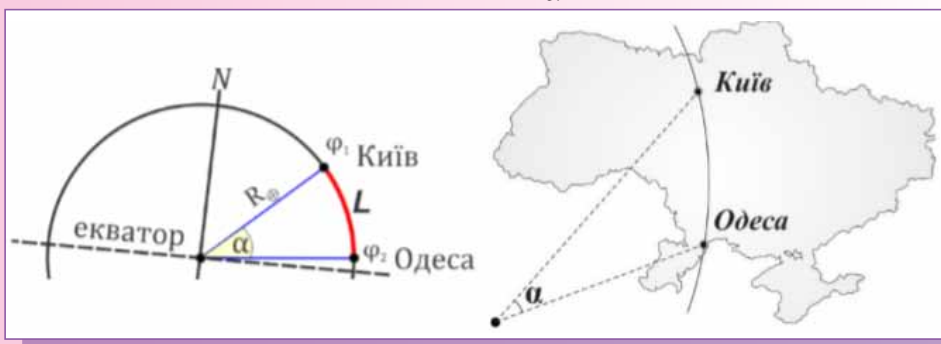
31 грудня (початок дня)	Кінець пліоценового періоду. Четвертинний (плейстоцен і голоцен) період
31 грудня 13:30:00	Поява рамапітека, предка мавп і людини
31 грудня 22:30:00	Виникли перші люди
31 грудня 23:00:00	Широке використання кам'яних знарядь
31 грудня 23:46:00	Використання вогню пекінською людиною
31 грудня 23:56:00	Початок останнього періоду зледеніння
31 грудня 23:58:00	Заселення Австралії
31 грудня 23:59:00	Розквіт печерного живопису в Європі
31 грудня 23:59:20	Початок землеробства
31 грудня 23:59:35	Цивілізація неоліту (перші міста)
31 грудня 23:59:50	Перші династії в Шумері та Єгипті, розвиток астрономії
31 грудня 23:59:52	Поява писемності, держава Аккад, закони Хаммурапі у Вавилонії, Середнє царство в Єгипті
31 грудня 23:59:53	Бронзова металургія, мікенська культура, Троянська війна, ольмекська культура, винахід компаса
31 грудня 23:59:54	Залізна металургія, перша Ассирійська імперія, Ізраїльське царство, заснування Карфагена фінікійцями
31 грудня 23:59:55	Династія Цинь у Китаї, імперія Ашоки в Індії, Афіни часів Перикла, народження Будди
31 грудня 23:59:56	Евклідова геометрія, Архімедова фізика, астрономія Птолемея, Римська імперія, народження Христа
31 грудня 23:59:57	Уведення нуля і десяткового рахунку в індійській арифметиці, занепад Риму, мусульманські завоювання
31 грудня 23:59:58	Цивілізація майя, династія Сун у Китаї, Візантійська імперія, монгольська навала, хрестові походи
31 грудня 23:59:59	Епоха Відродження в Європі; подорожі й географічні відкриття, зроблені європейцями та китайцями часів династії Мін; введення експериментального методу в науці
31 грудня остання секунда й перші миті нового року	Стрімкий розвиток науки й техніки; поява світової культури; створення засобів, здатних знищити людство; перші кроки в освоєнні космосу й пошуки позаземного розуму. Засмічення Океану й Землі. За останню секунду космічного року люди зробили стільки, що планета Земля може припинити існування. Настав час зупинитися



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Назвіть характерні параметри нашої Землі. Які геосфери має Земля?
2. Які ви знаєте гіпотези походження Землі?
3. На яких планетах атмосфера за хімічним складом схожа на вторинну атмосферу Землі?
4. Згідно із сучасними даними науки, близько 650 млн років тому вміст кисню в атмосфері Землі становив лише 0,1 % його теперішньої концентрації. Тоді відбулося швидке збільшення кількості кисню в атмосфері. Чому це збільшення так довго затримувалося?
5. Які явища геологічного характеру відіграли значну роль у формуванні земної кори?
6. Дізнайтеся, хто першим виміряв радіус Землі.
7. Дізнайтеся, як за сучасною геологічною картою України визначити радіус Землі  $R_{\oplus}$ . Візьміть до уваги, що довжина дуги всього кола ( $2\pi R_{\oplus}$ ) відноситься до довжини дуги  $L$ , що є відстанню між містами, як  $360^\circ$  (повне коло) до кута  $\alpha$ , утвореного містами (мал. 1.11).

Отримуємо співвідношення:  $\frac{2\pi R_{\oplus}}{L} = \frac{360^\circ}{\alpha}$ .



Мал. 1.11. Як визначити радіус Землі

З огляду на те, що  $\alpha$  — це різниця між значенням широти, наприклад, Києва ( $\varphi_1$ ) та Одеси ( $\varphi_2$ ), що лежать приблизно на одному меридіані, виражаємо цей кут формулою:  $\alpha = \varphi_1 - \varphi_2$ .

За картою визначте:  $\varphi_1$  — широту Києва;  $\varphi_2$  — широту Одеси;  $L$  — відстань між містами. Обчисліть радіус Землі за цими даними. Перевірте, чи збігається отримане вами значення з дійсним.



## В. 2. ФОРМА Й РУХИ ЗЕМЛІ. ЧАС

Те, що Земля обертається навколо власної осі й навколо Сонця, — знаємо. Що періодичний обертальний рух Землі є підґрунтям способів вимірювання часу й літочислення — знаємо. А що особливого дізнаємось у цій темі?

### ПРИГАДАЙТЕ

Про рух планет дивись Б.10

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати* форму Землі, види рухів Землі, параметри та наслідки осьового й орбітального рухів планети.

*Знати* параметри та наслідки рухів Землі.

*Наводити приклади* прояву сили Коріоліса.

*Визначати* поясний, місцевий час у країнах світу та в Україні.

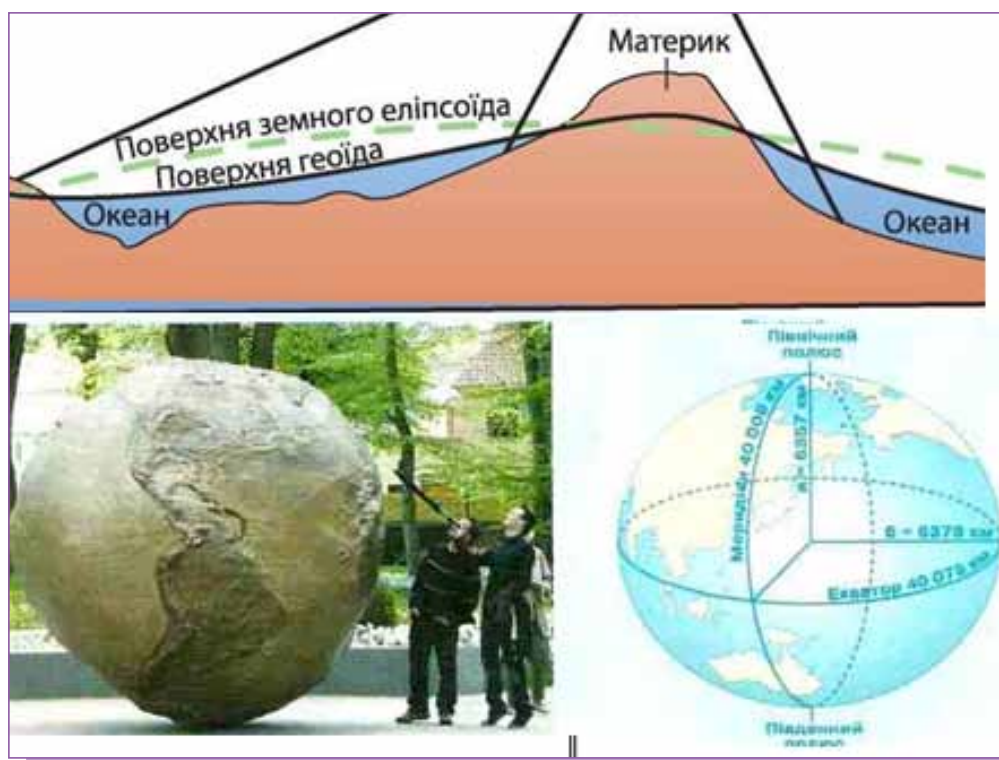
*Характеризувати* осьовий та орбітальний рух Землі, роль Місяця в земних процесах



## НЕЗВИЧНА КУЛЯ

Якою є справжня форма Землі? Нині ніхто вже не має сумніву в тому, що Земля має кулясту форму. Це підтвердили численні навколосвітні подорожі. Останні сумніви зникли після перших космічних польотів і публікації фотознімків Землі з космосу. Однак наша планета — незвичайна куля.

Поверхня Землі нерівна: на ній є гори, рівнини й западини. Тому точну форму планети не можна відтворити жодною геометричною фігурою. Учені визначають форму Землі як геоїд (від грец. «ge» — Земля та «eidos» — вигляд). Він має дуже складну форму й відрізняється від справжньої поверхні Землі. Поверхня геоїда приблизно збігається зі спокійною водною поверхнею Світового океану, яку умовно продовжують під материками (мал. 2.1).



Мал. 2.1. Незвична куля

Різниця між полярним й екваторіальним радіусом — 21 км, що становить усього  $1/298$ , тобто 0,3 %.

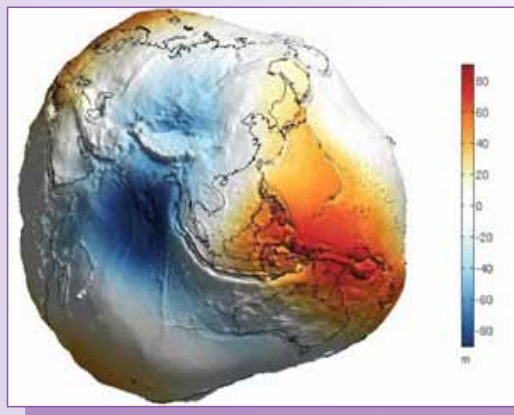
Куляста форма Землі має важливе географічне значення: вона ділить поверхню на освітлену й неосвітлену частини, зумовлює нескінченність і єдність простору й усіх геосфер та зональний розподіл сонячного тепла.

Доказами кулястості Землі можуть бути: кругла тінь від Землі на Місяці під час місячних затемнень (доказ Аристотеля), поступове «зникнен-

ня» корабля за обрієм у відкритому океані, збільшення дальності видимого горизонту під час підняття вгору, обертання штучних супутників та фотографії Землі з Космосу.



З метою візуалізації відмінностей геоїда від еліпсоїда (а не від кулі) було створено зображення (мал. 2.2), у якому ці відмінності перебільшені на кілька порядків. А потім це зображення хтось помістив у мережу Інтернет зі словами «так виглядає Земля без води!» І чомусь ця інформація набула вірусного характеру, і до сьогодні багато хто вважає, що це форма Землі без води.



Мал. 2.2. Як легко впіймати фейк

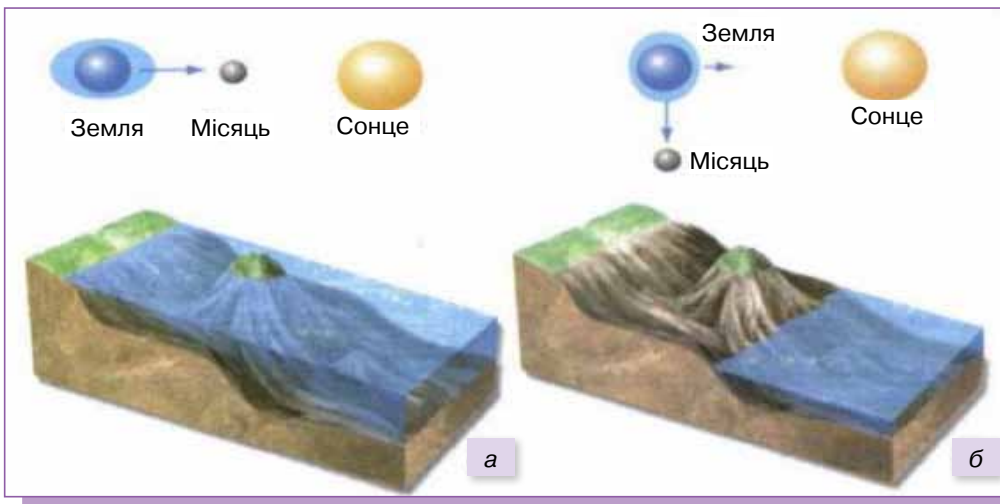
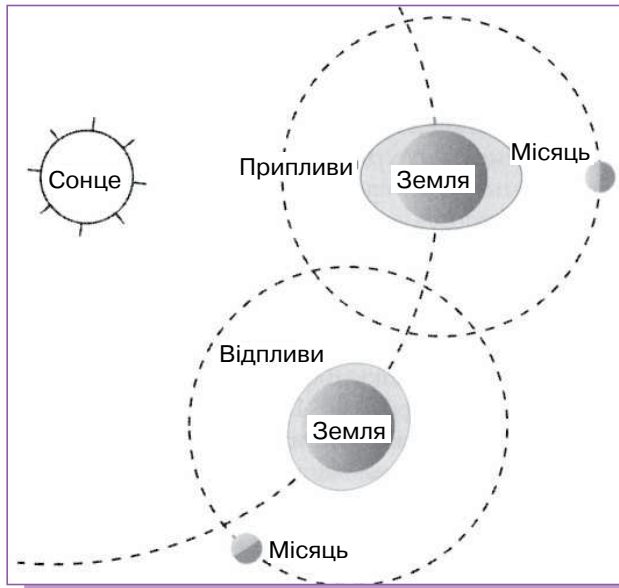
## ТУРБОТЛИВИЙ СУПУТНИК

На момент формування Землі й Місяця відстань між ними становила 22 000 км, у порівнянні із сьогоднішніми 402 000 км. На ранній Землі, коли Місяць тільки сформувався, дні тривали близько п'яти годин.

Якби не було Місяця, то день на Землі так і тривав би не більше шести годин, гравітаційний вплив Юпітера призвів би до того, що вісь обертання нашої планети хаотично коливалася — зокрема, її кут нахилу до площини орбіти коливався б у межах від 0 до 85 градусів.

Гравітація Місяця створює добовий цикл припливів і відпливів. Цей процес уповільнює обертання планети навколо своєї осі, що збільшує тривалість земної доби на 0,002 с за століття і змушує Місяць віддалятися від Землі приблизно на 3,8 см за рік (з такою самою швидкістю ростуть наші нігті).

На різні частини Землі по-різному впливає тяжіння Місяця. У найближчій до Місяця області океану відбувається підйом води назустріч Місяцю. Одночасно в протилежній частині Світового океану відцентрова сила теж спричинює підйом води (мал. 2.3). Але підняття води в одному місці не може відбутися без падіння рівня води в іншому місці, тому це падіння й відбувається в смузі, яка перпендикулярна до лінії впливу Місяця.



Мал. 2.3. Як виникають припливи та відпливи

Гравітація Сонця зумовлює аналогічний ефект, але висота сонячного припливного горба у 2,17 раза менша. Більші припливи бувають під час молодика та повні, коли Місяць і Сонце розташовані майже на одній лінії із Землю, зумовлюючи їх сумарний гравітаційний вплив.

Припливні горби пересуваються вздовж поверхні морів та океанів услід за Місяцем зі сходу на захід зі швидкістю 1800 км/год. Над кожним пунктом припливна хвиля проходить двічі на добу. У відкритому морі рівень води піднімається на 1–2 м, а біля узбережжя, особливо у вузьких затоках чи бухтах, рівень води піднімається значно вище — на 4–5 м (мал. 2.4), а в деяких місцях на десятки метрів.

## Висота припливів і відпливів

- 18 м — затока Фанді в Атлантичному океані
- 14 м — Бристольська затока в Атлантичному океані
- 13,5 м — Магелланова протока в Атлантичному океані
- 12,3 м — протока Ла-Манш в Атлантичному океані



Мал. 2.4. Моменти відпливу та припливу

Уранці й увечері, в години припливу, до каналу заходили морські окуні, і дорогою вони бачили, як відчайдушно скидається над поверхнею, рятуючись від тих хижаків, риб'яча дрібнота і як вирує вода, коли окуні нападають на здобич.

(*Ернест Хемінгуей. «Райський сад»*).

...у неохопному рухові Землі довкола Сонця океан з припливами та відпливами подібний до жердини, якою земна куля балансує, щоб зберегти рівновагу.

(*Віктор Гюго. «Трудівники моря»*).

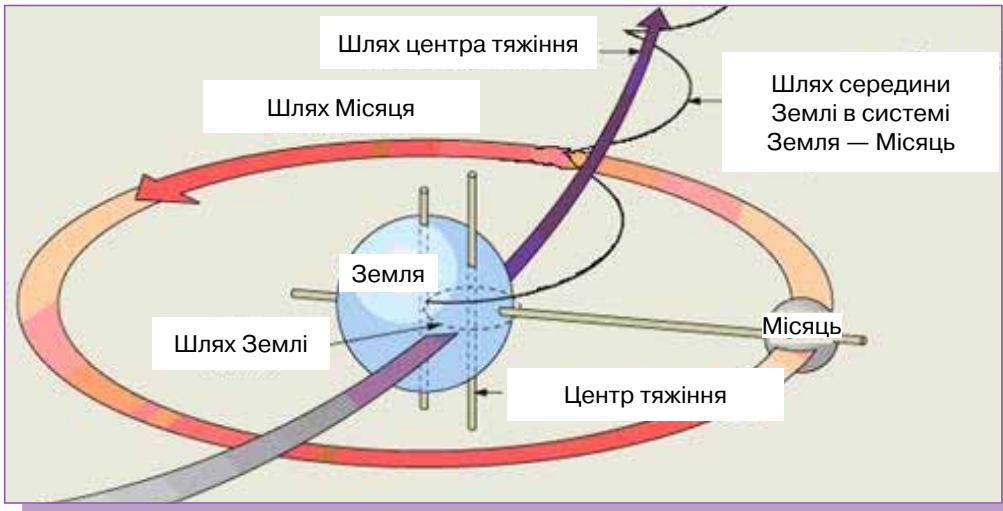
Ударами припливів і відпливів здіймає груди вічний океан і в скелі б'є. І космос, як пеан, гримить в безкрай.

(*Євген Маланюк. «Фастівська ніч»*).

Тяжіння Місяця створює припливні деформації не тільки в гідросфері, а й в атмосфері, викликаючи двічі на добу зміну тиску повітря на кілька міліметрів ртутного стовпчика, і в літосфері, викликаючи підйом та опускання поверхні Землі.

Система Земля—Місяць деякими вченими розглядається не як система Планета—Супутник, а як подвійна планета, оскільки розмір і маса Місяця досить великі. Діаметр Місяця дорівнює  $3/4$  діаметра Землі, а маса Місяця становить  $1/81$  маси Землі. У результаті обертання системи Земля—Місяць відбувається не навколо центра Землі, а навколо центра мас системи Земля—Місяць, який перебуває на відстані 5000 км від центра Землі (мал. 2.5).

Оскільки Земля обертається швидше ніж Місяць, то припливна хвиля зміщується вперед у напрямку обертання Землі, випереджаючи Місяць. Наслідком такого випередження є те, що значна частина маси океанських вод (і частина маси всієї Землі) зміщується вперед з лінії, яка з'єднує центри мас Землі й Місяця. Ця, зміщена вперед, маса притягує до себе Місяць, створюючи силу, що діє перпендикулярно лінії Земля—Місяць. У результаті на Місяць діє момент сили, що прискорює його обертання по орбіті навколо Землі. Це прискорення супроводжується віддаленням Місяця від центра Землі, що згодом може призвести до втрати Місяця.



Мал. 2.5. Рух системи Земля–Місяць

Зворотним наслідком усього цього є те, що на береги материків, коли вони «набігають» на припливну хвилю, діє протилежно спрямована сила, яка «гальмує» їх. Таким чином Місяць уповільнює обертання Землі.

На Місяць припливні сили впливають ще більше, адже Земля набагато масивніша й більша. Швидкість обертання Місяця навколо своєї осі настільки сповільнилася, що він «покірно» повернувся до нашої планети однією стороною, і припливний горб більше не біжить по місячній поверхні.

Місяць відіграв важливу роль для виникнення життя на Землі. Поява на нашій планеті перших одноклітинних організмів сталася близько 3,5 млрд років тому. У той час Місяць перебував дуже близько до Землі. Місячна гравітація спричинювала більш значні, ніж у наші дні, припливи й відпливи. У результаті цього вода змогла проникнути далі на суходіл і вимити в океан мінерали, які зробили води океану нашої планети більш придатними для зародження життя.

Місяць робить повний оберт навколо Землі протягом 27,3 доби. Однак через обертання Землі навколо Сонця люди на Землі можуть спостерігати циклічну зміну місячних фаз тільки кожні 29,5 доби. Рух Місяця навколо Землі відбувається в площині екліптики, а не в площині земного екватора (більшість природних супутників інших планет обертаються в площині екватора своїх планет).

Виходить, що Місяць оточив Землю турботою, а після появи *Homo sapiens* земний супутник став відігравати для нього роль одного з перших хронометрів, яким відміряли час. Саме регулярні фази Місяця подарували первісним культурам ідею створення перших календарів.

Місяць допоміг у перевірці теорії гравітації Альберта Ейнштейна. У 1919 р. для з'ясування існування викривлення світлових променів в полі Сонця, передбаченого теорією Ейнштейна, наукову експедицію було відправлено в Африку для спостереження цього явища під час повного сонячного затемнення.

## РАЗ ОБЕРТ, ДВА ОБЕРТ

Земля одночасно здійснює кілька рухів, основні з яких — *орбітальний* (річний) та *обертання Землі навколо своєї осі* (добовий). Ці рухи справляють великий вплив на процеси, що відбуваються на Землі.

*Добове обертання Землі* здійснюється із заходу на схід (якщо дивитися на Землю з боку Північного полюса). Земля обертається навколо своєї осі за 24 год. Кутова швидкість обертання всіх точок Землі при цьому однакова ( $15^\circ$  за годину). Лінійна швидкість обертання точок залежить від тієї відстані, яку вони мають пройти за час добового обертання Землі. Нерухомими на поверхні Землі є тільки точки географічних полюсів (Північного й Південного). Найбільша швидкість (464 м/с) обертання точок — на лінії екватора.

Осьове обертання Землі має важливі наслідки. Насамперед, завдяки йому виникає відцентрова сила, яка визначає особливості форми Землі. Наша планета могла би бути кулею лише в тому разі, якщо б не оберталася, бо при обертанні тіла виникає *відцентрова сила*.

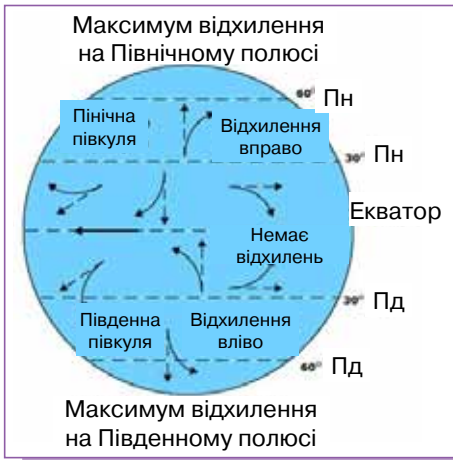
У свою чергу, форма Землі визначає зональний розподіл тепла на земній поверхні (зменшення від екватора до полюсів), а також зональність усіх явищ, які прямо або ж опосередковано залежать від теплового режиму.

Інший важливий наслідок осьового обертання Землі — відхилення тіл від напрямку їх руху. Згідно із законом інерції, тіло, що рухається, намагається зберегти напрямок і швидкість руху. Якщо рух відбувається відносно поверхні, яка переміщується (у даному випадку Землі, що обертається), то спостерігачу, який перебуває на цій поверхні, здається, що тіло змінює напрямок свого руху. Насправді воно продовжує рухатись у заданому напрямку, а поверхня під ним «відходить» у бік — повертається. Відхиляюча сила обертання Землі називається силою Коріоліса, на честь французького вченого Коріоліса, який уперше пояснив це явище в 1835 р.

Сила Коріоліса завжди спрямована перпендикулярно до руху тіла: праворуч до напрямку руху, якщо обертання відбувається проти годинникової стрілки, і ліворуч, якщо воно відбувається за годинниковою стрілкою. Ця сила залежить від швидкості руху тіла. Що більшою є швидкість, то більше відхилення.

Якщо тіло рухається у горизонтальній площині, то відхилення буде максимальним на полюсах, а на екваторі воно зникає. У Північній півкулі всі рухомі тіла, незалежно від напрямку їх руху, відхиляються праворуч, а в Південній півкулі — ліворуч.

Сила Коріоліса невелика. Але її постійна дія справляє великий вплив на напрямок руху повітряних мас, морських течій, пінкових потоків та інші явища. Вона є причиною виникнення різних вихорів, зокрема циклонів і антициклонів, існування систем повітряних і морських течій, підмивання берегів річок (мал. 2.6). Річки, що течуть в меридіональному напрямку, в Північній півкулі підмивають правий берег.



Мал. 2.6. Прояв сили Кориоліса (р. Десна)

Обертання Землі навколо осі зумовлює швидке переміщення сонячного освітлення по земній поверхні зі сходу на захід — зміну дня та ночі. Зміна дня і ночі, у свою чергу, зумовлює добовий ритм явищ і процесів у ландшафтній оболонці. Він виявляється в закономірній зміні кількості сонячної енергії, яку одержує земна поверхня, температури й вологості, атмосферного тиску, руху повітря.

З осьовим обертанням Землі, як ми з'ясували, пов'язане утворення припливної хвилі, яка щодобово обходить землю зі сходу на захід.

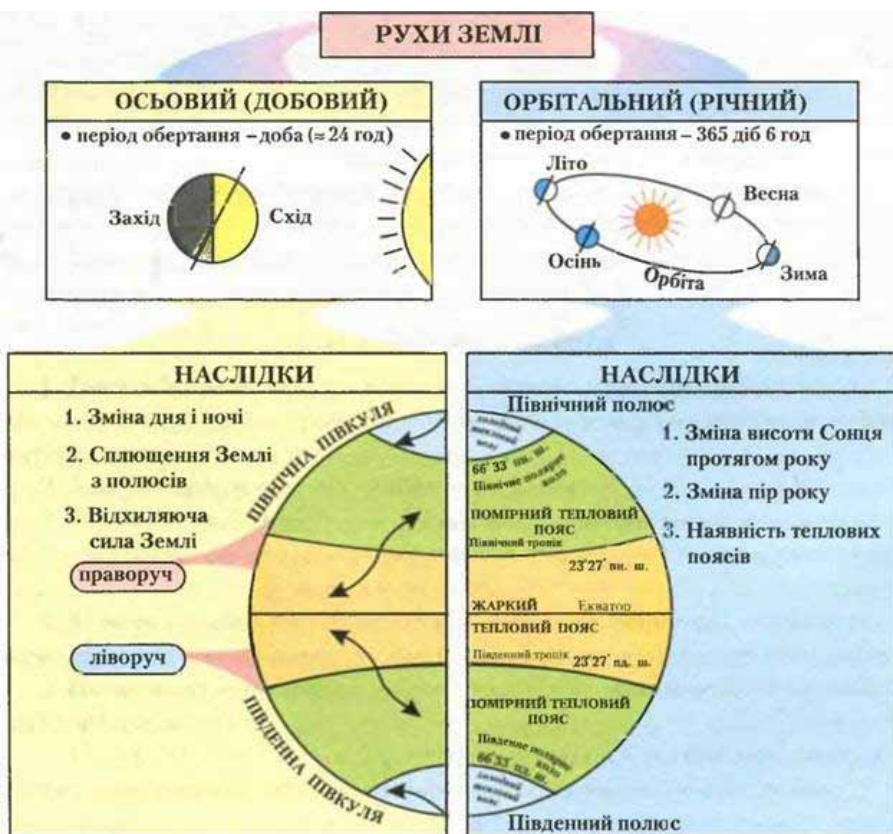
**Орбітальний рух Землі** відбувається по еліптичній орбіті із середньою швидкістю 29,8 км/с. Земля здійснює повний оберт навколо Сонця за 365 днів 6 год 9 хв 9,6 с. Швидкість руху Землі по орбіті буде тим більшою, що менша відстань від Землі до Сонця. Ця відстань протягом року змінюється: у перигелії зменшується до 147 117 000 км, в афелії збільшується до 152 083 000 км. У перигелії Земля перебуває на початку січня, отже, її рух орбітою в цей час швидший, тому зимове півріччя в Північній півкулі коротше, ніж у Південній.

Внаслідок руху Землі навколо Сонця відбувається зміна пір року. Початок астрономічного літа в Північній півкулі — 22 червня (день літнього сонцестояння). У день літнього сонцестояння Земля перебуває в афелії. Вісь Землі нахилена північним кінцем до Сонця, і сонячні промені опівдні на Північному тропіку ( $23^{\circ} 27' \text{ пн. ш.}$ ) падають прямовисно. 22 червня в Північній півкулі Сонце перебуває в найвищому положенні — зеніті. Широти на північ від Північного полярного кола ( $66^{\circ} 33' \text{ пн. ш.}$ ) розташовані на повністю освітленій частині Землі, і в цій місцевості триває полярний день (Сонце за горизонт не заходить). На всіх широтах між Північним Полярним колом і екватором день довший за ніч. Освітленість Північної півкулі в день літнього сонцестояння найбільша.

У Південній Півкулі в день літнього сонцестояння (22 червня) починається астрономічна зима. Сонце в цей не підіймається високо над горизонтом. На південь від Південного полярного кола ( $66^{\circ} 33'$  пд. ш.) триває полярна ніч (Сонце зовсім не з'являється над горизонтом), яка за тривалістю дорівнює полярному дню тих самих широт Північної півкулі. На всіх широтах між Південним полярним колом й екватором день коротший за ніч, а освітленість Південної півкулі в цей день — найменша протягом року.

Безперервно рухаючись по орбіті, 23 вересня Земля займає положення, за якого світлороздільна лінія проходить через географічні полюси й день дорівнює ночі на всій Землі. Це день *осіннього рівнодення*. Обидві півкулі в цей день однаково освітлені. 23 вересня — початок астрономічної осені в Північній півкулі й початок астрономічної весни в Південній.

22 грудня, у *день зимового сонцестояння*, Земля перебуває в перигелії. До Сонця обернена Південна півкуля, і в ній починається астрономічне літо, тоді як в Північній півкулі настає астрономічна зима. Сонячні промені в полудень падають прямовисно на Південний тропік ( $23^{\circ} 27'$  пд. ш.). Область біля Південного полюса обмежена Південним Полярним колом ( $66^{\circ} 33'$  пд. ш.), освітлюється Сонцем, яке не опускається під горизонт. Над протилежною областю в Північній півкулі Сонце в цей час не сходить



Мал. 2.7. Наслідки рухів Землі



над горизонтом. Освітленість Південної півкулі в цей день — найбільша протягом року, Північної — найменша. 22 грудня, як і 22 червня, день дорівнює ночі тільки на екваторі.

21 березня, у день *весняного рівнодення*, Сонце освітлює Землю так само, як і 23 вересня: воно перебуває в зеніті над екватором, і на всіх широтах день дорівнює ночі. У Північній півкулі настає астрономічна весна, у Південній — осінь.

Орбітальний рух Землі зумовлює розташування на її поверхні сучасних *поясів освітлення* (астрономічних теплових поясів). Таких поясів п'ять: жаркий, два помірних і два холодних. Пояси освітлення — першооснова виділення природних широтних поясів.

Жаркий пояс лежить між тропіками, по обидва боки від екватора, і займає близько 40 % земної поверхні. У цьому поясі Сонце один раз на рік (у дні сонцестояння) буває в зеніті над кожним тропіком. На екваторі день завжди дорівнює ночі. Два помірні пояси розташовані між тропіками й Полярним колом. Сонце в них ніколи не буває в зеніті. Упродовж доби обов'язково відбувається зміна дня і ночі. Тривалість їх залежить від широти та пори року. Помірні пояси займають 52 % земної поверхні. Два холодних пояси — на північ від Північного полярного кола й на південь від Південного полярного кола — характеризуються наявністю полярних днів і ночей. Ці пояси займають 8 % земної поверхні. Пояси освітленості становлять основу кліматичної зональності Землі та природної зональності загалом.



Давно відзначено таку закономірність: що авторитарнішим є суспільство, то вільніше там почуваються прихильники псевдонаукових теорій, які заперечують усю сучасну науку. Цей фактор не випадковий, а є результатом чіткої політичної установки, що відбувається в ідеології, пропаганді й освітній сфері.

У наш час авторитарна влада постала перед дилемою. З одного боку, складне виробництво й розгалужені економічні, фінансові та соціальні зв'язки вимагають залучати до управління державою підготовлених людей. Тут не обійтися без якісної освіти з великою часткою, зокрема, математичної складової. З іншого — набагато простіше керувати людьми, які ледве читають і пишуть і легко піддаються пропагандистському впливу. Таких людей переконують, що Земля пласка — і вони цьому вірять!



Мал. 2.8. Ще один фейк

## КОТРА ГОДИНА?

Вимірювання часу людиною ґрунтується на *періодичних* явищах — таких, що повторюються через однакові інтервали часу. Наприклад, зміна дня й ночі, зміна вигляду Місяця, зміна пір року, коливання маятника.

Час вимірюють за допомогою годинників, які умовно поділяють на природні та штучні. Годинники (мал. 2.9) найчіткіше відображають єдність часу й руху, оскільки в кожному з них використано певний рух. В основу природних годинників покладено рух Сонця, Місяця, Землі. Люди давно помітили, що ці небесні тіла обов'язково повторюють своє положення відносно інших тіл.



Мал. 2.9. Годинники: а — найбільший пісочний годинник у світі встановлений під скляним куполом піраміди музею Nima Sand (містечко Ода в префектурі Сімане Японія). Маса піску в ньому — 1 тонна. Потрібно рівно рік, щоб пісок пересипався з верхньої частини колби в нижню; б — київський квітковий годинник визнано найбільшим у світі, його діаметр становить близько 20 метрів, а діаметр циферблата — 17,35 метрів; в — FOCS 1, атомний годинник у Швейцарії з похибкою  $10^{-15}$ , тобто не більше секунди за 30 мільйонів років; г — розумний годинник (англ. Smartwatch) — комп'ютеризований наручний пристрій, який окрім вимірювання часу виконує додаткові функції: відтворення музики, прийом сповіщень та дзвінків з мобільного телефону, відстеження маршрутів, збирання інформації з убудованих та зовнішніх датчиків — акселерометру, термометру тощо

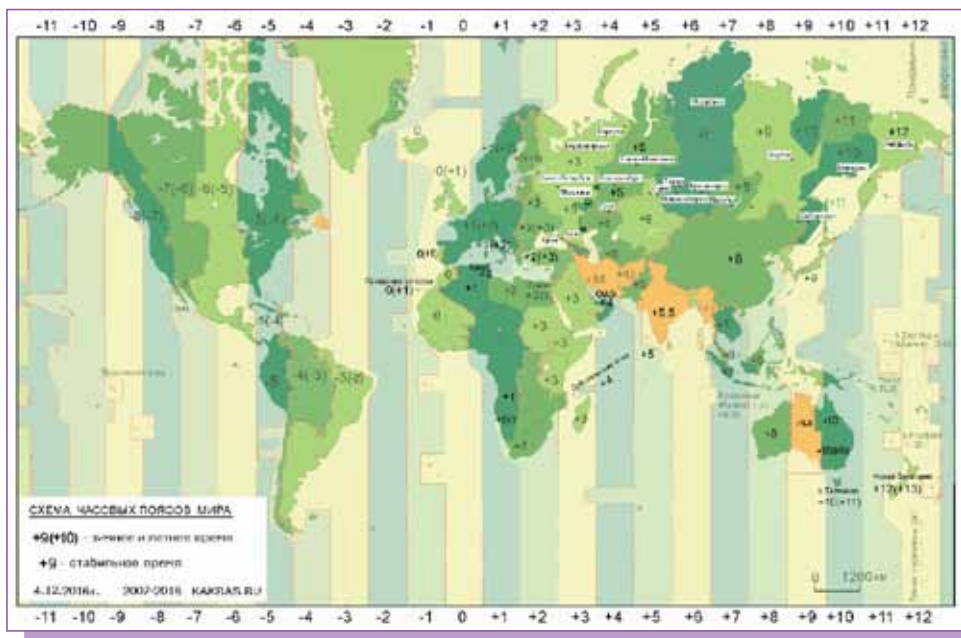
Обертаючись навколо своєї осі в напрямку із заходу на схід, Земля робить повний оберт за добу. Сонце послідовно освітлює всю поверхню земної кулі. Якщо на глобусі від Гринвіцького (нульового) меридіана провести меридіани через кожні  $15^\circ$  довготи, то час на кожному з них відрізнятиметься від часу на сусідньому меридіані на 1 год. Коли на Гринвіцькому меридіані 12 годин (полудень), на довготі  $180^\circ$  — 24 години (північ), на довготі  $90^\circ$  на схід від Гринвіча — 18 годин (вечір), а на довготі  $90^\circ$  на захід — 6 годин (ранок). Куляста форма Землі та її обертання навколо своєї осі зумовлюють кожної миті однаковий час доби для всіх точок на одному меридіані від Північного полюса до Південного. Час на меридіані в певний момент називають місцевим, або сонячним.

Повний оберт (на  $360^\circ$ ) навколо своєї осі Земля робить за 24 год, а за 1 год наша планета обертається на  $15^\circ$  ( $360^\circ : 24 \text{ год} = 15 \text{ градусів/год}$ ). Отже, місцевий час відрізнятиметься на 1 год в точках, віддалених одна від одної на  $15^\circ$  довготи, і на 4 хв — віддалених на  $1^\circ$  довготи ( $1 \text{ год} = 60 \text{ хв}$ ;  $60 \text{ хв} : 15^\circ = 4 \text{ хв/градус}$ ). Наприклад, якщо в Києві ( $30^\circ 30' \text{ сх. д.}$ ) 10 год, то в Харкові ( $36^\circ \text{ сх. д.}$ ) місцевий час становитиме 10 год 22 хв ( $36^\circ - 30^\circ 30' = 5^\circ 30'$ ;  $5^\circ 30' \cdot 4 \text{ хв} = 22 \text{ хв}$ ). Користуватися місцевим часом незручно, адже, рухаючись на захід або схід, стрілки годинника дове-

деться переводити з кожним градусом довготи назад або вперед на 4 хв. Це створює певні незручності в житті й діяльності людей. Щоб уникнути цих незручностей, прийнято визначати час за годинними поясами.

За міжнародною угодою, земну поверхню поділили на 24 смуги по  $15^\circ$  довготи кожна — годинні пояси (мал. 2.10). У кожному годинному поясі по центру проходить середній меридіан. Його місцевий час вважають однаковим у певний момент для всіх населених пунктів у межах цього годинного поясу. Місцевий час середнього меридіана поясу називають поясним. Середні меридіани годинних поясів віддалені один від одного на  $15^\circ$ , або на 1 год в часовому вимірі. Тому різниця в часі між поясами залежить від відстані між ними.

Пояс із Гринвіцьким меридіаном, що має довготу  $0^\circ$ , вважають початковим (або нульовим). Решті годинних поясів у напрямку від нульового поясу на схід присвоєно номери I, II, III і т. д. до XXIII. Деякі годинні пояси мають особливі назви. Наприклад, час нульового поясу називають західноєвропейським, або всесвітнім, час I поясу — середньоєвропейським, час II поясу — східноєвропейським.



Мал. 2.10. Карта годинних поясів

Україна зручно розташована відносно годинних поясів: 95 % її території лежить у II поясі, частина території Луганської, Донецької й Харківської областей — у III поясі, а незначна частина території Закарпатської області — у I поясі. Для зручності межі годинних поясів на суходолі проводять не чітко вздовж меридіанів, а з урахуванням державних кордонів. Уся територія України належить до II годинного поясу. Поясним часом у нашій країні є час середнього для II поясу меридіану ( $30^\circ$  сх. д.), який

проходить майже через м. Київ (мал. 2.11). Тому в Україні поясний час ще називають київським часом. За київським часом в Україні рухаються поїзди, автобуси й літаки, здійснюється міжміський і міжнародний телефонний і телеграфний зв'язок.



Мал. 2.11. Знак нульового кілометра в Києві розташовано біля Головоштамту на Майдані Незалежності. Це колона з білого мармуру, яку вінчає блакитна земна куля з п'ятьма голубами в польоті — символами п'ятих частин світу. Від колони з Глобусом по бруківці на всі боки розходяться лінії з назвами обласних центрів України та відстанями до них. На постаменті вказані відстані в кілометрах до різних міст світу. Поруч з нульовим кілометром, над входом у Головоштамт, висить універсальний годинник, що показує час в 68 містах світу.

Поділ земної поверхні на годинні пояси відображено на карті годинних поясів (мал. 2.10). Сусідні пояси зафарбовано в різні кольори, щоб їх було легше розрізнити. Межі годинних поясів на морях і океанах збігаються з меридіанами. На верхній і нижній рамці карти цифрою позначено різницю в часі між кожним годинним поясом і початковим (нульовим). Знак «+» чи «-» біля цифри означає, яку дію потрібно зробити, щоб визначити час певного поясу. Це важливо знати людям, які постійно подорожують. Рухаючись на захід, стрілку годинника потрібно переводити на 1 год назад, а на схід — на 1 год вперед у кожному годинному поясі. Окремо на карті виділено кольором території, де прийнятий час відрізняється від часу початкового поясу на вказану цифрами величину.

З уведенням поясного часу постало важливе питання: з якого годинного поясу починатиметься нова доба? Умовно вважають, що доба починається в XII годинному поясі, на його середньому меридіані ( $180^\circ$ ). Там, де меридіан перетинає острови, провели лінію, яка відхиляється від меридіана. Цю лінію від полюса до полюса називають лінією зміни дат. Від неї відлічують початок кожної доби на земній кулі. Під час перетину лінії зміни дат зі сходу на захід додається одна доба. Якщо ж її перетинати у зворотному напрямку, та сама доба повторюється двічі.

У багатьох країнах у літній період годинники переводять на 1 год вперед, щоб ефективніше використати денне світло та зекономити електроенергію. «Переведений» час називають літнім. Отже, літній час — це час, що йде на 1 год вперед відносно стандартного часу, прийнятого в країні. В Україні стрілки годинників переводять на 1 год вперед в останню неділю березня. Восени літній час відмінюють, і в останню неділю жовтня стрілки годинників переводять на 1 год назад.

Докладніше про...

<https://www.youtube.com/watch?v=1EJeK-p1Y1A>  
<https://www.youtube.com/watch?v=mPsLanVS1Q8>  
<https://www.youtube.com/watch?v=luFno-k8kWw>  
[https://www.youtube.com/watch?v=9zW6c\\_hfZ4c](https://www.youtube.com/watch?v=9zW6c_hfZ4c)  
<https://www.youtube.com/watch?v=eEpEeyqGlxA>  
<https://www.youtube.com/watch?v=IJhgZBn-LHg>  
[https://www.youtube.com/watch?v=TLCw\\_M3VtaA](https://www.youtube.com/watch?v=TLCw_M3VtaA)  
[https://www.youtube.com/watch?v=J1kOkoma\\_hM](https://www.youtube.com/watch?v=J1kOkoma_hM)  
<https://www.youtube.com/watch?v=X1DkiuaFCuA>  
<http://www.vokrugsveta.ru/article/289010/>  
<https://www.hij.ru/read/issues/2013/january/1936/>

До 1964 р. одиницю часу визначали за добовим обертанням Землі. Повний оберт Землі навколо своєї осі — це доба. Потім добу поділили на рівні частини, одержавши такі одиниці часу, як година (год) —  $1/24$  частина доби, хвилина (хв) —  $1/60$  частина години, секунда (с) —  $1/60$  частина хвилини.

Установлюючи ці одиниці, люди вважали, що тривалість повного оберту Землі навколо її осі є завжди однаковою. Однак вимірювання, проведені вченими за допомогою сучасних приладів, показали, що це не зовсім так. Зате періодичні процеси в мікросвіті виявилися стабільнішими. Тому для більшої точності вимірювання часу створено атомний годинник, що базується на періодичних процесах усередині атома. 1 с, виміряна за допомогою такого годинника, є еталоном часу.

Певні складності виникали й при укладанні календарів. Тривалий час у Європі користувалися юліанським календарем, який був запроваджений ще Юлієм Цезарем у 46 р. до н. е. У цьому календарі тривалість року була прийнята за 365 дів 6 год 00 хв 00 с, а для того щоб рік мав ціле число дів, було прийнято, що кожні 3 роки підряд триватимуть по 365 дів, а четвертий рік — 366 дів (високосний рік). Саме цей календар увійшов в основу історії християнської культури. Але Юліанський календар виявився недостатньо точним і давав похибку в 11 хв 14 с за рік (оскільки періодичність природного руху небесних тіл не є цілим числом). Різниця невелика, але за кожні 128 років із цих частинок нагромаджувалася ціла доба. Отже, якщо у 300 р. н. е. весняне рівнодення припадало на 21 березня, то через 128 років — на 20, ще через 128 років — на 19 і т.д. До середини XVI ст. дата весняного рівнодення змістилася вже на 10 дів і припадала на 11 березня. З датою весняного рівнодення пов'язане найбільше християнське свято — Пасха. Тому в 1582 р. Папа Римський Григорій XIII здійснив реформу календаря. Щоб повернути весняне рівнодення з 11 на 21 березня, з лічби днів було вилучено 10 дів: після 4 жовтня 1582 р. настало не 5, а 15 жовтня. І щоб надалі така помилка не виникала внесли уточнення до розподілу високосних років: рік, номер якого кратний 400 — високосний; інші роки — рік, номер якого кратний 100 — невисокосний; інші роки — рік, номер якого кратний 4 — високосний. Таким чином, 1600 і 2000 роки були високосними, а 1700, 1800 і 1900 роки не були високосними і не буде 2100-й.

У цивільному житті України *григоріанський календар* або *новий стиль* був запроваджений урядом Центральної Ради в 1918 р.

Григоріанський календар теж не є ідеальним, але похибку на одну добу він дає приблизно через 33 століття.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Яку форму має Земля згідно із сучасними уявленнями?
2. Чи є зараз нагальна потреба звертатися до класичних методів, щоб довести кулястість Землі?
3. Які рухи в космосі здійснює Земля? Схарактеризуйте наслідки руху Землі навколо осі та навколо Сонця.
4. Яке значення для людини мають знання про форму й рухи Землі в космосі?
5. Місяць завжди звернений до Землі одним боком. Що спричинило це?
6. Як позначається добове обертання Землі на структурі берегів річок, що пливають вздовж (приблизно) географічних меридіанів у Північній півкулі? А в Південній?
7. Поміркуйте, чому учасники першої навколосвітньої подорожі «загубили» одну добу.
8. Коли наступає полярна ніч на широті Південного полярного кола?
9. «Ніч здавалася нескінченно довгою. Нарешті, настав світанок... Сонце сходило на Заході». Тут розповідається про перехід карфагенян через екватор з Північної півкулі в Південну. Знайдіть допущену автором помилку. Чому ночі на екваторі європейцям здаються дуже довгими?



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Твій товариш (твоя подруга) живе в Нью-Йорку (США). Ви домовилися завтра зв'язатися по Skype о 16 годині за київським часом. Котра година буде на той час у Нью-Йорку?
2. У романі Жульє Верна «Навколо світу за вісімдесят днів» головний герой англієць Філеас Фогг, побившись об заклад, повинен був об'їхати земну кулю за 80 днів. На карті намалуйте шлях подорожі Філеаса Фогга. Поясніть, чому англієць вважав, що йому не вистачило кілька годин і тому він програв парі, а насправді він виграв парі, адже об'їхав земну кулю за 79 днів.
3. Київські вболівальники переглядаючи 23 вересня прямий ефір гри з футболу, який розпочався о 19:00 на стадіоні Арена у місті Львові, помічають, що у Львові ще світло, а в Києві вже темнішає (зайшло Сонце). Поясніть причину цього.
4. За старим стилем Іван Франко народився 15 серпня 1856 року. Яка дата народження І. Франка за новим стилем літочислення?
5. Генеральний бій під Берестечком між українською визвольною та польською окупаційною арміями відбувся 30 червня 1651 року за юліанським календарем (старий стиль). У який день відбулася ця подія за григоріанським календарем (новим стилем)?
6. Чи буде 3000 рік високосним? Чи був високосним 1940 рік?

## ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Дослідження прояву сили Коріоліса на річках України або своєї місцевості.



## В. 3.

## ВНУТРІШНЯ БУДОВА ТА ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ ЗЕМЛІ

Будова земної кулі й її геофізичних полів — дуже захоплива тема. Вона оповідає нам про те, які небезпеки несуть надра Землі та які скарби вона від нас ховає у своїх глибинах; як захищають нас поля і який вплив вони на нас справляють. Люди мають знати про Землю багато, щоб раціонально користуватися її ресурсами, безпечно отримувати енергію з її внутрішніх сил, запобігати стихійним лихам та вчасно евакуювати людей. І найголовніше — уберегти планету для майбутніх поколінь

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати:* внутрішні шари Землі, геофізичні поля Землі.

*Розуміти:* як досліджують внутрішні шари Землі.

*Описувати:* параметри внутрішніх шарів Землі, властивості геофізичних полів.

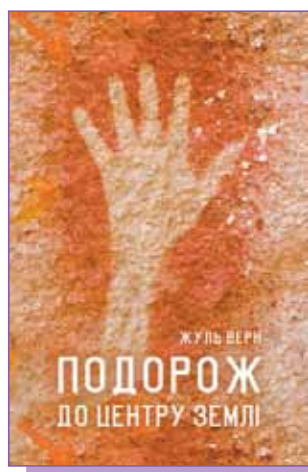
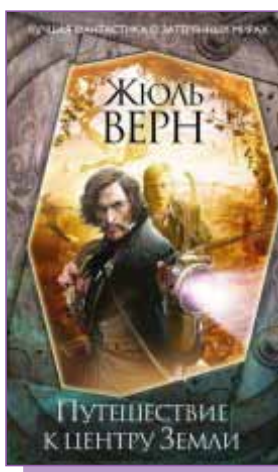
*Усвідомлювати:* вплив магнітного та гравітаційного полів на живі організми; техногенний вплив на геофізичні поля

### ПРИГАДАЙТЕ

Гравітаційну та електромагнітну взаємодії (Б.3)

## ПОДОРОЖ ДО ЦЕНТРА ЗЕМЛІ

Ви напевно прочитали книгу Жуля Верна з такою назвою (мал. 3.1). Це науково-фантастичний пригодницький роман, написаний у 1864 р. Джерелом натхнення для автора, без сумніву, став інтерес тогочасної широкої публіки до загадок геології, палеонтології, теорії еволюції. Деякі з цих загадок не розгадані й до сьогодні. Учені до цього часу не знають достеменно: земне ядро утворилося під час зародження планети чи з'явилося згодом у процесі еволюції. Які фізичні й хімічні властивості має речовина ядра? Проте й багато що їм вдалося дізнатися. Як їм це вдалося? Що ми знаємо про внутрішню будову Землі — з'ясуємо.



Мал. 3.1. «Подорож до центра Землі» Жюль Верна

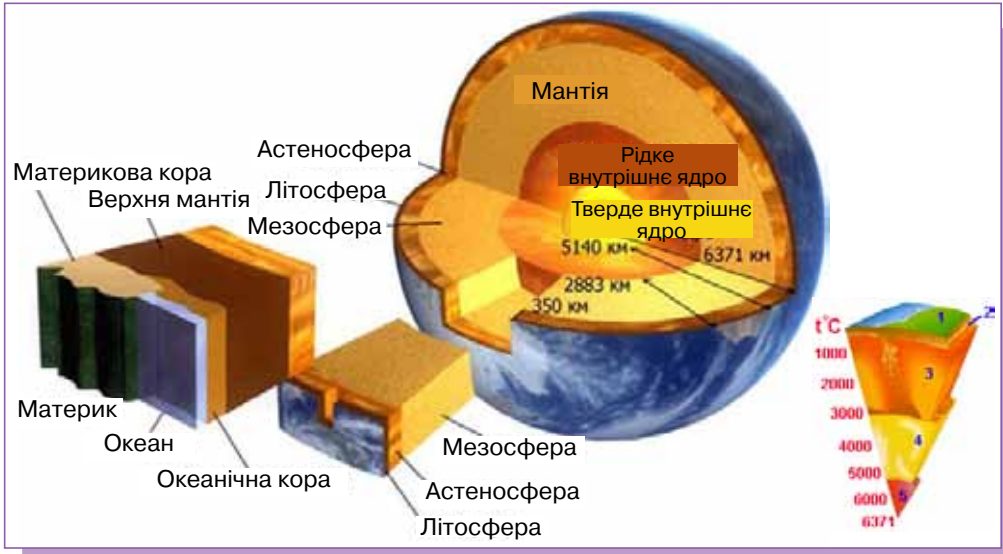
Якби вам вдалося прокопати тунель прямо крізь центр Землі, то теоретично, у результаті вільного падіння, ви змогли б досягти центра планети всього за 18 хв. Подорожуючи до центра Землі можна натрапити на кристали розміром з міста, моря рідкого металу й інші чудеса. Природно, це неможливо: подібний тунель мав би витримувати такі само високі температури, як на поверхні Сонця, і тиск у 3,5 млн разів вищий, ніж на поверхні Землі.

Наукове розуміння внутрішньої будови Землі базується на вивченні рельєфу на поверхні й дні океанів, дослідженні гірських порід у відслоненнях, зразках, піднятих на поверхню з великих глибин в результаті вулканічної активності, аналізі сейсмічних хвиль, які проходять крізь Землю, вимірюванні гравітації областей Землі та експериментах із кристалічними твердими тілами за тисків і температур, характерних для глибоких надр Землі.

Залежно від того, які властивості досліджуються: механічні чи хімічні — розрізняють два підходи до будови Землі. Механічно вона може бути розділена на літосферу, астеносферу, мезосферу, зовнішнє ядро та внутрішнє ядро. Хімічно Землю можна розділити на земну кору, верхню мантію, нижню мантію, зовнішнє ядро та внутрішнє ядро.

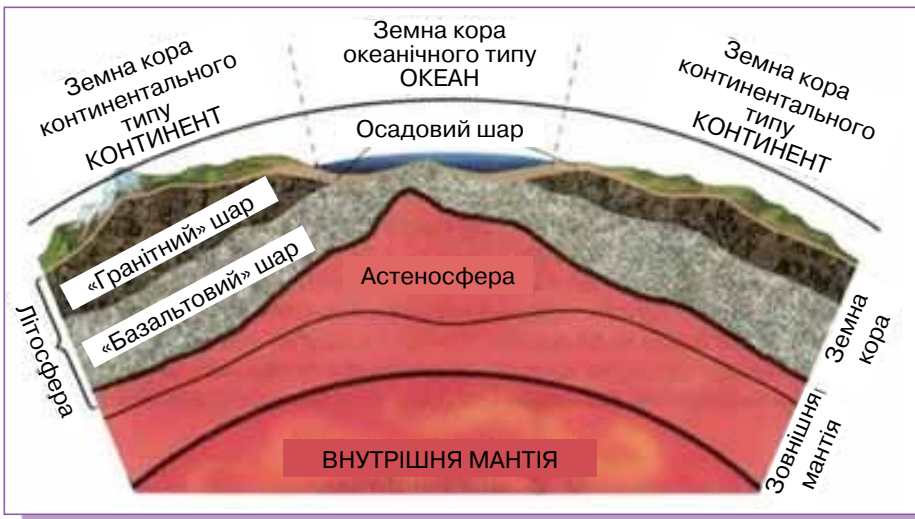


Загалом у внутрішній будові Землі розрізняють три основні складники: земна кора, мантія та ядро (мал. 3.2).



Мал. 3.2. Що приховує всередині себе Земля

**Земна кора** — тверда оболонка Землі завтовшки від 5 км під океанами до 70 км під гірськими масивами материків (мал. 3.3). Верхній шар земної кори складається з пухких осадових відкладів. Через це він дістав назву осадового. Наступний під осадовим шар утворений із кристалічних гірських порід, близьких за складом до гранітів. Тому його називають гранітним. Найнижчий шар складається переважно з порід, близьких за своїми властивостями до базальтів. Його називають базальтовим. Земна кора поділяється на материкову та океанічну.



Мал. 3.3. Земна кора

**Мантія** (від грец. *mantion* — широка довга одежа у вигляді плаща) — оболонка Землі, що розташована під земною корою та простягається приблизно до глибини 2900 км, тобто до ядра. Становить 83 % об'єму і 66 % загальної маси планети.



Земну кору і тверду частину мантії, що її підстилає, називають *літосферою* (кам'яною оболонкою). Пересічна потужність літосфери в океанах — 70–80 км, на континентах — 120–140 км. Під терміном «потужність» літосфери в геології мається на увазі її товщина

Підібратися до мантії вченим ще не вдалося. Ніяке буріння поки ще не дозволило наблизитися до неї. (Найглибші свердловини у світі сягають глибини 12 000–12 700 м.) Тому всі дослідження проводяться не дослідним, а теоретичним й опосередкованим шляхом. Свої висновки про мантію Землі вчені роблять насамперед на основі геофізичних досліджень. У розрахунок беруться електропровідність, сейсмічні хвилі, швидкість їх поширення. Інформативними є і породи мантії, які в результаті різних геофізичних і сейсмічних процесів виявляються на поверхні землі.

Ще на початку ХХ ст. було прийнято вважати, що мантія однорідна, але вже до середини століття вчені дійшли висновку, що мантія загальною товщиною 2900 км розділяється на верхню (250 км), середню (600 км) і нижню (2037 км), на кордонах яких відбуваються стрибкоподібні зміни у фізико-хімічних характеристиках речовини.

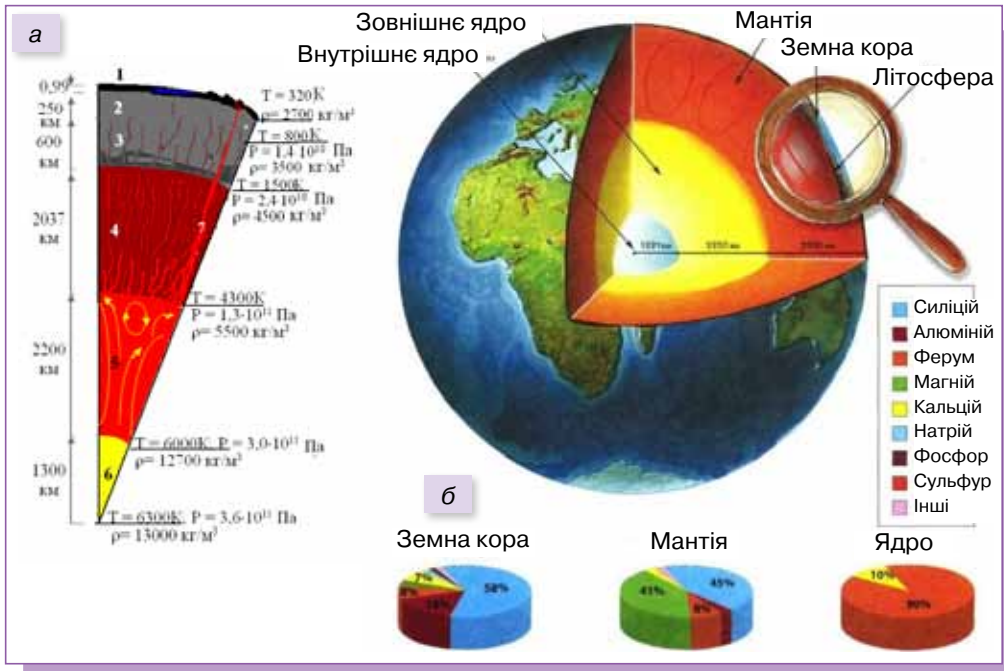
Температура й тиск усередині мантії змінюються від  $p = 1,4 \cdot 10^{10}$  Па за  $T = 800$  К на кордоні з літосферою до  $p = 1,3 \cdot 10^{11}$  Па за  $T = 4300$  К на кордоні з ядром (мал. 3.3).

З огляду на високу температуру в надрах Землі, ми маємо право поставити таке запитання: у якому саме фізичному (агрегатному) стані перебувають внутрішні частини Землі? У твердому чи рідкому, чи, можливо, газоподібному? Відомо, наприклад, що породи плавляться за 1000–1400 °С. Це означає, що вже на глибині 100–130 км породи мали б розплавитися. Але там дуже високий тиск, а тиск підвищує температуру плавлення. Який же вплив виявиться більшим: високої температури чи високого тиску?

За тиску понад  $2,2 \cdot 10^8$  Па і температурі понад 1500 °С (умови на межі літосфери й верхньої мантії Землі на глибині 100 км) деформується й руйнується кристалічна решітка більшості відомих мінералів і починається плавлення гірських порід, які стають в'язко-рідкими, як смола; за більш високих температур і тисків речовини переходять у рідкий стан (або набувають властивості рідини).

Вивчення мантіїних порід дає змогу вченим з певною точністю говорити про склад мантії. Складають мантію силікатні породи, які насичені магнієм і залізом. До мантіїних порід належать й алмази, які можуть підійматися назовні аж з нижньої мантії. Вода також входить до складу мантії Землі. Її виявили в гірській породі рінгвуд, яка залягає на глибині

700 км у земній мантії. Припускають, що в кількісному відношенні води в мантії у 12 разів більше, ніж у Світовому океані. Якби її виплеснути на поверхню Землі, то вода піднялася б над поверхнею на 800 м. До відома: критичні значення, за яких вода ще може перебувати в рідкому (перегрітому) стані, — 374 °С і 22 МПа.



Мал. 3.4. Внутрішня будова Землі: а) 1 — земна кора, 2 — верхня мантія, 3 — середня мантія, 4 — нижня мантія, 5 — зовнішнє ядро, 6 — внутрішнє ядро, 7 — мантійний плум; б) хімічний склад внутрішньої речовини

У межах мантії відбуваються складні фізичні та хімічні процеси, які зумовлюють тектонічні рухи, землетруси, магматизм тощо. Через мантію відбувається обмін речовиною, енергією та інформацією між ядром і земною корою. Мантію пронизують наскрізь плуми («пера») — стовпи розпеченої речовини, що переносять до поверхні Землі теплову енергію, яка виділяється в ядрі планети (мал. 3.4). «Мантійний вітер» — рух розпалених порід під впливом конвекції речовини — відхиляє плуми від вертикалі. У верхній мантії плуми розгалужуються; над ними відбуваються інтенсивні тектонічні й вулканічні процеси.

Особливу роль у цих процесах відіграє середня частина верхньої мантії Землі — *астеносфера* (мал. 3.3). Вона розташована під континентами на глибині 120–250 км і на глибині 30–60 км під океанами, наближаючись майже до самого дна в зоні серединно-океанічних хребтів. Астеносфера характеризується пониженою в'язкістю й густиною, а також високою пластичністю. Речовина астеносфери нагріта до 1200 °С і частково перебуває в розплавленому стані. Завдяки цьому вона може переміщуватися

в горизонтальному й вертикальному напрямках і спричиняти глибинні розломи верхньої мантії та повільні рухи великих блоків земної кори, що залягають вище. Ці процеси, як вважають, є головною причиною формування складчастих гір й утворення океанічних западин. З ними пов'язані вогнища землетрусів, вулканічна діяльність, родовища корисних копалин глибинного походження тощо.

**Ядро** (33,5 % загальної маси планети) міститься в центрі Землі на глибині 2900–6371 км. Припускають, що зовнішнє ядро рідке, а внутрішнє — тверде (мал. 3.3). Температура в ядрі, ймовірно, сягає  $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$  і тиску  $3,6 \cdot 10^{11}$  Па. У жодній лабораторії досягти таких тисків поки не вдалося. Може бути цікавим для порівняння нагадати, що в центрі Сонця температура оцінюється в  $1\ 000\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на поверхні Сонця — близько  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а волосок увімкненої електричної лампи розжарення має температуру до  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Про склад ядра досі тривають суперечки. За одними гіпотезами воно залізо-нікелеве, а за іншими — водневе (під високим тиском водень може перейти в твердий стан).

Обертання Землі розділяє ядро на дві різні області — внутрішню, з твердим ядром і розпеченими розплавами на краях, і більш холодну зовнішню. Насичена залізом рідина обертається подібно до повітряних потоків циклону, набуває подібну з ним структуру й генерує магнітне поле планети.

Учені припускають, що в ядрі планети відбувалися/відбуваються реакції ядерного синтезу та розпаду. Ядро Землі є (було) джерелом хімічних елементів, ряд з яких досягає поверхні Землі або земної кори. Перш за все, це Гелій, Літій, Берилій, Бор, які є проміжними продуктами реакцій синтезу. Вуглець, азот, кисень, фтор, (навіть азот, беручи до уваги жаж-



Мал. 3.5. Порожниста земля — ще один фейк, чи не фейк:  
а — приклад увігнутої порожнистої Землі (люди живуть на внутрішній поверхні, а в центрі — Всесвіт); б — чистилище Святого Патрика — печера на острові Стейшн посеред Лох-Смик у графстві Донегол (Ірландія) — за легендою є входом до іншого світу, який святому Патрику показав Христос  
Доведіть або спростуйте!

ливі температури та тиск), а також водень, будучи легкими, рухливими й активними хімічними елементами, залишають ядро й рухаються до поверхні Землі, вступаючи в хімічні реакції, утворюючи гідротермальні розчини, силікати, карбонати, вуглеводні тощо.

Внутрішні шари відчувають періодичні коливання в результаті дії внутрішніх і зовнішніх космічних факторів (гравітація Сонця, Місяця та планет). Наслідками є певний зсув центра мас Землі зі швидкістю 6,47 см за століття й різноманітні потужні геодинамічні та геофізичні процеси (активність мантийних плюмів, сейсмічність, вулканізм, горотворні процеси, підняття й опускання суходолу тощо).

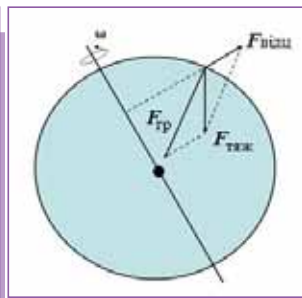
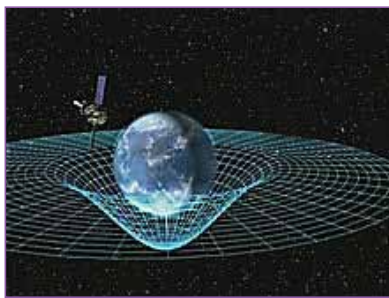
## ЗЕМЛЯ ТА ЇЇ ПОЛЯ

Під час вивчення нашої планети, слово «поле» найчастіше асоціюється у нас з безмежним простором. Для зображення неозорих українських ланів і полів Тарас Шевченко створив навіть епітет «широкополі». Але мова далі піде про інші поля, ті, які людина бачити не може, але завдяки яким забезпечується зв'язок земних масивів гірських порід у єдині системи, здійснюється передача дії одних тіл на інші, утримується гідросфера та атмосфера, підтримуються процеси перенесення енергії, які необхідні для існування життя на Землі.

До геофізичних полів Землі належать: гравітаційне, магнітне, теплове, електричне, сейсмічне, а також певним чином — радіаційний фон. Існують певні зв'язки між різними фізичними полями. Кожне поле відрізняється від іншого умовами виникнення та дією на навколишнє середовище.

Як ви знаєте, гравітація — це фундаментальна взаємодія, притаманна всім тілам, що мають масу і яка проявляється у взаємному притягуванні тіл. *Гравітаційне поле Землі* (від лат. *Gravitas* — тяжіння) зумовлене її масою (мал. 3.6). Теоретично гравітаційне поле Землі поширюється до безкінечності. За фізичними властивостями характеризується відповідною силою (тяжіння) й енергією.

Ближче до поверхні Землі проявляється відцентрова сила, зумовлена обертанням Землі навколо своєї осі, яка відштовхує тіла від поверхні. Рівнодіюча двох сил — гравітаційної та відцентрової — і є силою тяжіння Землі. Відцентрова сила на полюсах відсутня, тому тіла з однаковою масою на полюсі важать більше, ніж на екваторі.



Мал. 3.6. Гравітаційне поле

Незначний вплив на гравітаційне поле Землі мають сили тяжіння Сонця, Місяця й деяких інших небесних тіл, а також атмосферних мас Землі.

Вплив гравітаційного поля на розвиток планети величезний. Сила тяжіння визначає справжню форму земної поверхні — геоїд, зумовлює рухи земної кори. Під її впливом відбувається переміщення нещільних гірських порід, води, льоду, повітря. Гравітаційне поле Землі є однією з причин кругообігів у літосфері, атмосфері, гідросфері. У гідросфері сила тяжіння рухає воду в струмках, потічках, ріках, дає можливість воді стікати в моря, океани та проходити глибоко в землю. Ця само сила змушує величезні маси води, які падають з греблі гідроелектростанцій, обертати їхні турбіни та дозволяє отримувати людству мільярди кіловат дешевої електроенергії.

Якщо ж згадати роль сили тяжіння в атмосфері, то вона, безумовно, зберігає й підтримує саму можливість існування життя на нашій планеті, бо втримує унікальну газову оболонку, придатну для дихання, біля поверхні Землі.

Фактично літосфера, мантія та ядро Землі виникли та розвивалися внаслідок дії сил всесвітнього тяжіння, окремим випадком яких є сила тяжіння. Саме ці гравітаційні сили й визначають тиск у земних глибинах, тектонічні рухи, зміни в потужності земної кори.

Гравітація визначає максимальну висоту гір, які формуються на планеті. Так для Землі гори не можуть перевищувати висоти в 15 км.

Людство постійно протягом свого розвитку відчуває дію гравітаційного поля. У теорії люди можуть жити на планетах, сила гравітації яких відрізняється від Земної не більше, ніж у три рази. В іншому разі буде порушена подача крові в головний мозок.

Гравітаційне поле, якщо і змінювалося упродовж існування планети, то, вочевидь, не дуже. Це дозволяє припустити, що Земля існує при відносно стабільному гравітаційному полі.

**Магнітне поле Землі** є силовим геофізичним полем, спричиненим електромагнітними процесами в ядрі Землі, у верхніх шарах йоносфери та намагніченістю гірських порід земної кори. Останній чинник формує аномальне магнітне поле, яке відображає наявність у земній корі порід з різною концентрацією магнітних мінералів.

Причини походження магнітного поля Землі намагалися пояснити вчені з різних країн. З багатьох теорій, які розглядалися для пояснення виникнення магнітного поля Землі, найбільш поширеною є теорія динамо. Згідно з нею Земля є швидше електромагнітом, ніж постійним магнітом: електричний струм, що генерується внаслідок конвекції в рідкому ядрі, утворює навколо себе постійне магнітне поле (мал. 3.7, а).

На малюнку 3.7, б схематично показано лінії індукції магнітного поля Землі. Як видно, поблизу Північного географічного полюса розміщується Південний магнітний полюс, у який входять магнітні лінії, а поблизу Південного географічного полюса — Північний магнітний полюс, з якого лінії магнітного поля виходять.



Мал. 3.7. Магнітне поле Землі

У наш час Південний магнітний полюс віддалений від Північного географічного полюса приблизно на 2100 км. Магнітна вісь складає кут  $11^{\circ} 53'$  з віссю обертання Землі (земною віссю) (мал. 3.7, б).

Область навколосезного простору, в межах якої виявляється земне магнітне поле, називається магнітосферою (мал. 3.7, в). Магнітосфера простягається на 70–80 тис. км в напрямку Сонця. Вона екранує поверхню Землі, захищає від шкідливого впливу заряджених частинок, високих енергій і космічних променів, визначає характер погоди.

Учені-геофізики навчилися визначати, яким було магнітне поле Землі тисячі й мільйони років тому. Багатьом гірським породам властиво зберігати незмінним напрям власного магнітного поля, утвореного під дією магнітного поля Землі. За віком породи, можна виявити, який напрямок мало магнітне поле Землі в той час. Дослідження таких гірських порід показали, що магнітні полюси, а разом з ними й усе магнітне поле Землі

з часом переміщується, причому це переміщення досить складне. Більш того, вчені виявили, що за останні мільйони років магнітні полюси Землі «мінялися місцями» сім разів! Причому останній раз це відбулося приблизно десять тисяч років тому і здійснювалося за фантастично короткий термін — декілька десятків років. Для Землі (їй понад чотири мільярди років) — це коротка мить. Подорожування й перевертання магнітних полюсів Землі можна пояснити одним — у ядрі земної кулі, що містить розплавлену металеву рідину, циркулюють потужні електричні струми, і напрям магнітного поля залежить від напрямку струмів.

Магнітне поле Землі змінюється. Існують постійні й короткочасні зміни магнітного поля. Причиною постійних змін є наявність корисних копалин. На Землі є такі території, де її власне магнітне поле сильно спотворюється наявністю покладів залізної руди. Причиною короткочасних змін магнітного поля Землі є сонячний вітер. Результатом взаємодії заряджених частинок «сонячного вітру» з атмосферою Землі є магнітні бурі, а в північних широтах — північне сяйво.

Магнітне поле захищає жителів Землі та штучні супутники від згубного впливу космічних частинок (магнітне поле змінює траєкторію руху космічних частинок і спрямовує вектор їх руху вздовж ліній магнітного поля). Магнітне поле Землі допомагає багатьом живим організмам орієнтуватися в просторі. Деякі морські бактерії розміщені в придонному мулі під певним кутом до силових ліній магнітного поля Землі, що пояснюється наявністю в них маленьких феромагнітних частинок.

З магнітним полем Землі тісно пов'язані електричне та радіаційне поля.

**Електричне поле Землі** спостерігають у земній корі, морях, океанах, атмосфері й магнітосфері.

Вимірювання електрометром показали, що біля поверхні Землі існує електричне поле, навіть якщо поблизу немає заряджених тіл. Це означає, що наша планета має певний електричний заряд, тобто є зарядженою кулею великого радіуса. Дослідження електричного поля показали, що його силові лінії вертикальні й направлені до Землі. Найбільше значення напруженість електричного поля має в середніх широтах, а до полюсів й екватора вона зменшується. Вважають, що наша планета має негативний заряд, а атмосфера заряджена позитивно. Виникає своєрідний конденсатор, де ізолятором є щільні шари атмосфери (мал. 3.8).



Мал. 3.8. Електричне поле Землі





Назва конденсатор походить від *лат.* слова *condense* — конденсувати, тобто накопичувати, збирати. *Конденсатор* — це пристрій, призначений для накопичення та утримання електричного заряду (мал. 3.9). Конденсатори широко використовують у всіх електронних та радіотехнічних схемах. Вони разом з транзисторами й резисторами є основою радіотехніки. Найпростіший конденсатор — це дві металеві пластинки й шар діелектрика між ними (діелектриком можуть бути різні матеріали: повітря, конденсаторний папір, слюда, кераміка, скло, різноманітні полімери, напіврідкі хімічні сполуки).



Мал. 3.9. Конденсатори

На практиці використовують різні типи конденсаторів. Найчастіше конденсатори містять багатошарові стрічки електродів, скручених у формі циліндра або паралелепіпеда й розділених між собою шарами діелектрика.

У момент підключення конденсатора до джерела живлення на одній пластині будуть збиратися негативно заряджені частинки — електрони, а на іншій — позитивно заряджені частинки — йони. Діелектрик слугує перешкодою для їх перескакування з однієї пластини на іншу. Та найцікавіше відбувається потім.

Якщо від'єднати джерело живлення, заряд на пластинах конденсатора не зникне, а буде утримуватися на конденсаторі ще якийсь час (скільки, то вже залежить від певних факторів). Якщо заряджений конденсатор підключити до навантаження, то він ніби перетвориться у джерело струму.

Головною характеристикою конденсатора є його електрична ємність — величина, що характеризує відношення накопиченого електричного заряду до різниці потенціалів на його пластинах.

### Застосування конденсаторів

Якщо підключити послідовно конденсатор і лампочку до джерела постійного струму (батарейки), то вона не буде світитися. Але якщо підключити до джерела змінного струму, то вона спалахне. І світитися буде тим яскравіше, що вища ємність конденсатора. Завдяки цій властивості конденсатори широко застосовуються як фільтр, який здатний досить успішно пригнічувати пульсації напруги й коливання змінного струму. Здатність конденсаторів довгий час накопичувати заряд і потім швидко розряджатися робить їх незамінними для функціонування фотоспалахів, прискорювачів, лазерів тощо. Здатність конденсатора накопичувати й зберігати електричний заряд на тривалий час зробило можливим його використання в елементах для збереження інформації. А також як джерело живлення для малопотужних пристроїв. Наприклад, «індикатора фази змінного струму», який потрібно вставити в розетку на кілька секунд, доки в ньому зарядиться вбудований конденсатор, і потім його можна використовувати весь день.

Останні технологічні досягнення дали змогу створити йоністори, або ж супер-конденсатори. Ще їх називають «золотими конденсаторами», не тому, що там є золото, а тому що властивості такого елемента, за своїми характеристиками, оцінюються на вагу золота. Ці конденсатори мають дуже велику ємність, і, на відміну від акумулятора, здатні практично миттєво заряджатися й віддавати накопичену енергію до повного розряду. Так звані «графенові» акумулятори належать саме до сімейства йоністорів

Сплески сонячної активності змінюють електричне поле Землі. Це спричинює зміну електромагнітних полів в атмо- і літосфері. У літосфері виникають природні електричні струми, що отримали назву телуричних. Електроди, вкопані в ґрунт і з'єднані з амперметром, фіксують телуричні струми. У літосфері поширені також постійні та змінні електричні поля, утворені циркуляцією мінералізованих підземних вод, електрохімічними процесами тощо. Зміна електричного поля використовується для вивчення глибинної будови Землі, оскільки всі гірські породи мають питомий електричний опір (і відповідно, питому електропровідність).

Із часів існування життя на Землі всі організми перебувають під впливом природного електромагнітного випромінювання (мал. 3.10), джерелами якого є космічні об'єкти: зорі, пульсари, туманності. З розвитком техніки й технологій, крім природних джерел, у великій кількості з'являються штучні джерела, які випромінюють електромагнітні хвилі різних діапазонів.

Оскільки на виробництві й у побуті людина піддається впливу магнітних й електричних полів, для електромагнітних хвиль були розроблені допустимі безпечні норми.

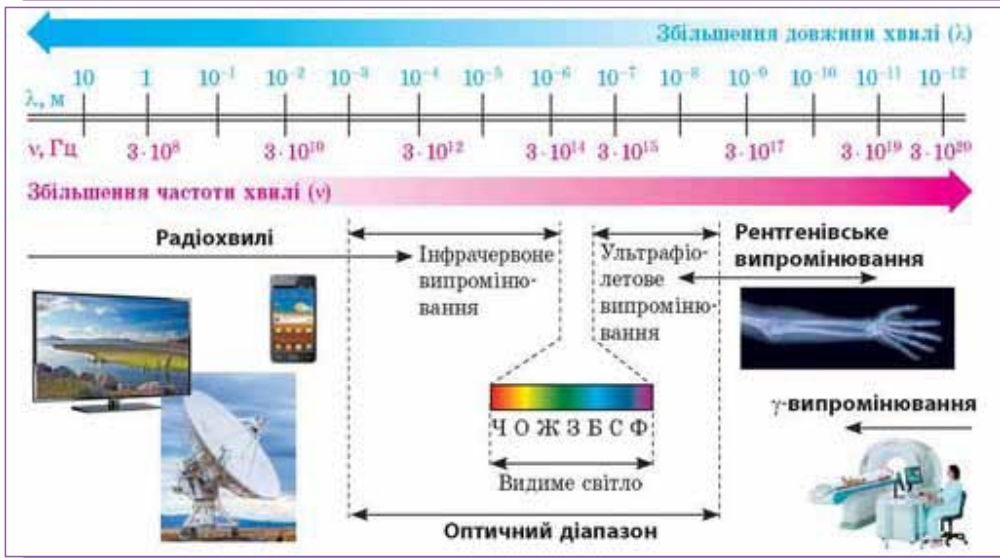
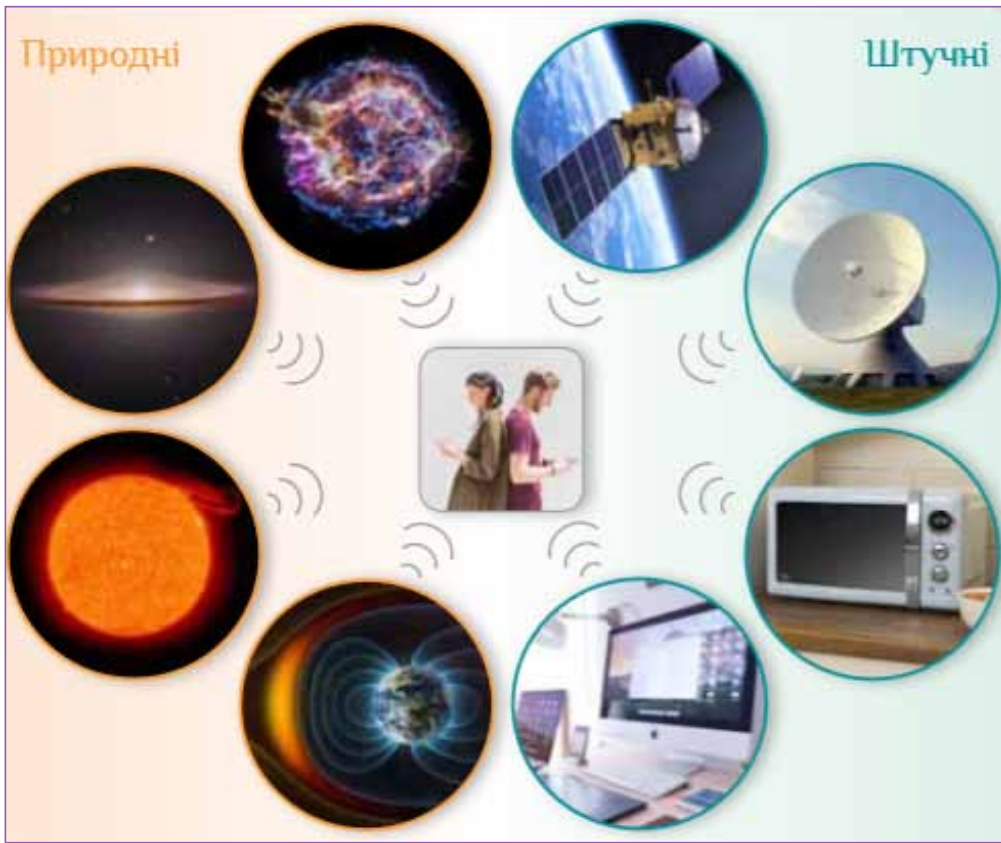
У магнітосфері Землі розташовуються *два радіаційних пояси* (мал. 3.7, в; с. хх), які містять заряджені частинки сонячного вітру, захоплені магнітним полем Землі. Вони називаються радіаційними поясами Ван-Аллена. Наявність радіаційних поясів і їх характеристики враховуються при проектуванні супутників, оскільки тривале перебування електронної техніки в таких умовах може призвести до поломки. Небезпечні радіаційні пояси і для екіпажів космічних кораблів (щоправда, до сьогодні крізь радіаційні пояси Землі проходили тільки американські кораблі «Аполлон», що прямували до Місяця).

Внутрішню складову радіаційного поля складає земна радіація, що створюється сімейством природних радіоактивних елементів — урану, торію, актинію та ін., а також випромінювання від штучних (техногенних) радіонуклідів.

*Сейсмічне поле Землі* спостерігається у вигляді механічних коливань на поверхні ґрунту, або в шахтах, печерах, штольнях і свердловинах. Коливання збуджуються сейсмічними хвилями (поздовжніми, поперечними, поверхневими, каналовими), які поширюються від джерела, загасають, відбиваються, заломлюються і перевипромінюються в інші типи на неоднорідностях геологічного середовища. Залежно від джерела, сейсмічне поле може бути природного або техногенного походження.

Вивчення техногенних сейсмічних полів, генерованих спеціальними вибухами, дозволило одержати унікальні дані про внутрішню будову Землі, які використовуються для пошуку корисних копалин і розв'язання ряду інших важливих геолого-геофізичних задач.

*Теплове поле* Земля має як будь-яке нагріте тіло. Фактори, що зумовлюють нагрівання Землі, діляться на зовнішні (сонячна енергія, тертя внаслідок припливів, космічне випромінювання) і внутрішні (теплопередача з глибин Землі, термальні води, вулканізм, землетруси, господарська ді-



Мал. 3.10. Під впливом електромагнітного поля

яльність людини). Основним джерелом теплового поля є Сонце. Загальна кількість енергії, що випромінюється Сонцем, величезна —  $3,83 \cdot 10^{26}$  Вт. Із цієї кількості тільки  $1,74 \cdot 10^{17}$  Вт потрапляє на Землю.

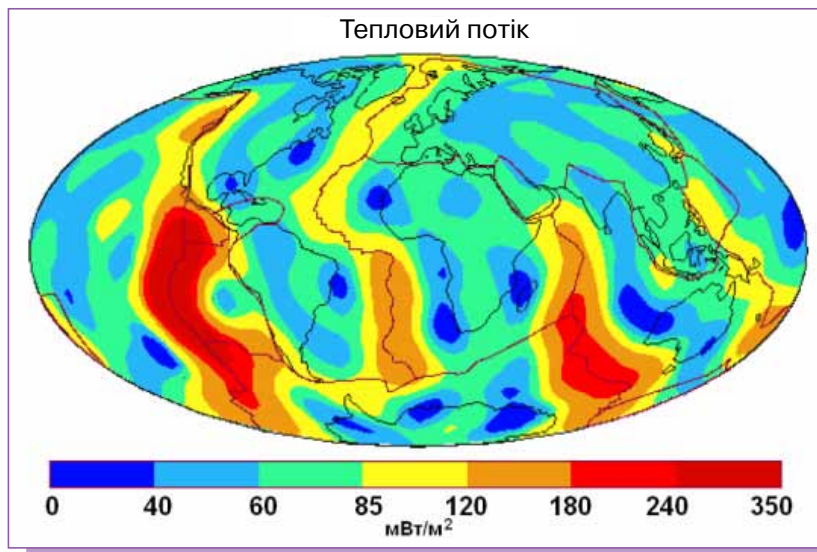
Сонячне випромінювання, перш ніж дійти до земної поверхні, зазнає в атмосфері ряд змін. Частина випромінювання розсіюється молекулами повітря й аерозолями, що містяться в повітрі. У середньому на кожний квадратний метр земної поверхні припадає за рік  $4,27 \cdot 10^{16}$  Дж, що дорівнює спалюванню 400 000 т кам'яного вугілля. Усі існуючі на Землі запаси вугілля еквівалентні 30-річній кількості сонячної енергії, що потрапляє на Землю. Менше ніж за 1,5 доби Сонце віддає Землі стільки ж енергії, скільки всі електростанції світу за рік.

Кількість сонячної енергії, яка потрапляє на земну поверхню, залежить від географічної широти місцевості, пори року, хмарності й прозорості атмосфери. Земною поверхнею поглинається тільки частина сонячного випромінювання. Друга її частина відбивається. Частина поглинутого випромінювання залежить від відбивної здатності поверхні.

До внутрішньоземних джерел теплового поля належить тепло, яке утворюється за рахунок переміщення глибинної речовини в земне ядро, в процесі розпаду радіоактивних елементів і хімічних реакцій у гірських породах. Важливим джерелом тепла є енергія припливів, тобто деформацій Землі.

Внутрішнє теплове поле характеризується певною стабільністю. Воно не впливає на температуру поблизу земної поверхні або клімат, оскільки енергія, що потрапляє на земну поверхню від Сонця, у 1000 разів більша, ніж із земних надр.

Якщо вимірювати тепловий потік, узявши до уваги лише передачу внутрішнього тепла за рахунок теплопровідності, то його розподіл буде таким, як зображено на малюнку 3.11.



Мал. 3.11. Теплові потоки Землі

Усі організми на Землі відчувають теплове поле: люди, тварини, рослинний світ. Спостерігати дію теплового поля можна під час вулканічних вивержень. Гейзери з високими температурами води також ілюструють дане поле. Людство ще не вирішило завдання використання енергії земних надр, а це є дуже перспективний шлях отримання величезної енергії, прихованої в Землі. В даний час це тепло могло би розв'язати проблему нестачі енергії і могло би стати одним з напрямів розвитку енергетики багатьох країн (мал. 3.12).

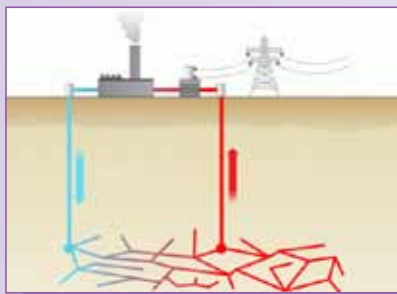


Мал. 3.12. Геотермальна електростанція Несьявеллір в Ісландії

За даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, 7 центральних і західних областей України мають геотермальний енергетичний потенціал у 6–7 млрд кВт-год за рік кожна.



Тепловий насос (мал. 3.13, а) — це універсальний прилад, призначений для виконання трьох задач — опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування. Основна відмінність теплового насосу від усіх інших джерел тепла полягає у винятковій можливості використовувати безкоштовну поновлювану низькотемпературну енергію навколишнього середовища на потреби опалення та нагріву води. Близько 80 % від потужності, яку видає тепловий насос, фактично «викачується» з навколишнього середовища, використовуючи розсіяну енергію Сонця.



Мал. 3.13. Схема дії: а — теплового насоса; б — припливної електростанції

Припливна електростанція (ПЕС) — особливий вид гідроелектростанції, що використовує енергію припливів.

Геофізичні поля пов'язані між собою. Можна продемонструвати експерименти, що підтверджують зв'язок гравітаційного й магнітного полів. Є певні зв'язки між тепловим і радіаційним полем Землі. Енергія розпаду радіоактивних елементів робить великий внесок у формування теплового потоку. До джерел цих полів належить й енергія Сонця, і внутрішня енергія земних надр. Зміни в енергії сонячної активності впливають як на теплове, так і на радіаційні поля.

Процес поширення в просторі електромагнітного поля — електромагнітна хвиля. Саме такими хвилями є і видиме світло, і радіохвилі, і теплове інфрачервоне випромінювання. Отже, поширення теплового поля при випромінюванні також пов'язане з електромагнітним полем. Енергія електромагнітного поля може переходити і в теплову енергію.

Усі закономірності фізичних полів не залежать від їх походження, природного або штучного.

Земля — не ізольована в космосі планета. Найбільше вона пов'язана з близько розташованими до неї тілами Сонячної системи — Сонцем і Місяцем. Гравітаційні поля утримують Землю на навколосонячній орбіті. Вони ж разом з осьовим обертанням викликають на поверхні планети періодичні припливи та відпливи. Рух Землі відбувається у сфері впливу сонячного вітру. Земля зазнає також впливу рентгенівського та ультрафіолетового випромінювання, сприймає радіохвилі, променеву й теплову енергію, яка є рушійною силою розвитку неживої та живої природи.

Вплив космосу Земля сприймає не пасивно. За допомогою своїх індивідуальних унікальних планетних особливостей вона його трансформує, створює навколо себе середовище, відмінне від космічного. Потужні земні магнітне і гравітаційне поля взаємодіють з космічними, змінюючи їх усереднені характеристики, надаючи їм нових якісних властивостей і кількісних величин.

Якщо проаналізувати техногенний вплив на геофізичні поля, то найбільш стійким до впливу людини є гравітаційне поле, оскільки воно пов'язане з масою планети. Хоча за роки діяльності людей відбулися зміни, пов'язані з перерозподілом маси в приповерхневому шарі Землі: десь люди ці маси забирають, будуючи кар'єри, шахти, а десь їх збільшують, створюючи терикони, водосховища тощо. У результаті перебудовується структура гравітаційного поля Землі. Люди, переводячи великі кількості вугілля, нафти, газу, торфу та інших корисних копалин в тепло, все-таки зменшують загальну масу Землі.

Теплове поле Землі менш захищене від впливу людини. Штучне опалення планети за допомогою потужних ТЕС й АЕС, створення штучних водосховищ, розорювання степів, знищення лісів спотворило теплове поле Землі. На тепловий режим Землі впливає також викид в атмосферу великих кількостей вуглекислого газу, що поступово призводить до парникового ефекту.

На магнітне й електричне поля основний вплив справляє велика кількість комунікацій зв'язку й потужні лінії електропередач, які охоплюють всю планету. Важливе місце при цьому займають великі генератори електромагнітних сигналів космічного та земного призначення, системи кабельного зв'язку.

Радіаційні поля Землі дуже змінилися після відкриття людьми явища радіоактивності, побудови АЕС і також через аварії на АЕС, випробування зброї на ядерних полігонах.

У ХХ ст. діяльність людини більше вплинула на Землю, ніж окремі фізичні поля. Тому дбайливе господарське ставлення до природи є умовою безпечного існування на нашій планеті.



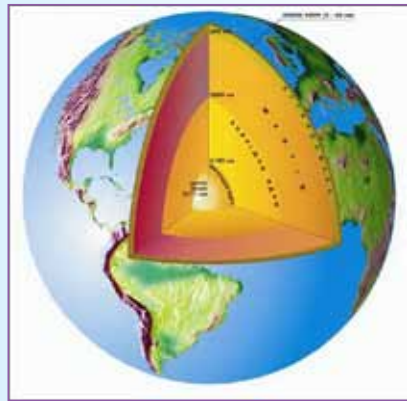
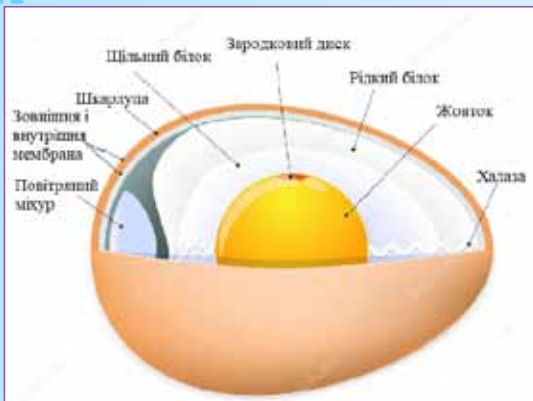
## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Для чого потрібно знати внутрішню будову Землі?
2. Назвіть відомі вам методи вивчення внутрішньої будови Землі.
3. Укажіть, який із шарів Землі відіграє дуже важливу роль у географічних процесах на її поверхні.
4. Із чим пов'язана наявність у Землі досить сильного магнітного поля, що створює нездоланий бар'єр для заряджених космічних частинок, які чинять негативну біологічну дію?
5. Де розташовуються магнітні полюси? Чим пояснюється міграція магнітних полюсів?
6. Чи однакова інтенсивність магнітного поля? Що впливає на зміну інтенсивності магнітного поля?
7. Із чим пов'язані радіаційні пояси?
8. Чому виникають електричні поля Землі? Що таке телуричні струми?
9. Як впливає Сонце на теплове поле Землі? Чим характеризується внутрішня теплота Землі? Де тепловий потік більше: над океанами чи континентами?
10. Для чого нам потрібні знання про геофізичні поля Землі?



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

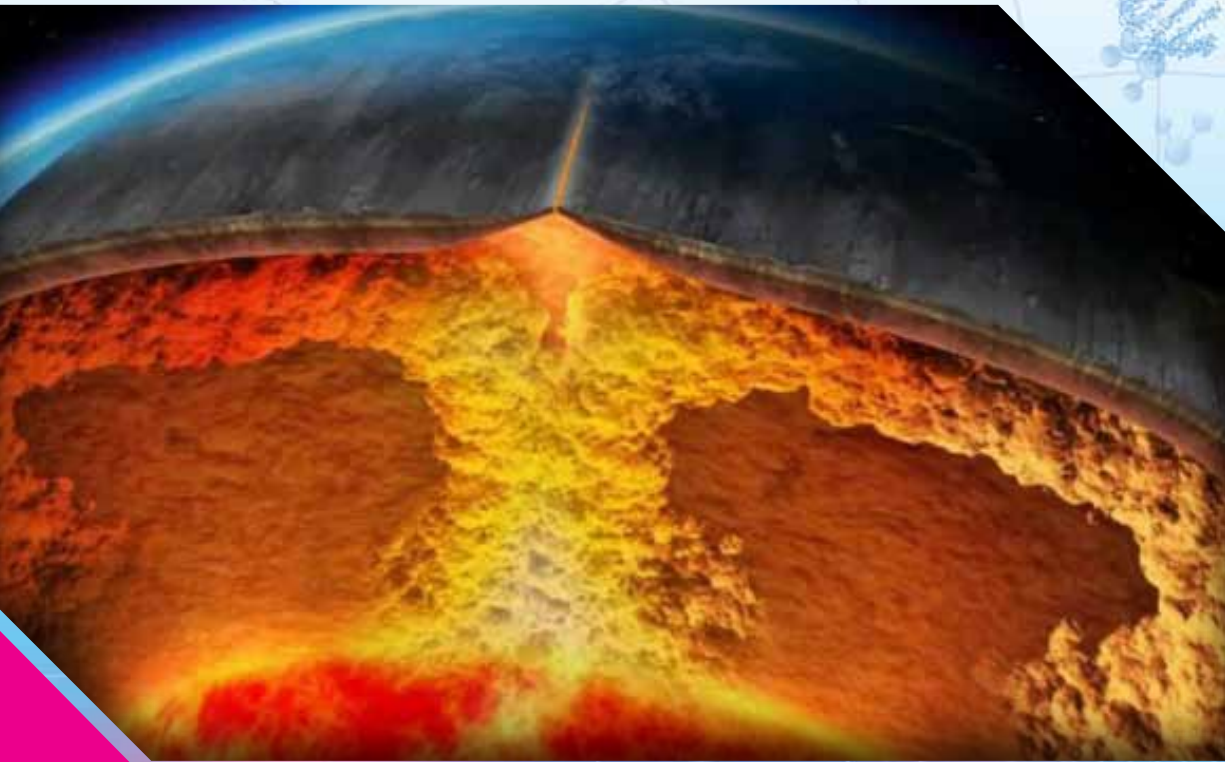
1. Порівняння будови курячого яйця та внутрішньої будови Землі.



2. Дослідження магнітного поля Землі за допомогою смартфона.

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

- Вплив геофізичних полів на організм людини.
- Чи має людина власні фізичні поля?
- Скільки «коштує» тепловий насос?



## В. 4. ЛІТОСФЕРА

Стан спокою не відомий нашій планеті. Це стосується не лише руху в космічному просторі, а й руху в нас під ногами. От тільки рух цей дуже повільний і за життя людини його важко помітити. За час існування Землі її поверхня неодноразово змінювалася: континенти з'єднувалися й роз'єднувалися, поверхня тріскалася, підіймалася та зминалася, унаслідок чого утворювалися гори й ущелини.

У цій темі дослідимо неспокій поверхні Землі: рух і розвиток її кам'яної оболонки — літосфери

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Знати:* склад і будову літосфери; правила поведінки під час землетрусу.

*Розуміти:* процеси формування та розвитку поверхні Землі; причини й наслідки руху літосферних плит.

*Пояснювати:* процеси в надрах і на поверхні Землі.

*Виявляти:* закономірності формування рівнин і гір на материках, поширення сейсмічних зон.

*Установлювати:* причинно-наслідкові зв'язки між порушенням структури літосфери та природними катаклізмами.

*Показувати на карті:* найбільші літосферні плити, сейсмічні пояси Землі, найбільші форми рельєфу



## ТВЕРДА ОБОЛОНКА ПЛАНЕТИ

Літосфера (від давньогрец. Λίθος — камінь і Σφαῖρα — куля, сфера) — верхня тверда оболонка Землі, яка складається із земної кори та пласта розм'якшених гірських порід, що входять до складу верхньої мантії й астеносфери.

Літосфера неоднорідна за товщиною, яка багато в чому залежить від рельєфу місцевості, під якою вона розташована. Так, на суходолі її товщина (потужність) становить від 25 км до 200 км. Що старшою є земна кора, то товща літосфера. Під молодими гірськими хребтами розташовані тонші її ділянки. Найтонший шар земної кори під океанами: його середня товщина (потужність) коливається від 7 км до 10 км, а в окремих регіонах Тихого океану зменшується до 5 км. Найтовстіший шар океанічної кори розташований по краях океанів, найтонший — під серединно-океанічними хребтами. Цікаво, що літосфера ще повністю не сформована, і процес цей триває понині (переважно — під океанічним дном).

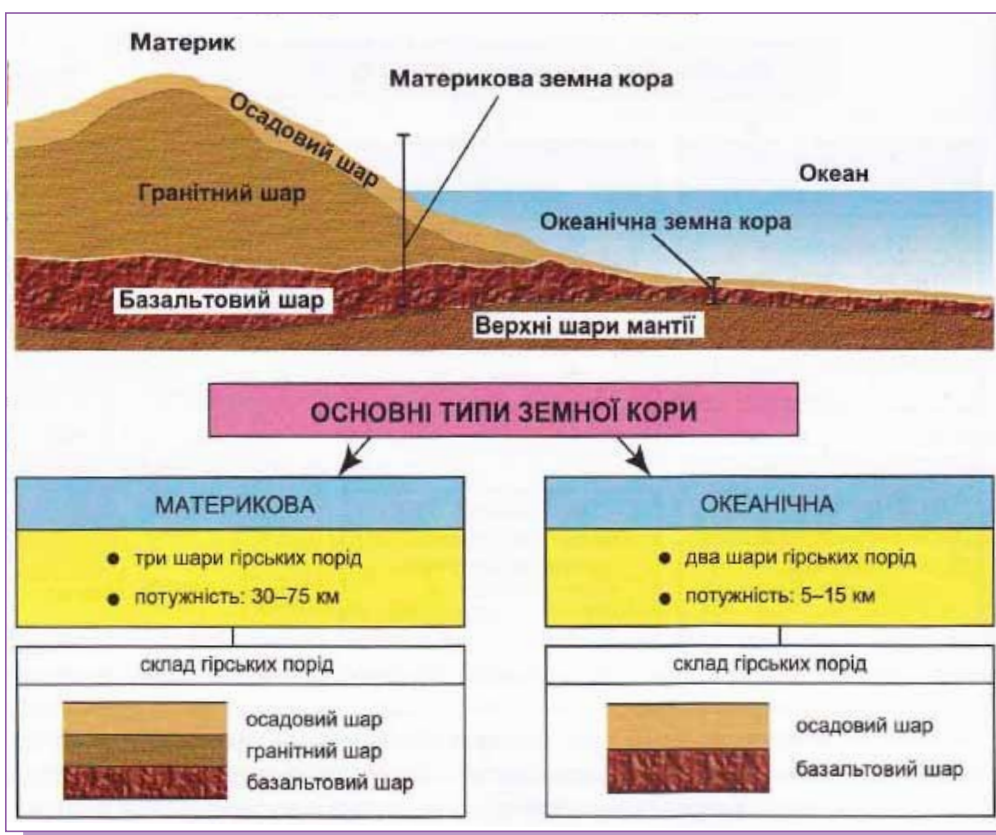
У літосфері виокремлюють три шари (поєси). Верхній містить різноманітні за складом осадові гірські породи — глини, піски, вапняки, піщаники тощо, які несучільним чохлом укривають поверхню літосфери. Потужність *осадового* шару неоднакова й змінюється від одиниць метрів до 15 км. Щільність осадового шару 1800–2500 кг/м<sup>3</sup>, швидкість поширення сейсмічних хвиль — 1–4 км/с.

Середній пояс земної кори складається з порід типу *граніту*. Середня потужність *гранітного* шару на континентах становить близько 15 км, у гірських районах — до 35–40 км. Густина цього шару — 2500–2750 кг/м<sup>3</sup>, континентальна швидкість сейсмічних хвиль — 5,5–6,3 км/с. У складі осадового й гранітного поясів переважають Силіцій та Алюміній.

Раніше осадовий і гранітний пояси часто об'єднували й називали сиаєм або сиаєлічною оболонкою. Поміркуйте й поясніть походження цих назв.

Нижче гранітного залягає *базальтовий* пояс. Його потужність становить 20–30 км на материках і 5–7 км — під дном океану. Густина змінюється в межах 2750–3000 кг/м<sup>3</sup>, швидкість сейсмічних хвиль — 6,1–7,4 км/с.

Виокремлюють два типи літосфери (мал. 4.1.): *океанічну* та *материкову*. Відмінність у будові літосфери під океанами й континентами полягає в тому, що під океанічним дном немає гранітного шару, оскільки океанічна кора під час свого формування багато разів зазнавала процесів плавлення. Спільними для океанічної й континентальної кори є такі шари літосфери, як базальтовий і осадовий.



Мал. 4.1. Типи земної кори

Хімічні аналізи показали, що понад 98 % маси земної кори містить тільки вісім елементів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Хімічний склад земної кори

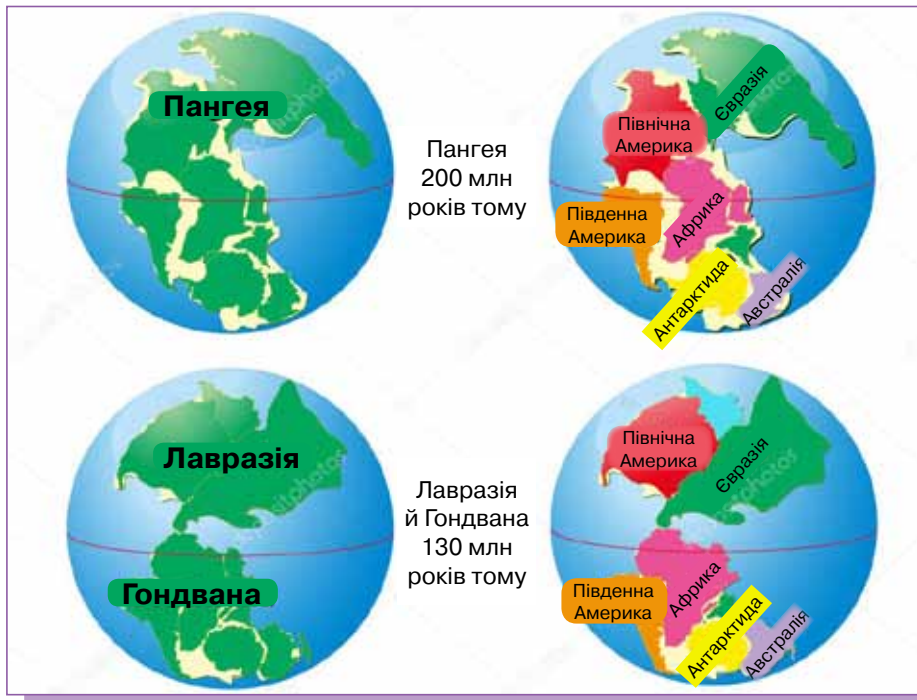
Елемент	Символ	Масова частка, %
Оксиген	O	46,5
Силіцій	Si	25,7
Алюміній	Al	7,65
Ферум	Fe	6,24
Кальцій	Ca	5,79
Натрій	Na	1,81
Калій	K	1,34
Магній	Mg	3,23
Решта	—	1,74

## ПАНГЕЯ

Достеменно невідомо, як утворилися перші материки й океани та якими вони були, і взагалі невідомо, якою була первісна поверхня планети. Усі висновки залежать від знань про те, як утворилася Земля. Поки що існують лише гіпотези. Зокрема, є припущення, що поверхня Землі неодно-

разово зазнавала об'єднання материків в один суперконтинент і подальше роз'єднання їх. Останнім, на думку дослідників, була *Пангея* — (від грец. Γαια — Земля та παν — усе, буквально — *уся Земля*). Назву запропоновано Альфредом Вегенером (1880 — 1930, Німеччина), який висунув *теорію руху літосферних плит*.

Пангея існувала наприкінці кам'яновугільного та на початку юрського періодів. Утворення відбулося близько 300 млн років тому, початок руйнації — близько 175 млн років тому. Пангею (мал. 4.2.) оточував океан *Панталасса* (від. грец. — παν — увесь і θαλασσα — море, буквально — усеокеан).



Мал. 4.2. Від Пангеї до сучасних материків

У мезозої та кайнозої цей материк розколовся на частини. Північна й Південна Америка відкололися від Європи та Африки й під дією відцентрової сили відійшли далеко на захід. Між материками утворився Атлантичний океан. Відпливши на захід, материки Америки наштовхнулися на твердіші базальтові маси й зазнали їхнього опору, унаслідок чого їхні передні частини зім'ялися в складки. Так утворилися Кордильєри й Анди.

Африка відкололася від Азії та своєю південною частиною відійшла на південний захід, унаслідок чого утворився Індійський океан. Австралія й Антарктида теж відкололися від Азії й Африки, відійшли від них і зайняли теперішні свої місця. Гірська смуга від Атлаських гір й Альп до Гімалаїв утворилася внаслідок руху материків, зумовленого відцентровими силами в напрямку до екватора. Острівні дуги на сході материків

(Алеутські острови, Курильські, Японські, Філіппінські, Великі й Малі Зондські, Антильські, Південні Сандвічеві тощо) є уламками відповідних материків. Вони відірвалися від материків через те, що відставали в русі.

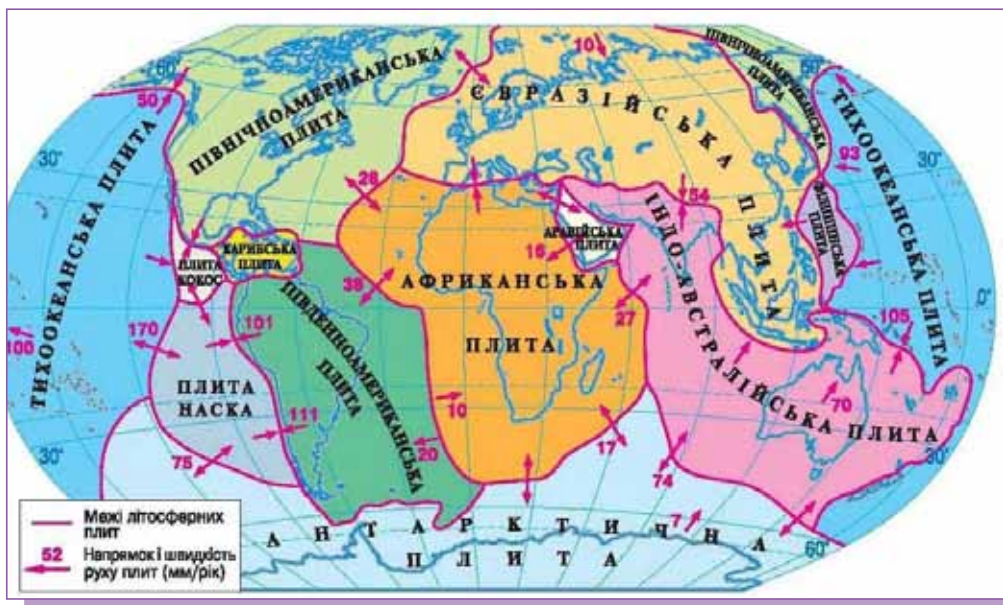
На підтвердження своєї гіпотези Вегенер навів такі докази:

- відповідність контурів багатьох берегових зон континентів, що допускає уявне з'єднання їх;
- характер гірських порід, спосіб їхнього утворення та вік у Південній Америці й Африці, а також у Північній Америці та Європі подібні;
- скам'янілі рештки та палеокліматичні свідчення того, що на територіях нині віддалених континентів раніше мешкали подібні види тварин й існували однакові кліматичні умови.

Згідно з прогнозами вчених, через 250–300 млн років усі континенти перетворяться на одне ціле й складуть суперконтинент під назвою *Остання Пангея*.

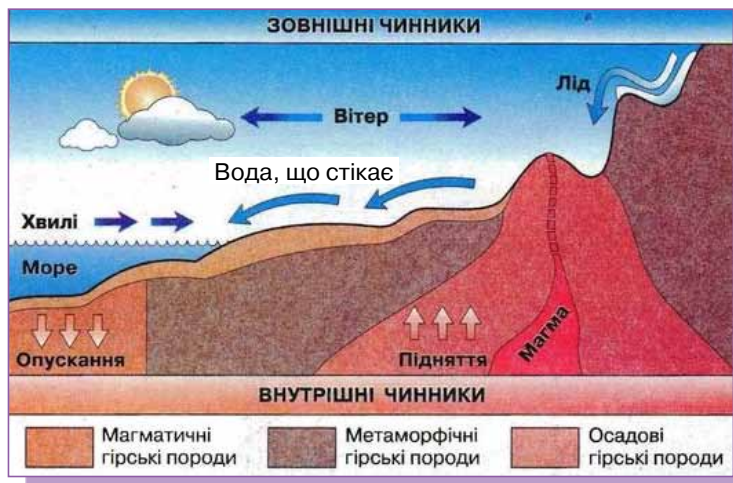
### РУХ У НАС ПІД НОГАМИ

У літосфері розрізняють стабільні й рухомі зони. Найбільші структурні одиниці літосфери — *літосферні плити*. У сучасну епоху літосфера розділена на 7 головних і декілька дрібніших плит (мал. 4.3). Кожна з них має площу від кількох до кількох десятків мільйонів квадратних кілометрів. Межі плит є зонами максимальної тектонічної, сейсмічної та вулканічної активності. Усі великі плити (Євразійська, Африканська, Індо-Австралійська, Американська, Антарктична), окрім Тихоокеанської, несуть на собі й материки, і ложа океанів. Залежно від товщини та будови літосферні плити бувають материковими (Північноамериканська, Південноамериканська, Антарктична тощо) та океанічними (Тихоокеанська).



Мал. 4.3. Літосферні плити

Поверхню Землі постійно формують внутрішні (ендогенні) й зовнішні (екзогенні) сили (мал. 4.4). *Ендогенні* сили діють, одержавши імпульс із надр Землі внаслідок розпаду радіоактивних речовин і переміщення розплаву у верхній мантії, а *екзогенні* сили зумовлені атмосферними явищами, дією Світового океану, рослин, тварин і людини.



Мал. 4.4. Чинники формування рельєфу

Переміщення літосферних плит відбувається у вертикальному й горизонтальному напрямках. Такі рухи літосфери називають *тектонічними*. Вони відбуваються безперервно й повсюдно (мал. 4.5). Переміщення літосфери за рік незначні: вертикальні — до кількох міліметрів, горизонтальні — на порядок більші — до кількох сантиметрів.



Мал. 4.5. Рухи літосферних плит, їхні причини й наслідки



**Спрединг** — механізм імпульсного багаторазового розсування блоків літосфери в рифтових зонах серединно-океанічних хребтів, у результаті чого з тріщин виливається мантійна магма та формуються нові ділянки океанічної кори. Зони спредингу розташовані переважно в центральній частині океанів у межах рифтових зон серединно-океанічних хребтів.

**Рифт** — лінійно витягнута на декілька сотень кілометрів (часто понад 1 000 км), щілиноподібна або ровоподібна структура земної кори глибинного походження, обмежена скидами. Ширина більшості рифтів становить 30–70 км. Розрізняють внутрішньо-континентальні, міжконтинентальні та внутрішньо-океанічні рифти. Для всіх рифтів характерні незначна потужність земної кори, підняття верхньої мантії, висока сейсмічність, значний тепловий потік, а також вулканічна активність, яку супроводжує вилив лав лужно-базальтового, рідше базальтового складу. Формується в результаті процесів рифтогенезу.

**Субдукція** — механізм сходження океанічної та континентальної літосферних плит, у результаті якого важка океанічна плита занурюється під легшу континентальну до межі верхньої й нижньої мантії (до глибин близько 670 км). Уздовж зон занурення (зон Вадаті—Заварицького—Беньофа) звільняється значна кількість енергії у вигляді численних землетрусів. Частина занурених порід плавиться з утворенням магматичних осередків. Над зонами, поряд із глибоководними жолобами, розташовані ланцюги активних вулканів та епіцентри землетрусів.

*Перекладіть з англійської: spread, rift, rifting, sub, duck і використайте перекладені слова для пояснення походження термінів, описаних вище.*

Є три варіанти взаємодії літосферних плит у горизонтальному напрямку: *розходження, зіткнення та горизонтальне ковзання* однієї плити відносно іншої. Унаслідок розходження літосферних плит утворюються *розломи*. Більше їх виникає на дні океанів, де земна кора тонша. Розломами розплавлена речовина мантії піднімається з надр, розштовхує краї плит, виливається та застигає, заповнивши простір між ними. Так у місцях розривів на дні океану утворюються нові ділянки земної кори у вигляді велетенських валоподібних піднять, які називають *серединно-океанічними хребтами*. Наприклад, унаслідок розходження Південноамериканської та Африканської плит на дні Атлантичного океану утворився Південноатлантичний серединно-океанічний хребет. Отже, під океанами земна кора безперервно оновлюється.

Якщо плити зближуються, то під час зіткнення їхні краї зминаються в складки й на поверхні утворюються *гори*. Так, на стику Індо-Австралійської і Євразійської плит виникли гори Гімалаї. Якщо ж стикаються материкова й океанічна плити, то океанічна, що має велику густину, занурюється під материкову. Тоді на материку виникають гори, а вздовж узбережжя — глибоководні западини (жолоби). Так виникли гори Анди, Перуанський і Чилійський глибоководні жолоби.

Внутрішні сили Землі спричиняють і *вертикальні рухи* — повільні підняття й опускання окремих ділянок земної кори. Вертикальні рухи охоплюють величезні ділянки, їх супроводжують відступи чи наступи моря. Підняття ділянок із часом змінює опускання й навпаки. Тому вер-

тикальні рухи називають *коливальними рухами земної кори*. Вони непомітні для людини. Виявити їх вдалося завдяки зіставленню космічних знімків, зроблених зі штучних супутників Землі.

В Україні найбільші підняття зафіксовано на сході Кіровоградської та півночі Житомирської областей — майже 9 мм на рік. Тим часом узбережжя Чорного моря в районі Одеси опускається зі швидкістю майже сантиметр на рік.

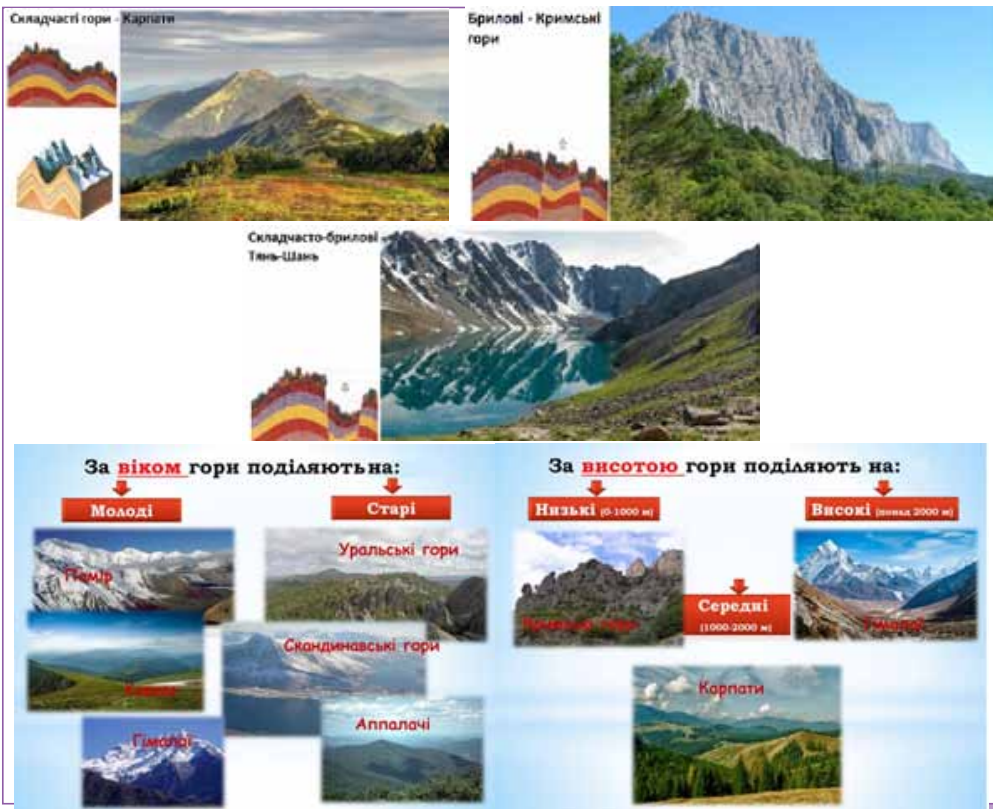
Сукупність нерівностей поверхні Землі називають *рельєфом*. Він є дуже різноманітним, але головних форм лише дві — *гори й рівнини* (мал. 4.6).



РІВНИНИ		За абсолютною висотою	ГОРИ		
а) низовини (до 200 м)			а) низькі (до 1000 м)		
б) височини (200–500 м)			б) середні (1000–2000 м)		
в) плоскогір'я (понад 500 м)		в) високі (понад 2000 м)			
а) первинні (колишнє дно моря)		За утворенням	а) складчасті		
б) вторинні: • наслідок руйнування гір • утворені наносами річок			б) вулканічні		
а) плоскі		За характером поверхні	в) складчато-брилові		
б) горбисті			а) зі шпильчастими вершинами		
			б) з округлими вершинами		
				в) з плоскими вершинами	

Мал. 4.6. Немає гори без долини

*Гори* (мал. 4.7) — це ділянки поверхні Землі зі значними висотами та крутими схилами. За висотою гори поділяють на *низькі* (висота до 1000 м), *середні* (1000–2000 м) та *високі* (понад 2000 м); за походженням — на *тектонічні* (виникають унаслідок тектонічних рухів), *вулканічні* й *ерозійні*. Тектонічні гори за будовою поділяють на *складчасті*, *складчато-брилові* та *брилові*.

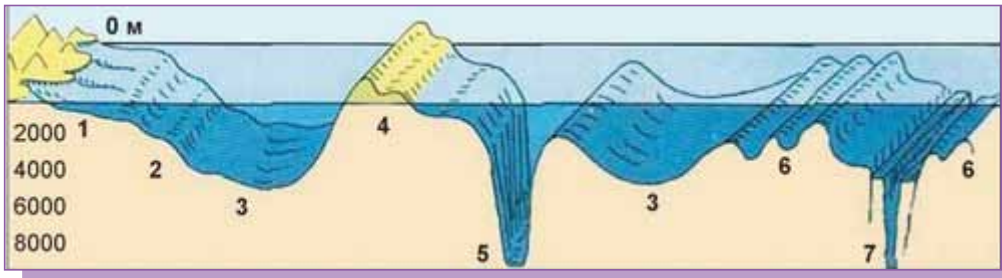


Мал. 4.7. Краще гір можуть бути лиш гори, на яких ти іще не бував

Простори з невеликою різницею висот називають *рівнинами*. Залежно від висоти розрізняють *западини* (рівнини суходолу, які лежать нижче рівня моря), *низовини* (мають висоту 0–200 м над рівнем моря), *височини* (200–500 м) і *плато* (понад 500 м).

Рівнини й гори є й на дні океану (мал. 4.8).

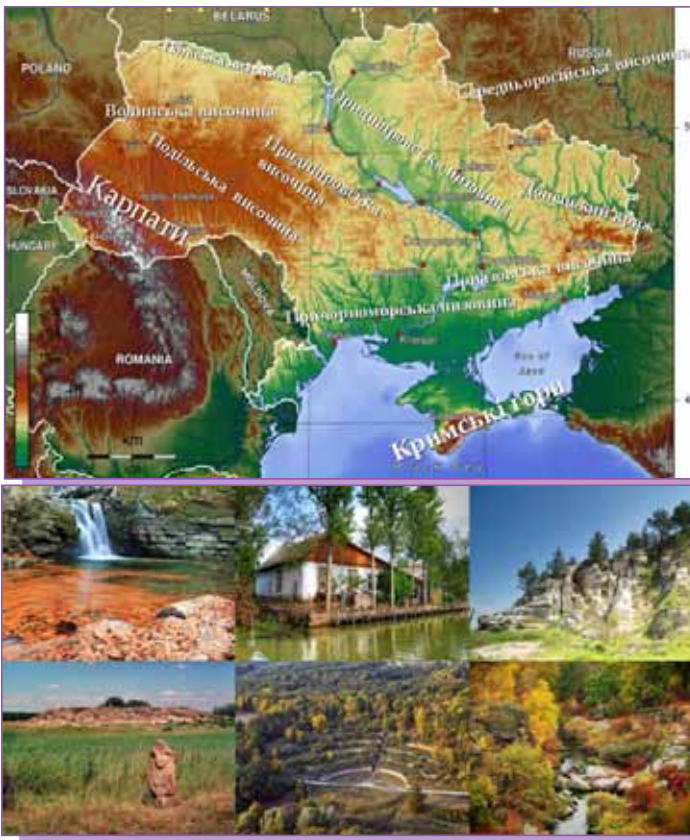




Мал. 4.8. Основні форми рельєфу дна Світового океану: 1 — шельф; 2 — материковий схил; 3 — ложе океану; 4 — острівна дуга; 5 — океанічний жолоб; 6 — срединно-океанічний хребет; 7 — рифтова зона

Поверхня території України формувалася протягом багатьох геологічних епох. На її розвиток вплинули новітні (сучасні) тектонічні рухи, давні зледеніння й відкладання *лесів* (жовтувата пориста порода, що утворилася в льодовиковий період), коливання рівня моря, ерозійна робота річок та вітру, господарська діяльність людини.

70 % сучасної поверхні України займають низовини, 25 % — це височини й тільки 5 % — гори (мал. 4.9).



Мал. 4.9. «Щоб Україну любити, — треба її добре пізнати». Степан Рудницький

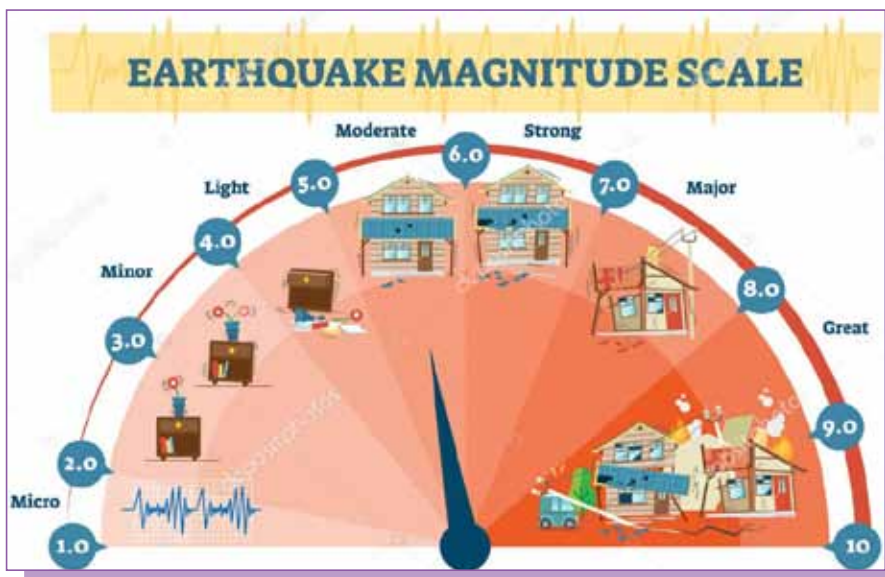
## ДРИЖАННЯ Й ГУРКІТ ЗЕМЛІ

Унаслідок взаємного переміщення плит їхні краї зазнають деформацій. Коли межа пружної деформації порід, що утворюють плити, перевищує допустимі значення, виникають розломи й землетруси. *Землетрус* — це раптове звільнення потенційної енергії земних надр у вигляді пружних поздовжніх і поперечних хвиль, які поширюються в усіх напрямках. Коливання й деформації, що виникли внаслідок цього в земній корі часто призводять до катастрофічних переміщень земної поверхні. *Сила землетрусу* залежить від кількості енергії, яка виділилася в осередку землетрусу — *гіпоцентрі* (мал. 4.10). Гіпоцентром (або фокусом) землетрусу називають умовний центр осередку на глибині, а *епіцентром* — проекцію гіпоцентра на поверхню Землі.



Мал. 4.10. Хто пережив землетрус, той пожежі не боїться (азербайджанське прислів'я)

Основними характеристиками землетрусів є *глибина осередку, магнітуда та інтенсивність енергії* на поверхні землі. Глибина осередку землетрусу зазвичай перебуває в межах 10–30 км, а деколи 300–700 км. Магнітуда характеризує загальну енергію землетрусу. Магнітуда 0 означає землетрус із максимальною амплітудою 1 мкм на відстані 100 км від епіцентру. За магнітуди, що дорівнює 5, спостерігають невеликі руйнування будівель. Спустошливий поштовх має магнітуду 7. Найсильніші із зареєстрованих землетрусів досягають величини 8,5–8,9 за шкалою Ріхтера (Чарльз Френсіс Ріхтер, 1900–1985, США), зображеною на малюнку 4.11.



Мал. 4.11. Шкала Ріхтера

Інтенсивність — це якісний показник наслідків землетрусів, що характеризує розмір збитків, кількість жертв і психогенне сприйняття людьми наслідків землетрусів. Більше про це ви дізнаєтеся, проаналізувавши дані, наведені в таблиці 4.2 (*зробіть це*).

Таблиця 4.2. Класифікація землетрусів

Опис	Значення	Наслідки	Частота
Мікро	Менше 2,0	Мікроземлетруси, не відчутні	~8 000 на день
Дуже слабкі	2,0–2,9	Зазвичай не відчутні, однак їх можна зареєструвати за допомогою приладів	1 000 на день
Слабкі	3,0–3,9	Часто відчутні, проте дуже рідко завдають шкоди	~49 000 щорічно
Легкі	4,0–4,9	Відчутне тремтіння речей усередині будинків, однак значна шкода малоймовірна	~6 200 щорічно
Помірні	5,0–5,9	Можуть завдати значної шкоди старим та погано сконструйованим будівлям на незначній території та, щонайбільше, незначні пошкодження добре спроектованим будівлям	800 на рік

Опис	Значення	Наслідки	Частота
Сильні	6,0–6,9	Може спричинити руйнацію на території до 150 км довжиною/шириною в населених регіонах	120 на рік
Дуже сильні	7,0–7,9	Значна руйнація на значній території	18 на рік
Великі	8,0–8,9	Сильна руйнація на територіях довжиною/шириною в сотні кілометрів	1 на рік
Рідкісно великі	9,0 чи більше	Сильна руйнація на територіях довжиною/шириною в сотні кілометрів, постійні зміни рельєфу	1 на 10–50 років

Зіставте інформацію, наведену на малюнку 4.11, з інформацією, наведеною в таблиці 4.2. Чи не суперечать вони одна одній?

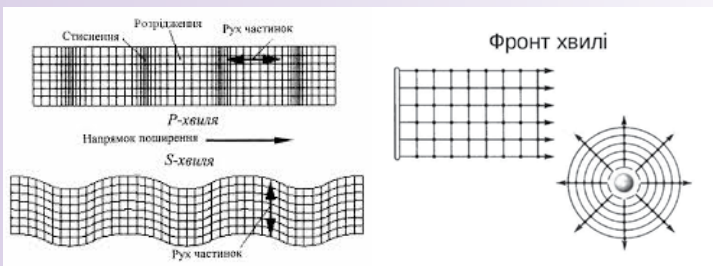
Геофізики виокремлюють два головні сейсмічні пояси Землі — Середземноморський, що охоплює південь Євразії від Португалії до Малайського архіпелагу, та Тихоокеанський («вогняне кільце»), що облямовує береги Тихого океану. Вони включають молоді гірські пояси — Альпи, Апенніни, Карпати, Кавказ, Гімалаї, Крим, Кордильєри, Анди, а також рухливі зони підводних окраїн материків.

За сейсмічним районуванням України близько 120 тис. км<sup>2</sup> її території перебуває в зоні можливих землетрусів силою 6–9 балів. Сейсмічно найнебезпечнішими областями в Україні є Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Одеська та АР Крим. У ХХ ст. найруйнівніші землетруси на території України (7–8 балів) було зафіксовано в 1927 р. на Південному березі Криму в Ялті (епіцентр — у Чорному морі); у 1977 та 1986 рр. — на півдні Одеської області (епіцентр — у Південних Карпатах, на території Румунії). Техногенна діяльність людини за останні роки призвела до суттєвого зниження сейсмічної стійкості понад 70 % території України та збільшила сейсмонезбезпеку за рахунок стимуляції схлизових гравітаційних процесів, розвитку техногенного карсту, підтоплення тощо.

Про механічні хвилі ми вже багато знаємо. Головною умовою для поширення механічних хвиль є взаємодія частинок середовища між собою, тому вони поширюються в пружних середовищах (у твердих тілах, рідинах, газах). Можуть бути повздовжніми й поперечними.

Повздовжніми називають хвилі, коливання частинок у яких відбувається вздовж лінії поширення хвилі. Такі хвилі можуть поширюватися в будь-якому середовищі.

Поперечними називають хвилі, коливання частинок у яких відбувається перпендикулярно до лінії поширення хвилі. Такі хвилі можуть поширюватися тільки у твердому середовищі.





Оскільки безпосередньо проникнути в глибокі шари земної кори, а мантії чи ядра й поготів, людині не до снаги, учені під час вивчення внутрішньої будови Землі застосовують низку геофізичних методів. Найдоступнішим і досить поширеним способом дослідження глибинних шарів Землі є вивчення особливостей поширення сейсмічних хвиль у тілі Землі. Метод ґрунтується на аналізі напрямку й швидкості поширення сейсмічних хвиль — коливних рухів речовини, які виникають у земних надрах під час землетрусів або від штучних збуджень, що дає можливість характеризувати те середовище, через яке ці хвилі проходять. Розрізняють сейсмічні хвилі двох основних напрямків: об'ємні, що поширюються в об'ємі або тілі планети, і поверхневі, які поширюються вздовж земної поверхні. Об'ємні хвилі поділяють на повздовжні (P) і поперечні (S).

P-хвилі (первинні хвилі) — повздовжні хвилі. Звісно, їхня швидкість удвічі більша від швидкості S-хвиль, проходить вони можуть через будь-які матеріали. У повітрі вони набувають форму звукових хвиль, відповідно, їхня швидкість дорівнює швидкості звуку. Стандартна швидкість P-хвиль — 330 м/с в повітрі, 1450 м/с у воді й 5000 м/с в граніті.

S-хвилі (вторинні хвилі, хвилі зсуву) — поперечні хвилі. У них зміщення відбувається перпендикулярно до напрямку поширення. Хвилі цього типу можуть поширюватися тільки у твердих тілах.

Учені досі не знають усіх деталей фізичних процесів, пов'язаних із землетрусом, і методи, якими їх можна точно передбачати.



Зазвичай незадовго до землетрусу скельні породи зазнають дії високого тиску тектонічного походження. Унаслідок цього вони виділяють заряджені частинки, які, досягнувши поверхні Землі, йонізують повітря. Позитивні йони спричиняють головний біль і нудоту в людей, а також зростання рівня серотоніну, гормону стресу, в крові у тварин. Йони також можуть взаємодіяти з молекулами води з утворенням гідроген пероксиду, який здатен реагувати з органічними речовинами, розчиненими в ґрунтових водах. Тварини, що живуть у природних водоймах або поруч із ними, дуже чутливі до змін у хімічному складі води, і тому можуть відчувати наближення підземного поштовху за кілька днів до того, як він власне відбудеться. Біолог Рейчел Грант із британського Відкритого Університету спостерігала за великою популяцією жаб в околицях італійського міста Л'Акуїлі. На початку квітня 2009 р., незадовго до руйнівного землетрусу, поведінка земноводних раптово змінилася. За п'ять днів до підземних поштовхів 96 % самців раптом покинули ставок, де вони мешкали — для періоду парування це випадок надзвичайний. Два дні потому їхній приклад наслідували вже сформовані пари, що теж вкрай незвично: у розпал шлюбного сезону жаби майже ні на що не відволікаються. Тварини повернулися в ставок і продовжили спаровування за шість днів після першого землетрусу, тобто переcheкавши й наступні поштовхи.

Також виявлено, що в періоди, які передують землетрусу, а також під час нього в підземних водах, територіально пов'язаних з епіцентральною зоною, зростає концентрація мікрокомпонентів — радону, гелію, аргону, сполук Флуору, Урану та змінюється їхній ізотопний склад.

## ЗЕМЛЯ ВИВЕРТАЄТЬСЯ НА ВИВОРІТ

Виверження вулканів (мал. 4.12) є стихійним лихом для всього живо-го. Вони руйнують міста, перетворюють рельєф, впливають на ґрунтово-рослинний покрив і змінюють ландшафт, а отже, і ресурс геологічного про-

сторю загалом. З вулканічною активністю багато дослідників пов'язують епохи зледеніння четвертинного періоду й навіть розглядають її як одну з причин переходу від людиноподібної мавпи до людини.



Мал. 4.12. Небезпечна краса вулкана

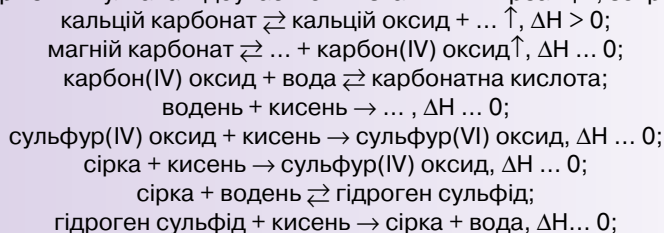


Вулканічний попіл містить потрібні рослинам поживні елементи (N, P, K, S) і за рахунок своєї консистенції швидко перемішується з ґрунтом.

Фермери в Індонезії, Японії, Італії та на Філіппінах навіть за постійної загрози раптових вивержень відмовляються від переїзду з місцевостей поблизу вулканів.

Склад вулканічних газів різний у різних вулканів, переважно вони містять (за зменшенням концентрації) водяну пару, оксиди Карбону(II), Карбону(IV), Сульфуру(IV), Сульфуру(VI), Нітрогену(IV), сірку, гідроген сульфід, гідроген хлорид, гідроген флуорид, водень, метан, аргон.

Під час виверження вулкана відбувається низка хімічних реакцій, зокрема:





сульфур(IV) оксид + вода  $\rightleftharpoons \dots$ ,  $\Delta H < 0$ ;  
сульфур(VI) оксид + вода  $\rightleftharpoons \dots$ ,  $\Delta H \dots 0$ ;  
сульфур(IV) оксид + водень сульфід  $\rightarrow$  сірка + вода;  
нітроген(IV) оксид + вода  $\rightarrow$  нітратна кислота + нітритна кислота<sup>1</sup>;  
кальцій карбонат + карбон(IV) оксид + вода  $\rightleftharpoons$   $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;  
кальцій гідрогенкарбонат

магній карбонат + карбон(IV) оксид + вода  $\rightleftharpoons \dots$ ;  
... гідрогенкарбонат

кальцій карбонат + сульфатна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
кальцій карбонат + сульфитна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
кальцій карбонат + нітратна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
кальцій карбонат + нітритна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
магній карбонат + сульфатна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
магній карбонат + сульфитна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
магній карбонат + нітратна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$ ;  
магній карбонат + нітритна кислота  $\rightarrow \dots + \dots + \dots$

*Перетворіть* схеми реакцій на хімічні рівняння, зазначте теплові ефекти. *Класифікуйте* реакції за різними ознаками. Для окисно-відновних реакцій *складіть* електронний баланс, *зазначте* окисник і відновник. *Складіть* повні й скорочені йонні рівняння між електролітами в розчинах. Які ще реакції можливі між речовинами — складниками вулканічних газів? *Складіть* відповідні хімічні рівняння.

Унаслідок вулканічних вивержень у стратосфері утворюється аерозоль сульфатної кислоти, на поверхні якого руйнується озон. У бульбашках повітря, у заморожених у товщу антарктичного льоду, українські дослідники виявили речовини, подібні за складом до промислових фреонів (флуорохлоровуглеводнів) у концентрації, яку можна порівняти із сучасною. Однак глибина їхнього залягання відповідала періоду тисячолітньої давності.

*Поясніть*, про що свідчить наявність аерозолів сульфатної кислоти в товщах антарктичних льодів.

3 травня 2018 року активний вулкан Кілауеа став причиною масових руйнувань на Великому острові (Гаваї). Виверження вулкана спровокувало рясні кислотні дощі та смог (мал. 4.13).



Мал. 4.13. Вог — вулканічний смог

*Поясніть*, чому кислотні опади небезпечні для довкілля.

<sup>1</sup> Має такий само якісний склад, як нітратна кислота, та на 16 а. о. м. меншу відносну молекулярну масу.

У світі налічують приблизно 4000 вулканів, з яких нині діє 540. Прояв сучасного вулканізму зазвичай приурочений до областей альпійської складчастості. Майже 80 % активних вулканів пов'язано із зоною, яка пролягає вздовж Тихоокеанського узбережжя Північної й Південної Америки, Алеутських островів, Камчатки, Японських островів, Індонезійського архіпелагу, Нової Зеландії. Решта вулканів приурочена до басейну Середземного моря.

Чинниками вулканічної діяльності, що мають руйнівну силу, є *вибухова хвиля, лавові потоки, вулканічні аерозолі, пірокластичні потоки, пекучі та попільні хмари*. До продуктів вулканічної діяльності відносять *лавові потоки, вулканічні бомби, вулканічний пісок та попіл*. Ці тверді викиди із часом ущільнюються, цементуються, перетворюються на вулканічний туф. Процеси магматизму й вулканізму часто супроводжують утворення струменів гарячих вулканічних газів, які називають *фумаролами*. Вони утворюють самостійні грязьові вулкани й діють досить довго. А в районах, багатих на підземні води, вулканічні явища зумовлюють появу *гейзерів* (мал. 4.14) — періодичних викидів із надр Землі перегрітої води з парою (о. Ісландія, п-ів Камчатка, Єллоустонський національний парк у США, о-ви Нова Зеландія).



Мал. 4.14. Гейзери

На території України виявлено тільки процеси грязьового вулканізму (мал. 4.15), локалізовані в її південній частині — на Керченському півострові та прилеглий акваторії Азовського моря.



Мал. 4.15. Грязьові вулкани України



У наш цивілізований, технічно розвинений час людство залишається залежним від природних явищ, які досить часто мають катастрофічний характер. Виверження вулканів, землетруси, посухи, селеві потоки, снігові лавини, повені спричиняють загибель багатьох тисяч людей, завдають величезних матеріальних збитків.

*Стихійні лиха* — це природні явища, які мають надзвичайний характер і призводять до порушення нормальної діяльності населення, загибелі людей, руйнування й нищення матеріальних цінностей. Про класифікацію стихійних лих ви дізнаєтеся, проаналізувавши схему, зображену на малюнку 4.16 (зробіть це).



Мал. 4.16. Класифікація стихійних лих за причиною виникнення

## ЗОВНІШНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ

Зовнішні процеси відбуваються на земній поверхні або на невеликій глибині. Вони працюють над деталями, як архітектор або скульптор (мал. 4.17), водночас руйнують (утворення каньйонів, долин річок) і будують (утворення дельт річок, акумулятивних рівнин). *Найуніверсальнішим процесом зовнішньої геодинаміки є вивітрювання* — руйнування гірських порід унаслідок коливань температури, хімічної дії води, кисню, вуглекислого газу, а також різноманітних органічних речовин, що утворюються за життя рослин і тварин або внаслідок відмирання та розкладання їх.



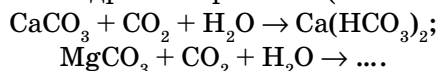
Мал. 4.17. Результат вивітрювання гірських порід являє поглядом химерні форми

Процес вивітрювання найактивніший на поверхні Землі, де гірські породи потрапляють під безпосередній вплив сонячної радіації, атмосфери, гідросфери, біосфери, а тепер ще й антропогенного навантаження. У цьому єдиному і складному процесі можна умовно виокремити фізичне, хімічне та біологічне вивітрювання.

*Фізичне вивітрювання* — це механічне руйнування гірських порід унаслідок збільшення об'єму під час нагрівання та стискання під час охолодження порід під дією коливань температури.

Нерідко процес фізичного вивітрювання супроводжує *хімічне вивітрювання*, головними чинниками якого є вода, органічні кислоти, кисень, вуглекислий газ, а також різні природні розчини, що утворюються в межах контакту мінеральних частинок з натуральними розчинниками. Під час хімічного вивітрювання відбуваються різноманітні хімічні реакції.

Вода з розчиненим у ній Карбон(IV) оксидом реагує з карбонатами Кальцію та Магнію в складі вапняку та доломіту, унаслідок чого вони перетворюються на розчинні гідрогенкарбонати (мал. 4.18):



*Перетворіть схеми реакцій на хімічні рівняння, запишіть їх у йонній формі.*

Унаслідок вивітрювання, дії води та карбон(IV) оксиду граніти втрачають до 30–35 % початкової маси, базальти — близько 75–80 %, а вапняки — до 99 %.



Мал. 4.18. Триповерхову печеру «Атлантида» неподалік Кам'янець-Подільського прикрашають сталактити та сталагміти

Унаслідок гідратації — приєднання води — ангідрит перетворюється на гіпс (мал. 4.19).



Мал. 4.19. Ангідрит  $\text{CaSO}_4$  (а); гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (б)

В умовах жаркого клімату відбувається окиснення сполук Феруму(II) до сполук Феруму(III), наприклад, з магнетиту утворюється гематит (мал. 4.20).



Мал. 4.20. Магнетит  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (а); гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (б)

*Визначте ступені окиснення Феруму в магнетиті та гематиті.*

Під час вивітрювання піриту відбувається низка хімічних реакцій (мал. 4.21):



Мал. 4.21. Пірит  $\text{FeS}_2$  (а); мелантерит  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (а); бурий залізняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (в)

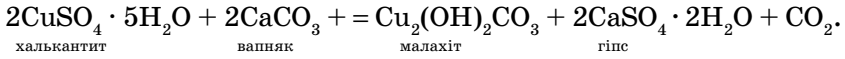
Тобто під час вивітрювання відбувається не лише руйнування, розкладання гірських порід і мінералів, а й утворення нових стійких і нестійких сполук. Вони зазвичай складніші й насиченіші енергією, ніж початкові речовини, народжені в земних надрах. Так, польовий шпат (ортоклаз) перетворюється на каолін (білу глину):



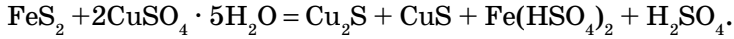
польовий шпат

каолін

Малахіт та гіпс утворюються за схемою:



Перетворення рудних мінералів відбуваються приблизно так:



*Біологічне вивітрювання* — процес руйнування й хімічних змін гірських порід у результаті життєдіяльності організмів та продуктів їхнього розкладання. Під час біологічного вивітрювання відбувається механічне руйнування гірських порід коренями рослин, порушення стійкості вже вивітрілого матеріалу тваринами, хімічні зміни гірських порід під впливом органічних і мінеральних речовин, які виділяють організми в процесі їхньої діяльності й після відмирання.

Органічний світ змінює й руйнує гірські породи, діє на них як механічно, так і хімічно. Рослини руйнують гірські породи корінням, яке проникає в тріщини (мал. 4.22). Земляні черви буравлять і розпушують ґрунти. Підраховано, що в середньому ділянка ґрунту площею 0,5 га вміщує до 150 000 черв'яків, які впродовж року піднімають до поверхні тонко подрібнений матеріал масою 10–15 т. Величезну роботу виконують різні групи бактерій (на ділянці ґрунту площею 1 га маса мікроорганізми становить 3–7 т). Тваринні організми та рослини є джерелом органічних кислот як за життя, так і після відмирання, коли відбувається хімічний розпад решток. Продукти розкладання перетворюються на гумус, який не лише забезпечує родючість ґрунтів, а й водночас є потужним хімічним чинником руйнування гірських порід. Нітрифікувальні бактерії, що засвоюють Нітроген із ґрунтів, а Карбон — з карбонатів, також беруть участь у руйнуванні гірських порід.



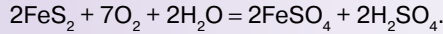
Мал. 4.22. Життя дорогу знайде



«Піритова хвороба» — процес розкладання заміщених піритом скам'янілостей. Вона виникає внаслідок дії кисню й вологи. Заміщення викопних раковин і кісток піритом відбувалося на дні морів без доступу кисню, на поверхні або в приповерхневому осадовому шарі. Надалі, замуrowані в щільних дрібнозернистих глинах, заміщені піритом скам'янілості десятки мільйонів років перебували в безкисневому середовищі.



В основі явища лежить хімічна реакція окиснення піриту киснем повітря:



Тіонові бактерії окиснюють сполуки Сульфуру для одержання клітинної енергії.

Тож «піритова хвороба» (мал. 4.23) має як хімічну, так і бактеріальну природу.



а



б

Мал. 4.23. Амоніти — вимерлий підклас головоногих моллюсків, що існували з девону до крейди. Названі на честь староегипетського божества Амона зі спіральними рогами. Амоніт, заміщений піритом (а); «піритова хвороба» прогресує (б)

1. Поясність, чому внаслідок піритової хвороби скам'янілості руйнуються непіритизовані сусідні зразки, етикетки, псується матеріал вітрин.
2. Запропонуйте спосіб запобігання виникненню «піритової хвороби».

У наш час наймасштабніший і найінтенсивніший вплив на гірські породи приповерхневої частини літосфери спричиняє людина, життєдіяльність якої зумовлює фізичне, хімічне та біологічне вивітрювання гірських порід.

Ще один наслідок зовнішніх дій — *зсуви* — це зміщення на схилах гірських порід різного складу, будови й об'єму з переважанням механізму ковзання наявною поверхнею чи зоною (або тією, що виникає в процесі руху), коли зсувна сила більша від міцності порід. Наслідками еколого-геологічних зсувних процесів є загибель під ґрунтовою масою людей, тварин, руйнування інженерних споруд, а також порушення ландшафту, деформація споруд.

За особливостями геологічної будови значна частина України належить до зсувних зон (крім Поліської низовини). За останні декілька десятиків років площі зсувонебезпечних територій України збільшилися майже вп'ятеро та найбільшого поширення набули в Закарпатській, Івано-Франківській, Чернівецькій, Миколаївській, Одеській, Львівській, Полтавській, Харківській областях і на Південному березі Криму. Значною мірою зсувами охоплено береги каскаду Дніпровських водосховищ та узбережжя Чорного й Азовського морів (мал. 4.24).



Мал. 4.24. Наслідки зсувів: а — поблизу Одеси; б — у Карпатах

## БЕРЕЖІТЬ ЛІТОСФЕРУ

Літосфера має фундаментальні властивості, які потрібно брати до уваги під час вивчення її та аналізу геологічного процесу, а також процесу еволюції літосфери. Найважливіші з них — *мінливість, неоднорідність і дискретність*.

Найважливішою властивістю літосфери є її мінливість. Мінливість літосфери в часі й просторі відповідає формам існування матерії. Зміна літосфери в часі, що фіксують як зміну її компонентів, їхніх відносин (структури) і властивостей, є геологічним процесом розвитку Землі. Зміна літосфери в часі або її рух — причина нестаціонарності фізичних полів, зокрема, причина виникнення їхніх аномалій. Просторово-часова нестаціонарність фізичних полів зумовлює рух літосфери.

Неоднорідність літосфери виявлено на всіх рівнях її організації: у вигляді структурної поверхності, ярусності, фаціальної мінливості, шаруватості, а також відмінності текстури, показників властивостей ґрунтів і заходів їх розсіювання в головних напрямках мінливості та за глибиною.

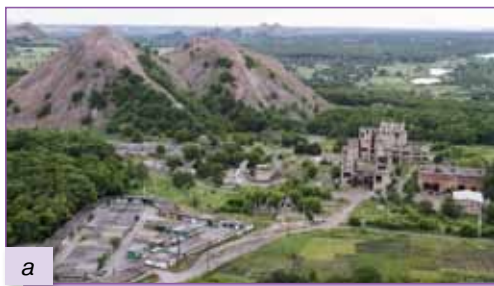
Вияви дискретності полягають у пустотності, тріщинуватості, пористості, тектонічному порушенні твердої речовини цієї оболонки. Рідкий, газовий та біологічний складники зумовлюють дискретність твердої фази літосфери. Кристалічна структура мінералів є *свідченням організаційних властивостей* літосфери.

Літосфера є матеріальною основою для сфери живої речовини (біосфери), оскільки в ній формуються ґрунти й ландшафти. У наш час вони зазнають істотних змін унаслідок господарської діяльності людини. Це стало причиною виникнення в геології нового напрямку — *екогеології*, яка вивчає літосферу з погляду її *екологічних властивостей* (мал 4.25).



Мал. 4.25. Екологічні властивості літосфери

Інтенсивний розвиток промисловості призвів до того, що людина та літосфера останнім часом надзвичайно погано вживаються одна з одною: забруднення літосфери набуває катастрофічних масштабів. Сталося це внаслідок зростання обсягу промислових відходів укупі з побутовим сміттям та використання в сільському господарстві добрив й отрутохімікатів, що негативно впливає на хімічний склад ґрунту та організми (мал. 4.26). Учені підрахували, що на рік на одну людину припадає сміття масою близько тонни, зокрема практично нерозкладаних відходів масою близько 50 кг. Наразі забруднення літосфери стало актуальною проблемою, оскільки природа не в змозі впоратися з нею самостійно: самоочищення земної кори відбувається вкрай повільно, а тому шкідливі речовини поступово накопичуються і з часом негативно впливають і на основного винуватця виниклої проблеми — людину.



Мал. 4.26. Терикони — відвали, штучні насипи з порожніх порід, витягнутих під час підземної розробки покладів вугілля й інших корисних копалин (а); сміттєзвалище (б)



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Оцініть за допомогою глобуса або географічної карти відстань між Африкою та Південною Америкою. *Розрахуйте*, скільки років пройшло з тих пір, як вони припинили бути єдиним материком, якщо швидкість дрейфу становила 1 см/рік.
2. *Поясніть*, що називають тектонічними рухами. *Опишіть* види тектонічних рухів.
3. *Назвіть* літосферну плиту, на якій ми живемо, та плити, які з нею межують. *Поясніть*, як вони рухаються одна відносно одної.
4. *Схарактеризуйте* наслідки зіткнення літосферних плит.
5. *Поясніть*, що відбувається в місцях розходження літосферних плит.
6. *Наведіть* докази вертикальних рухів земної кори. *Спрогнозуйте* зміни, що можуть відбутися внаслідок її опускання.
7. *Поясніть* роль тектонічних рухів у процесі формування рельєфу земної поверхні.
8. *Розкрийте* причини утворення складок земної кори.
9. *Нанесіть* на контурну карту сейсмічні пояси Землі. *Назвіть* причини утворення їх.
10. *Розтлумачте* вислови: «Історія є географією в часі, а географія — історією в просторі»; «Географія розповідає нам про землю, як про житло; історія ж — про неї, як про цвинтар».
11. Проаналізуйте уривки літературних творів і вставте пропущені слова:  
а) «Минуло трохи більше року як... обернув пишну Мессіну в груді каміння. Була весна, море було спокійне і синє, небо — так само, сонце обливало помаранчеві сади по горбах, і, дивлячись з парохода на сірий труп міста, я не міг уявити собі тої страшної ночі, коли земля у грізнім гніві так легко струснула з себе величний город, як пес струшує воду, вилізши з річки...»<sup>1</sup>;  
б) «З жерла... летіло велетенське розпечене... Лопнув верх... гори, і вниз потекла червона, мов розтоплений чавун, горяща...»<sup>2</sup>; в) «Там б'ють гарячі джерела і один маленький... Трава, кущі — зелені увесь рік»<sup>3</sup>; г) «Гостроверхі хребти, один раз грубо зламані... бурями, вистоювали віки й роки»<sup>4</sup>; д) «версія... здавалась найвірогіднішою, але й вона не витримувала критики, оскільки жодний... не зареєстрував поштовху»<sup>5</sup>.
12. *Назвіть* види продуктів вивітрювання.
13. *Поясніть*: а) унаслідок чого відбувається хімічне вивітрювання; б) чому в областях, де переважають аридні, полярні або високогірні ґрунти з малим запасом води, переважає фізичне вивітрювання, натомість у субтропіках і тропіках — хімічне; в) чому На Місяці не відбувається вивітрювання.
14. *Проаналізуйте* з огляду на вивчене уривок із книги О. Ферсмана (Ферсман Олександр Євгенович, 1883—1945, Росія) «Цікава мінералогія» й *визначте*, про що йдеться в ньому: «...перейдемо до твердої землі. Тут царство могутніх діячів земної поверхні — вугільної<sup>6</sup> кислоти, кисню й води. Поступово й неухильно нагромаджуються тут піщинки кварцу, вугільна кислота заволодіває металами (кальцієм і магнієм), силікати глибин руйнуються й перетворюються на глини.

<sup>1</sup> Михайло Коцюбинський «Хвала життю».

<sup>2</sup> Микола Трублаїні «Син мисливця».

<sup>3</sup> Юрій Логвин «Райські коні».

<sup>4</sup> Марія Матіос «Москалиця».

<sup>5</sup> Андре Моруа «З "Життя людей"».

<sup>6</sup> Карбонатної.





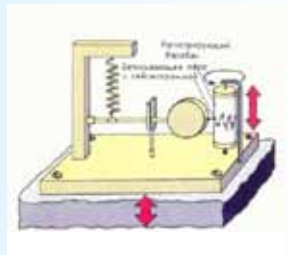
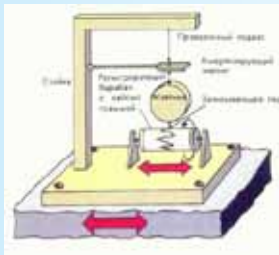
## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

Вітер і сонце, вода й мороз допомагають цьому руйнуванню, несучи щорічно до п'ятдесяти тонн речовини з кожного квадратного кілометра землі. Під покровом ґрунту глибоко тягнеться світ руйнування, і до п'ятисот метрів у глибину йдуть процеси зміни, усе слабшаючи у своїй силі й замінюючись нижче новим світом утворення каменю. Таким ввижається нам неорганічне життя земної поверхні. Усюди навколо нас йде напружена хімічна робота. Усюди старі тіла переробляються в нові, осади лягають на осади, нагромаджуються мінерали; зруйнований і вивітрений мінерал змінюється іншим, непомітно на вільну поверхню лягають нові й нові шари. Дно океану, мулисті маси болота або кам'яністі русла річок, піщані моря пустелі — усе має зникнути або в потоках плинної води, або в поривах вітру, або ж стати надбанням глибини, укритись новим шаром каменю. Так, поступово, продукти руйнування Землі, уникаючи влади діячів поверхні й закрившись новими опадами, переходять у чужі їм умови глибин. А в глибинах породи воскресають в абсолютно новому вигляді. Там вони стикаються з розплавленим океаном магми, який проникає в них, то розчиняючи, то знову викристалізовуючи мінерали. Так опади поверхні знову стикаються з магмою глибин, і частинка кожної речовини проходить багато разів свій довгий шлях у вічному русі. Камені живуть і змінюються, відживають і знову перетворюються на нові камені».



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

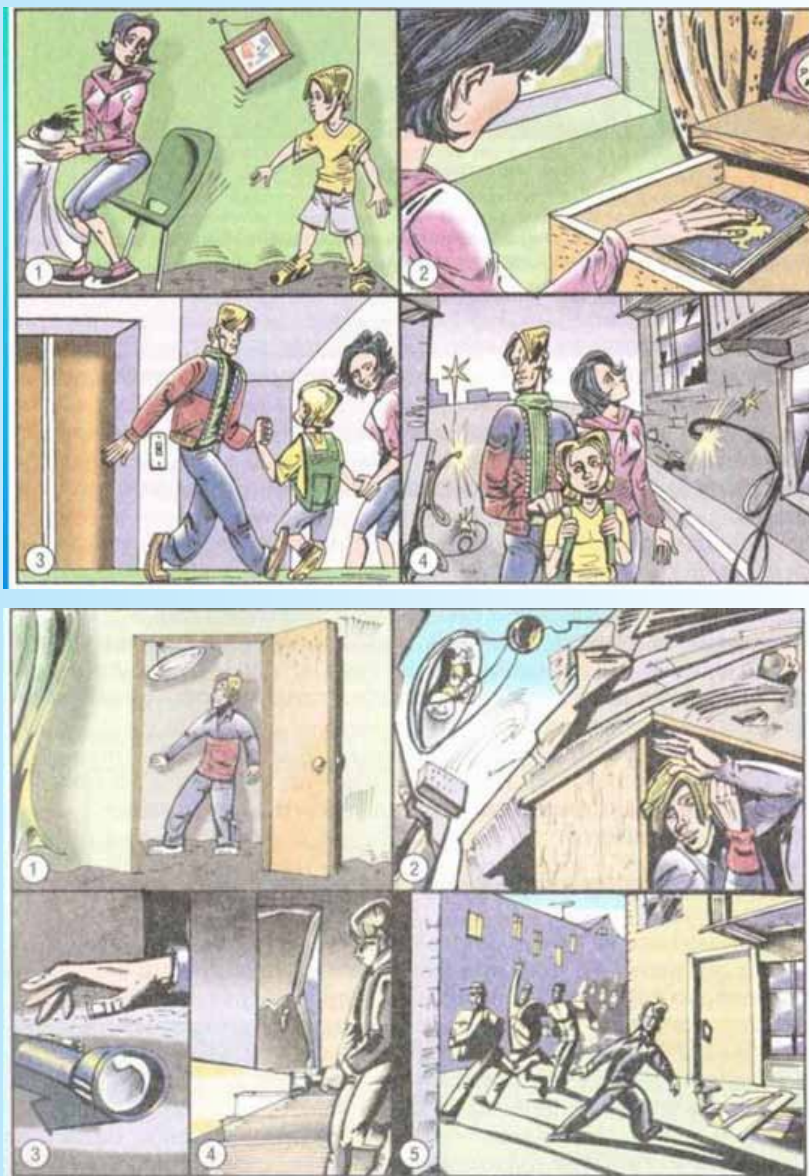
1. Моделювання тектоніки плит.
2. Пангея власноруч.
3. Сейсмограф власноруч.





## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Розгляньте комікси, наведені далі, і складіть правила поведінки під час землетрусів. Можете також розробити пам'ятки, плакати тощо.



### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

- Дослідження сейсмічно активних територій України та світу.
- «Урановий щит» і максимально можливий бал землетрусу певної місцевості.
- Катастрофічні землетруси та виверження вулканів в історії людства.

## ЗЕМЛЯ



## В. 5. МІНЕРАЛИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ

Тверді й міцні, а тому корисні в господарстві... Надзвичайно красиві, тож здатні стати прикрасою... Народжені в надрах Землі, тому можуть дарувати людині енергетику Землі й захищати її від негативу. Це все про мінерали й гірські породи. Що з цього є науково обґрунтованим, а що — лише ймовірнісним? З'ясуємо!

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

**Називати:** найпоширеніші елементи та мінерали літосфери.

**Наводити приклади:** оксидів і солей, що входять до складу літосфери.

**Розуміти:** походження гірських порід і мінералів.

**Знати:** основні фізичні й хімічні властивості матеріалів.

**Досліджувати:** твердість, розчинність, хімічний склад мінералів.

**Уміти:** вирощувати кристали.

**Оцінювати:** вірогідність інформації про мінерали, здобуту з різних джерел

## ЦАРСТВО КАМЕНІВ

Погляньмо навколо. І пісок на річковому пляжі, і камінчики на березі моря, і глина в яру — усе це *гірські породи* та *мінерали*, з яких складається земна кора. На Землі понад 4000 видів каменів, і щороку вчені відкривають нові, класифікують їх, досліджують їхній хімічний склад і властивості.

*Камінь* (англ. *Stone*, нім. *Stein*) — тверда гірська порода чи мінерал у вигляді суцільної маси або окремих шматків. У чому полягає відмінність між гірською породою та мінералом (мал. 5.1)? **Мінерали** — це однорідні тіла, які складаються з однієї речовини. За агрегатним станом мінерали бувають твердими (золото, кварц, польовий шпат, слюда, кам'яна сіль, алмаз тощо), рідкими (вода, ртуть та ін.) і газоподібними (метан, гелій тощо). Мінерали в чистому вигляді трапляються в природі не часто. Найчастіше вони є складниками різноманітних сумішей, з яких утворені *гірські породи* — сполучення кількох мінералів або скупчення одного у великій кількості в земній корі. Наприклад, компонентами граніту (гірської породи) є три мінерали: кварц, слюда, польовий шпат.



Мал. 5.1. Відмінність між гірськими породами та мінералами



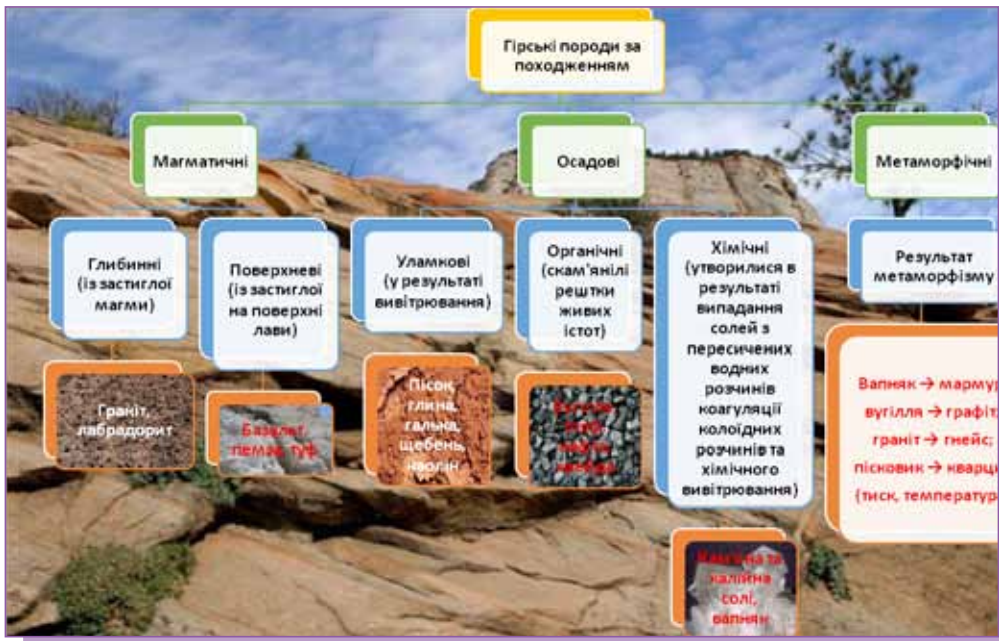
**Геологія** (від грец. γη — земля та λογος — наука) — комплекс наук про тверду оболонку Землі, її будову, речовинний склад, рухи й історію розвитку а також, процеси, що її створили.

**Петрографія** (від грец. πέτρα — камінь; γραφω — пишу) — геологічна наука, яка вивчає мінеральний склад гірських порід, їхню будову, походження, умови залягання, поширеність і утворення корисних копалин.

**Інженерна геологія** вивчає гірські породи як основу фундаментів для будівель і споруд, середовище та матеріал для будівництва, **агрономія** — як родючі ґрунтоутворювальні породи впливають на розвиток і врожайність рослин. **Мінералогія** — наука про мінерали, що досліджує хімічний склад, властивості, морфологію, особливості структури, процеси утворення та зміни мінералів, закономірності їхнього спільного перебування в природі, а також умови й методи штучного отримання (синтезу) та практичного використання.

## ЯК УТВОРИЛИСЯ МІНЕРАЛИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ

Гірські породи утворюються в різноманітних умовах. Одні — під час застигання магми в земній корі, другі — унаслідок відкладання речовин на дні морів та океанів (осадові), треті — з решток живих істот, четверті — у результаті руйнування інших гірських порід, п'яті — під дією високих температур і тиску на великих глибинах тощо (мал. 5.2).



Мал. 5.2. Таємниці утворення гірських порід

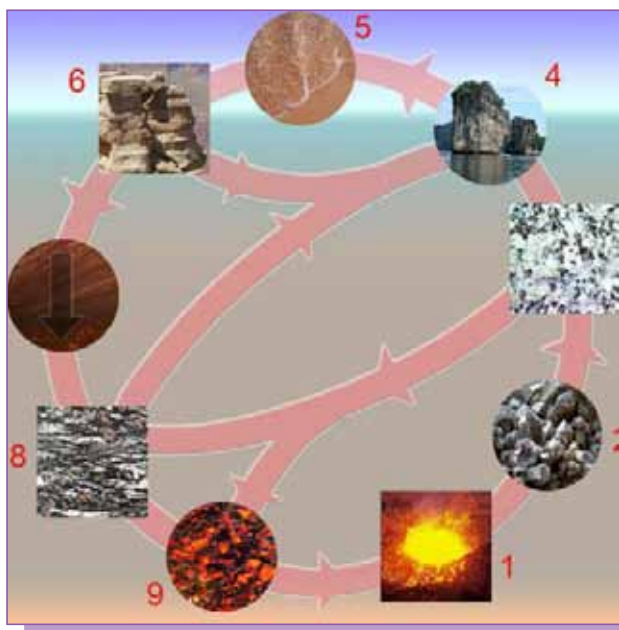
У земній корі до глибини 16 км співвідношення гірських порід приблизно таке: 60 % припадає на магматичні, 32 % — на метаморфічні й 8 % — на осадові. Водночас майже 76 % поверхні Землі й дна водоймищ укрито крихкотілими шаруватими гірськими породами осадового похо-

дження. Найпоширеніші з них — глини та глинисті породи, частка яких у відкладах становить 76 %, частка пісків, піщаників, вапняків та інших — 25 %. Отже, земна кора складена переважно з гірських порід, які формувалися під час охолодження та кристалізації магми в тріщинах, що проникають у літосферу. Магма, яка не змогла просочитися на поверхню, сформувала такі крупнокристалічні гірські породи, як габро, граніт, діорит, унаслідок її повільного охолодження та кристалізації. Натомість магма, яка потрапила назовні, унаслідок швидкого охолодження утворила дрібні кристали — базальт, ліпарит, андезит.

Щодо осадових порід, то вони в літосфері Землі утворилися в різні способи: уламкові виникли в результаті руйнування піску, пісковиків і глини, хімічні сформувалися завдяки різним хімічним реакціям у водних розчинах — гіпс, кам'яна сіль, фосфорити. Органічні утворені рослинними й вапняними рештками — крейдою, торфом, вапняком, вугіллям.

Деякі породи виникли через повну або часткову зміну їхнього складу: граніт трансформувався в гнейс, пісковик — у кварцит, вапняк — у мрамур.

У природі відбувається постійний коловорот гірських порід — неперервний процес перетворення одних порід в інші (мал. 5.3.). Упродовж одного циклу гірська порода послідовно проходить такі стадії: розплав (магма), виливання магми й утворення магматичної породи, вивітрювання й ерозія, перенесення уламків, осідання (седиментація), діагенез і формування осадової породи, метаморфізація в результаті стиснення та підігрівання й знову розплавлення та утворення магми в глибинах Землі.



Мал.5.3.1. Цикл перетворення гірської породи: 1 — магма; 2 — кристалізація; 3 — магматичні породи; 4 — ерозія; 5 — седиментація; 6 — відклади й осадові породи; 7 — тектонічне занурення та метаморфізм; 8 — метаморфічні породи; 9 — плавлення



Мінерали є не лише в надрах Землі, вони входять до складу всього живо-го, включно з людиною.

*Біомінерали* — це мінерали, які утворені організмами або за їхньої участі. Їх вивчає *біомінералогія*.

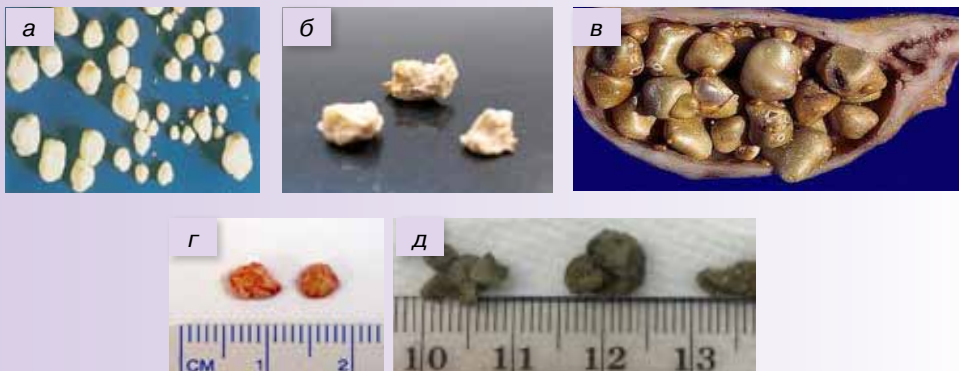
Об'єктом цієї науки є утворення, що складаються з мінеральної та органічної речовини, що виникли в біосфері та створені в організмі за його участі чи в результаті заміщення відмерлої органічної речовини мінеральною. Формування таких утворень відбувається в процесі метаболізму (обміну речовин) в організмах, унаслідок процесів вільного відкладення речовини з водних систем, реакцій різних викидів організму з довкіллям, а також перетворень відмерлої органічної речовини. Практично завжди такі утворення не є чисто мінеральними, а містять органічну речовину, при цьому між мінеральною та органічною речовинами є певні співвідношення — орвано-мінеральні агрегати (ОМА) біогенного походження.

Натепер відомо понад 300 біомінералів різного походження. До них належать: біомінерали-організми (наприклад, кристалічні віруси); фізіомінерали — біомінерали, сформовані в організмах; біомінерали, які організми у вигляді продуктів життєдіяльності виділяють у навколишнє середовище; біопсевдоморфні мінерали тощо. Також вони є складниками організмів як конструкції (будовотвірні компоненти) — містяться в скелетах, зубах, панцирах тощо. Понад 50 мінеральних видів виявлено в організмі людини та тварин, 60 — у рослинах, 30 — у найпростіших організмах.

Більшість мінералів — це кристалічні утворення, незначна частина їх трапляється в аморфному стані. Організм не використовує жоден з мінералів у кристалічному стані. Перед тим, як включитися у фізіологічний процес, мінеральна речовина обов'язково руйнується (розчиняється), переходить у йонну або молекулярну форму.

Біомінерали складаються зі сполук Карбону, Гідрогену, Оксигену, Сульфур, Фосфору, Нітрогену та води. Вони представлені фосфатами, оксидами, сульфідами, карбонатами.

Окрім неорганічних утворень біологічних процесів нормального метаболізму (зуби, кістки скелету, шкаралупа пташиних яєць тощо), виокремлюють також утворення патологічного функціонування організму, тобто патогенне біомінералоутворення в органах й тканинах людини — камені сечової системи, жовчного міхура, слинни та зубні камені тощо.



Мал. 5.4. Приклади патогенного біомінералоутворення в організмі людини: а — сечові камені; б — ниркові камені; в — жовчні камені; г — слинні камені; д — зубні камені

## ХІМІЯ Й ФІЗИКА КАМЕНІВ

Будь-який мінерал має певний хімічний склад і характерну для нього внутрішню будову, від чого залежать його зовнішня форма, хімічні та фізичні властивості. Усю різноманітність мінералів ділять на групи, які об'єднують за спільними ознаками.

Класифікацію найпоширеніших породотвірних мінералів за *хімічним складом* наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Класифікація мінералів

Клас, масова частка (%) у земній корі	Мінерали
Самородні елементи (прості речовини), 0,1	<p><i>Графіт C; алмаз C; золото Au; сірка S</i></p> 
Сульфіди, 0,25	<p><i>Пірит FeS<sub>2</sub>, або сірчаний (залізний) колчедан; марказит FeS<sub>2</sub>, або променистий колчедан; халькопірит CuFeS<sub>2</sub>, або мідний колчедан; галеніт PbS, або свинцевий блиск; сфалерит ZnS, або цинкова обманка; кіновар HgS, або цинобра</i></p> 
Оксиди та гідроксиди, 17	<p><i>Кварц SiO<sub>2</sub>; халцедон SiO<sub>2</sub>; опал SiO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O; гематит Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, або червоний залізняк; магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, або магнітний залізняк; лімоніт Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · nH<sub>2</sub>O, або бурий залізняк; піролюзит MnO<sub>2</sub>; корунд Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; хроміт FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; ільменіт FeTiO<sub>3</sub></i></p> 
Карбонати, до 1,7	<p><i>Кальцит CaCO<sub>3</sub>, або вапняковий шпат; магнезит MgCO<sub>3</sub>, або магнезійний (гіркий) шпат; сидерит FeCO<sub>3</sub>, або залізний шпат; доломіт CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; малахіт CuCO<sub>3</sub> · Cu(OH)<sub>2</sub>, або мідна зелень; азурит Cu<sub>3</sub>[CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>, або мідна лазур</i></p> 



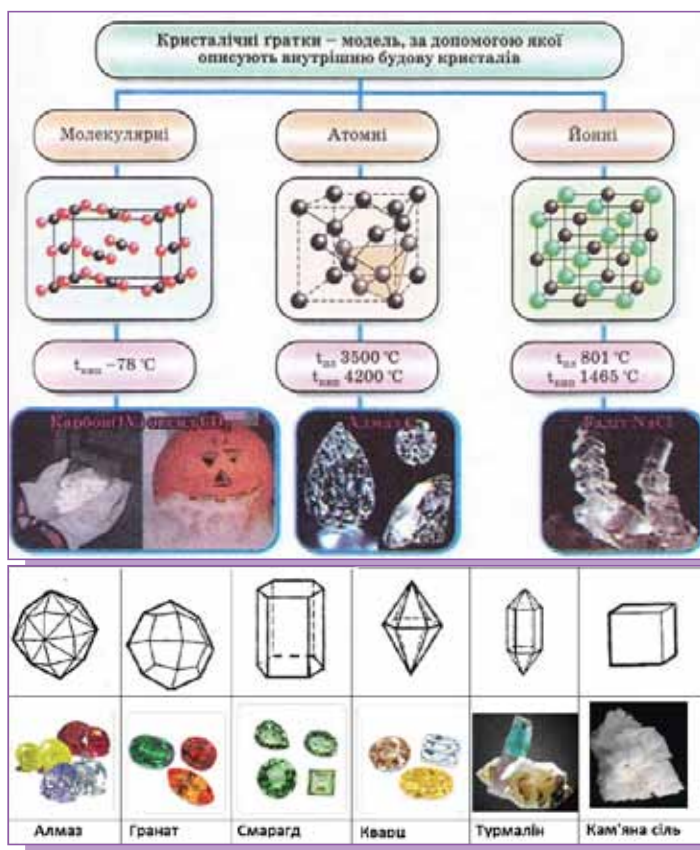
Клас, масова частка (%) у земній корі	Мінерали
Сульфати, 0,1	<p>Барит <math>\text{BaSO}_4</math>, або важкий шпат; гіпс <math>\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>; мірабіліт <math>\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}</math>, або глауберова сіль</p> 
Фосфати, не більш ніж 0,1	<p>Апатит <math>\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})</math>; фосфорит <math>\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH})_2</math> з домішкою <math>\text{CaCO}_3</math></p> 
Галогеніди. Найпоширенішими є хлориди, незначна	<p>Галіт <math>\text{NaCl}</math>, або кам'яна сіль; сільвін <math>\text{KCl}</math>; флюорит <math>\text{CaF}_2</math>, або плавиковий шпат</p> 
Силікати, 95	<p>Ортоклаз <math>\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]</math>, або польовий шпат; лабрадор <math>(\text{Ca}, \text{Na})[(\text{Al}, \text{Si})\text{AlSi}_2\text{O}_8]</math>; рогова обманка <math>(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_5[(\text{OH}, \text{F})_2   (\text{Si}, \text{Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{22}]</math>; мусковіт <math>\text{KA}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2](\text{OH})_2</math>; біотит <math>\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH}, \text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]</math>; тальк <math>\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2</math>; нефелін <math>\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4</math>; топаз <math>\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2</math>; хризотил-азбест <math>\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4</math>, або гірський льон; каолініт <math>\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4</math>; берил <math>\text{Al}_2\{\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\}</math>; гранати <math>\text{A}_3^2\text{B}_3^+(\text{SiO}_4)_3</math>, де <math>\text{A}_3^2+</math> — <math>\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mn}</math>; <math>\text{B}_3^+</math> — <math>\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{V}, \text{Mn}, \text{Ti}^{4+}, \text{Zr}^{4+}</math> тощо</p> 
Органічні сполуки	<p>Бурштин <math>\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_4</math></p> 

Залежно від кількості складників тверді тіла можна поділити на *прости* (однокомпонентні) і *складні* (багатокомпонентні). Складні можуть бути хімічною сполукою (неорганічною чи органічною) або твердими розчинами різного типу.

Залежно від характеру зв'язків окремих зерен розрізняють такі типи гірських порід:

- *пуккі* (роздільно-зернисті) — механічні суміші різних мінералів або зерен одного мінералу, не сполучених між собою, наприклад, пісок, гравій, галька;
- *зв'язні* (глинисті) — гірські породи з водно-колоїдними зв'язками частинок між собою, наприклад, глини, суглинки, боксити; їхня особливість — висока пластичність за насичення водою;
- *тверді* (скельні та напівскельні) — із жорсткими та пружними зв'язками, що мають фізико-хімічну природу, наприклад, пісковики, граніти, діабазы, гнейси.

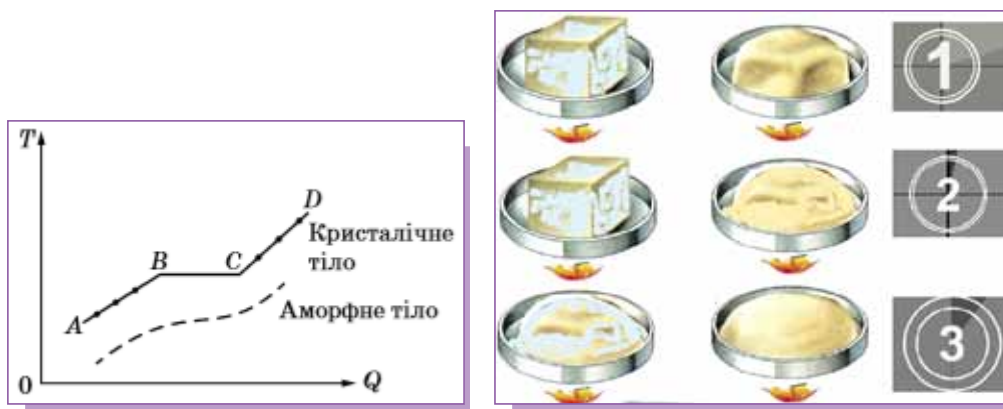
Як об'єкт гірничих розробок гірські породи поділяють на *скельні*, *напівскельні*, *щільні*, *м'які*, *сипкі*, *зруйновані*. За текстурою — на *однорідні* й *неоднорідні*. За типом упорядкування атомів розрізняють *кристалічні* (кристали) й *аморфні* тверді тіла. Кристали класифікують за типом та формою кристалічних ґраток (мал. 5.5).



Мал. 5.5. Кристалічні ґратки

З такою будовою кристалічних тіл пов'язана *анізотропія* їхніх властивостей, тобто неоднаковість фізичних властивостей у різних напрямках. Це явище характерне для показника заломлення світла, теплопровідності, магнітних властивостей кристалів, проникності порід тощо. Пригадаєте, ми розглядали властивість кристалу турмаліну поляризувати світло? Поляризація світла відбувається, якщо воно поширюється вздовж відповідних граней. Яскравим прикладом анізотропії механічного характеру є властивості осадових гірських порід (сланців, глин тощо) — їхня міцність упоперек нашарування в кілька разів вища, ніж уздовж його. Ще кристалічним тілам притаманна фіксована температура плавлення. Під час нагрівання кристалічного тіла інтенсивність коливального руху атомів, молекул, йонів у кристалі підвищується, а з досягненням температури плавлення коливання стають такими інтенсивними, що атоми, молекули, йони вже не можуть утриматися у вузлах кристалічних ґраток. Останні руйнуються, і відбувається плавлення. Кожне кристалічне тіло має певну температуру плавлення.

Атоми аморфних твердих тіл коливаються поблизу неупорядковано розміщених точок. У них немає анізотропії та фіксованої температури плавлення. У процесі плавлення (або тверднення) температура аморфних тіл безперервно змінюється (мал. 5.6).



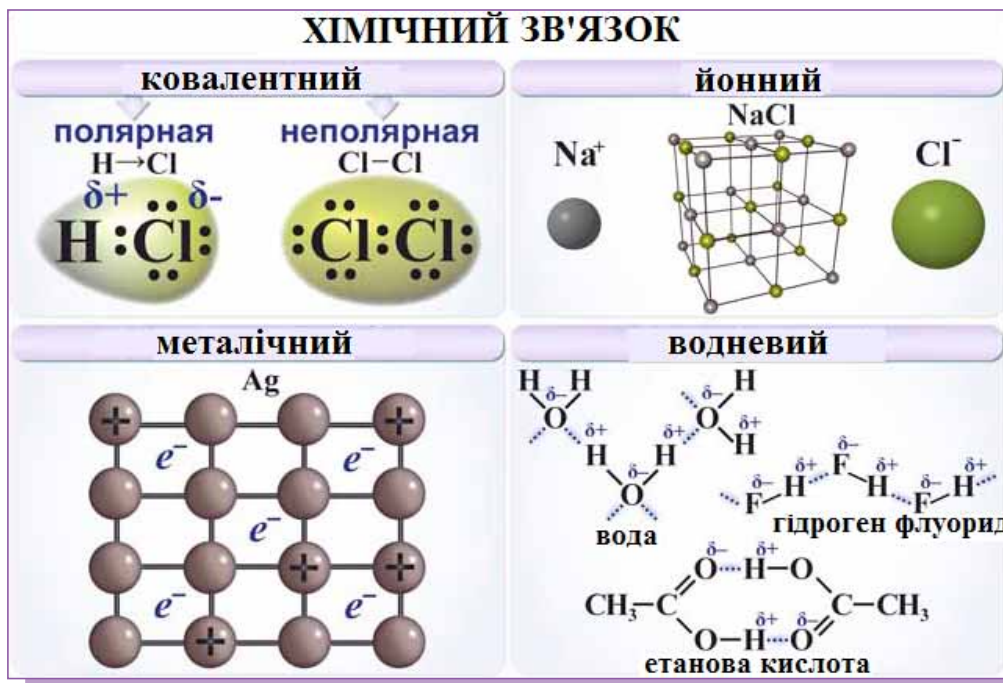
Мал. 5.6. Як плавляться кристали й аморфні тіла

Для твердих тіл виокремлюють п'ять типів зв'язку між структурними частинками (мал. 5.7):

- міжмолекулярний зв'язок (наприклад,  $I_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) у кристалі, утвореному з молекул, які зв'язані між собою слабкими ван-дер-ваальсовими силами;
- водневий зв'язок (наприклад, лід  $H_2O$ ) — слабкий зв'язок між атомом Н, зв'язаним хімічним зв'язком з електронегативним атомом, та іншим електронегативним атомом;
- йонний зв'язок (наприклад,  $NaCl$ ) за рахунок сил електростатичного притягання між катіонами й аніонами;
- ковалентний (наприклад, алмаз  $C$ ,  $Ge$ ,  $Si$ ) за рахунок усуспільнення

атомами неметалічних елементів пар електронів, що зумовлює їхнє взаємне притягання;

- металічний (наприклад, Cu, Al) між атомами металічних елементів за рахунок уesuплнення їхніх валентних електронів.



Мал. 5.7. Типи зв'язків між структурними частинками речовини

Основними хімічними властивостями мінералів є їхня розчинність у воді та взаємодія з кислотами (найчастіше — з хлоридною HCl).



#### Хімічний аналіз мінералів

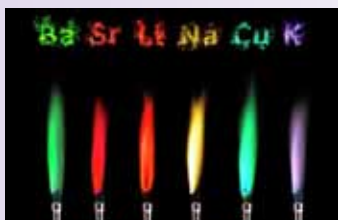
Водорозчинних мінералів порівняно небагато. Окрім хлоридів — мінералів соляних родовищ — розчинними є нашатир  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , бішофіт  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , низка сульфатів (тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , мірабіліт  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , полігаліт  $\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  тощо), карбонатів (трона  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , натрон  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , термонатрит  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) і нітратів (селітри), деякі борати. Більшість мінералів, що добре розчиняються у воді, тією чи тією мірою гігроскопічні й на вологому повітрі розпливаються.

Багато які з мінералів реагують із сильними кислотами й лугами. Більшість мінералів лужних і лужноземельних елементів стійкі до дії лугів, натомість легко реагують з кислотами.

Під дією води мінерал може розклатися, утворивши нові мінерали. Наприклад, унаслідок розчинення полігаліту  $\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у воді утворюються гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  та сингеніт  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

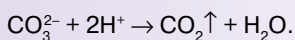
Унаслідок нагрівання речовин у полум'ї пальника можна спостерігати різні характерні явища: сублімацію, випаровування, плавлення, зміну кольору, забарвлення полум'я тощо. Усі ці явища використовують у якісному хімічному аналізі для попередніх випробувань речовини.

Іноді за допомогою пірохімічних (від грец. πῦρ — вогонь) реакцій вдається підвищити вибірковість і чутливість визначення. Пірохімічні реакції застосовують для аналізу мінералів у польових умовах. Після введення в полум'я розчину солі металічного елемента відбувається низка складних процесів: випаровування, утворення твердих аерозолів, дисоціація, йонізація, взаємодія з киснем, збудження атомів, йонів і молекул. Результатом цих процесів є аналітично використовуваний ефект — забарвлення полум'я (мал. 5.8). Пірохімічний аналіз застосовують для виявлення металічних елементів у складі хлоридів, нітратів, карбонатів. Нелеткі солі (борати, силікати, фосфати) змочують перед унесенням їх у полум'я концентрованою хлоридною кислотою для переведення в леткі хлориди.



Мал. 5.8. Пірохімічні реакції

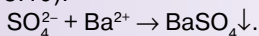
Для діагностики мінералів з класу карбонатів або гірських порід карбонатного складу (вапняк, крейда, мармур) використовують хлоридну кислоту. Катіони Гідрогену у водному розчині гідроген хлориду є реактивом на карбонат-аніони, зовнішній ефект реакції полягає у виділенні Карбон(IV) оксиду, що зумовлює спінення рідини (мал. 5.9):



Мал. 5.9. Визначення карбонатів

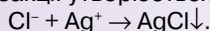
Не всі мінерали цього класу й гірські породи, що їх містять, взаємодіють з кислотою однаково. Так, кальцит, арагоніт, малахіт і азурит взаємодіють з 10 %-ю хлоридною кислотою, доломіт необхідно попередньо розтовкти на порошок, а в разі магнезиту — не лише розтовкти мінерал, а й нагріти кислоту (пригадайте чинники, які впливають на швидкість хімічних реакцій і поясніть чому).

Для визначення сульфатів, наприклад, мірабіліту  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , використовують катіони Барію. Аналітичним ефектом реакції є утворення дрібнокристалічного білого осаду барій сульфату (мал. 5.10):



Мал. 5.10. Визначення сульфатів

Розчинні галогеніди, наприклад, галіт  $\text{NaCl}$ , можна визначити за допомогою катіонів Аргентуму(I). Унаслідок реакції утворюється білий сирнистий осад:

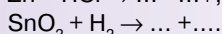
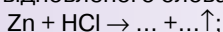


Йодид-аніон утворює з катіонами Аргентуму(I) жовтий, а бромід-аніон — світло-жовтий осади (мал. 5.11).

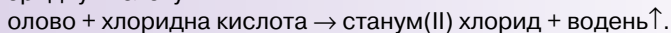


Мал. 5.11. Визначення йодид-, бромід- і хлорид-аніонів за допомогою катіонів Аргентуму

Для визначення каситериту  $\text{SnO}_2$  його зерна поміщають на цинкову пластинку або гранулу й додають кілька крапель хлоридної кислоти (1 : 1). Атомарний Гідроген, що виділився внаслідок реакції, є сильним відновником, тому зерна каситериту вкриваються тонким шаром відновленого олова:

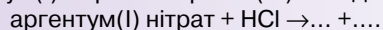
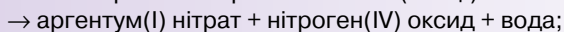
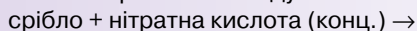


Шар олова можна видалити з поверхні каситериту, зануривши його зерна в концентровану хлоридну кислоту:



Для визначення кіноварі  $\text{HgS}$  кілька кристаликів соди (натрій карбонату) розплавляють у вушку платинового дроту й утвореною розжареною кулькою торкаються кристала кіноварі. Мінерал руйнується з утворенням дрібноесеньких крапельок ртуті, які спостерігають крізь збільшувальний прилад.

Самородне срібло  $\text{Ag}$  розчиняють у кількох краплях концентрованої нітратної кислоти, додають 2–3 краплі води та краплю розбавленої хлоридної кислоти. Спостерігають утворення білого сирнистого осаду:



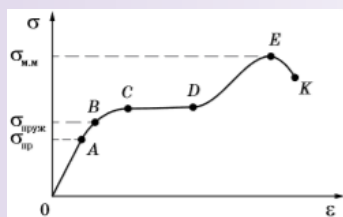
Перетворіть наведені схеми реакцій на хімічні рівняння, класифікуйте їх, проаналізуйте з погляду електролітичної дисоціації та окиснення-відновлення, складіть електронний баланс.

Як фізичні тіла, гірські породи характеризують щільнісними, механічними (пружними, міцнісними), тепловими, електричними, магнітними, радіаційними та іншими властивостями, які залежать від їхнього мінерального складу та макробудови (структурно-текстурних ознак).

За домінуючими механічними властивостями в умовах деформування під навантаженням виокремлюють пружні, пластичні, в'язкі та крихкі тверді тіла.



Дослідження поведінки твердого тіла під зовнішніми механічними навантаженнями та під час нагрівання досить важливі в практичному використанні матеріалів з різною метою.



Мал. 5.12. Діаграма розтягу

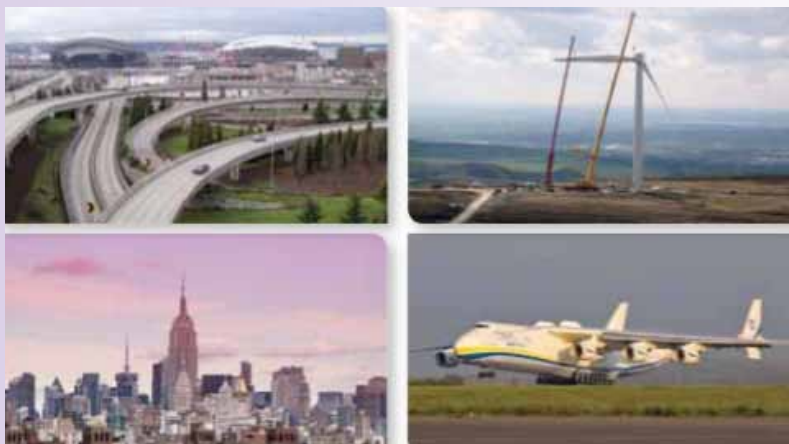
Фізичною величиною, що характеризує дію внутрішніх сил, які виникають у деформованому тілі, є *механічна напруга*  $\sigma$ . Механічна напруга дорівнює відношенню

модуля сили пружності  $F_{\text{пр}}$  до площі  $S$  поперечного перерізу тіла:  $\sigma = \frac{F_{\text{пр}}}{S}$ .

Розгляньмо діаграму розтягу (мал. 5.12). Ділянка  $OA$  відповідає *пружній деформації* — тіло повністю відновлює свої розміри після зняття зовнішнього навантаження.  $\sigma_{\text{проп}}$  — межа пропорційності — максимальне значення механічної напруги, для якого виконується закон Гука: у межах пропорційності механічна напруга  $\sigma$  прямо пропорційна відносному видовженню. На ділянці  $AB$  закон Гука (Роберт Гук, 1635 – 1703, Велика Британія) не виконується, але деформація ще залишається пружною. Максимальну напругу, за якої ще не виникає помітна залишкова деформація, називають *межею пружності*  $\sigma_{\text{пр}}$ . Якщо продовжувати розтягувати тіло, то в ньому виникає залишкова деформація (ділянка  $BC$ ) — деформація, у результаті якої тіло залишається деформованим після припинення дії зовнішньої сили. Таку деформацію ще називають *пластичною*. Подальше видовження тіла відбуватиметься майже без збільшення напруги в ньому, тому кажуть, що «матеріал тече». Ділянка  $CD$  — текучість матеріалу. Зі збільшенням деформації крива напруг починає трохи підніматися й досягає максимуму в точці  $E$ . Потім напруга швидко спадає, й тіло руйнується (точка  $K$ ). Отже, розрив настає після того, як напруга досягне максимального значення  $\sigma_{\text{м.м}}$ , що називають *межею міцності*.

Для більшості порід межа міцності на розтягнення не перевищує 20 МПа. З породотвірних мінералів найміцнішим є кварц. У нього межа міцності на стиснення перевищує 500 МПа, у польових шпатів, піроксенів, авгіту, рогової обманки, олівину тощо — залізисто-магнезійних мінералів  $\sigma_{\text{м.м.}} = 200\text{--}500$  МПа, у кальциту — близько 20 МПа. У полікристалічних гірських порід міцність переважно визначають сили взаємного зчеплення безпосередньо дотичних між собою зерен і насамперед залежить від їхньої міцності, а також будови. Найбільші значення межі міцності під час стиснення мають щільні дрібнозерністі кварцити та нефрити (500–600 МПа). Значну міцність (понад 350 МПа) мають щільні дрібнозерністі граніти, трохи меншу — габро, діабази та грубозерністі граніти. Міцність вугілля за стиснення змінюється залежно від ступеня його метаморфізму та зольності від 1 МПа (коксівне вугілля) до 35 МПа (антрацити).

З-поміж промислових матеріалів найбільша міцність у сталі. Тому сталь — основний конструкційний матеріал. Під час проектування будь-яких конструкцій (мал. 5.13) ураховують межу міцності, а можливі напруги мають бути в кілька разів (зазвичай у 10) меншими від неї. У прикладній науці є спеціальний розділ — *опір матеріалів*. Його вивчають у всіх технічних закладах вищої освіти, де готують фахівців з конструювання та експлуатування машин і механізмів. Усі машини та механічні конструкції — вежі, мости, арочні конструкції — розраховують так, щоб напруги в жодному місці конструкції не перевищували межі пружності.



Мал. 5.13. Конструкції

Цікаво відзначити, що сталевий дріт, підвішений за один кінець, розтягується під дією власної ваги. Обрив унаслідок цього відбудеться, якщо довжина сталевого дроту перевищуватиме 4,2 км. Дріт зі свинцю обірветься під дією власної ваги за довжини всього 120 м.

Під час нагрівання, як відомо, збільшується швидкість теплового руху молекул і їхня середня кінетична енергія. Це приводить до збільшення середньої відстані між молекулами. Отже, речовини під час нагрівання розширюються. Ступінь теплового розширення тіла залежить від речовини, з якої його виготовлено. Так, тіла, виготовлені з різних речовин, під час нагрівання на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  розширюються не однаково. Є фізичні величини, які характеризують об'ємне та лінійне розширення тіл. Наприклад, коефіцієнт лінійного розширення сталі становить  $0,000012\text{ }1/^{\circ}\text{C}$ . Це означає, що нагрівання сталевого стержня завдовжки 1 м на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  приведе до його видовження на  $0,000012\text{ м}$ . Тобто внаслідок такого нагрівання довжина стержня стане  $1,000012\text{ м}$ . На перший погляд здається, що таке незначне видовження особливо ні на що не впливає. Та якщо інженери й будівельники не врахують теплового розширення, то будівлі, мости, лінії електропередач, колії залізниці зазнають руйнування (мал. 5.14).



Мал. 5.14. Потрібно враховувати, що тіла розширюються від нагрівання

Можливо, ви спостерігали розтріскування скляної банки, коли в неї наливають оріп. Це зумовлено тим, що стінки посудини досить товсті й прогріваються не одразу по всій товщині. Спочатку — внутрішня частина стінки, яка внаслідок підвищення температури розширюється. Зовнішня частина, яка ще не встигла прогрітись, «протидіє» цьому — скло тріскається. Але на уроках хімії вам, мабуть, уже доводилося спостерігати, як у скляних колбах кип'ятять воду на пальнику.



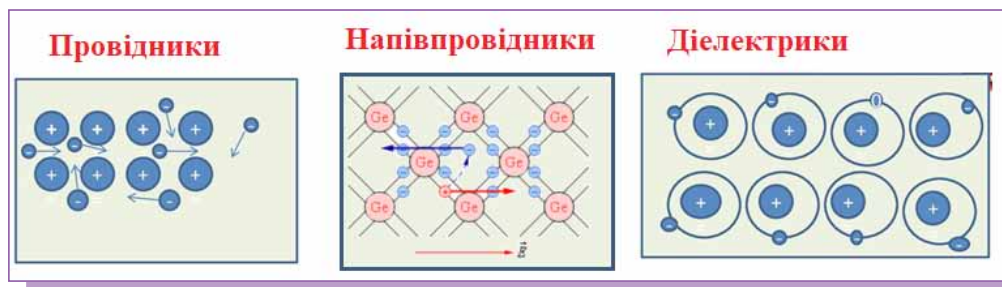
Як ви вважаєте, чому не тріскається хімічна колба? Товсті чи тонкі в неї стінки?

У природі розширення твердих тіл можна побачити на прикладі прогрівання гірських порід. Оскільки ступінь розширення залежить як від температури, так і від виду гірської породи, то розширення й стиснення відбуваються нерівномірно. Це призводить до руйнування гір й утворення тріщин (мал.5.15).



Мал. 5.15. Тріщини в гірських породах

До механічних властивостей твердого тіла належить також його здатність поширювати повздовжні й поперечні механічні хвилі, зокрема звук, що є повздовжньою хвилею. Виявами теплових властивостей тіл є теплопровідність, розширення під час нагрівання, плавлення. Електричні, магнітні та деякі інші властивості твердих тіл зумовлені переважно характером руху валентних електронів їхніх атомів. За електричними властивостями тверді тіла класифікують на *провідники*, *діелектрики* й *напівпровідники* (мал. 5.16).



Мал. 5.16. Щоб бути провідником, потрібно мати вільні електрони

За магнітними властивостями виокремлюють *діамагнетики*, *парамагнетики* та *магнітовпорядковані тверді тіла* (феро-, антиферо- й феромагнетики).

До оптичних властивостей належать *прозорість* (мал. 5.17), *блиск*, *відбивна здатність*, *здатність до поляризації* тощо.



Мал. 5.17. Прозорі, непрозорі й напівпрозорі кристали: кварц (а, б), сфалерит (в), смарагд (г), кальцит (д, е)

У мінералогії використовують запропоновану в 1811 р. натуралістом Ф. Моосом (Карл Фрідріх Крістіан Моос, 1773 – 1839, Німеччина) відносну шкалу твердості, у якій кожний наступний мінерал дряпає попередній. Усі мінерали було поділено в такий спосіб на 10 груп. Далі наведено таблицю 5.2 з найхарактернішими представниками цієї шкали.

Таблиця 5.2. Шкала твердості мінералів

Назва мінералу	Твердість за Моосом	Характеристика твердості
Тальк	1	Легко подряпати нігтем
Гіпс	2	Можна подряпати нігтем
Кальцит	3	Легко подряпати сталевим лезом ножа
Флюорит	4	Важко подряпати сталевим лезом ножа
Апатит	5	Сталеве лезо ножа не залишає подряпин
Ортоклаз	6	Залишає подряпину на склі, сталі
Кварц	7	Легко дряпає сталь, скло
Топаз	8	Дряпає скло, гірський кришталь
Корунд	9	Легко дряпає всі мінерали, окрім алмазу
Алмаз	10	Ріже скло

Використайте знання іноземної мови й порівняйте інформацію, наведену в таблиці 5.2 та на малюнку 5.18. Чи збігається вона?

Мінерали є середовищем, у якому й за рахунок якого розвивається основна маса організмів. Вони споживають хімічні елементи в складі мінералів у процесі або після їхнього руйнування. Тому в доступності хімічних елементів для організмів велике значення має не лише склад мінералів,

а їхня міцність і, особливо, розчинність. Зміну й перетворення гірських порід і мінералів під дією зовнішніх кліматичних чинників та макро- й мікроорганізмів, як ми вже знаємо, називають *вивітрюванням* (див. В.4).

	<b>Diamond</b> Mohs hardness of 10		<b>Garnet</b> Mohs hardness of 6.5-7.5 (Depending on variety.)
	<b>Sapphire</b> Mohs hardness of 9		<b>Tanzanite</b> Mohs hardness 6-7
	<b>Topaz</b> Mohs hardness of 8		<b>Spinel</b> Mohs hardness 5-5.5
	<b>Aquamarine</b> (And others of the Beryl family) Mohs hardness 7.5-8		<b>Apatite</b> Mohs hardness 5
	<b>Tourmaline</b> Mohs hardness 7-7.5		<b>Rhodochrosite</b> Mohs hardness 4
	<b>Quartz family</b> (Citrine, Amethyst, etc.) Mohs hardness of 7		<b>Your fingernail</b> Mohs hardness of about 2.5

Мал. 5.18. Moh's-table-of-precious-gems-hardness

### Цікаві факти про мінерали

#### **Вони не такі вже й нерухомі, якими видаються**

Кожна кристалічна гірська порода складається з тих чи інших мінералів. Дуже часто в них одні мінеральні види заміщують інші. Це означає, що в каменях також постійно відбувається перерозподіл речовини. У геології такі процеси називають вторинними змінами. Вони відбуваються в будь-якому камені, відмінність у тому, що в деяких умовах такі зміни відбуваються дуже незначно та довго, в інших — активно й порівняно швидко. Тобто певною мірою вони подібні до організмів, у яких постійно вмирають одні, а народжуються інші клітини. Так само й у каменях відбувається процес «народження» одних і «смерть» інших мінеральних індивідів, однак значно повільніше.

### Мінерали не вічні

Камінь, як і все на Землі, не вічний, хоча зовні видається таким. Та камінь також зазнає своєрідного «гниття» й «розпаду». У геології цей процес називають *вивітрянням*.

### Вони можуть... текти

Заведено вважати, що плинними є лише рідини й подекуди — газуваті речовини, а камені течуть тільки в розплавленому стані. Та давно доведено, що ця якість властива й твердим мінералам. Наприклад, льоду та кам'яній солі. Особливо помітно це в льодовиках гірських ущелин. З плином часу нижня частина скупчення льоду без будь-якого впливу, окрім сили тяжіння, переміщається схилом долу.

### Деякі з них їдять

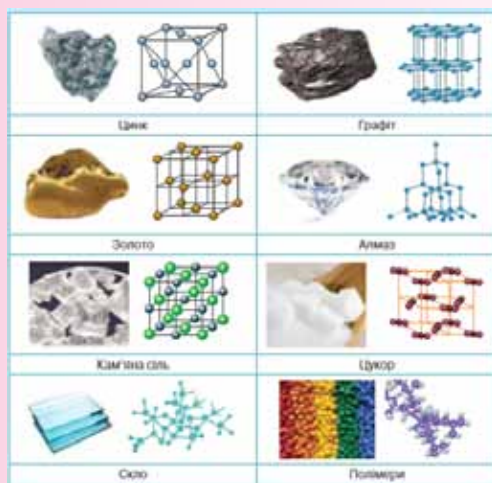
Причому, один з мінералів ми їмо щодня й досить інтенсивно. Це галіт, який у побуті називаємо кухонною сіллю. Деякі інші мінерали придатні не тільки для їжі, їх також використовують у медицині для вживання всередину.

Останнім часом постійно зростає потреба людства в мінералах. Люди навчилися створювати штучні мінерали, які можуть мати природні аналоги чи відрізнятися від природних сполук. Докладніше про штучні мінерали ми поговоримо наступного навчального року, а зараз ви можете самостійно підготувати повідомлення або навчальний проект про штучні кристали.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Схарактеризуйте основні фізичні властивості мінералів.
2. Поясніть, що таке кристалічні ґратки. Назвіть форми мінералів, які трапляються в природі.
3. Назвіть основні типи структурних зв'язків у породотвірних мінералах.
4. Поясніть, за якими ознаками класифікують осадові гірські породи.
5. Розгляньте малюнок 5.19, на якому зображено тверді тіла та схематичні зображення їхньої будови. Запропонуйте ознаки, за якими ви б їх класифікували, та ознаки, за якими ви би скласифікували кристалічні речовини. Визначте, чи є поміж речовин, зображених на малюнку, такі, що не відповідають жодній з класифікацій. Назвіть ці речовини.



Мал. 5.19. Склад і будова деяких речовин



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

6. *Визначте, про який мінерал ідеться, якщо під час пірохімічного аналізу водного розчину мінералу, утвореного двома хімічними елементами, полум'я набуло жовтого кольору, а внаслідок дії на його розчин розчину аргентум(I) нітрату утворився білий сирнистий осад.*
7. *Запропонуйте спосіб ідентифікації мінералу трони.*
8. *Дізнайтеся про походження назв мінералів, наведених у тексті.*
9. *Поміркуйте й зробіть висновок, аморфною чи кристалічною речовиною є бурштин.*



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Дослідження властивостей твердих тіл (мінералів).  
**Робота в групах:** кожна досліджує певні властивості (механічні, теплові, електричні, магнітні, хімічні).
2. Вирощування кристалів у домашніх умовах (мал. 5.20). Приготуйте кухонну сіль, склянку або іншу скляну посудину, нитку, скріпку та олівець. Процес вирощування кристала проходить у кілька етапів. Наповніть склянку холодною водою (краще взяти дистильовану воду) і помістіть у ємність із теплою водою (50–60 °С). Додайте побільше кухонної солі (за приблизними підрахунками, потрібна кухонна сіль масою 195 г або мідний купорос масою 150–200 г та вода об'ємом 0,5 л). Упродовж 5–7 хв сіль має розчинитися. У процесі можна трохи підігрівати воду й додавати ще солі (поміркуйте, для чого). Суміш солі й води ретельно перемішуйте. Щоб домогтися насиченого розчину, добавляйте сіль доти, доки не помітите осад на дні склянки. Це сигнал, що розчин досяг потрібної консистенції (злийте його в іншу ємність, щоби позбутися осаду). Зробіть «затравку». Для цього виберіть великий кристалик солі та покладіть його на дно склянки. Можна закріпити його на нитці в центрі, так щоб кристалик не торкався стінок і дна. Для цього можна прив'язати нитку до олівця й покласти його зверху. Як «затравку» можна використати прив'язану до кінця нитки скріпку (поясніть, чому недоцільно використовувати сталеву скріпку, якщо збираєтеся виростити кристал мідного купоросу). Склянку потрібно зберігати за кімнатної температури. Щоб захистити її від пилу, покладіть зверху серветку. Без потреби склянку краще не переміщати. Процес росту кристала почнеться відразу, а через кілька днів уже стане помітним. Подбайте про збереження готового кристала. Можна покрити його прозорим лаком для нігтів. Це захистить кристал від випаровування води й не дасть йому розсипатися. Можна спробувати виростити кристал не тільки кухонної солі, а й мідного купоросу, цукру та інших речовин.



Мал. 5.20. Вирощуємо кристали

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

- Мінералогія — хімія земної кори.
- Штучні кристали.
- Рідкі кристали.



## В. 6. ГІДРОСФЕРА

Чому ми називаємо Землю блакитною планетою? З космосу вона виглядає як блакитна куля. І це завдяки водній оболонці — гідросфері. Подібної немає в жодній планеті Сонячної системи!!! Води гідросфери постійно взаємодіють з атмосферою, землею корою літосфери та біосферою. Вода — повсюди. Утворившись у глибинах Землі, вода вкрила три чверті земної поверхні. Солона й прісна, прозора й каламутна, рідка, тверда та у вигляді пари — вона в нас і навколо нас. Розгляньмо, що таке гідросфера, з яких частин складається, як впливає на природу нашої планети, як змінює її, як ми, люди, користуємося величезним багатством Землі. Чи дбайливо ставимося до нього? Чи ощадливо витрачаємо?

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

**Знати:** склад гідросфери, складові частини Світового океану та внутрішніх вод материків.

**Називати:** види рухів води у Світовому океані; ресурси Світового океану; особливості вод суходолу.

**Розуміти:** причини й наслідки руху вод Світового океану; значення вод суходолу.

**Показувати на карті:** найбільші водні об'єкти України і світу.

**Порівнювати:** водозабезпеченість України з країнами Європи і світу

## ЗВІДКИ З'ЯВИЛАСЯ ВОДА НА ЗЕМЛІ?

Водяну оболонку Землі називають гідросферою (від давньогрец. υδωρ — вода + Σφαίρα — сфера). Є чимало різних гіпотез щодо походження гідросфери. За однією з них вода у вигляді молекул  $\text{H}_2\text{O}$  містилася в початковому матеріалі первинної газопилової хмари. За іншою — утворилася з первинних водню  $\text{H}_2$  та кисню  $\text{O}_2$  після конденсації газопилової хмари в протопланету. Після підвищення температури та дегазації надр, а також у процесі диференціації речовини відбувалася міграція  $\text{H}_2\text{O}$  або  $\text{H}_2$  і  $\text{O}_2$  з надр Землі до периферії. Вода виділялася на поверхню разом з паром та газами, як це нині відбувається під час виверження вулканів. За іншими гіпотезами, частина води потрапила на Землю з кометами, з якими наша планета неодноразово зіштовхувалась. Існує гіпотеза біохімічного походження води на Землі, згідно з якою вода утворилася вже після утворення Землі як планети. Під дією жорсткого космічного випромінювання з неживої матерії утворилася органічна. Установлено, що під час утворення однієї молекули нуклеїнових кислот утворюється дві молекули води. Більшість учених вважають, що основна маса води на Землі має літосферне походження (під час плавлення граніту масою 1 т виділяється вода об'ємом 18 л). Тобто гідросфера утворилася в результаті розігрівання, плавлення й диференціації первинної речовини Землі.

Гідросфера включає всю воду Землі (у рідкому, твердому й газоподібному стані), що не зв'язана хімічно або фізично з мінералами земної кори й організмами. Це води Світового океану (океани й моря) і суходолу (річки, озера, болота, підземні води, сніговий покрив, льодовики), атмосферна й ґрунтова волога, що можуть рухатися під дією гравітації або внаслідок різниці температур.

## РОЗПОДІЛ ВОДИ НА ЗЕМЛІ

Водою вкрито 71 % поверхні Землі, і якщо її рівномірно розподілити на поверхні земної кулі, то товщина цього шару становила б 3 км. Дізнатися більше про якісний і кількісний склад гідросфери й запаси води, у тому числі й хімічно зв'язаної, ви зможете, проаналізувавши дані, наведені в таблиці 6.1 (зробіть це).

Таблиця 6.1. Розподіл води на Землі<sup>1</sup>  
Вид води, об'єм, км<sup>3</sup>

 <b>Світовий океан</b> , $1,338 \cdot 10^9$	 <b>Підземні льоди зони багаторічної мерзлоти</b> , $3 \cdot 10^5$
 <b>Підземні води (гравітаційні й капілярні)</b> , $2,34 \cdot 10^7$	 <b>Запаси води в озерах</b> , $1,76 \cdot 10^5$

<sup>1</sup> Чеботарев, 1975

	Переважно прісні підземні води, $1,053 \cdot 10^7$		Прісних, $9,1 \cdot 10^4$
	Ґрунтова волога, $1,65 \cdot 10^4$		Солоних, $8,5 \cdot 10^4$
	Льодовики та сталий сніговий покрив (загальна кількість), $2,4 \cdot 10^7$		Вода в болотах, $1,1 \cdot 10^4$
	Антарктида, $2,16 \cdot 10^7$		Вода в руслах річок, $2,12 \cdot 10^3$
	Гренландія, $2,29 \cdot 10^6$		Біологічна вода, $1,12 \cdot 10^3$
	Арктичні острови, $8,35 \cdot 10^4$		Вода в атмосфері, $1,2 \cdot 10^4$
	Гірські райони, $4,06 \cdot 10^4$		Загальні запаси води, $1,386 \cdot 10^9$
			Прісна вода, $3,5 \cdot 10^7$

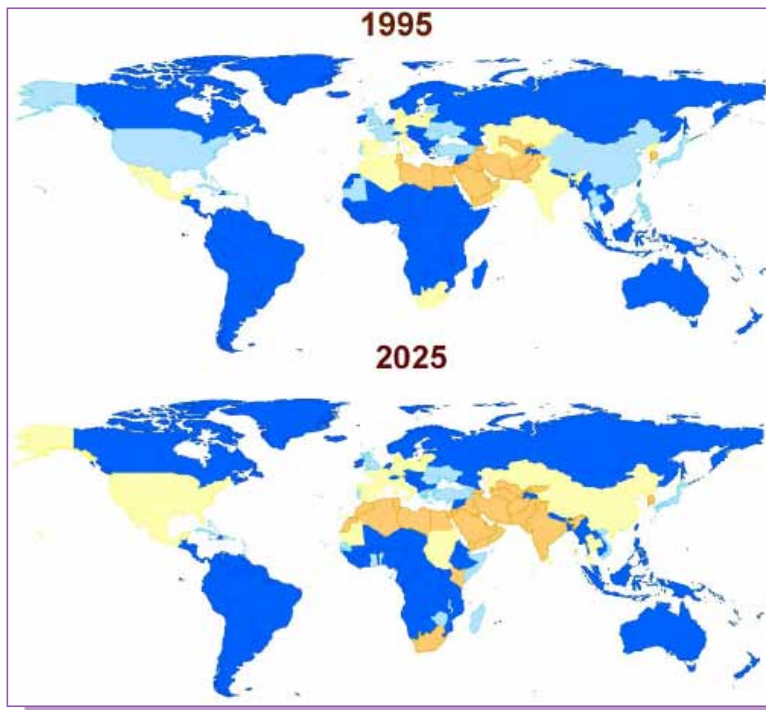
Обчисліть об'ємні частки (%) різних видів води в гідросфері й отримані результати порівняйте з наведеною далі інформацією.

Виконавши завдання, ви пересвідчилися (*чи ні?*), що близько 97,5 % всього об'єму води на Землі припадає на солону, мінералізовану воду. Обсяг прісної води значно менший. Із цієї кількості 68,6 % — перебуває у твердому стані, 31,4 % — розміщено під землею, тож її важко добувати. Доступними для використання є тільки 0,4 % світових запасів прісної води. Найбільшим з ресурсів прісних вод є річковий стік (43,7 тис. км<sup>3</sup> за рік). Переважно саме він забезпечує людство водою. Якби розподілити цю



воду між людьми, то на кожного припало б 24 000 л/добу. Сучасна середня потреба людей у воді становить 3,3 тис. л/добу (5 тис. км<sup>3</sup> за рік). За даними ООН, зі збільшенням населення Землі зросте й потреба у воді до 17 тис. км<sup>3</sup> за рік.

Розподіл прісної води за континентами зображено на малюнку 6.1.



Мал. 6.1. Прісна вода суходолу.

Дефіцит ■ понад 40 %; ■ 40–20 %; ■ 20–10 %; ■ менш ніж 10 %

Схарактеризуйте тенденцію в забезпеченості прісною водою різних континентів.

## ЩО НАЗИВАЮТЬ СВІТОВИМ ОКЕАНОМ

*Світовий океан* — це безперервна (але не суцільна) водна оболонка, що вкриває 70,8 % поверхні Землі. Води Світового океану розподілені нерівномірно на поверхні Землі. Можна розділити земну кулю на дві півкулі: материкову й океанічну (мал. 6.2). І навіть у материковій частка води становить 53 %, а в океанічній — 91 %.



Мал. 6.2. Материкова та океанічна півкулі Землі — це її півкулі, які містять суходіл і океан з найбільшою можливою площею відповідно

Складники Світового океану ви зможете схарактеризувати самостійно за малюнком 6.3 (зробіть це).



Мал. 6.3. Складники Світового океану

Міжнародна гідрографічна організація з 2000 року виокремлює 5 океанів (мал. 6.4), деякі відомості про них наведено в таблиці 6.2.

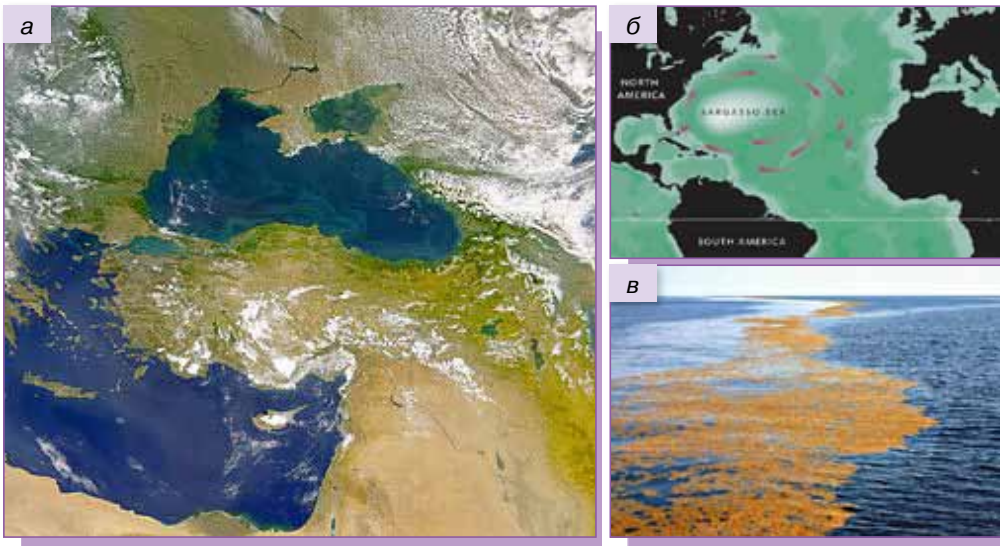


Мал. 6.4. П'ять океанів

## П'ять океанів

Океан	Площа, км <sup>2</sup>	Обсяг, млн км <sup>3</sup>	Глибина, м	
			Середня	Найбільша
Атлантичний	91,66	329,7	3600	8742 (жолоб Пуерто-Ріко)
Індійський	73,56	292,1	3890	7725 (Зондський жолоб)
Північний Льодовитий	14,75	18,1	1225	5527 (у Гренландському морі)
Тихий	169,2	710	4280	11 022 (Маріанський жолоб)
Південний	20,33	723,7	3270	8264 (Південно-Сандвічів жолоб)
<b>Світовий</b>	<b>361,26</b>	<b>1340,74</b>	<b>3711</b>	<b>11 022</b>

Усі вони мають *моря, затоки, протоки*. Море (мал. 6.5) — це частина океану, відокремлена суходолом, підвищеннями підводного рельєфу або островами і яка має своєрідний гідрометеорологічний режим, що відрізняється від океану властивостями та складом води (солоністю, прозорістю, температурою та біологічним складом). Ділянки *акваторії* моря, що вдаються в сушу, утворюють *затоки*, поміж яких розрізняють *бухти, естуарії, фіорди, лагуни, лимани*.

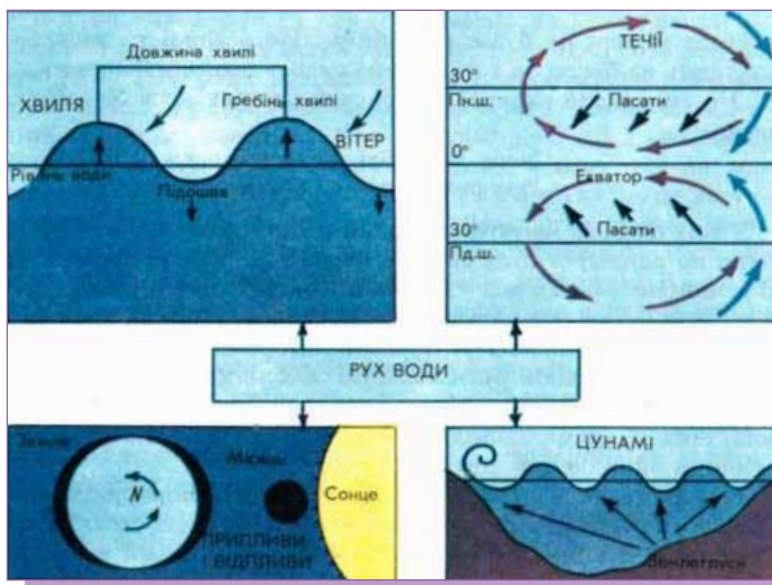


Мал. 6.5. Моря: а — Чорне, Азовське, Середземне, Егейське та Мармурове море з космосу; б — найбільше море у світі — Саргасове — не має берегів

Усього у Світовому океані налічують 63 моря. З них 25 — у Тихому океані, 16 — в Атлантичному, 11 — в Індійському, і 11 — у Північному Льодовитому океані. До того ж, безумовно, не враховано великі озера, у назві яких фігурує слово «море» — Каспійське та Аральське моря, які є залишками стародавнього океану Тетіс, а також значно менші озера — Мертве та Галілейське моря.

## РУХ ВОД СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Вода у Світовому океані ніколи не буває спокійною. Хвилі й течії — основні форми її руху (мал. 6.6).



Мал. 6.6. *Море хвилюється раз...* Рухи води у Світовому океані

Цікаво, що вода у хвилях не переміщується в горизонтальному напрямку, як може видатися на перший погляд. У цьому легко переконатися під час спостереження за поплавком на воді. З наближенням хвилі він піднімається на її гребінь, а потім опускається на її підшву. До того ж поплавок не наближається до берега й не віддаляється від нього. Він тільки гоїдається на хвилях угору-вниз. Це свідчить про те, що вода у хвилях здійснює вертикальні рухи, які створюють хвилі.

Хвилі спричинені вітром, тяжінням Місяця й Сонця, землетрусами, виверженням підводних вулканів, кораблями. Хвилі поділяють на припливні, вітрові, цунамі. Хвилі різні, але мають спільні характеристики: *довжину, амплітуду, період і швидкість*.

*Припливна* хвиля, на відміну від хвильової чи цунамі, має всепланетний характер дії. Величезний водний простір Світового океану то піднімається, то опускається, ніби дихає. Розтягуючи «водну пружину» океанів, Місяць і, меншою мірою, Сонце викликають припливи й відпливи ніби за розкладом — двічі на добу (мал. 6.7).

Хвилі, що утворилися під дією місцевого вітру, називають *вітровими* (мал. 6.8). Вітрові хвилі спостерігають лише у верхньому шарі води глибиною 50–60 м. Розміри хвиль залежать від швидкості й довжини розгону вітру, часу його дії на водну поверхню, розмірів водного простору, охопленого вітром, і глибини водойми. У відкритій частині океанів і морів вони сягають 4 м заввишки, а подекуди й 35 м, завдовжки ж можуть сягати 300 м.



Мал. 6.7. У кількох місцях на Землі місцеві ландшафти і припливи стають причиною феномена — припливної хвилі. Вона формується, коли величезні маси води потрапляють у вузьке русло річки. 9-метрову припливну хвилю на річці Цяньтань у Китаї, яку місцеві жителі називають «Срібним драконом», визнано унікальним природним явищем. Під час припливу вода об'ємом у мільйони кубометрів, оминувши невеликі островці, рухається проти течії цієї річки. Дізнайтеся, у яких ще місцях земної кулі спостерігають подібні явища.

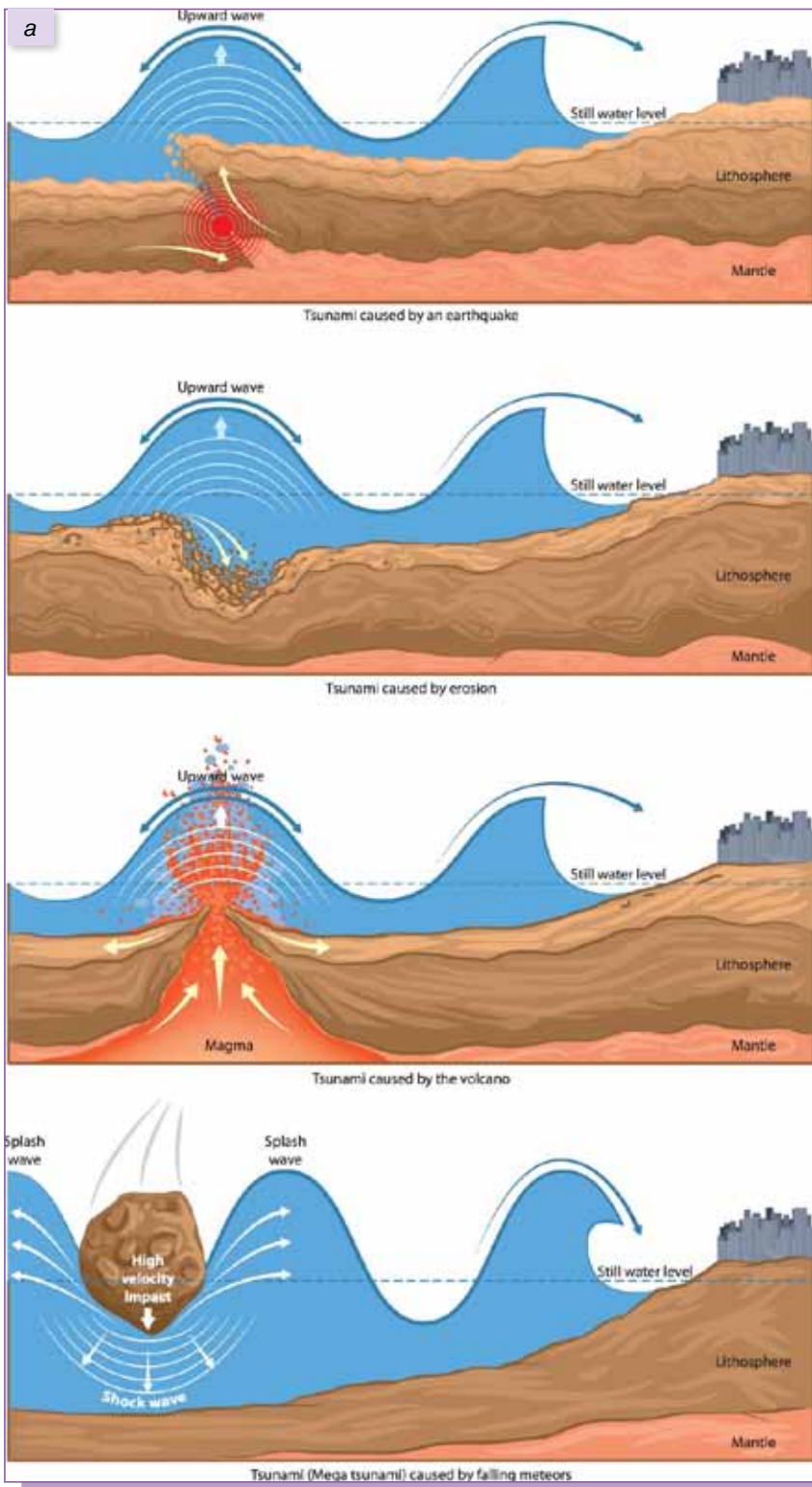
Порівняйте густину повітря та води й поясніть, чому реакція води на вплив вітру дещо «запізнюється», і брижі переходять у хвилі лише через деяку відстань і час за умови постійного впливу вітру.



Мал. 6.8. Вітрові хвилі: а — елементи хвилі; б — *У морі хвиля за хвилею рине, Море наче здіймається вгору, А склепіння небесне синє Край свій ясний купає у морі*<sup>1</sup>. Дізнайтеся про назву й автора картини, зображеної на малюнку 6.8, б.

**Цунамі** (від яп. велика хвиля, що заливає бухту) — хвилі, довжиною понад 500 м, які утворюються в морі чи океані зазвичай унаслідок землетрусів або вивержень вулканів на дні Світового океану (або падіння астероїда тощо) й охоплюють усю товщу води (мал. 6.9).

<sup>1</sup> *Леся Українка. Подорож до моря*

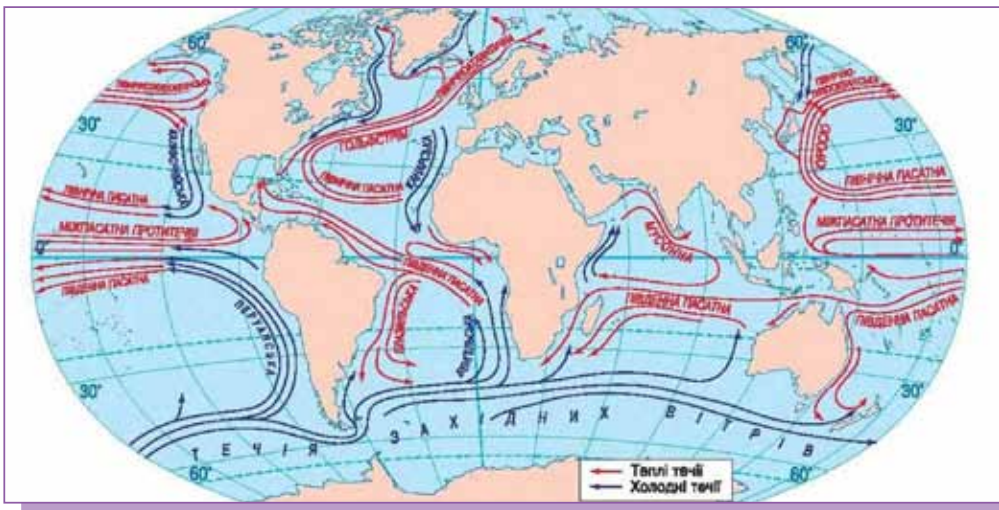




Мал. 6.9. Цунамі: а — причини виникнення; б — Кацусика Хокусай<sup>1</sup>. Велика хвиля в Канагава. Серія «36 видів Фудзі». Кольорова ксилографія, найвідоміша гравюра в Японії й найупізнаваніший твір японського мистецтва у світі

Скористайтеся знанням іноземної мови й за малюнком 6.9, а назвіть причини виникнення цунамі.

Горизонтальні переміщення мас води у вигляді великих потоків, що рухаються постійними шляхами (ніби річки в океані), називають *океанічними течіями*. За походженням розрізняють течії *фрикційні (дрейфові)*, зумовлені дією вітру, *стокові*, що утворюються внаслідок різниці рівня води в різних частинах акваторій, а також *конвекційні* течії, зумовлені нерівномірним розподілом густини морської води через різну температуру і солоність. За фізичними властивостями розрізняють течії *теплі, холодні, нейтральні*, а за глибиною — *поверхневі, глибинні, придонні* (мал. 6.10).



Мал. 6.10. Океанічні течії

<sup>1</sup> Кацусика Хокусай (1760–1849), Японія.

Утворюються течії переважно під впливом постійних вітрів, які змушують водні маси переміщуватися в певному напрямку. Так, одна з найбільших на Землі теплих течій — Гольфстрім — починається біля берегів Центральної Америки в Атлантичному океані, де по обидва боки від екватора дмуть постійні вітри від Африки до Америки, а холодна течія Західних Вітрів збігається за напрямком з постійними західними вітрами.

Океанічні течії перерозподіляють поглинуте сонячне тепло в горизонтальному напрямку та впливають на клімат прибережних районів суходолу. Наприклад, тепла течія Гольфстрім (Північноатлантична) значно впливає на клімат Європи і Північної Америки.

Середня швидкість поверхневих течій коливається в межах 0,1–0,2 м/с, хоча подекуди вона досягає 1 м/с, а рекордсменом є Гольфстрім, швидкість якої на певних ділянках сягає 3 м/с. Уздовж західних берегів материків швидкість течії більша, ніж уздовж східних.

Багатства Світового океану. Звісно, хтось з вас подумав про скарби, що лежать на дні океану в затонулих піратських кораблях. Такі скарби також існують. Але основні багатства Світового океану — це його ресурси: мінеральні, біологічні, енергетичні тощо (мал. 6.11).



Мал. 6.11. Ресурси Світового океану

*Біологічні ресурси* — це риба, молюски (устриці, мідії тощо), ракоподібні (краби, омари, креветки), морські ссавці (кити, моржі, тюлені) і деякі водорості (ламінарія, гелідіум). Найбагатшими з погляду промислового видобування є прибережні (шельфові) зони морів і океанів.

*Мінеральні ресурси* — це ті, що вже видобувають або можуть бути видобуті з води узбережної частини, дна та надр океанів і морів — нафта, газ, сірка, будівельні матеріали, конкреції, що містять гідроксиди Феруму й Мангану, фосфорити тощо. Найважливішою з-поміж них є нафта. Усього у світі відомо понад 400 родовищ нафти й газу, з-поміж них половина



розташована на шельфі й материковому схилі. Обсяг видобутку морської нафти зростає дуже швидко. За прогнозами, у майбутньому морські свердловини даватимуть третину всієї нафти. Деякі мінеральні ресурси океану вже використовують, а інші почнуть використовувати тоді, коли будуть вичерпані подібні джерела сировини на суші. До мінеральних ресурсів Світового океану належать також ресурси, які містяться в морській воді. З морської води видобувають багато кухонної солі (1/3 обсягу солі, споживаної людьми), сполук Магнію, Броду, Калію. Та найунікальнішим і найціннішим рідким мінералом є сама вода. У Світовому океані міститься основна частина водних ресурсів Землі. У багатьох країнах (Кувейт, Казахстан, Японія, Туркменістан, Азербайджан) опріснюють морську воду. У майбутньому води Світового океану стануть головним джерелом води для потреб людини.

*Енергетичні ресурси* Світового океану — це енергія припливів і відпливів, океанічних течій, морського прибою, різниці температур поверхневих і глибинних вод. Поміж енергетичних ресурсів найбільше використовують енергію припливів і відпливів.

Океанічні й морські узбережжя багатьох країн широко використовують як *рекреаційні* ресурси — сукупність природних, природно-технічних, соціально-економічних комплексів та їхніх елементів, які сприяють відновленню та розвитку фізичних і духовних сил людини, її працездатності (мал. 6.12).



Мал. 6.12. Океан — джерело рекреації (від лат. *recreatio* — відновлення сил)

*Судноплавство. Морські канали.* З кожним роком морями й океанами перевозять щоразу більше й більше різноманітних вантажів. Значущими для судноплавства є Суецький і Панамський канали. Перший побудовано в 1869 р., він дав змогу скоротити шлях з Європи в Азію втричі й уможливив вихід із Середземного моря в Індійський океан. Панамський канал відкрито для судноплавства в 1914 р., завдяки цьому в 2,5 разу скорочено шлях між східним і західним узбережжям Північної Америки.

Від епохи Великих географічних відкриттів першість у світовому судноплаванні належить Атлантичному океану. Тепер судноплавними трасами, прокладеними акваторією цього океану, понад 70 країн здійснюють 2/3 усіх морських вантажних перевезень. У басейні цього океану розташовано 2/3 усіх морських портів світу, найбільший з-поміж них — Роттердам.

Друге місце за розмірами морських перевезень посідає Тихий океан, третє — Індійський. Найпотужніші вантажні потоки сформовано на тихоокеанському узбережжі Японії, США, Австралії, а на узбережжі Індійського океану — у Персидській затоці.

Море не залишає байдужою будь-яку людину. Йому присвячено художні, літературні й мистецькі твори. З морем пов'язані легенди й приємні спогади (мал. 6.13).



Мал. 6.13. У моря іноді хороший характер, іноді поганий, і неможливо зрозуміти чому. Адже ми бачимо тільки поверхню води. Та якщо любиш море, це не має значення. Тоді приймаєш і погане, і хороше. *Туве Янссон*<sup>1</sup>. «Мумі-тато й море». З'ясуйте назви цих картин та ім'я їхнього автора.

## ВОДИ СУХОДОЛУ

На суходолі вода є майже скрізь: під землею, високо в горах, у пустелях і на рівнинах. Вона сконцентрована в річках, озерах, болотах, льодовиках, підземних водах та штучно створених людиною водоймах. Не всі води суходолу прісні, є солоні озера й джерела.

*Річки* — важливе джерело прісних вод суходолу. Річки різняться за розмірами, глибиною, швидкістю течії. Більшість з них — це середні, малі й зовсім малі річки. Великих річок довжиною понад 1000 км усього понад п'ятдесят. Загальна протяжність їхніх русел становить 180 тис. км, а площа водозбору охоплює майже половину суходолу. Річки течуть у тектонічних пониженнях рельєфу, формуючи *річкові долини*. Вони можуть змінювати напрямок течії, утворивши нові русла.

*Річка* — природний водний потік, що тече в зробленому ним поглибленні — постійному природному руслі — та поповнюється завдяки поверхневому й підземному стокам з його басейну.

Топ-10 найбільших річок у світі за версією Вікіпедії (мал. 6.14).

<sup>1</sup> Туве Маріка Янссон (1914–2001), Фінляндія.

Річка Ніл (з Кагерою).  
Довжина — 6671 км,  
розташування — Африка



Річка Амазонка (від витоку р. Мараньйон).  
Довжина — 6400 км, розташування —  
Південна Америка. Найбільша річка у світі



Річка Міссісіпі (Міссурі).  
Довжина — 6420 км, розташування —  
Північна Америка (США)



Річка Янцзи.  
Довжина — 5800 км.  
Розташування — Азія (Китай)



Річка Об (з Іртишем). Довжина — 5410 км,  
розташування — Азія (Росія, Казахстан)



Річка Хуанхе. Довжина — 4845 км,  
розташування — Азія (Китай)



Річка Міссурі. Довжина — 4740 км,  
розташування — Північна Америка (США)



Річка Меконг. Довжина — 4500 км,  
розташування — Азія



Річка Амур (з Аргунью).  
Довжина — 4440 км, розташування —  
Азія (Росія, Китай)



Річка Лена.  
Довжина — 4400 км,  
розташування — Азія (Росія)



Мал. 6.14. Найбільші річки світу

Дніпро — найбільша річка України. Її довжина — 2201 км, площа — 504 тис. км<sup>2</sup>. Річка перетинає території 3-х держав — Росії (протяжність 485 км), України (близько 115 км) та Білорусі (близько 595 км).



Мал. 6.15. Реве та стогне Дніпр широкий.  
Тарас Шевченко<sup>1</sup>. «Причинна»

Річка має *витік* — місце, звідки вона починається, і *гирло* — місце безпосереднього її впадання у водойму, яка її приймає (озеро, море, річка). Гирло може розгалужуватися, утворюючи *дельту* річки. Річка, що впадає в океан, утворює *естуарій* — великий простір змішування річкової й морської води. Ділянку суходолу, якою тече річка, називають *руслом*. Головна річка та її притоки утворюють *річкову систему*.

Важливою характеристикою річки є її *падіння* — різниця між висотою витоку та гирла річки. Відношення величини падіння до довжини річки — це її *похил*. Падіння й похил річки визначають і на окремих її ділянках, зокрема, під час проектування й будівництва гідротехнічних споруд, мостів тощо. Залежно від того, гірська річка чи рівнинна, її падіння, похил, швидкість течії та розмивна сила будуть різними. На рівнинах річки мають незначні похили й тому течуть повільно, на відміну від гірських річок, де похил може бути значним і тому їхня течія досить стрімка, наприклад, похил річки Чорний Черемош становить 14 м на 1 км.

<sup>1</sup> Тарас Григорович Шевченко (1814–1861), Україна.

Об'єм води, що протікає через поперечний (живий) переріз річки за певний час, називають *витратами річки*. Вони залежать від клімату й пов'язані з переважаючим типом живлення річки. Витрати річки неоднакові протягом року, максимум спостерігають під час повені або паводка. Так, у помірних широтах найбільшими витрати води бувають навесні, коли тануть сніги та крига (снігове живлення). В областях з мусонним типом клімату паводки пов'язані з літніми дощами (дощове живлення), гірські річки переповнені водою під час танення льодовиків улітку (льодовикове живлення).

Під час руху на поверхні Землі вода виконує роботу: як будівельну, так і руйнівну. Руйнівну роботу називають *річковою ерозією*, а будівельну — *аккумуляцією*. Їх об'єднує транспортування відокремленого потоком матеріалу. Процес руйнування, перенесення й відкладання твердого матеріалу триває безперервно впродовж мільйонів років. Річкова вода переносить незначну кількість наносів масою (у середньому)  $0,6 \text{ г/л}$ . Та за рік річка виносить в океан тверді речовини масою  $1,8 \cdot 10^{16} \text{ г}$  і розчинені масою близько  $3 \cdot 10^{15} \text{ г}$ . Увесь твердий матеріал, який переносить річка, називають *твердим стоком*. Найбільший цей показник у таких річок: Хуанхе, Ганг, Брахмапутра, Янцзи, Інд, Іраваді, Меконг, Міссісіпі та Амазонка.

Унаслідок роботи річок змінюються річкові долини. Вода розмиває гірські породи й поглиблює русло. Гірські річки утворюють вузькі та глибокі долини — *каньйони, ущелини, тіснини*. На рівнинах, де річки течуть повільно, вони переважно розмивають береги. Долини річок стають ширшими, а береги — пологими.

*Повінь* — збільшення обсягу води в річці й значне піднесення її рівня, щорічно повторюване в певну пору року. Повені супроводжують людство з найдавніших часів. До наших днів дійшли відомості про катастрофічні розливи Хуанхе в 2297 році до н. е. та Ніла приблизно 3 тис. років тому. Та якщо раніше ці стихійні лиха були рідкісними, то нині частота та обсяги завданої ними шкоди стрімко зростають. За кількістю повеней перше місце посідає Азія, а з усіх країн світу найбільше потерпає від повеней Бангладеш, де рівнинні території, затоплені Гангом, Брахмапутрою, Меконгом і невеликими річками, становлять майже  $2/3$  усієї площі країни.

*Озера*. Озером називають будь-яке велике за площею замкнуте природне заглиблення на поверхні Землі, заповнене водою. За способом утворення озерні улоговини поділяють на кілька типів: *загатні, залишкові, тектонічні, вулканічні, льодовикові, карстові, лиманні, озера-стариці*. Загатні озера утворилися в результаті перегородження русла річки, обвалу або осипання гірських порід у долину річки (Сарезьке). Залишкові озера є залишками давніх морів і океанів (Каспійське, Аральське). Улоговини тектонічних озер виникли в результаті горотвірних процесів (Танганьїка, Байкал, Тітікака). Улоговини вулканічних озер розташовані в кратерах згаслих вулканів. У заплавах річок часто трапляються озера-стариці — залишки колишніх річкових русел. Льодовикові озера утворилися на місці западин, де лежали льодовики (Великі Озера).



Мал. 6.16. Хіт-парад найбільших озер у світі: *а* — найбільше за площею — Каспійське. Через свої величезні розміри воно набуло статусу моря; *б* — Найглибше чисте озеро на планеті — Байкал. Його довжина становить 620 км, а ширина — 31–75 км; *в* — найбільше за розмірами прісноводне озеро Верхнє, яке є найглибшим, найбільшим і найхолоднішим у системі Великих Озер

За концентрацією розчинених речовин озера поділяють на прісні (солоність менше 1 %), солоні (солоність 1–47 %), мінеральні (солоність понад 47 %). Якщо з озера витікає річка, то таке озеро називають *стічним*. У посушливих районах трапляються озера, з яких річки не витікають, тому їх називають *безстічними* (Велике Солоне озеро). У таких озерах вода зазвичай солона.

Під дією вітру в озерах формуються поверхневі течії, відбувається підняття глибинних вод і природна циркуляція. В озерній воді розчинені різні гази, насамперед кисень, азот, вуглекислий газ, а також є сірководень, метан тощо. Озера зникають досить швидко, протягом десятків років. Цей процес відбувається внаслідок заповнення озера наносами, накопичення солей, що випали в осад, заростання його рослинністю. Іноді озера зникають миттєво, під час катастрофічних стихійних явищ.

*Болота.* Це області суходолу, для яких характерні надлишкове зволоження, застійний або слабопроточний режим вод і гідрофітна рослинність. Вони охоплюють близько 2 % поверхні суходолу. Обсяг болотних вод світу вп'ятеро перевищує разовий об'єм води в річках. Виникнення боліт пов'язане як з кліматичними умовами (надлишок вологи), так і з геологічною будовою території (близькість водотривкого горизонту), що сприяють заболочуванню суходолу або заростанню водойм (мал. 6.17).



Мал. 6.17. Незвично захоплюватися красою боліт, та краєвиди деяких дійсно зачаровують: *а* — Велике Васюганське болото (Росія) — найбільше у світі, що за площею на 20 % більше, ніж територія Швейцарії; *б* — Сомино — ділянка перехідних боліт масиву Кремінне в Рівненській області (Україна)

За характером живлення болота бувають *низинні, верхові та перехідні*. Низинні живляться переважно ґрунтовими водами; для них характерна увігнута поверхня. Верхові болота зазвичай опуклі; їхнє основне живлення — атмосферні опади. У деяких районах помірних і субполярних широт роль водотривкого шару виконує вічна мерзлота.

*Підземні води* утворюються в порах, пустотах і тріщинах гірських порід у верхній частині земної кори, здебільшого завдяки просочуванню вглиб земної поверхні дощових і талих вод. Вода легко просочується крізь товщі піску, гравію, гальки. Пласти, які складаються із цих порід, називають *водопроникними*. Пласти гірських порід, які не пропускають воду, називають *водотривкими*; вони складаються з глини, граніту, пісковика, глинистого сланцю. Оскільки верхня частина земної кори має шарувату будову й шари можуть складатися як з водотривких, так і з водопроникних порід, то підземні води залягають шарами. Гірські породи, що містять воду, називають *водоносними*. Підземні води, які містяться у водоносному шарі, що залягає на першому водотривкому шарі, називають *ґрунтовими водами*. А підземні води, розміщені між двома водотривкими шарами, — *міжпластовими водами*.

Місце виходу ґрунтової води на поверхню називають *ключем*, або *джерелом*. Коли водоносний шар розташований між двома водотривкими і ці пласти вигнуті у формі чаші, вода в нижній частині вигину пластів перебуває під напором. Якщо пробурити в цьому місці свердловину, вода фонтануватиме. Такі виходи підземної води називають *артезіанськими колодзями* (мал. 6.18). Якщо підземні води мають певні фізико-хімічні властивості, які дають змогу використовувати їх для лікувальних потреб, то їх називають *мінеральними*.



Мал. 6.18: а — артезіанська вода; б — мінеральна вода

Мінеральні води, поширені на території нашої країни, дуже різні за якістю. Тісний зв'язок між хімічним складом води, складом порід і гідрологічними умовами дає змогу класифікувати їх. Найвідоміші типи мінеральних вод — вуглекислі, сірководневі, радонові тощо. Вуглекислі мінеральні води постійно виділяють карбон(IV) оксид. В Україні такі води поширені переважно в Карпатах і Криму, найвідоміші — «Поляна Ква-

сова» і «Свалява». До сірководневих мінеральних вод належать води, до складу яких входить розчинений у них гідроген сульфід у кількості, не меншій 0,01 г/л. На території України сірководневі мінеральні води виявлені у Львівській (у м. Немирові і селах Шкло та Любінь Великий) та Тернопільській (у селах Настасів, Конопківка та ін.) областях, вивчені і давно використовувані. Сірководневі джерела знайдено також у Криму поблизу Феодосії, Ялти, Алушти, Сімферополя. Радонові мінеральні води здебільшого пов'язані з кислими кристалічними породами або продуктами їхнього руйнування та широко відомі на території Українського кристалічного масиву в містах Хмельнику, Житомирі, Білій Церкві, Миронівці, Знам'янці, у Приазов'ї та в інших місцях. Унікальною та широковідомою є вода «Нафтуса», яка має специфічний присмак і запах нафти. Її мінералізація становить менше 1 г/л. У цій воді виявлено органічні речовини типу фенолів, відзначено слабку радіоактивність. Поширена вода в м. Трускавці та його околицях, її застосовують для лікування нирок, печінки, сечовивідних шляхів.

*Термальні води* — теплі з температурою понад 20 °С — залягають у районах вулканізму, тобто в районі Вулканічного хребта в Українських Карпатах (у Закарпатській області). У світі їх широко використовують з лікувальною метою, зокрема в Україні (мал. 6.19) термальні води виявлені поблизу міста Берегово (Закарпаття).

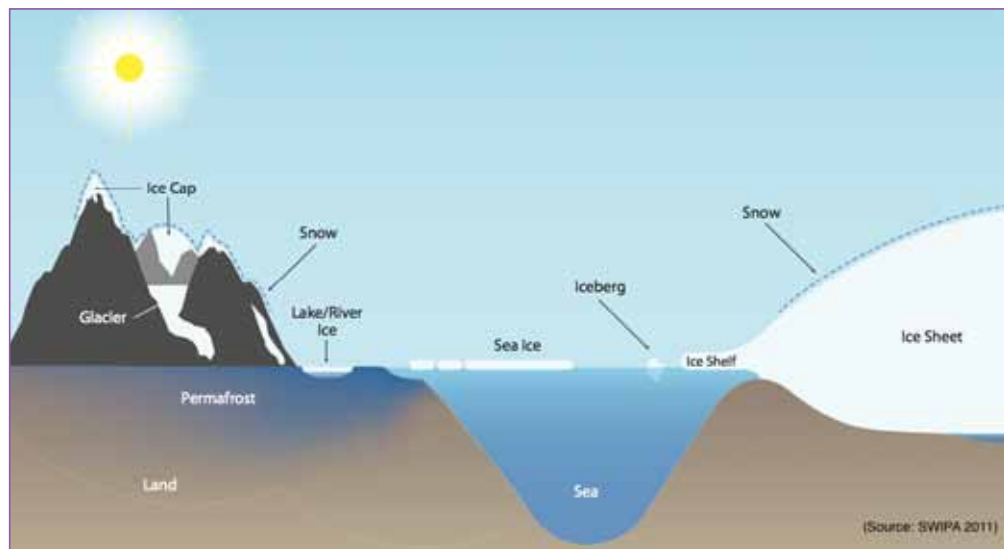


Мал. 6.19. Серед мальовничих вулканічних гір на околиці с. Велятино (Закарпатська обл. Хустський р-н) розташований відпочинковий комплекс «Теплі води» з 10 термальними басейнами



## КРІОСФЕРА

Воду, що перебуває у твердому стані (у вигляді льодовиків, снігового покриву й у вічній мерзлоті), називають *кріосферою* (мал. 6.20).



Мал. 6.20. Кріосфера

*Льодовики* — це рухомі природні скупчення льоду на земній поверхні. Вони утворюються з твердих атмосферних опадів там, де їхня кількість перевищує випаровування й танення.

Температура замерзання солоної океанічної води на  $1-2^{\circ}\text{C}$  нижча, ніж прісної. Води світового океану вкриті льодом тільки в районах полюсів. Океанічний лід може бути нерухомим (зв'язаним із суходолом) або рухомих (дрейфує в Північному Льодовитому океані). Трапляється також лід, що відколовся від льодового покриву суходолу. Це характерно для полярних островів і льодяного материка — Антарктиди. Айсберги (з нім. *Eisberg* — льодяна гора), що утворилися в Антарктиді, досягають іноді 150 км у довжину. Зазвичай основна частина айсберга перебуває під водою. Над її поверхнею височіє лише його частина — 70–100 м заввишки. Течії переміщують айсберги водами океанів, де вони поступово тануть.

У льодовиках сконцентровано 69 % усіх запасів прісної води на Землі. Вони охоплюють майже 11 % суходолу. Чи може людина використовувати льодовики для поповнення запасів прісної води? Використання льодовиків — складне науково-технічне завдання. Транспортування айсбергів до посушливих територій — один з можливих способів використання запасів льодовикової прісної води. Інший спосіб — штучно створити такі умови, які сприятимуть швидкому таненню льодовиків на Землі. Проте підняття води у Світовому океані знищить приморські міста й великі родючі низовини; змінить клімат Землі.

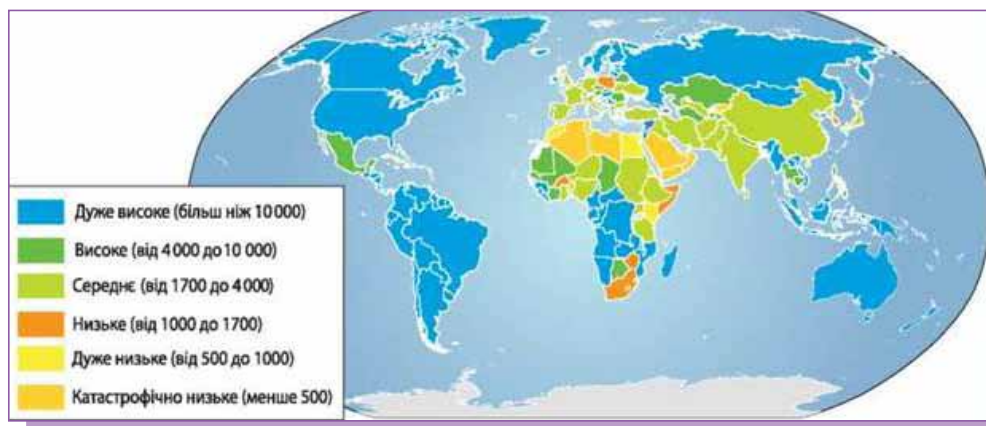
## БЕРЕЖІТЬ ВОДУ

Гідросфера єдина. Її єдність зумовлена спільністю походження всіх природних вод з мантії Землі, їхнім розвитком, у просторовій безперервності, взаємозв'язком усіх природних вод у системі Світового колообігу води.

Вода виконує дуже важливі екологічні функції:

- 1) це головний складник усіх організмів;
- 2) основний механізм здійснення взаємозв'язків усіх процесів в екосистемах;
- 3) головний агент-переносник глобальних біоенергетичних екологічних циклів;
- 4) основний кліматотвірний чинник;
- 5) головний акумулятор сонячної енергії та «кухня» погоди для всієї планети;
- 6) один з найважливіших видів мінеральної сировини;
- 7) головний природний ресурс споживання людства.

Світовий водогосподарчий баланс показав, що на всі види водокористування людство витрачає 2200 км<sup>3</sup> води на рік. Воду використовують для задоволення потреб населення, промисловості, сільського господарства, транспорту й інших галузей господарства. Хоча вода займає більшу частину земної поверхні, 97,5 % — це солоня вода й лише 2,5 % — прісна, використовувана на потреби людства. У багатьох місцях планети гостро відчутна її нестача (мал. 6.21).



Мал. 6.21. Споживання прісної води (м<sup>3</sup>/рік на душу населення)

Найбільші ресурси прісної води в Азії, а найменші — в Австралії та Океанії (табл. 6.3), тоді як за питомою забезпеченістю навпаки. Звісно, річ у чисельності населення, яке в Азії вже перетнуло межу 3,7 млрд осіб, а в Австралії ледь перевищує 30 млн. Якщо не враховувати Австралію, то найзабезпеченішим прісною водою регіоном світу є Південна Америка. І не випадково, адже саме тут розташована Амазонка — найповноводніша річка світу.

За принципом «най-най» у таблиці 6.3 показано регіони, які належать до категорії найбагатших і найбідніших на прісну воду.

Таблиця 6.3

**Розподіл світових природних ресурсів прісної води за великими регіонами**

Світ, регіони	Ресурси, тис. км <sup>3</sup>	На душу населення, м <sup>3</sup>
Увесь світ	41,0	7,2
Європа	6,2	8,6
Азія	13,2	3,8
Африка	4,0	5,5
Північна Америка	6,4	15,4
Південна Америка	9,6	29,8
Австралія та Океанія	1,6	56,5

Ще більше різняться запасами й забезпеченістю прісною водою певні країни. Лідерами за ресурсами прісних вод є Бразилія, Росія, Канада, Китай, Індонезія, США, Бангладеш, Індія, Венесуела та М'янма. За запасами прісної води на душу населення лідирує Канада, Венесуела і Бразилія. У таблиці 6.3 ранжир ресурсів не збігається з ранжиrom питомої забезпеченості.

Спробуйте пояснити на прикладах такі розбіжності: у Китаї та Індії — велика кількість населення, отже, — низька забезпеченість на душу населення. Але у світі є й ще менш забезпечені прісною водою країни, де на душу населення припадає менше 1 тис. м<sup>3</sup> води (таку кількість, яку житель великого європейського або американського міста споживає приблизно за дві доби). Найяскравішими прикладами є місцевості в присахарській частині Африки (Алжир — 520 м<sup>3</sup>, Туніс — 440 м<sup>3</sup>, Лівія — 110 м<sup>3</sup>) і в районі Аравійського півострова (Саудівська Аравія — 250 м<sup>3</sup>, Кувейт — 100 м<sup>3</sup>).

Різке зростання населення у світі призвело до гострої проблеми — *нестачі прісної води*. У середньому міський мешканець за добу витрачає 200 л води на побутові потреби без урахування інших потреб. Споживання прісної води у світі зростає у 2,5 рази швидше, ніж чисельність населення. Очікується, що до 2025 р. потреби у водних ресурсах для виробництва продовольчої продукції зростуть на 17 %, а загальне водоспоживання збільшиться на 40 %. Зі зростанням попиту на воду виникає ціла низка екологічних проблем, що стосуються річок, озер, підземних вод і водоносних шарів.

Основні джерела прісної питної чистої води — річки, прісноводні озера, підземні води — поширені на континентах украй нерівномірно. У Європі й Азії, де проживає 70 % населення, зосереджено лише 39 % світових

запасів річкових вод. У Європі, де мешкає майже 20 % населення планети, запаси прісної води становлять лише 7 % усіх запасів світових вод.

Причини нестачі води у світі такі:

- інтенсивне збільшення потреб у воді у зв'язку зі зростанням чисельності населення планети й розвитком галузей господарської діяльності, що потребують величезних витрат водних ресурсів;
- утрати прісної води внаслідок скорочення водоносності річок;
- забруднення водойм стічними водами.

Поряд із проблемою дефіциту прісної води у світі гостро постає проблема чистої прісної води. Є відомості про те, що 1,5 млрд людей не мають доступу до чистої води. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, майже 3 млрд жителів планети користуються неякісною питною водою, 60 % захворювань у світі спричинено недоброякісною водою. Вода та здоров'я тісно пов'язані між собою.

В Україні велику частину води беруть з поверхневих вод природних водойм. Вони відкриті й значною мірою схильні до забруднення. Забруднення поверхневих вод впливає на якість і чистоту підземних вод, питної води.

Уже сьогодні майже 500 млн людей у 30 країнах світу потерпають від нестачі та незадовільної якості прісної води. За прогнозами експертів, до 2050 р. кількість людей збільшиться до 2,5 млрд. Із цієї причини близько 25 % населення світу щорічно ризикують занедужати, близько 4 млн дітей і 18 млн. дорослих помирають. Крім того, вода є безцінною сировиною, яку неможливо нічим замінити.

Протягом останніх років за приблизними підрахунками потреба у воді зросла вдесятеро. Сучасне місто використовує (з розрахунку на одну людину) воду об'ємом 300–500 л/добу, що значною мірою перевищує мінімальну потребу у воді однієї людини (25 л/добу).

На території України нараховують близько 73 тис. річок, переважно невеликих, лише 125 з них мають довжину понад 100 км. На кожний квадратний кілометр території України припадає 250 м річок. Водозабезпеченість України ресурсами місцевого стоку з розрахунку на одну людину становить 1000 м<sup>3</sup> на рік, причому у Південно-Західному економічному районі вона майже всемеро вища, ніж у Південному, й утричі вища, ніж у Донецько-Придністровському. Головним водним джерелом України є Дніпро. Водні ресурси його басейну становлять 80 % усіх водних ресурсів України. Для регулювання річкового стоку в часі й просторі в басейні Дніпра створено штучні водойми — шість великих водосховищ з загальним об'ємом води 44 км<sup>3</sup>. Об'єм підземних вод в українській частині басейну становить 12,8 км<sup>3</sup>/рік (35 млн м<sup>3</sup>/добу). Експлуатаційні запаси підземних вод (тобто розвіданих і затверджених до використання) становлять лише 2,6 км<sup>3</sup>/рік.

Обмежені й навіть мізерні в багатьох країнах запаси прісних вод значно скорочуються через забруднення (мал. 6.22). Зазвичай забруднювальні речовини поділяють на кілька класів залежно від їхньої природи, хімічної будови й походження:

- фізичне забруднення — пісок, мул, глина — наслідки ерозії, пил, радіоактивні домішки, частинки золи від ТЕС;
- теплове — спуск у водойми води з теплових й атомних електростанцій;
- біологічне — мікроорганізми, віруси, бактерії, гриби, найпростіші, черви. Промислові джерела біологічного забруднення — м'ясокомбінати, цукрові та маслозаводи;
- хімічне — кислоти, солі, луги;
- органічне — нафта й нафтопродукти, відходи тваринництва;
- поверхневе — активні речовини — мийні засоби, пестициди.

Найбільшими забруднювачами вод України є (% від усього обсягу зливу в ріки) є:

- електроенергетика — 43 %;
- комунальне господарство — 19,5 %;
- сільське господарство — 16,6 %;
- чорна металургія — 9 %;
- хімія і нафтохімія — 3 %;
- інші — 8,9 %.

Людству доведеться змінити стратегію водокористування. Необхідність змушує ізолювати антропогенний водяний цикл від природного. Практично це означає перехід на замкнутий цикл водопостачання, на маловодні чи маловідходні, а потім й на «сухі» чи безвідходні технології, що призведе до різкого зменшення обсягів споживання води й очищених стічних вод.



Мал. 6.22. Березить воду

З метою охорони Світового океану прийнято низку багатосторонніх і регіональних угод.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. *Схарактеризуйте:* а) гіпотези походження гідросфери; б) основну причину формування океанічних течій; в) причини утворення хвиль; г) основні джерела живлення рівнинних і гірських річок; д) кліматичні та фізико-географічні чинники, які впливають на стік річки; е) чинники, що впливають на рівень ґрунтових вод; є) значення водної оболонки Землі.
2. *Нанесіть* на контурну карту найбільші течії світового океану.
3. *Складіть:* а) перелік Міжнародних угод щодо використання світового океану; б) простих щоденних дій, які дадуть змогу ощадливо використовувати прісну воду.
4. *Поясніть:* а) яку роль виконують болота на Землі; б) цитату з повісті Ернеста Хемінґвея<sup>1</sup> «Старий і море»: «Місяць хвилює море, як жінку»; в) про який ресурс Світового океану йдеться в повісті Олександра Барченка<sup>2</sup> «Океан-годувальник»; г) суть прислів'я «Не плюй у криницю, бо доведеться з неї ще води напиться»; д) суть застереження Тура Хейєрдала<sup>3</sup>: «Мертвий океан — мертва планета».
5. *Проаналізуйте* уривок доповіді ООН про проблеми нестачі питної води: «До середини XXI ст. питної води не вистачить 7 млрд людей і вже понад 5 років 2 млрд людей на планеті потерпають від її нестачі». *Запропонуйте* кілька альтернативних варіантів розв'язання цієї проблеми.
6. *Проаналізуйте* наведену на етикетках інформацію щодо хімічного складу мінеральних вод України. *Назвіть* катіони та аніони, неорганічні й органічні речовини, що є їхніми складниками.
7. *Запропонуйте* способи опріснення води в походних умовах.



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Визначення географічного розташування найбільших морів, заток, проток, річок, водоспадів, озер світу.

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Великі морські відкриття.
- Моря й океани в художніх і літературних творах.
- Країни — лідери за ресурсами прісних вод.
- Унікальні водойми планети.

<sup>1</sup> Ернест Міллер Хемінґвей, (1899–1961), США.

<sup>2</sup> Барченко Олександр Васильович, (1881–1938), Росія.

<sup>3</sup> Тур Хейєрдал, (1914–2002), Норвегія, Італія.

# ЗЕМЛЯ



## В. 7. УНІКАЛЬНА РІДИНА

Чи знаєте ви, що ваше тіло складається з води на 50–70 %. Вода — основа життя, найцінніший мінерал на Землі.

Ця рідина унікальна за своєю структурою й властивостями: прозора, без запаху, смаку й кольору; добрий розчинник, здатна окиснювати майже всі метали й руйнувати тверді гірські породи, поглинати велику кількість теплоти й до того ж майже не нагріватися, передавати тиск, підніматися в капілярах тощо.

«Як трапилося, що вода настільки потрібна, що без неї неможливо жити, та цінують її настільки низько, тоді як алмази, що не приносять жодної користі, цінують так високо?»

*Адам Сміт*

«Ми пізнаємо цінність води лише коли колодязь пересихає».

*Бенджамін Франклін*

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

**Знати:** склад і властивості води; способи її очищення;

**Розуміти:** роль води як універсального розчинника та реагента;

**Пояснювати:** явища осмосу, поверхневого натягу, капілярні явища.

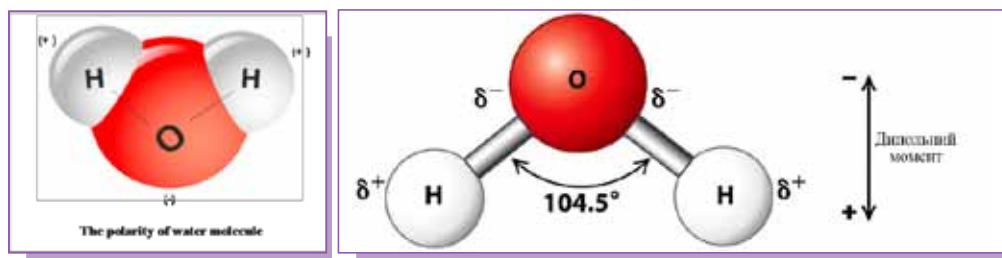
**Спостерігати:** прояви поверхневого натягу й капілярних явищ.

**Усвідомлювати:** наслідки впливу гідростатичного тиску на живі організми; вплив якості води на здоров'я людини, цінність води для людини й довкілля

## СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛИ ВОДИ

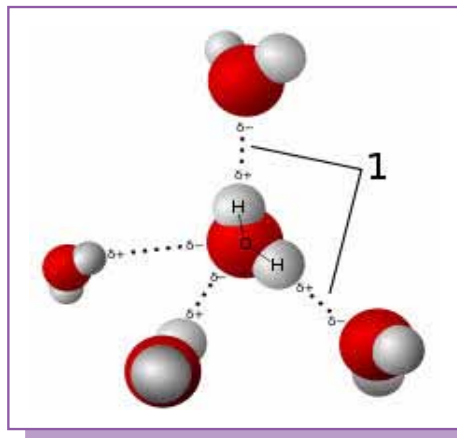
Вода  $\text{H}_2\text{O}$  — бінарна неорганічна сполука, молекула якої складається з двох атомів Гідрогену та атома Оксигену, сполучених між собою ковалентним зв'язком (*поясніть, полярним чи неполярним він є*). Будова молекули води кутова (мал. 7.1). Таке розташування зумовлює виникнення в молекулі води дипольного моменту, зумовлює її здатність розчиняти багато які з речовин. У природних умовах у воді завжди є розчинені солі, гази.

Запропонуйте кілька способів експериментального доведення того, що в джерельній, річковій або морській воді є розчинені солі та гази.



Мал. 7.1. Будова молекули води

Молекули води полярні, тому між ними утворюються водневі зв'язки (мал. 7.2).



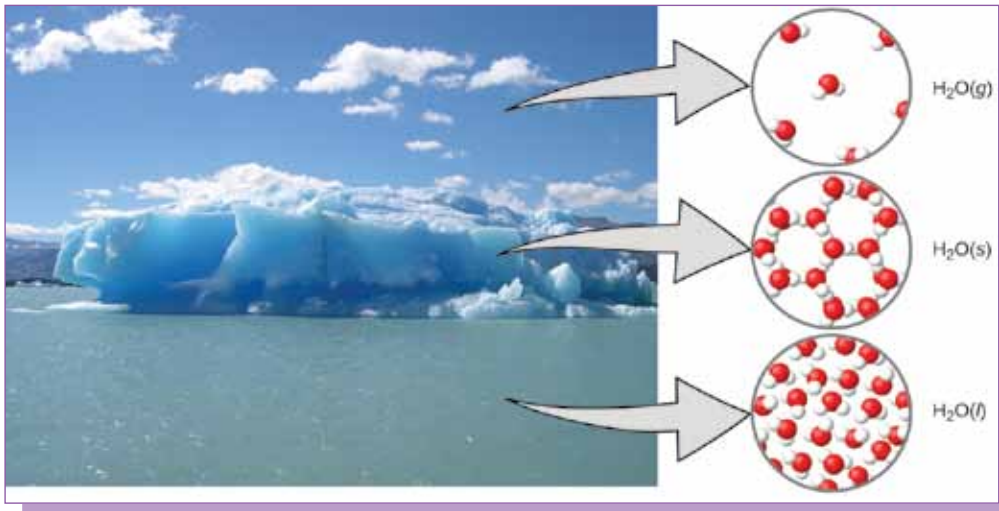
Мал. 7.2. Водневі зв'язки між молекулами води

## ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ

Вода може перебувати в трьох станах і переходити з одного стану в інший (мал. 7.3):

- у твердому — за температури нижче від  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- у рідкому — за температури  $0\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- у газоподібному — за температури вище  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  — у вигляді водяної пари.





Мал. 7.3. Вода в газоподібному, твердому й рідкому станах

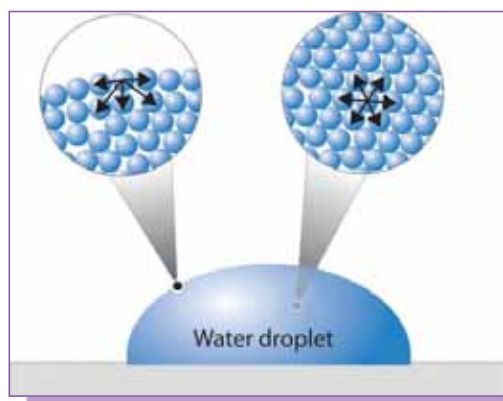
Як відомо, рідини, зокрема й вода, мають деякі властивості як твердих тіл, так і газів. Зокрема, як для рідин, так і для кристалів характерний певний об'єм. Разом з тим рідина, подібно до газу, набуває форму тієї посудини, у якій вона міститься. Для кристалів характерне впорядковане розміщення частинок, у газах вони розміщені хаотично. А в рідинах розташування частинок є відносно впорядкованим. Кожна молекула рідини протягом деякого часу коливається біля певного положення рівноваги. Час від часу молекула стрибком переміщується в нове положення рівноваги, яке розташоване від попереднього на відстані порядку розмірів самих молекул. Цим пояснюють *текучість* води.



Мал. 7.4. Тече вода з-під явора...<sup>1</sup>

Кожна молекула рідини зазнає притягання з боку всіх молекул. Ці сили для молекул, що перебувають всередині рідини, взаємно скомпенсовані. Рівнодійна ж сил притягання, що діє на молекули, які перебувають на поверхні розділу рідини з повітрям, напрямлена вниз — усередину рідини (мал. 7.5).

<sup>1</sup> Тарас Шевченко. «Тече вода з-під явора».



Мал. 7.5. Сили притягання між молекулами води

На поверхні молекули в дефіциті, через що відстань між ними набагато більша від норми, тому поверхневий шар рідини розтягнутий, а між молекулами на поверхні діють *сили поверхневого натягу*. Унаслідок цього поверхня набуває властивостей еластичної мембрани, що дає змогу втримувати на поверхні легкі предмети, формуватися краплям та бульбашкам (мал. 7.6).



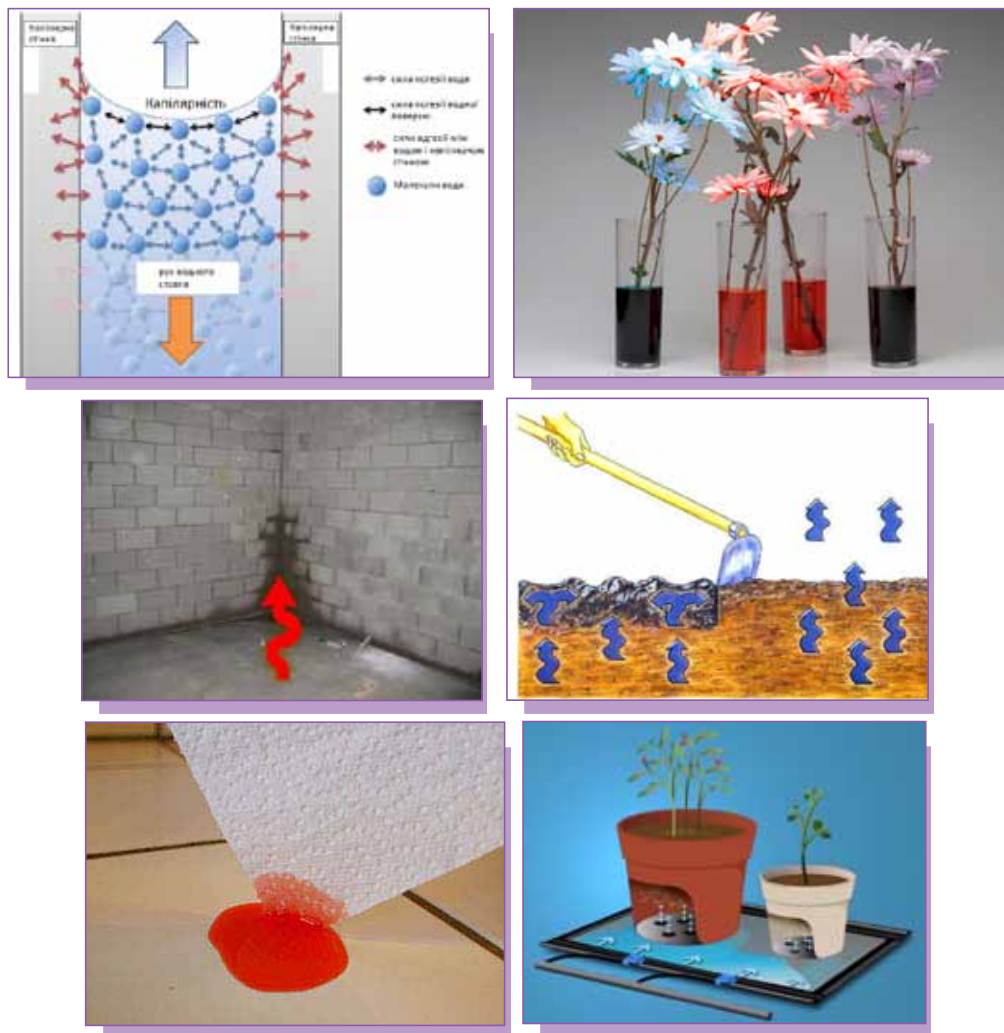
Мал. 7.6. Поверхневий натяг у повсякденні

Ще одним наслідком дії поверхневого натягу є *капілярність*, явища змочування й незмочування.

Капілярні явища мають велике значення в природі та техніці (мал. 7.7). Так, підйом живильного розчину стеблом або стовбуром рослини значною мірою зумовлений явищем капілярності: розчин піднімається тонкими капілярними трубками, утвореними стінками рослинних клітин. Капілярами ґрунту підіймається вода з глибинних шарів у поверхневі. Зменшивши діаметр ґрунтових капілярів ущільненням ґрунту, можна посилити притік води до його поверхні, тобто до зони випаровування, і цим пришвидшити висихування ґрунту. Навпаки, розпушивши поверхню ґрунту й зруйнувавши тим самим систему ґрунтових капілярів, можна затримати притік води до зони випаровування й уповільнити висихання ґрунту. Саме на цьому засновані відомі агротехнічні прийоми регулювання водного режиму ґрунту — накочення й боронування.

Капілярними каналами в стінках будівель, які не мають гідроізоляції, піднімається ґрунтова вода. По капілярах гнота підіймаються змащуваль-

ні речовини (гнотове змащування), розплавлений парафін під час горіння свічки, спирт у спиртівці тощо. Використання промокального паперу також ґрунтується на явищі капілярності, його враховують під час вибору тканин для виготовлення одягу, рушників, постільної білизни тощо (мал. 7.7).



Мал. 7.7. Вода піднімається капілярами

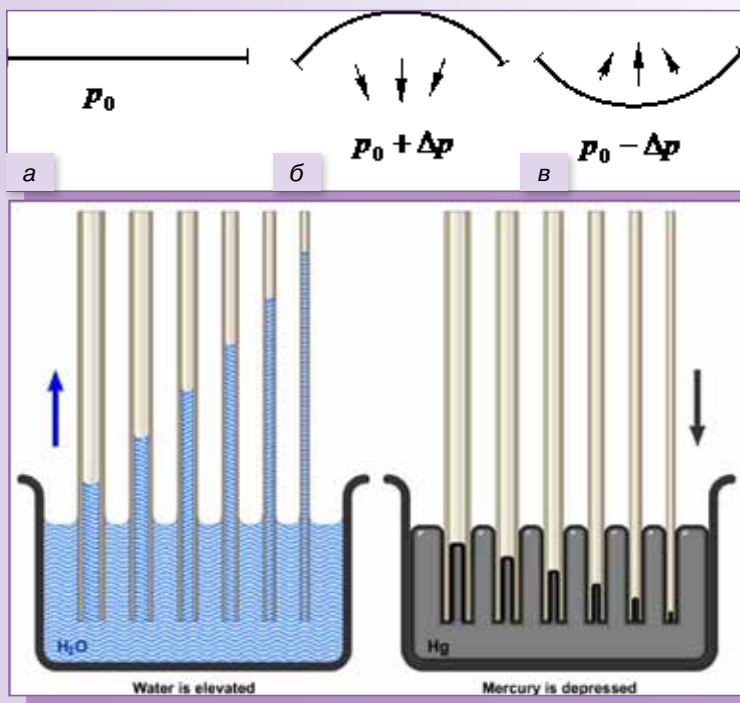


Як високо може піднятися вода в капілярі? Якщо рідина змочує матеріал капіляра, то всередині його поверхня рідини — меніск — має увігнуту форму (мал. 7.8, а), а рівень рідини всередині капіляра — вище відкритої поверхні. Під увігнутим меніском змочувальної рідини тиск менший, ніж під плоскою поверхнею. Тому рідина в капілярі піднімається доти, поки гідростатичний тиск піднятої в капілярі рідини на рівні плоскої поверхні не компенсуватиме різницю тиску. Тобто поки додатковий тиск не буде зрівноважений гідростатичним тиском стовпа рідини.



Якщо рідина не змочує матеріал капіляра, то меніск має опуклу форму (мал. 7.8, б), а рівень рідини всередині капіляра — нижче відкритої поверхні. Під опуклим меніском незмочувальної рідини тиск більший, ніж під плоскою поверхнею, що приводить до опускання рідини в капілярі.

Додатковий тиск  $\Delta p$  ще називають лапласівським на честь ученого, що його досліджував (П'єр Симон де Лаплас, (1749–1827), Франція).



Мал. 7.8. Увігнутий меніск стовпчика води й опуклий меніск стовпчика ртуті в капілярах

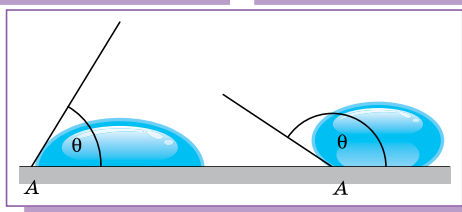
Обернено пропорційну залежність висоти підйому рідини в капілярах від діаметра капіляра встановив ще в 1670 р. Дж. Бореллі (Джованні Альфонсо Бореллі, (1608–1679), Італія). У 1717 р. Дж. Журен (Джеймс Журен, (1684–1750), Велика Британія) відкрив закон підняття рідини в капілярних трубках, названий його ім'ям.

Закон Журена описує формула:  $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$ , де  $\sigma$  — коефіцієнт поверхневого натягу

рідини;  $\rho$  — густина рідини;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $r$  — радіус капіляра.

Що меншим є радіус капіляра, то на більшу висоту піднімається в ньому рідина. Висота підняття стовпа рідини зростає також зі збільшенням коефіцієнта поверхневого натягу рідини. Опускання незмочувальної рідини визначають за цією самою формулою.

Вам, мабуть, доводилося бачити, що краплина води може розтікатися на поверхні, а може набувати форми кульки (мал. 7.9).



Мал. 7.9. Чому вода розтікається й збирається в кульки?

Це зумовлене співвідношенням між силами притягання молекул рідини між собою та з молекулами твердого тіла, з яким контактує рідина. Якщо молекули рідини притягуються одна до одної слабше, ніж до молекул твердого тіла, — то рідина розтікається (змочує поверхню). А якщо сили притягання між молекулами самої рідини більші, ніж сили притягання цих молекул до молекул твердого тіла, — то рідина набуває форми кулі (не змочує поверхню).

Оскільки явища змочування й незмочування зумовлені відносними властивостями речовин рідини й твердого тіла, та сама рідина може бути змочувальною для одного твердого тіла й незмочувальною для іншого. Вода, наприклад, змочує скло й не змочує парафін. Кількісною мірою змочування є крайовий кут  $\theta$  (мал. 7.10), утворений поверхнею твердого тіла й дотичною, проведеною до поверхні рідини в точці дотику (рідина міститься всередині кута). За змочування  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ , і що меншим є кут  $\theta$ , то сильнішим буде змочування. Якщо крайовий кут дорівнює нулю, змочування називають *повним*, або *ідеальним*. Прикладом ідеального змочування може бути розтікання спирту на чистій поверхні скла. У цьому разі рідина розтікається на поверхні твердого тіла доти, доки не вкриє її всю. У разі незмочування  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ , і що більшим є кут  $\theta$ , то сильнішим буде незмочування. За значення крайового кута  $180^\circ$  спостерігають повне незмочування. У цьому разі рідина не розтікається на поверхні твердого тіла й легко скочується з неї.

Подібне явище можна спостерігати під час намагань вимити жирну поверхню холодною водою. Великий поверхневий натяг води заважає їй проникати в дрібні пори й проміжки між волокнами тканин. Усі, мабуть, чули рекламу мийних засобів — «Легко вимие посуд навіть у холодній воді»? У чому тут секрет? Мийні властивості засобів для миття посуду, мила та пральних порошоків зумовлені тим, що вони зменшують поверхневий натяг води й унаслідок цього забезпечують кращу мийну дію.



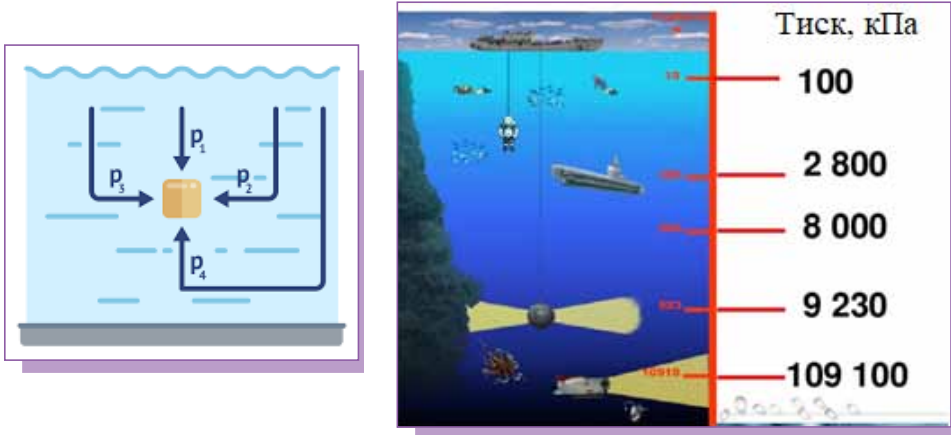
Явище змочування використовують для збагачення природної руди. Суть збагачення полягає в тому, щоб, видаливши порожню породу, збільшити вміст корисної копалини. Цей спосіб називають флотацією (від фр. Flotter — плавати). Подрібнену на порошок руду збовтують у воді, у яку додають невелику кількість олії. Рідина змочує корисний складник руди й не змочує порожню породу. Якщо рідина розчинна у воді, то, вдвудши в цю суміш повітря, можна відокремити обидва складники. Покриті плівкою шматочки корисного складника руди прилипають до бульбашок повітря й разом з ними підіймаються вгору. Порожня порода осідає на дно.

Також флотацію використовують у виноробстві для очищення виноградного суслу, під час археологічних досліджень флотацією ґрунту виокремлюють з нього деревне вугілля або спалене насіння, на очисних спорудах у цей спосіб освітлюють стічні води тощо (мал. 7.10).



Мал. 7.10: а — процес флотації; б — флотація в дії: видобування золота, освітлення виноградного суслу, аналіз ґрунту

Рідини в гравітаційному полі створюють тиск: кожен верхній шар рідини своєю вагою тисне на шари, розташовані нижче. Цей тиск називають *гідростатичним* і за законом Паскаля він діє в усіх напрямках і зростає зі збільшенням глибини. Тобто тиск діє не лише на дно ємності, а й на стінки посудини та на будь-які тіла всередині самої рідини (мал. 7.11).



Мал. 7.11. Гідростатичний тиск

Глибина океанів сягає кількох кілометрів. Тому на дні океану величезний тиск. Так, наприклад, на глибині 10 км (а є й більші глибини) тиск становить близько 100 000 000 Па (мал. 7.11). Незважаючи на це, унаслідок малої стислості води, густина її на дні океанів не набагато більша, ніж поблизу поверхні.

Як показують спеціальні дослідження, і на таких великих океанських глибинах живуть риби й деякі інші істоти. Їхні організми пристосовані до існування в умовах високого тиску й темряви (мал. 7.12), а тіла здатні витримувати тиск у мільйони паскалів. Зрозуміло, що такий самий тиск і всередині них.



Мал. 7.12. Мешканці океанських глибин

Людина після спеціального тренування може без особливих пристосувань занурюватися на глибини близько 80 м. Тиск води на таких глибинах — 800 кПа. На більших глибинах, якщо не використовувати спеціальних захисних засобів, грудна клітка людини може не витримати тиску води. Щоб протистояти йому, застосовують спеціальні водолазні костюми.

Для дослідження моря на великих глибинах використовують батисфери й батискафи (мал. 7.13). Батисферу опускають у море на сталевому тросі зі спеціального корабля. Батискаф не зв'язаний тросом з кораблем, має власний двигун і може пересуватися на великій глибині в будь-якому напрямку.



Мал. 7.13. Як дістатися дна океану

*Теплові властивості води.* Воді властива велика теплоємність, яка в 3 тис. разів більша, ніж у повітря. Це означає, що внаслідок охолодження на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  води об'ємом  $1\text{ см}^3$  можна нагріти на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  повітря об'ємом  $3\text{ м}^3$ . Звідси стає зрозумілим значення океану як акумулятора тепла, його пом'якшувальна дія на клімат.

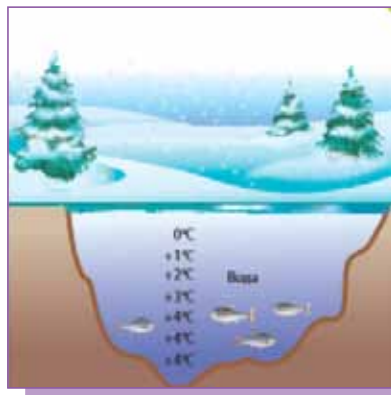
Для води характерна мала теплопровідність. Тому в нагріванні водоймищ головна роль належить перемішуванню води. Завдяки різним властивостям води виникло й розвивалося життя на Землі. Вода відіграє незамінну роль у всіх процесах, які відбуваються в географічній оболонці. Для води характерна певна аномалія: під час нагрівання від  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  її об'єм зменшується, і, відповідно, збільшується її густина. Максимальну густину вода має за температури  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . З подальшим підвищенням температури об'єм води починає збільшуватися, а густина зменшуватися.



Отже, за  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  густина води  $\rho = 0,9998\text{ г/см}^3$ ;  
за  $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  густина води максимальна,  $\rho = 1,0000\text{ г/см}^3$ ;  
за  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  густина води  $\rho = 0,9982\text{ г/см}^3$ .

Така, на перший погляд, незначна різниця в густині води має велике значення для життєдіяльності мешканців водойм. З наближенням зими й унаслідок зниження температури повітря вода біля поверхні водойм починає охолоджуватися. Її густина до того ж зростає, і верхні шари води опускаються вниз. Переміщення теплих і холодних шарів відбувається доти, доки температура майже всієї води під льодом стане рівною  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вода під час охолодження від  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  розширюється, тому лід легший від води (на 8 %) і не тоне в ній. Завдяки цьому, а також малій теплопровідності, шар льоду захищає глибокі водойми від промерзання до дна, і цим забезпечує у них життя.

Зимова циркуляція води у водоймах важлива ще й тому, що, охолоджуючись і опускаючись до дна, верхні шари несуть із собою розчинений у воді кисень, тому глибинна частина водойми стає придатною для життя. Багато риб, які влітку плавали у верхніх шарах, узимку переміщуються ближче до дна (мал. 7.14).



Мал. 7.14. Як зимують риби

**Випаровування.** Ми знаємо, що молекули рідини, як і твердого тіла або газу, безперервно рухаються з різними швидкостями. Молекули рідини рухаються зі швидкостями як більшими, так і меншими від середньої. Якщо якась «швидка» молекула опиниться біля поверхні, то вона може подолати притягання сусідніх молекул і вилетіти з рідини. Молекули, що вилетіли з поверхні рідини, утворюють над нею *пару*.

Процес пароутворення (мал. 7.15) може відбуватися з вільної поверхні рідини (випаровування) та всередині її об'єму (кипіння).



Мал. 7.15. Випаровування в повсякденні

Внутрішня енергія рідини, яка випаровується, зменшується. Тому, якщо немає припливу енергії до рідини ззовні, то, під час випаровування вона охолоджується. Вийшовши з води навіть у спеку, ми відчуваємо холод. Вода, яка випаровується з поверхні нашого тіла, забирає від нього певну кількість теплоти.

*Конденсація* — перехід речовини з газоподібного стану в рідкий. Конденсація пари супроводжується виділенням енергії. Улітку ввечері, коли повітря стає холоднішим, випадає роса. Це водяна пара, що була в повітрі, унаслідок охолодження конденсується, і маленькі крапельки води осідають на травинках і листках. Конденсацією пари пояснюють утворення хмар. Водяна пара, яка піднімається над землею, утворює у верхніх, холодніших шарах повітря хмари, що складаються з безлічі найдрібніших крапельок води (мал. 7.16).



Мал. 7.16. Конденсація водяної пари

За добу з поверхні Світового океану випаровується майже стільки води, скільки міститься її в руслі річок усього світу. Підраховано, що приблизно за 3 тис. років уся сучасна маса гідросфери зазнає випаровування. Тобто з часу останнього зледеніння (10 тис. років тому) вона вже тричі пройшла через пароподібний стан в атмосфері, а за час існування Землі — декілька мільйонів разів.

Жива рослина містить у собі близько 80 % води. Частину води рослина використовує для утворення органічних речовин, а основну масу води випаровують в повітря листки. Можна визначити, скільки води випаровують листки за добу. Для цього експерименту нам знадобиться пляшка з водою, у яку помістимо гілочку будь-якої рослини з листками. Щоб вода

з пляшки не випаровувалася, на поверхню води наллємо трохи олії, після чого пляшку поставимо на ваги й урівноважимо гирями. Рівно через добу, знову врівноваживши ваги, ми зможемо точно дізнатися, скільки води випарували листки за цей час.

Вода є носієм механічної й теплової енергії, транспортує речовини, здійснює роботу. Вода завдяки своїй рухливості відіграє важливу роль в обміні речовин і енергії між геосферами й різними географічними районами.

## ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ

Вода бере участь у безлічі хімічних реакцій як розчинник, реагент або продукт. Її обґрунтовано вважають *універсальним розчинником*. Адже в ній розчиняється більшість молекулярних та йонних сполук (*наведіть кілька прикладів з повсякденного життя*). Тому воду широко використовують як розчинник у лабораторній практиці, на виробництві, у побуті (мал. 7.17). Біохімічні реакції також відбуваються у водних розчинах.



Мал. 7.17. Вода — універсальний розчинник

Засвоєння їжі пов'язане з розчиненням поживних речовин. Рослини засвоюють необхідні для їхнього росту й розвитку речовини також у формі розчинів. У промисловості застосовують розчини кислот, лугів, солей, барвників тощо. Більшість лікарських засобів також уживають у формі водних розчинів — істинних та колоїдних (мал. 7.18).

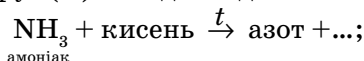
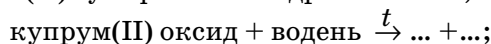
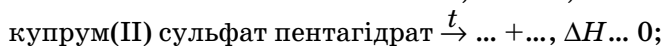
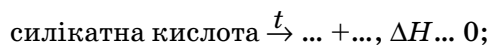
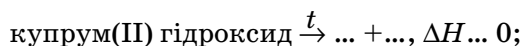


Мал. 7.18. Лікарські засоби у формі водних розчинів

Розчинність сполук з ковалентним типом хімічного зв'язку залежить від їхньої здатності утворювати з молекулами води водневі зв'язки.

Поміркуйте й поясніть, чому етанол, гліцерол, етанова кислота, сахароза добре розчиняються у воді, а водень, кисень, азот, метан — погано.

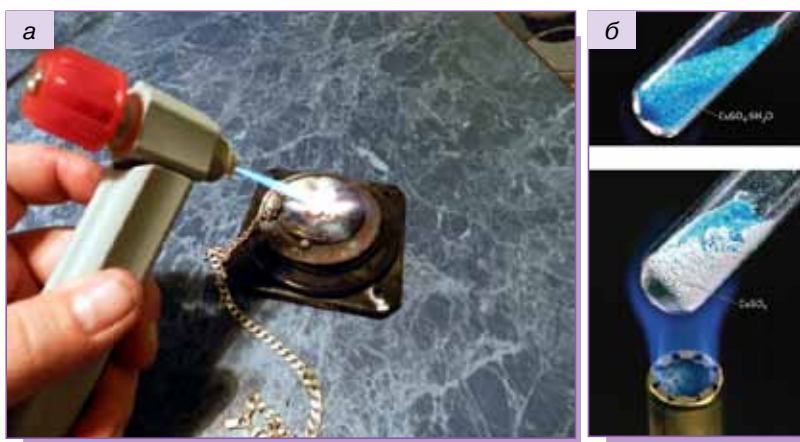
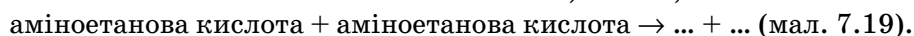
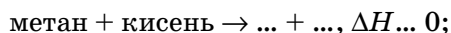
Вода є продуктом багатьох хімічних реакцій, відомих вам з курсу хімії основної школи, наприклад:



амоніак

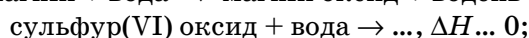
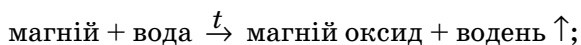
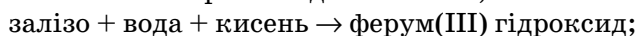
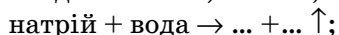
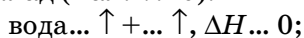


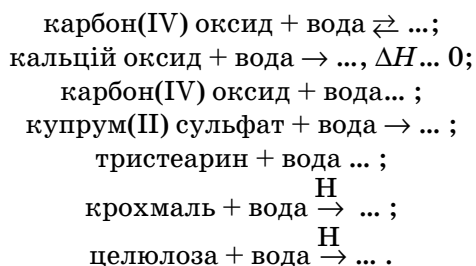
амоніак



Мал. 7.19. Приклади реакцій, унаслідок яких утворюється вода:  
а — у водневому пальнику водень згорає в кисні; б — зневоднення мідного купоросу внаслідок прожарювання

Також більшість з хімічних і біохімічних реакцій відбувається за участі води як реагенту, наприклад (мал. 7.20):





Перетворіть схеми реакцій на хімічні рівняння, класифікуйте їх за різними ознаками й поясніть значення цих реакцій у житті людини.



Мал. 7.20. Вода — реагент: а — реакція води з натрієм; б — вода не лише камінь точить...; в — розкладання води електричним струмом — електроліз

Якою літерою на малюнку 7.20, в позначено пробірку, де утворюється кисень, а якою — де утворюється водень?



**Гідроліз** (від давньогрец. υδωρ — вода і λυσις — розкладання) — хімічна реакція, під час якої речовини розкладаються за участі молекул води — певною мірою відомий вам з курсу хімії основної школи. Ідеться про гідроліз жирів, крохмалю, целюлози. Білки також зазнають гідролізу, кінцевими продуктами якого є амінокислоти. Ці реакції відбуваються під час перетравлювання їжі, розкладання білків у процесі гниття. Гідроліз відбувається за участі каталізаторів: катіонів Гідрогену  $\text{H}^+$  (кислотний гідроліз крохмалю й целюлози) та гідроксид-аніонів  $\text{OH}^-$  (лужний гідроліз жирів). У живих системах гідроліз каталізують *ферменти* (ензими).

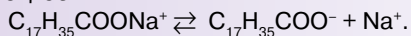
Поясніть: а) для чого в засоби для прання додають ензими; б) чому використовувати пральні засоби з ензимами не рекомендовано для прання шовкових та вовняних виробів, недоцільно за високих температур, небезпечно під час ручного прання.

У промисловості за допомогою гідролізу добувають гліцерол, стеаринову та інші вищі карбонові кислоти, мило, глюкозу, унаслідок спиртового бродіння якої утворюється етанол:



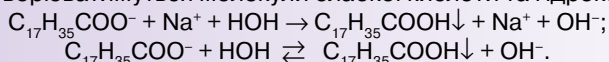
Перетворіть схему реакції бродіння глюкози на хімічне рівняння.

Продукт лужного гідролізу жирів — мило — так само зазнає гідролізу. Мило — йонна сполука, у воді дисоціює:





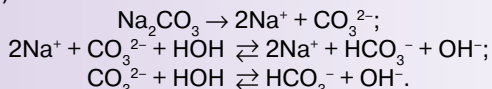
Мило — сіль слабкої стеаринової кислоти й сильної основи, тому аніони солі, утвореної слабкою кислотою, взаємодіятимуть з молекулами води. Унаслідок реакції обміну утворюватимуться молекули слабкої кислоти та гідроксид-аніони:



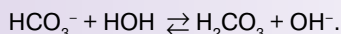
Гідроксид-аніони, що утворилися внаслідок гідролізу мила, емульгують та частково розкладають жири, що сприяє видаленню частинок бруду з тканини. Карбонові кислоти з водою утворюють піну, яка захоплює частинки бруду й виносить їх на поверхню.

Поясніть результати досліду: у суху пробірку помістили шматочок мила, 4 краплі спирту, енергійно збовтали й добавили краплю фенолфталеїну. Забарвлення розчину не змінилося. До спиртового розчину мила добавили краплями дистильовану воду. У міру добавляння води виникло рожеве забарвлення. Інтенсивність забарвлення поступово збільшувалася.

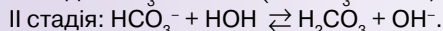
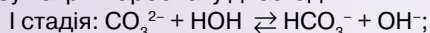
Солі неорганічних кислот також зазнають гідролізу. Наприклад, натрій карбонат (кальцинована сода):



*Зверніть увагу:* карбонат-аніон двозарядний, тож можливе приєднання ним ще одного катіона Гідрогену:

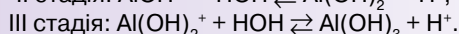
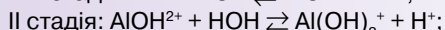
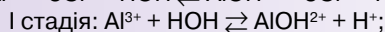
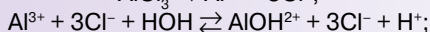
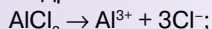


Тобто процес гідролізу натрій карбонату двостадійний:



*Зверніть увагу:* на другій стадії лише незначна частка гідрогенкарбонат-іонів з-поміж тих, що утворилися на першій стадії, зазнає гідролізу. Тому записувати сумарне рівняння й скорочувати формули йонів, що беруть участь у гідролізі, не можна.

Так само поетапно відбувається гідроліз алюміній хлориду:



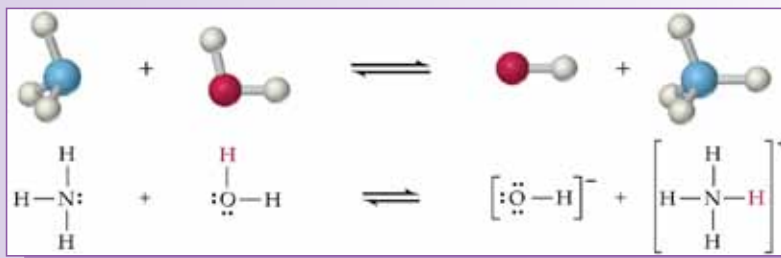
*Зверніть увагу:* гідроліз на другій стадії відбувається значно меншою мірою, ніж на першій, а на третій — майже не відбувається. Про це свідчить прозорість розчину. Тобто алюміній гідроксиду утворюється так мало, що на просте око побачити його неможливо.

Перетворіть скорочені йонні рівняння кожної зі стадій реакцій гідролізу натрій карбонату та алюміній хлориду на молекулярні.

Якщо й основа, й кислота, з катіонів й аніонів яких складається сіль, слабкі, гідроліз також відбувається, бо катіони слабкої основи зв'язують гідроксид-аніони, а аніони слабкої кислоти — катіони Гідрогену. Тобто відбуватимуться дві незалежні оборотні реакції. Тож яких йонів у розчині виявиться більше, залежить від ступеня перебігу кожної з них.

Поміркуйте й поясніть, чи зазнаватимуть гідролізу солі сильних кислот і основ.

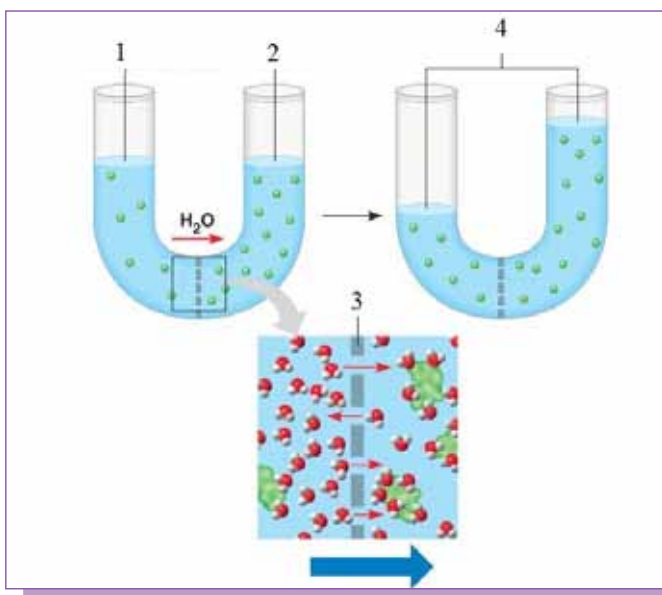
**Вода реагує з амоніаком.** Унаслідок хімічної взаємодії молекул амоніаку з молекулами води утворюються *катіони амонію* та гідроксид-аніони (мал. 7.21). У цій реакції атом Нітрогену є донором неподіленої електронної пари, а катіон Гідрогену — акцептором, бо приймає її на вільну 1s-орбіталь.



Мал. 7.21. Під час розчинення амоніаку у воді утворюються катіони амонію і гідроксид-аніони  $\text{OH}^-$ . Ковалентний зв'язок, що утворився між атомом Нітрогену та протоном — результат усупільнення ними неподіленої електронної пари атома Нітрогену. Він нічим не відрізняється від інших зв'язків N–H. Спрогнозуйте, якого кольору набуде фенолфталеїн у водному розчині амоніаку

## ОСМОС

**Осмоз** (від грец. *осмос* — поштовх, тиск) — самодовільний процес проникнення крізь напівпроникну мембрану розчинника з розчину нижчої концентрації в розчин з вищою концентрацією (мал. 7.22).



Мал. 7.22. Осмос

Поясніть, що позначено на малюнку цифрами 1–4.

Уперше явище осмосу спостерігав 1748 р. абат Жан-Антуан Нолле (1700–1770, Франція). Він наповнив посудину винним спиртом (етанолом), закрив її щільно мембраною зі шматка сечового міхура свині й занурив у чан з водою. Вода проходила всередину посудини зі спиртом і

створювала в ньому такий тиск, що міхур роздувався й лопався. Нолл не пройшов повз цей дивний факт і пояснив його так: «Тваринний міхур проникніший для води порівняно зі спиртом; тому швидкість проходження води крізь мембрану більша за швидкість проходження крізь неї спирту».

Осмосом зумовлені зовнішні ефекти цікавого досліду з вирощування «хімічного підводного саду». Помістимо у водний розчин натрій силікату<sup>1</sup> кристалики купрум(II) сульфату пентагідрату, ферум(II) сульфату гептагідрату, нікель(II) сульфату гептагідрату тощо. Навколо кожного кристалика утвориться концентрований розчин відповідної солі, а на поверхні його стикання з розчином натрій силікату — шар малорозчинного силікату — продукту реакції йонного обміну між натрій силікатом і певною сіллю (складіть рівняння цих реакцій у скороченій йонній формі). Він виконуватиме функцію напівпроникної мембрани. Унаслідок осмосу вода проникатиме крізь неї й, увійшовши в простір, обмежений напівпроникним шаром, збільшуватиме тиск. Унаслідок цього шар лопатиметься, концентрований розчин вилитиметься назовні, утворюватиметься новий шар нерозчинного силікату, який теж через деякий час лопатиметься і так далі. Тому «хімічний сад» (мал. 7.23) безперервно змінюватиметься й ростиме.



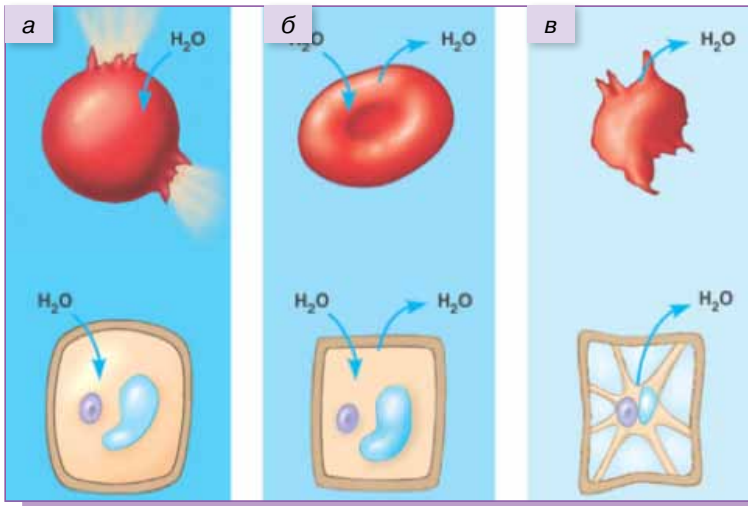
Мал. 7.23. «Ніколи не забуду того видовища. Посудина, у якій вони кристалізувалися, була на три чверті наповнена слизькуватою рідиною, а саме — розчинним склом, і на дні її буяла химерна грядочка різнобарвних наростів, сплутана купа синього, зеленого та брунатного пагіння, що нагадувало водорості, гриби, непорушні поліпи, а також мох мушлі, зав'язь овочів, деревця або гілочки, а подекуди просто людські руки й ноги, — більшого дива я в житті не бачив»<sup>2</sup>.

У клітин організмів оболонка має властивості напівпроникної мембрани. Якщо помістити клітини в дистильовану воду, відбувається набрякання, а потім розрив оболонок (мал. 7.24).

<sup>1</sup> Складник силікатного клею.

<sup>2</sup> Томас Манн (1875–1955, Німеччина, Швейцарія), «Доктор Фауст».





Мал. 7.24: а — еритроцит у дистильованій воді; б — еритроцит у розчині з концентрацією натрій хлориду... у клітинній рідині еритроцита; в — еритроцит у розчині з концентрацією натрій хлориду... у клітинній рідині еритроцита

Доповніть підпис до малюнка 7.24, використавши словосполучення: «більша, ніж в», «така сама, як у».

Осмотичний тиск — головна сила, що забезпечує рух води в рослинах і її підйом від коренів до вершини. Клітини листя, утративши воду, осмотично всмоктують її з клітин стебла, а ті — з клітин кореня, які вбирають воду з ґрунту. Для росту й розвитку рослинних організмів має велике значення співвідношення між осмотичними тисками ґрунтового розчину й клітинного соку.

Поміркуйте й поясніть: а) як мають співвідноситися осмотичний тиск клітинного соку та осмотичний тиск ґрунтового розчину, щоби рослина могла нормально розвиватися; б) чому в рослин у пустелях осмотичний тиск сягає 170 атм, тоді як зазвичай у тканинах рослин він становить 5–20 атмосфер.

Дія осмотичного тиску зумовлює також набухання насіння рослин, явище «пробивання» пагонами ґрунту й перешкод, що трапляються на їхньому шляху (мал. 7.25).



Мал. 7.25. «Росте Антонич і росте трава...»<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Антонич Богдан-Ігор Васильович (1909–1937, Україна)

Високоорганізовані тварини й людина вирізняються сталим осмотичним тиском крові. Шок унаслідок сильної кровотечі зумовлений не стільки втратою крові, скільки різким падінням осмотичного тиску й колапсом судин. Тому потерпілим, які втратили багато крові, уводять інертні високомолекулярні замітники плазми крові, завдяки чому відновлюють осмотичний тиск і усувають шок.

Зниження осмотичного тиску внаслідок уведення великих кількостей води або в результаті втрати солей викликає блювоту, судоми тощо аж до загибелі. Підвищення осмотичного тиску введенням великих кількостей солей призводить до перерозподілу води. Вона накопичується в тих тканинах, де є надлишок солей, — виникають набряки. Набряки утворюються й унаслідок запальних процесів: відбувається розпад білків, тому збільшується кількість структурних частинок у вогнищі запалення та значно підвищується осмотичний тиск у ньому.

Явищем осмосу пояснюють проносну дію глауберової  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  та гіркої  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  солей. Ці солі погано всмоктуються в кров і тому їхня висока концентрація в кишечнику спричинює інтенсивний перехід води всередину нього з навколишніх тканин, а тому сприяє послаблювальній дії.

Більшість бактеріальних клітин мають високий осмотичний тиск. Унаслідок дії антибіотиків (наприклад, пеніциліну) їхні оболонки втрачають міцність і під дією внутрішнього осмотичного тиску легко руйнуються. Тож розуміння осмотичних процесів і контроль за ними, а також уміння впливати на їхній перебіг украй важливе в біології та медицині.

*Твердість води* — це сукупність її властивостей, зумовлених катіонами металічних елементів, що містяться в ній. Усі двовалентні катіони тією чи тією мірою впливають на твердість води, оскільки вони взаємодіють з певними аніонами, унаслідок чого утворюються нерозчинні або малорозчинні сполуки, що випадають в осад. Формули найважливіших<sup>1</sup> йонів, що зумовлюють твердість води, наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

**Найважливіші йони, які зумовлюють твердість води**

Катіони	Аніони
$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$

Звідки ці йони потрапляють до води? Їхніми джерелами є природні поклади вапняків ( $\text{CaCO}_3$ ), гіпсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) і доломіту ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). Унаслідок взаємодії розчиненого у воді карбон(IV) оксиду з мінералами, інших процесів розчинення й хімічного вивітрювання гірських порід природна вода збагачується катіонами та аніонами (мал. 7.26).

<sup>1</sup> Через мізерно малу концентрацію у воді катіонів Стронцію, Феруму(II) та Феруму(III), Мангану(II), Барію їхнім впливом на твердість води нехтують.



Мал. 7.26. Як м'яка вода стає твердою та навпаки

Складіть рівняння реакцій між карбонатами Кальцію та Магнію й карбон(IV) оксидом, розчиненим у воді.

Джерелами йонів, що зумовлюють твердість води, можуть бути мікробіологічні процеси, які відбуваються в ґрунті на площі водозабору, у дольних відкладеннях, кислотні опади, а також стічні води підприємств.

#### Уплив твердої води на побутові прилади, комунікації, організми.

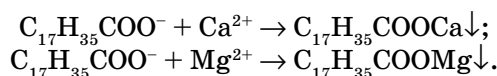
Унаслідок нагрівання твердої води в трубах опалювальної системи, кип'ятіння її утворюється осад, який осідає на поверхні нагрівальних елементів, стінках труб, що призводить до зменшення теплопровідності, звування отворів тощо (мал. 7.27).



Мал. 7.27. Накип

Використання твердої води призводить до перевитрачання електроенергії, бо частину енергії доводиться витратити на нагрівання шару накипу. У твердій воді зменшується мийна дія мила (натрієвих і калієвих

солей стеаратної кислоти) через утворення нерозчинних кальцієвих і магнієвих солей:



Утворені внаслідок цього осаді стеаратів Кальцію та Магнію осідають на поверхні шкіри, волосся, заповнюють проміжки між волокнами тканин. Це може призвести до надмірної сухості шкіри, її подразнення. Волосся, вимите милом у твердій воді, тьмяніє та стає ламким. З поверхні тканин, випраних у ній, важче видалити забруднення та плями. Вапняковий наліт осідає на поверхні облицювальної плитки, керамічних, металевих і пластмасових деталях сантехнічного обладнання.

Уявлення про типи твердості води, їхні причини та способи усунення їх ви зможете дістати, проаналізувавши таблицю 7.2 (зробіть це).

Таблиця 7.2

**Твердість води, її типи, причини та способи усунення**

Типи твердості	Твердість	
	Загальна	
	Карбонатна (тимчасова)	Некарбонатна (постійна)
<b>Причини виникнення</b>	$\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-$
<b>Способи усунення</b>	<p>1. Кип'ятіння:  <math>\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \xrightarrow{t} \dots + \dots + \dots;</math>  <math>\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \xrightarrow{t} \dots + \dots + \dots</math></p> <p>2. Оброблення содою:  <math>\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \dots;</math>  <math>\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \dots</math></p> <p>3. Оброблення вапняним молоком:  <math>\text{Ca}(\text{OH})_2;</math>  <math>\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \dots \downarrow + \dots;</math>  <math>\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \dots \downarrow + \dots</math></p> <p>4. Оброблення лугом:  <math>\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow \dots + \dots;</math>  <math>\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow \dots + \dots</math></p> <p>5. Оброблення натрій ортофосфатом:  <math>\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \dots \downarrow + \text{NaHCO}_3;</math>  <math>\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \dots \downarrow + \text{NaHCO}_3.</math></p>	<p>1. Оброблення содою або поташем:  <math>\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \dots;</math>  <math>\text{MgSO}_4 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{MgCO}_3\downarrow + \dots;</math>  <math>\text{CaCl}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \dots + \dots + \dots;</math>  <math>\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \downarrow \dots + \dots + \dots</math></p> <p>2. Оброблення натрій ортофосфатом:  <math>\text{CaSO}_4 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + \dots;</math>  <math>\text{MgSO}_4 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \dots \downarrow + \dots .</math></p>

1. Перетворіть наведені в таблиці 28.2 схеми реакцій на хімічні рівняння, запишіть відповідні повні й скорочені йонні рівняння.
2. Поясніть: а) чому постійну твердість води не можна усунути кип'ятінням; б) які з наведених у таблиці 7.2 способів зм'якшення води є безпечними для використання в домашніх умовах.

Окрім уже зазначених способів зменшення твердості води, широко використовують й інші. Розгляньмо їх докладніше.

*Дистилювання*, або термічне опріснення, — чи не найпоширеніший на морських судах спосіб добування прісної води із забортної морської. Також солону воду знесолюють, а отже, і зм'якшують, *виморожуванням*. Унаслідок охолодження солоної води нижче температури замерзання в ній утворюються кристали льоду — замерзлої прісної води, які відокремлюють від розсолу, промивають і плавлять.

*Йонний обмін* — одна з найдоступніших та ефективних технологій зм'якшення води, яку пропускають крізь фільтр, що містить йонообмінні смоли. Унаслідок реакцій йонного обміну катіони Кальцію та Магнію з води переходять у смолу, а вода натомість збагачується йонами Натрію. Для регенерування смоли промивають розчином кухонної солі.

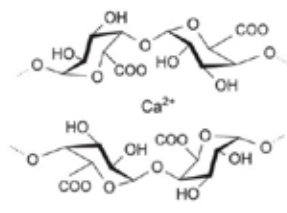
*Зворотний осмос* передбачає використання напівпроникної мембрани, крізь яку під тиском пропускають воду. Мембрана затримує частинки з розмірами 0,001–0,0001 мкм, зокрема гідратовані сульфат-, хлорид- та нітрат-аніони, катіони Натрію, Кальцію, Магнію, молекули барвників тощо, але пропускає молекули води.

*Магнітний та електромагнітний методи зм'якшення води*. Під час проходження потоку води крізь магнітні та електромагнітні фільтри під дією магнітного поля солі Кальцію та Магнію переходять у нерозчинну форму. Осад, що утворився, з потоком води виводять із системи водопроводу. Таке обладнання застосовують для захисту від накипу котлів, колонок, водонагрівачів, пральних та посудомийних машин у приватних будинках і котеджах.

Які з наведених вище способів зм'якшення води ґрунтуються на фізичних, а які — на хімічних явищах?



Клітинні оболонки рослини містять пектини — вуглеводні ланцюжки. Пектинову сітку стабілізують йони полівалентних металів (таких, у яких валентність більша за одиницю). Тобто під час засолювання огірків катіони Кальцію та Магнію роблять пектинову сітку жорсткішою (мал. 7.28), а огірки не розм'якають і стають хрумкими.



Мал. 7.28

Поясніть, чому для засолювання огірків досвідчені кулінари й кулінарки радять використовувати: а) для розсолу колодязну чи джерельну воду з підвищеною твердістю або навіть мінеральну воду; б) неочищену кам'яну або морську сіль, а не сіль «Екстра»; в) кальцій хлорид<sup>1</sup> як добавку до розсолу; г) лише сиру, а не кип'ячену воду для розсолу.

*Узагальнимо відомості про властивості води:*

- висока розчинна здатність;
- поверхневий натяг забезпечує капілярні явища й змочування;
- висока теплоємність (найвища з-поміж рідин питома теплоємність);

<sup>1</sup> Аптечний препарат.

- низька теплопровідність;
- висока порівняно з іншими рідинами питома теплота пароутворення;
- випаровується й конденсується (сублімується) за будь-якої температури;
- полярність молекул;
- прозорість для світла;
- практично не стискається;
- максимальна густина за 4 °С;
- хімічно активна сполука;
- джерело кисню та донор протонів у фотосинтетичних реакціях.

## СУЧАСНІ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ. ОПРІСНЕННЯ МОРСЬКОЇ ВОДИ

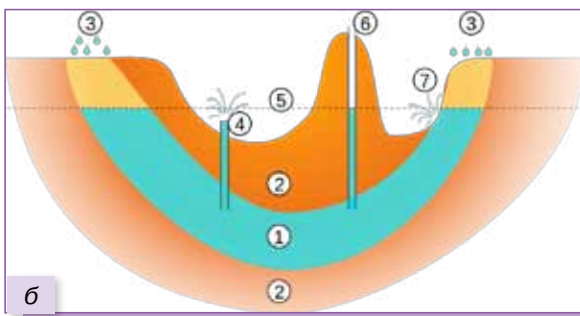
У наш час чи не найактуальнішою проблемою є забруднення питної води. За даними Всесвітньої Організації Охорони здоров'я вода містить 13 тис. потенційно токсичних компонентів, 80 % захворювань передається через воду. Від них на планеті щорічно вмирають 25 млн осіб.

Основні джерела забруднення водних ресурсів мають антропогенне походження. Поверхневі води України найбільшою мірою забруднені нафтопродуктами, фенолами, легко окиснювальними органічними речовинами, сполуками металічних елементів, катіонами амонію та нітрат-аніонами, а також специфічними забруднювальними речовинами, до яких належать лігнін, ксантогенати, формальдегід та інші, принесені у водойми стічними водами підприємств сільського та комунального господарства. Саме через це здоров'ю людини та довкіллю загрожує небезпека.

Одним зі способів розв'язання цієї проблеми є видобуток підземних вод (мал. 7.29), однак він є досить затратним. Адже свердловину необхідно робити якомога глибше (*пояснить чому*). Попри певні складнощі використання глибоких свердловин для постачання питної води нині доволі поширене. Однак і така вода може містити домішки розчинених у ній солей — хлоридів, сульфатів, ортофосфатів, сполук Феруму тощо.



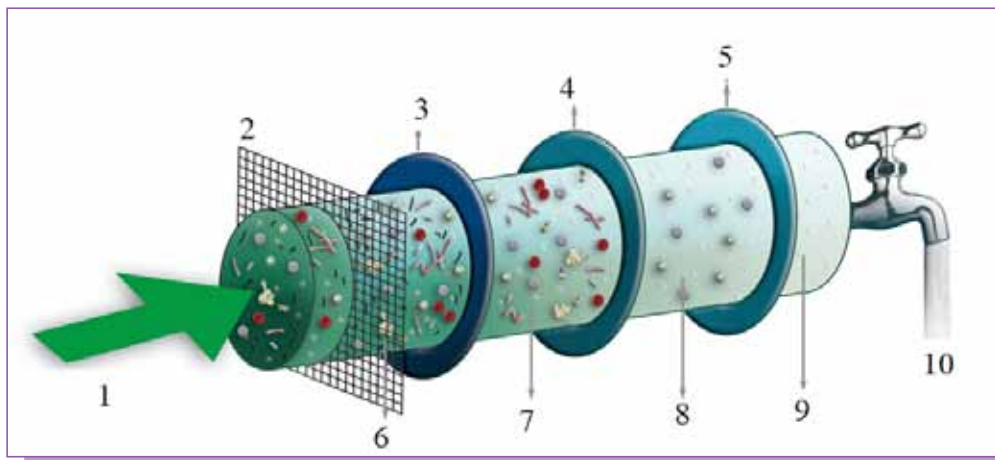
а



б

Мал. 7.29: а — артезійська свердловина — бурова свердловина для експлуатації артезійських вод. У ній вода піднімається від водоносного горизонту під природним тиском. Назва походить від Артуа (лат. Artesium) — історичної області у Франції, де вперше спостерігали цей феномен; б — схема артезійського басейну: водоносний шар (1), водонепроникний шар (2), ділянка надходження води (3), артезійська свердловина (4), рівень гідростатичної рівноваги (5), субартезійська свердловина (6), артезійське джерело (7)

Тож для вилучення небажаних домішок воду потрібно очищати. Для цього використовують насосні установки, фільтри механічної очистки, для видалення катіонів Феруму, усунення твердості води, видалення органічних і неорганічних домішок, а також фільтри для комплексного очищення води (мал. 7.30). Використання водоочисних систем сприяє поліпшенню якості питної води, а отже — якості життя людини.



Мал. 7.30. Очищення води в побутовому фільтрі. 1. Необроблена вода. 2. Попередня очистка. 3. Пісковий фільтр (10 мкм). 4. Мікрофільтр (0,1 мкм). 5. Ультрафільтрація (0,01 мкм). 6. Ворс. 7. Колоїди, бактерії, еритроцити. 8. Віруси, макромолекули органічних сполук. 9. Розчинені солі. 10. Чиста вода

А ви використовуєте очисник води? Поясніть, чому.

Кожна система фільтрації починається з попереднього очищення води, часто вона полягає у видаленні з води механічних домішок — піску, мулу, бруду. Для цього використовують фільтри різних типів, найпоширенішими є фільтри грубої очистки (грязевики), самопромивні фільтри й фільтри зі змінним очисним елементом.

Мільйони людей потерпають від хвороб, спричинених уживанням неякісної питної води. Адже чиста питна вода сьогодні — рідкість. На це є різні причини: незадовільний стан водних джерел, поганий стан водопровідних мереж, недосконалі технології очищення. Саме тому дуже важливо знати побутові способи очищення питної води, яка має забезпечувати не тільки фізіологічні потреби людини, а й сприяти її здоров'ю.

Природна вода з гірських джерел ідеальна для вживання. Під час підйому з надр землі крізь пласти гірських порід, вона проходить природне очищення й збагачується мінералами, а вийшовши на поверхню, насичується енергією сонця й киснем.

Сучасні технології дають змогу опріснювати морську воду, зокрема із застосуванням установок зворотного осмосу. Ефективність очищення солоної води можна оцінити за органолептичними та хімічними показниками (мал. 7.31).

22 березня за ініціати́ви Генаса́мблеї ООН сві́т відзначає Всесві́тній Де́нь води, присвя́чений захи́сту й збере́женню водних ресу́рсів. Сьо́годні ли́ше оди́н відсо́ток води на пла́неті досту́пний для вико́ристання лю́диною.

Ета́лонною з погля́ду приро́дної чи́стоти й корисно́сті для здо́ров'я лю́дини вва́жають приро́дну воду з гі́рських дже́рел. Вона не потре́бує очи́щення і мі́стить ма́ксимум корисних мі́кроелеме́нтів. За сло́вами профе́сора Інсти́туту еколо́гії лю́дини Миха́йла Кури́ка, в Укра́їні чи́сту дже́рельну воду мо́жна зна́йти тільки в Карпа́тах: «Приро́дна вода з гі́рських дже́рел ідеа́льна для вжива́ння. Під ча́с підйо́му з надр землі́ крі́зь пла́сти гі́рських поро́д вона про́ходить приро́дне очи́щення й зба́гачується міне́ралами, а ви́шовши на по́верхню насичу́ється ене́ргією сонця́ й кисне́м. Тому́ пи́ти її мо́жна в одві́чному ви́гляді, без кип'я́тіння».



Мал. 7.31: а — зворотний осмос — ефективний спосіб знесолювання води; б — лабораторні дослідження якості питної води

Окрім опрі́снення і транспортува́ння по́лярних льодо́виків, уче́ні-до́слідники шука́ють інше́ спосо́би забезпе́чення прі́сною водою́ (мал. 7.32). Ко́мпанія «Architecture and Vision» змо́гла приду́мати ви́ршення ці́єї пробле́ми. Зі сте́бел бамбу́ка та біо-пласти́ку вони створи́ли ве́жу й назва́ли її «Warka Water». Техноло́гія дуже́ проста: ве́жа утริ́мує воло́гу з на́вколишнього пові́тря, конде́нсує її та зби́рає в спе́ціальну є́мність. Для її робо́ти не потрі́бна елеќтрика.

Отри́мати прі́сну воду́ із соло́ної морсько́ї мо́жна й за до́помогою так звано́го водо́яного ко́нуса (Watercone). Водо́яний ко́нус вигото́влено із пла́стику, стійко́го до ді́ї ультрафіо́летових про́менів. Ко́нус помі́щається на лоток із соло́ною водою́ (або на воло́гу землю́) і залиша́ється на сонці́. Вода́ почина́є випаро́вуватися, конде́нсуватися та сті́кати по сті́нках ко́нуса в резервуа́ри на його́ основі. Напри́кінці дня́ ви просто пере́вертаєте, зніма́єте ко́впачок з верхі́вки та п'є́те воду́.

Які́сть води́ визна́чають за вмі́стом у ній хі́мічних у́ключень, які́ виявля́ють наші́ органи́ чу́ття: ню́х, зі́р. Так, йо́ни Купру́му нада́ють воді́ деяку́ каламу́тність, Фе́руму(III) — черво́ність. Голо́вні показни́ки які́сті пи́тної води́ наведе́но на схе́мі (мал. 7.33).





Мал. 7.32. Способи отримання прісної води



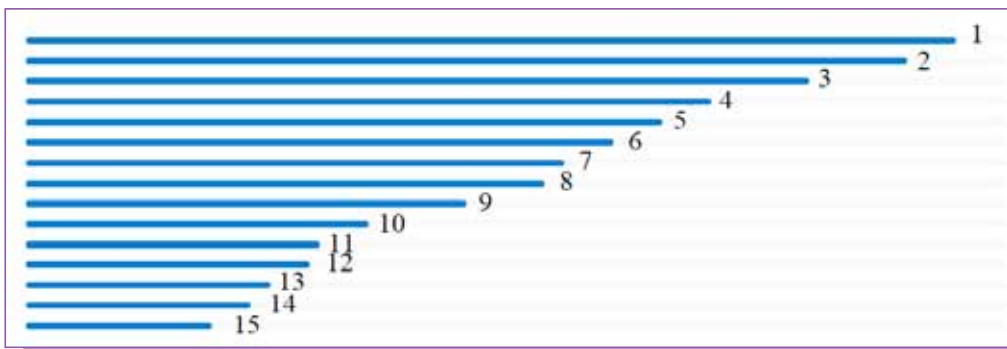
Мал. 7.33. Показники якості питної води

До найпоширеніших забруднювачів води належать сполуки Феруму, Мангану, сульфідів, флуоридів, органічні сполуки, солі Кальцію й Магнію тощо.

За прогнозами, у 2025 р. 1,8 млрд осіб проживатиме в районах крайнього дефіциту води. Тож опріснення морської води є одним з перспективних способів розв'язування цієї проблеми. Та перш, ніж опріснення зможе внести реальні зміни у подолання прісноводної кризи, яка невпинно насувається, потрібно подолати перешкоди, які роблять цей процес дорогим та неефективним. До того ж внаслідок опріснення води накопичуються солі, які складають на березі, після чого скидають назад у море разом із соляними розсолами. У результаті істотно збільшується концентрація солі в прибережній морській зоні, що негативно впливає на розвиток організмів. Солі потрапляють у ґрунт та в підземні ґрунтові води, унаслідок чого погіршується стан довкілля.

Стрімкий розвиток техногенної цивілізації зумовив істотне зменшення запасів питної води. Це призвело до того, що урбанізовані людиною райони планети порушують природний процес циркуляції прісної води в екосистемі!

Способи очистки води (їх ранжовано від найпопулярніших і найдоступніших до менш відомих і поширених) наведено на малюнку 7.34.



Мал. 7.34. Способи очистки води. 1. Кип'ятіння. 2. Механічна очистка. 3. Вугільні фільтри. 4. Зворотний осмос. 5. Йонний обмін. 6. Ультрафільтрація. 7. Озонування. 8. Ультрафіолетове опромінення. 9. Нанофільтрація. 10. Мідноцинкові фільтри. 11. Біологічна очистка. 12. Дистиляція. 13. Керамічні фільтри. 14. Виморожування. 15. Мінеральні судини

## ЯКІСТЬ ВОДИ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Вода, яку ми споживаємо, обов'язково має бути чистою. У результаті забруднення джерел води людині насамперед передаються такі хвороби, як черевний тиф, дизентерія, холера, анкілостомоз. Через воду може передаватися інфекційна жовтяниця, туляремія, водна лихоманка, бруцельоз, поліомієліт. Часом вода стає джерелом зараження людини тваринами-паразитами — глистами. Іноді через воду відбувається зараження лямбліями, які вражають тонкий кишечник і печінку.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Поміркуйте й поясніть, чому: а) ґрунт просихає швидше у вітряну погоду; б) у хірургії для пришвидшення очищення гнійних ран використовують як пов'язку марлю, змочену в 10 %-му розчині натрій хлориду; в) посипаний цукром лимон пускає сік; г) сухофрукти у воді набрякають; д) якщо пірнути в річкову воду й розплющити очі, то під повіками швидко виникає відчуття різі, а в морській воді таких больових відчуттів немає; е) коли варять суп, то солять воду відразу, а якщо потрібно приготувати відварне м'ясо, то його варять спочатку в несолоної воді, а солять уже готовим; є) кальциновану соду не можна використовувати для прання вовни й шовку.
2. Проаналізуйте уривки з книги Майкла Фарадея «Історія свічки» й поясніть з огляду на вивчене, про що йдеться в них: а) «Ось тут у мене досить пориста речовина — стовпчик кухонної солі. У тарілку, де стоїть стовпчик, я наливаю не воду, як ви, ймовірно, подумали, а насичений розчин солі, який уже більше розчиняє сіль не зможе; тож явище, яке ви побачите, не можна буде пояснити розчиненням солі. Уявімо собі, що тарілка — це свічка, стовпчик солі буде ґнотом, а цей розчин — розтопленим салом або воском. Аби вам було видніше, я підфарбував розчин. Дивіться, я підливаю рідину, а вона піднімається стовпчиком солі все вище й вище, тож, якщо він не впаде, підфарбована рідина добереться до самого верху стовпчика. Отже, якщо б цей підсинений розчин міг горіти й на верхівку соляного стовпчика ми помістили б ґніт, рідина, усмоктувана ґнотом, горіла би.»; б) «Зараз у мене все готове для досліду з конденсації води з продуктів горіння свічки, і я насамперед постараюся довести вам, що це дійсно вода. Мабуть, найліпший спосіб показати, що вона є відразу всій аудиторії — це продемонструвати будь-яку дію води, яку було б чітко видно, а потім випробувати в такий спосіб те, що збереться в краплю на дні ось цієї чашечки. (Лектор підставляє свічку під чашечку із сумішшю льоду й солі.)

Тут у мене якась речовина, відкрита сером Гемфрі Деві; вона дуже енергійно реагує з водою, і я цим скористаюся, щоб довести наявність води. Це калій, який видобувають з поташу. Я беру маленький шматочок калію й кидаю його в цю чашку. Ви бачите, як він спалахує, горить яскравим, сильним полум'ям і «бігає» поверхнею води. Тепер я приберу свічку, яка деякий час горіла у нас під чашкою із сумішшю льоду й солі; ви бачите, що з дна чашечки звисає крапля води сконденсованого продукту горіння свічки. Я покажу вам, що калій прореагує з цією водою так само, як з водою в чашці. Дивіться... Калій спалахує й горить абсолютно так само, як у попередньому досліді. Іншу краплю води я вловлюю на це скло, кладу на неї шматочок калію, і тому, як він загоряється, ви можете судити про те, що тут є саме вода. А ви пам'ятаєте, що ця вода виникла зі свічки.

Якщо я накрию ось тією банкою запалену спиртівку, ви скоро побачите, як банка запітніє від роси, що осіла на її внутрішній поверхні, а ця роса також є результатом горіння. По краплях, які капатимуть на підстелений папір, ви, поза сумнівом, через деякий час побачите, що від горіння спиртівки утворюється неабияка кількість води. Я не зрушуватиму цю банку, і ви потім зможете подивитися, скільки води накопичилося. Аналогічно, помістивши охолоджувальний пристрій над газовим пальником, я також отримав воду, тому що вода утворюється й унаслідок горіння газу. У цій банці зібрано деяку кількість води — ідеально чистої, дистильованої води, отриманої під час горіння світільного газу; вона нічим не відрізняється від води, яку ви могли б добути перегонкою річкової, океанської або джерельної — це точнісінько така сама вода».



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

3. Визначте, які речовини позначено цифрами на малюнку 7.35.



Мал. 7.35. Who is Who?

4. Прокоментуйте цитату з твору Антуана де Сент-Екзюпері<sup>1</sup> «Планета людей»: «Вода, у тебе немає ні смаку, ні кольору, ні запаху, тебе неможливо описати, тобою насолоджуються, не відаючи, що ти таке. Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти — саме життя. Ти наповнюєш нас радістю, що її неможливо пояснити нашими почуттями».



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Порівняння хімічного складу морської води й крові людини та біологічних рідин деяких тварин.
2. Уплив твердості води на мийну дію «натурального» мила та синтетичних мийних засобів. Способи усунення твердості води.
3. Дослідження капілярних ефектів та осмосу.
4. Дослідження явища поверхневого натягу речовин.



## ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Як усунути накип з чайника? Уплив накипу: порівняння ефективності роботи електричного чайника.
- «Жива» і «мертва» вода: міфи й реальність.

<sup>1</sup> Антуан де Сент-Екзюпері, (1900–1944), Франція.

# ЗЕМЛЯ



## В. 8. АТМОСФЕРА

Чи замислювалися ви над тим, чому слово «атмосфера» має кілька значень. Коли ми говоримо про атмосферу, то маємо на думці повітряну оболонку Землі, а також — умови, обстановку, породжені соціальним середовищем, колективом, родиною тощо. І всі ми знаємо вираз — «це мені необхідно як повітря».

Атмосфера — це прозорий захисник нашої планети (а отже і нас з вами). Лише можна уявити, якою б стала Земля, якби втратила свою повітряну оболонку — атмосферу.

Дізнаймося разом про таємниці атмосфери.

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

**Знати:** будову атмосфери, склад повітря.

**Називати:** основні джерела природного й антропогенного забруднення атмосфери.

**Наводити приклади:** електричних, оптичних і магнітних явищ в атмосфері.

**Розуміти:** роль озонового шару, умови виникнення електричних, оптичних і магнітних явищ в атмосфері.

**Пояснювати:** причину руху повітряних мас, явище парникового ефекту, механізм утворення кислотних дощів.

**Визначати:** показники температури повітря, атмосферного тиску, напрямку вітру.

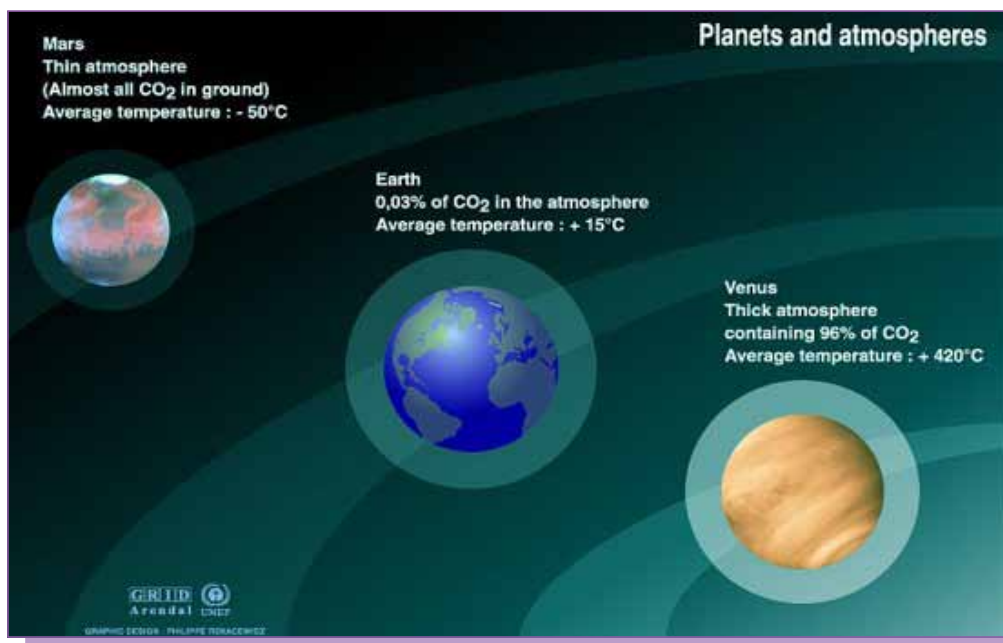
**Характеризувати:** шари атмосфери.

**Усвідомлювати:** вплив атмосферного тиску й вологості на організми та якості повітря на здоров'я людини

## ПРОЗОРА ОБОЛОНКА ЗЕМЛІ

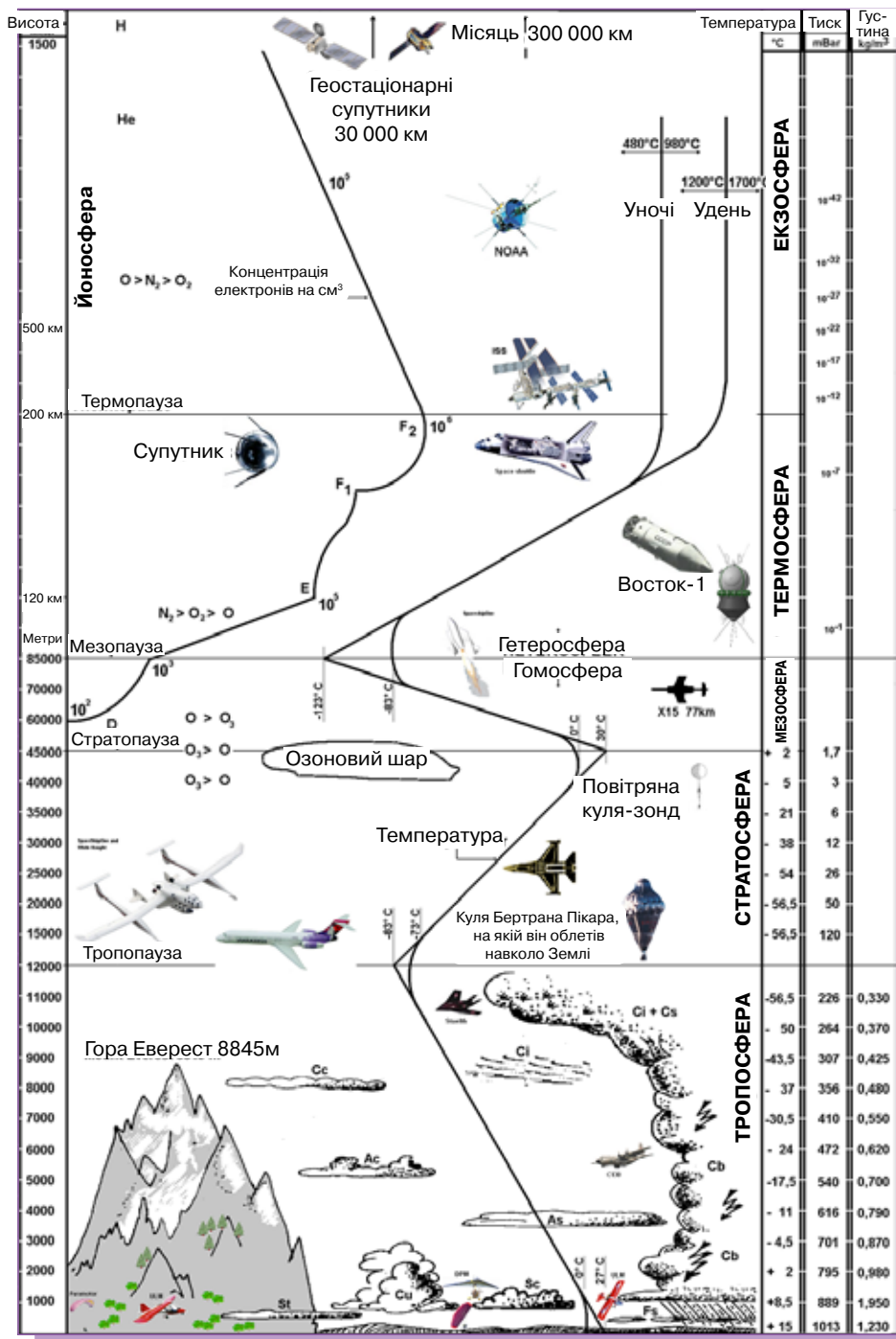
Від космічного простору, пронизаного потужним, згубним для всього живого випромінюванням, нашу планету (а отже й нас з вами) захищає газова оболонка — *атмосфера* (від грец. *ατμός* — пара та *Σφαῖρα* — сфера). Атмосфера — одна з геосфер, суміш газів і домішок (пилу, частинок льоду, водяної пари, продуктів згорання тощо), що оточують Землю, утримуються завдяки силі тяжіння й обертаються разом із Землею як одне ціле. Це визначення вже багато що говорить нам про атмосферу, бо вказує, поперше, на її склад; по-друге, — на складний рух, у якому атмосфера бере участь. А ще нам потрібно дізнатись, як сформувалася атмосфера, детальніше дослідити її хімічний склад і фізичні властивості, біологічне значення, порівняти її структуру й функції відповідно до обраного параметра: фізичного, технічного, фізіологічного. Тож почнімо.

На відміну від гідросфери, яка властива лише нашій планеті, газові оболонки є й в інших планет Сонячної системи. Атмосфера може існувати лише за умови досить великої маси космічного об'єкта. Тому, наприклад, Меркурій і наш супутник Місяць, як й інші малі об'єкти Сонячної системи, не мають атмосфери. У Венери, Землі й Марса є атмосфери (мал. 8.1), які складаються з газів, що виділилися з надр цих планет під час їх утворення. Атмосфера Землі, як і гідросфера, утворилася внаслідок дегазації мантії. У планет-гігантів атмосфери є безпосереднім продовженням їхніх надр, оскільки ці планети не мають твердої чи рідкої поверхні.



Мал. 8.1. Уміст (%) карбон(IV) оксиду в атмосфері Землі (а), Венери (б), Марса (в) та середня температура на цих планетах

Дізнатися більше про основні характеристики атмосфери Землі ви зможете, проаналізувавши малюнок 8.2 (*зробіть це*).



Мал. 8.2. Про атмосферу

Позначення хмар: Шаруваті – Stratus (St); Шарувато-купчасті – Stratocumulus (Sc); Купчасті – Cumulus (Cu); Перисто-купчасті – Cirrocumulus (Cc); Купчасто-дощові – Cumulonimbus (Cb); Перисті – Cirrus (Ci); Перисто-шаруваті – Cirrostratus (Cs); Високо-купчасті – Altostratus (As); Високо-шаруваті – Altostratus (As)

В атмосфері виокремлюють шари залежно від вибраних параметрів (мал. 8.3, 8.4, 8.6).



Мал. 8.3. Шари атмосфери, виокремлені за ознаками зміни температури, відносної вологості та рухливості

Майже 80 % маси повітря зосереджено в *тропосфері*, що має товщину від 8–10 км над полюсами, до 16–18 км на екваторі. Температура в тропосфері *знижується зі збільшенням висоти*, а саме на 6 °С на кожні 1000 м. Тут міститься майже вся водяна пара атмосфери, формуються опади та відбувається горизонтальне й вертикальне переміщення повітря. Це самий теплий шар, оскільки сонячні промені відбиваються від земної поверхні та нагрівають повітря. Тропосфера є частиною *біосфери*.

Верхньою межею тропосфери є *тропопауза*. Її товщина становить майже кілометр. У ній, на відміну від тропосфери, спостерігають повільне підвищення температури з висотою.

Наступний шар — *стратосфера*. У нижній частині цього шару температура становить –55 °С, далі з висоти 25 км, *температура зростає* на 1–2 °С на кілометр висоти. Це явище зумовлене фотохімічними реакціями в межах тропопаузи, унаслідок яких виділяється тепло. На висоті 75–90 км спостерігають сріблясті хмари, утворені кристаликами льоду.

Особливістю стратосфери є *озоновий шар*. У стратосфері міжширотний теплообмін, протилежний тропосферному. Відповідно до такого розподілу температури змінюється і розподіл тиску, який впливає й на панівне переміщення повітряних мас (західний напрямок у тропосфері змінюється на східний у стратосфері). Такі явища відіграють значну роль у метеорології та суттєво впливають на повітроплавання.

*Стратопауза* відокремлює наступний шар — *мезосферу*, у якому відбувається швидке зниження температури, яка сягає –90 °С в мезопаузі — зоні мінімальної температури в атмосфері. Тут настільки холодно, що утворюються льодові хмари.

Вище починається *термосфера*, або тепла сфера, — зона надзвичайно розрідженого та нагрітого повітря. Температура на висоті 150 км становить близько +240 °С, а на висоті 600 км — +1500 °С. Температура підвищується тут переважно внаслідок поглинання сонячної радіації молекулами кисню, який у результаті цього розкладається на атоми.



Зовнішня частина атмосфери — шар розсіювання, що простягається до 2000–3000 км від поверхні Землі, називають *екзосферою*, у ній температура сягає +2000 °С. Швидкість руху атомів і молекул газів досягає тут другої космічної швидкості (11,2 км/с), що дає їм змогу долати земне тяжіння й розсіюватися в космічному просторі. Тому її й називають *сферою* розсіювання.



Мал. 8.4. Шари атмосфери, виокремлені за ступенем концентрації йонів

Шар атмосфери (у межах термосфери), у якому спостерігають відносно високу концентрацію позитивних молекулярних і атомних йонів та вільних електронів, називають *йоносферою*. Від ступеня йонізації залежить електропровідність атмосфери. У йоносфері вона в  $10^{12}$  разів більша, ніж поблизу поверхні Землі. Радіохвилі в йоносфері поглинаються, заломлюються та відбиваються. Саме внаслідок відбивання в йоносфері коротких радіохвиль можливий дальній радіозв'язок. Оскільки положення цих шарів і концентрація йонів постійно змінюються, то змінюються й умови поглинання, заломлення, відбивання та поширення радіохвиль, а отже й якість зв'язку. У йоносфері епізодично спостерігають *полярні сйива* та близьке до них за природою світіння нічного неба, а також різкі коливання магнітного поля, так звані *йоносферні магнітні бурі* (мал. 8.5).



Мал. 8.5. 1. Ніч була ясна й морозна. Північне сйиво запалило свої святкові вогні, розквіт небосхил гігантськими зеленувато-білими мерехтливими променями, пригасивши світло зірок. Хвилі холодного рожевого блиску омивали зеніт, а на горизонті рука титана спорудила блискучі арки (Джек Лондон. «Дочка північного сйива»). 2. Розмаїття процесів різної природи в йоносфері



Мал. 8.6. Шари атмосфери, виокремлені за ознакою зміни газового складу

*Висловте припущення щодо тлумачення назв цих шарів атмосфери, узявши до уваги, що грец. ομοσ — однаковий, εταρος — інший, Σφαιρα — куля.*

Згідно із законом Дальтона (Джон Дальтон, (1766–1844), Велика Британія) в атмосфері має бути гравітаційний поділ газу, тобто внаслідок збільшення висоти вміст важких газів має зменшуватися швидше, ніж легких, і тому на значній висоті мали б переважати легкі гази. Однак виявилось, що до висоти 90–100 км повітря інтенсивно перемішується, і тому до цієї висоти вміст основних газів атмосфери сталий, тому цей шар називають *гомосферою*. Чисте сухе атмосферне повітря є механічною сумішшю газів. Об'ємні частки (%) її складників такі:  $N_2$  — 78,08,  $O_2$  — 20,95,  $Ar$  — 0,93,  $CO_2$  — 0,03. Крім того, у гомосфері завжди міститься водяна пара, кількість якої залежить від стану погоди, характеру місцевості та багатьох інших чинників.

Вище від 100 км склад повітря істотно змінюється. Тут насправді відбувається гравітаційний поділ газів. Основним процесом, що зумовлює зміну складу повітря вище 100 км, є дисоціація або розкладання молекул під дією сонячної радіації. До складу повітря входять уже не молекули газів, а атоми та йони. На висотах 100–800 км головними компонентами атмосферного повітря є атоми Оксигену, Гідрогену, Нітрогену. На більших висотах переважають атоми Гідрогену та Гелію, а на висоті понад 3000 км — атоми Гідрогену. Цей шар називають *гетеросферою*.

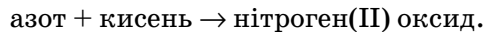
Як нам відомо (див. В.1), первинна атмосфера Землі до появи на ній біологічних форм життя складалася переважно з азоту, вуглекислого газу, водяної пари, водню та гелію. Уміст кисню в цій «добіотичній» атмосфері був незначним; його накопичення почалося близько 2,5 млрд років тому й відбувалося нерівномірно. Суміш газів, з яких складається атмосфера, називають *повітрям*. Хімічний склад повітря впродовж процесу еволюції стабілізувався, як припускають, кілька сотень мільйонів років тому. Більше про склад повітря ви дізнаєтеся, проаналізувавши дані, наведені в таблиці 8.1 (*зробіть це*).

Таблиця 8.1.

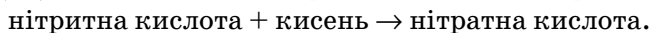
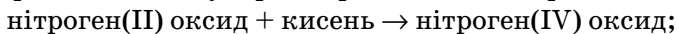
Назва газу	Хімічна формула	Частка (%)	
		Об'ємна	Масова
Азот	N <sub>2</sub>	78,084	75,5
Кисень	O <sub>2</sub>	20,95	23,1
Аргон	Ar	0,93	1,286
Карбон(IV) оксид	CO <sub>2</sub>	0,0397	0,059
Неон	Ne	0,0018	0,0014
Гелій	He	0,000524	0,000073
Метан	CH <sub>4</sub>	0,000179	0,000084
Криптон	Kr	0,000114	0,003
Водень	H <sub>2</sub>	0,000055	0,00008
Нітроген(I) оксид	N <sub>2</sub> O	0,0000325	0,000077
Ксенон	Xe	0,000009	0,000005
Озон	O <sub>3</sub>	0,000007	0,000005

Крім того, у повітрі міститься водяна пара, деяка кількість пилу, аерозольні частки.

Кожен з газів виконує певну функцію. *Кисень* забезпечує процеси дихання, горіння, повільного окиснення. Наприклад, за його участі відбувається хімічна ерозія та інші реакції в поверхневому шарі літосфери. *Азот* — малоактивна речовина (*поясніть чому з огляду на будову його молекули*), однак під час грози реагує з киснем:



Далі відбувається низка хімічних реакцій, унаслідок яких у ґрунт потрапляють нітрат-аніони, їх убирає коренева система рослин:



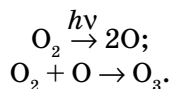
*Перетворіть схеми реакцій на хімічні рівняння, класифікуйте їх за різними ознаками, проаналізуйте з погляду окиснення-відновлення.*

Біологічна фіксація азоту відбувається, коли атмосферний азот перетворюється на амоніак ферментом нітрогеназой нітрогенофіксувальних мікроорганізмів. Найактивнішими фіксаторами атмосферного азоту є бульбочкові бактерії в симбіозі з бобовими рослинами. За рік вони можуть нагромадити на площі 1 га до 60–300 кг Нітрогену. Для підвищення азотфіксувальної здатності ґрунту вносять бактеріальні добрива. Нітрифікувальні мікроорганізми окиснюють амоніак до нітритної кислоти, а потім — до нітратної. Так після низки перетворень Нітроген стає складником білків — речовин, з яких складається все живе.

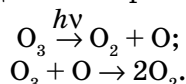
*Карбон(IV) оксид*  $\text{CO}_2$  затримує до 18 % теплового випромінювання Землі. Він також поглинає та випромінює довгохвильову радіацію й разом з водяною парою, метаном, озonom в атмосфері бере участь у створенні парникового ефекту. Кількість вуглекислого газу в повітрі залежить від багатьох чинників. У північних широтах його менше, ніж у помірних, над океаном менше ніж над суходолом, удень менше, ніж уночі. Надходить він до атмосфери внаслідок виверження вулканів, розкладання органічних речовин, у процесі горіння та дихання тварин, а витрачається в процесі фотосинтезу рослин.

Уміст *озону*  $\text{O}_3$  в атмосфері дуже малий — від  $2 \cdot 10^{-6}$  % узимку, до  $7 \cdot 10^{-6}$  % улітку. Однак значення цього газу для життя на Землі дуже велике: він захищає організми від згубної дії короткохвильової ультрафіолетової радіації (УФР). Водночас озон дуже отруйний, він знищує плісняву та бактерії. Уміст озону поблизу поверхні Землі всього  $0,07 \cdot 10^{-6}$  %, у деяких районах під час смогу сягає  $0,5 \cdot 10^{-6}$  %. Уже така концентрація озону за півгодини призводить до загибелі деяких видів рослин. Дихальні шляхи людини озон подразнює за об'ємної концентрації  $0,1 \cdot 10^{-6}$  %. Концентрація  $5 \cdot 10^{-6}$  уже небезпечна для життя.

У високих шарах атмосфери озон постійно утворюється й розкладається. Утворюється під дією УФР з довжиною хвилі  $< 0,170$  мкм: молекули кисню збуджуються і розкладаються на два атоми, які легко приєднуються до молекул кисню:

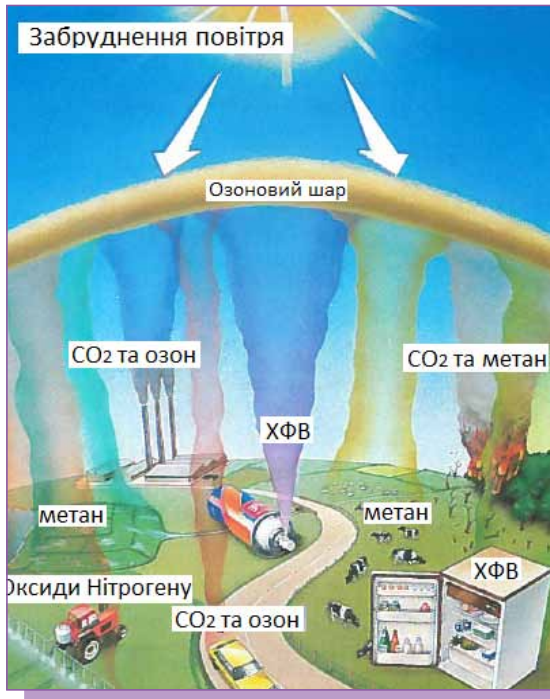


Розкладається під дією УФР більшої довжини хвиль, особливо  $0,255$  мкм та унаслідок взаємодії з атомарним киснем:



У нижніх шарах атмосфери озон утворюється під час грозових розрядів, а в лабораторіях виробляють з кисню за допомогою електричного розряду в спеціальних приладах — озонаторах. Озон поширений нерівномірно. Найменше його над екватором, найбільше — над субполярними широтами ( $70\text{--}80^\circ$  пн. ш. і  $60\text{--}70^\circ$  пд. ш.) і далі до полюсів знову різко зменшується. Основна маса озону зосереджена в *озоносфері* — на висоті від 10 до 50 км. Максимальна концентрація озону — на висоті 20–25 км.

Останніми роками спостерігають деяке зменшення загального вмісту озону в атмосфері, особливо у стратосфері. Натомість у приземному шарі є тенденція до його збільшення, особливо в місцях концентрованого забруднення атмосфери. *Озонова діра* — це локальне зниження концентрації озону у стратосфері на 10–40 %. Викликає занепокоєння збільшення кількості людей, які потерпають від ракових захворювань шкіри. Це результат впливу ультрафіолетових променів Сонця, що проникають крізь зруйнований озоновий шар. Про чинники, які зумовлюють забруднення повітря та, як наслідок, руйнування озонового шару, ви дізнаєтеся, проаналізувавши малюнок 8.7 (*зробіть це*).



Мал. 8.7. Основні руйнівники озону: 1) оксиди Нітрогену, які утворюються внаслідок випробувань ядерної зброї, запусків ракет і космічних кораблів, польотів реактивних літаків, роботи підприємств, на яких виробляють і використовують нітратну кислоту, вихлопів двигунів внутрішнього згорання; 2) хлорофлуоровуглеводні (ХФВ), які застосовують у холодильній техніці як холодоагенти, в аерозолях як пропеленти; 3) водяна пара, яка потрапляє до озонової оболонки як продукт згорання ракетного палива; 4) метан — продукт життєдіяльності великої рогатої худоби.

Властивості газів, що входять до складу атмосферного повітря, під тиском змінюються. Наприклад, кисень під тиском, що перевищує нормальний атмосферний удвічі, чинить отруйну дію на організм. Азот під тиском, що вп'ятеро перевищує нормальний, чинить наркотичну дію (азотне сп'яніння). Кожен складник повітря з підвищенням тиску до певних меж стає небезпечним для організму.

*Аерозольні частинки* — це завислий стан мінерального і вулканічного пилу, продуктів згорання (дим), кристаликів морських солей, спор і пилку рослин, мікроорганізмів. Склад аерозолів визначає рівень прозорості атмосфери.

Аерозолів в атмосфері дуже багато. У повітрі об'ємом  $1 \text{ см}^3$  у промислових центрах їх міститься десятки тисяч, у сільській місцевості — тисячі, у повітрі над океанами — сотні, а в атмосфері на висоті 5–10 км — кілька десятків. Аерозолі:

- плавають в атмосфері тривалий час, найдрібніші не опускаються на поверхню Землі роками, їх переносять повітряні течії на десятки тисяч кілометрів;
- зменшують надходження сонячної енергії до поверхні Землі;

- можуть завдавати великої шкоди врожайності сільськогосподарських культур, лісовому господарству, продуктивності тварин, будівлям та здоров'ю людей.

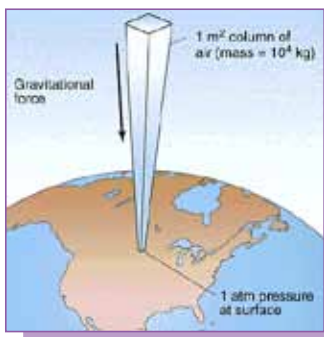
*Водяна пара і карбон(IV) оксид є природними атмосферними фільтрами, що затримують довгохвильове теплове випромінювання земної поверхні. Унаслідок цього виникає парниковий ефект, який зумовлює загальне підвищення температури земної поверхні (мал. 8.8). Докладніше про це буде далі.*



Мал. 8.8. Парниковий ефект

## НА ДНІ ПОВІТРЯНОГО ОКЕАНУ

«Повітряний океан» — так образно називають атмосферу. Люди на поверхні землі водночас перебувають на «дні» цього повітряного океану. Під дією земного тяжіння верхні шари атмосфери тиснуть на її нижні шари. Поверхня Землі й тіла на ній зазнають тиску всього повітряного шару (подібно до того, як тіла на дні водойм зазнають тиску води, до якого додається ще й атмосферний тиск). За допомогою дослідів встановлено, що за температури 0 °С маса повітря об'ємом 1 м<sup>3</sup> становить 1,29 кг. Маса всієї атмосфери приблизно дорівнює 5 · 10<sup>18</sup> кг, а це одна мільйонна частина маси Землі. (До відома: за добу через легені людини проходить повітря масою 20–30 кг. Маса повітря в класній кімнаті становить приблизно 30–40 кг.) На поверхню площею 1 м<sup>2</sup> тисне повітря масою близько 10 тонн (мал. 8.9), тобто тиск атмосфери становить 10<sup>5</sup> Па!



Мал. 8.9. 1. Остап Бендер у романі І. Ільфа<sup>1</sup> та Є. Петрова<sup>2</sup> «Золоте теля» журився: «На кожну людину, навіть партійну, тисне повітряний стовп вагою в 214 кг!

Це науково-медичний факт. І мені стало з недавнього часу важко. Ви тільки подумайте! Двісті чотирнадцять кіло! Тиснуть! Цілодобово! Особливо ночами! Я погано сплю!! Так ось і живу, — продовжував Остап, з тремтінням у голосі». 2. Співвідношення тисків в організмі людини: атмосферний тиск 1 атм = 760 мм рт. ст.; внутрішній тиск організму або тиск міжклітинної рідини (дорівнює атмосферному); серце подібно до насосу створює підвищений тиск крові (артеріальний тиск) для подолання опору в стінках судин; артеріальний тиск на 80–120 мм рт. ст. (10–16 %) вище від атмосферного.

<sup>1</sup> Ілля Арнольдович Ільф, (1897–1937), Росія

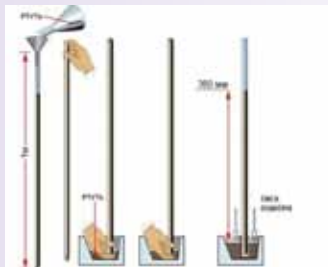
<sup>2</sup> Євген Петрович Петров, (1903–1942), Росія

Але великий комбінатор трохи помилявся (*проаналізуйте й інші помилки в наведеному фрагменті*). Доросла людина відчуває на собі тиск повітря масою 10–15 тонн! Чому ж люди не відчувають дії атмосферного тиску? Справа в тому, що кровоносні судини й інші порожнини організму, що заповнені рідинами або газами, чинять на стінки судин і порожнин такий самий тиск. Тому тканини організму не деформуються, а атмосферний тиск не відчувається. Якщо ж зовнішній атмосферний тиск змінюється, то людина відчуває певний дискомфорт.



Виміряти атмосферний тиск можна в спосіб, запропонований у XVII ст.

Торрічеллі (Еванджеліста Торрічеллі, (1608–1647), Італія), учнем Галілея (Галілео Галілей, (1564–1642), Італія). Дослід Торрічеллі (мал. 8.10) полягає ось у чому: скляну трубку завдовжки 1 м, запаяну з одного кінця, наповнюють ртуттю. Потім, щільно закривши інший кінець трубки, її перевертають, опускають у чашку з ртуттю і під ртуттю відкривають кінець трубки. Частина ртуті при цьому виливається в чашку, а частина залишається в трубці. Висота стовпчика ртуті, що залишилася в трубці, дорівнює 760 мм. У трубці над ртуттю повітря немає, там безповітряний простір.



Мал. 8.10. Дослід Торрічеллі

Торрічеллі, який запропонував описаний вище дослід, сам і пояснив його. Атмосфера тисне на поверхню ртуті в чашці. Створений стовпчиком ртуті тиск врівноважено атмосферним тиском, який не дає ртуті вилитися. Якби він був більшим за атмосферний, то ртуть вилитася б з трубки в чашку, а якби меншим, то піднімалася б у трубці вгору.

Звідси випливає, що *атмосферний тиск дорівнює тиску стовпчика ртуті в трубці*. Вимірявши висоту стовпчика ртуті, можна обчислити тиск, який чинить ртуть, — він і дорівнюватиме атмосферному тиску. Тому на практиці атмосферний тиск можна вимірювати висотою ртутного стовпчика (у міліметрах або сантиметрах). Якщо, наприклад, атмосферний тиск дорівнює 780 мм рт. ст., то це означає, що повітря чинить такий самий тиск, як і вертикальний стовпчик ртуті висотою 780 мм. Отже, у цьому разі за одиницю атмосферного тиску взято 1 мм ртутного стовпчика (1 мм рт. ст.).

Щоб з'ясувати, скільки це в Паскалях, визначимо тиск ртутного стовпчика висотою 1 мм за формулою  $p = \rho gh$ .

Підставивши числові значення, маємо:

$$p = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133,3 \text{ Па.}$$

Отже, 1 мм рт. ст.  $\approx$  133,3 Па.



На практиці використовують й інші одиниці:

1 бар = 100 000 Па;

1 атм (технічна) = 98 100 Па;

1 атм (фізична) = 101 325 Па.

Нормальний атмосферний тиск дорівнює 1 атм (фізична) або 1013 Па, або 0,01013 бар, або 760 мм рт. ст. У хімії IUPAC змінив значення стандартної температури і тиску (STP) у 1982 році: 273,15 K (0 °C) та  $10^5$  Па відповідно.

Оскільки густина атмосфери зменшується з висотою, то атмосферний тиск також зменшується зі змінною її. Зі збільшенням висоти на кожні 11 м тиск зменшується на 1 мм рт. ст. (або на 133 Па). Отже, за різницею тиску можна визначити висоту місцевості.



Указавши атмосферний тиск, додають, що це значення на *рівні моря*. Що таке «рівень моря»? Це положення вільної поверхні Світового океану. Висота якогось пункту відносно рівня моря є його *абсолютною висотою*. В Україні та в деяких інших європейських країнах висоту поверхні прийнято визначати за середнім багаторічним рівнем Балтійського моря, який зафіксований на Кронштадтському футштоці<sup>1</sup>. Це один з найстаріших водомірних постів у світі, який діє з 1707 р. У Швейцарії, Франції та деяких країнах Африки, зокрема й колишніх французьких колоніях, за точку відліку прийнято рівень Середземного моря біля міста Марселя. А ось у Великій Британії для відліку висот використовують рівень води в протоці Ла-Манш поблизу міста Ньюліна. У Німеччині теж свій рівень моря — Балтійського в голландському місті Амстердамі. У Китаї морем, за рівнем якого відмірюють висоту місцевості, є Жовте, а пост з мареографа розташований у місті Циндао. США та Канада також мають свій орієнтир для відліку, ним є рівень у річці Святого Лаврентія в районі канадського міста Рімуські. З цієї причини абсолютні висоти на картах, виданих у різних країнах, можуть відрізнятися на кілька метрів.

За законом Паскаля атмосферний тиск, створений усіма шарами повітря, біля поверхні Землі передається однаково в усіх напрямках. Тому тиск змінюється не тільки з висотою, а й з широтою. Нерівномірний розподіл атмосферного тиску зумовлює рух повітря — *вітер*.

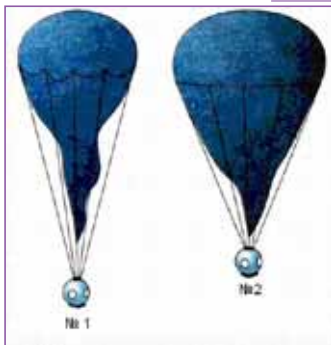
На практиці досить часто потрібно враховувати дію атмосферного тиску.

*Розгляньте малюнок 8.11 і визначте особливості дії атмосферного тиску в кожній ситуації.*

Представники видів фауни та флори адаптувалися до умов довкілля, зокрема й до дії тиску: для наземних — атмосферного, для підводних — сумарного: атмосферного й гідростатичного. На глибоководних мешканців впливають умови навколишнього середовища: мала кількість світла й колосальний тиск. Деякі організми мають добре розвинуті органи зору величезних розмірів 30–50 % об'єму голови, а в інших — вони атрофовані. Більшість з них світиться. Скелет і мускулатура слабо розвинуті. Тиск усередині тіла риби дорівнює тиску в навколишньому середовищі (*Ви можете уявити, що відбуватиметься з глибоководною рибою за швидкого її підняття?*).

<sup>1</sup> Футшок (від нім. Fußstock або нід. voetstok) — рейка (або жердина) з поділками на водомірному посту для спостережень за рівнем води в морі, річці, озері.



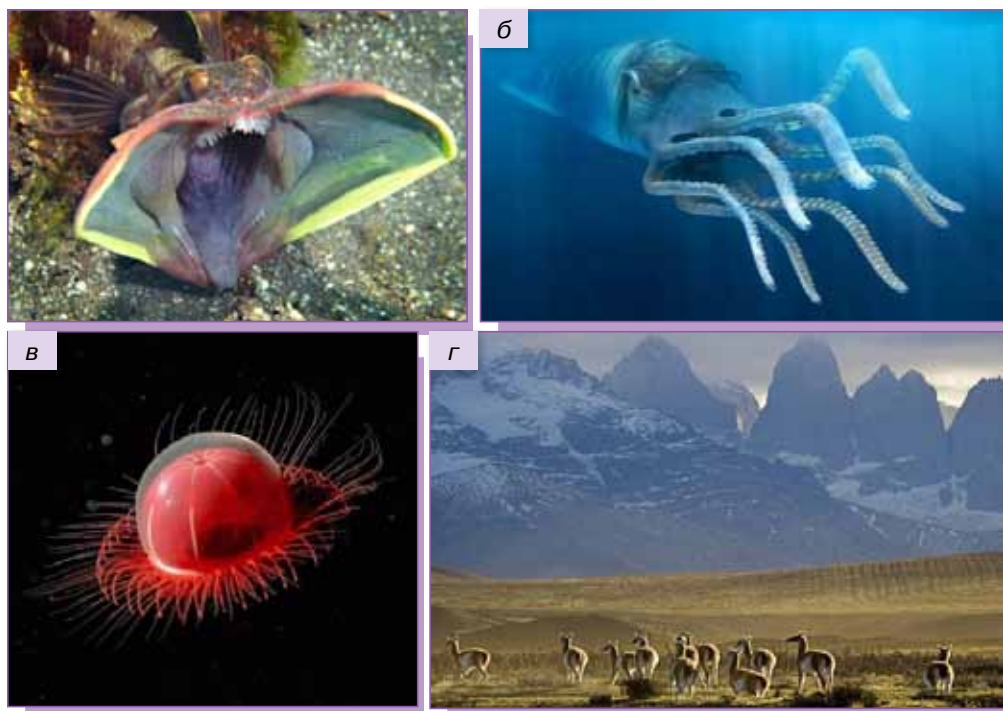


Мал. 8.10. Як людина використовує (створює) різницю тисків повітря — що міститься в емкостях і зовнішнього атмосферного

Натомість за низького тиску тварини мають характерні пристосування, які допомагають їм у боротьбі за існування (великі копита, довге й пухнасте хутро тощо) (мал. 8.11).

Високо в горах, під час польотів на літальних апаратах без герметичної кабіни, від 2000 м та вище людина перебуває в больовому стані, унаслідок якого виникає кисневе голодування — висотна гіпоксія. Різновидом висотної гіпоксії є гірська хвороба, де додатковими чинниками, що її спричиняють, є втома, охолодження та зневоднення організму, ультрафіолетове випромінювання, різка зміна температури впродовж дня тощо.

У результаті відбуваються порушення в роботі серцево-судинної, дихальної, нервової та інших систем (слабкість, втома, аритмія, гостра серцева недостатність, набряк легень, мозку). Для зняття синдромів висотної хвороби необхідно якомога швидше спустити потерпілу людину та надати їй термінову лікарську допомогу. Тому під час підйому на висоту необхідно враховувати не лише кліматичні фактори, а й індивідуальні особливості організму (мал. 8.12).



Мал. 8.11. Організми в умовах різного тиску: а-в — на глибині; г — у горах



Мал. 8.12. Можливість виникнення висотної хвороби в людини: а — праця на рівні 124 поверху (м. Дубаї); б — сходження в горах

*Кесонна хвороба* — комплексні зміни, що розвиваються внаслідок переходу від високого атмосферного тиску до нормального або від нормального до зниженого. Назва походить від фр. *caisson* (ящик) — камери, для

проведення роботи під водою в 40-х роках ХІХ ст. Ця хвороба властива тим фахівцям, які працюють в умовах кесонних камер, зокрема підводників, інколи — у пілотів. Унаслідок кесонної хвороби може виникнути біль у суглобах, кістках, м'язах, головний біль, запаморочення, підвищене потовиділення, нудота; порушення функціонування серцево-судинної та дихальної систем, що призводять до летальних наслідків. Для зняття симптомів кесонної хвороби реаніматологи, травматологи та низка інших фахових лікарів залежно від ступеня хвороби проводять повільну рекомпенсацію потерпілого, аби нормалізувати його стан.

## ЯК СОНЯЧНІ ПРОМЕНІ ДОСЯГАЮТЬ ДНА ПОВІТРЯНОГО ОКЕАНУ

Не менш цікавими є особливості поширення сонячного світла крізь атмосферу. Енергію, яку випромінює Сонце, називають *сонячною радіацією*. Спектр випромінювання Сонця дуже широкий і його за довжиною хвиль поділяють на кілька ділянок.

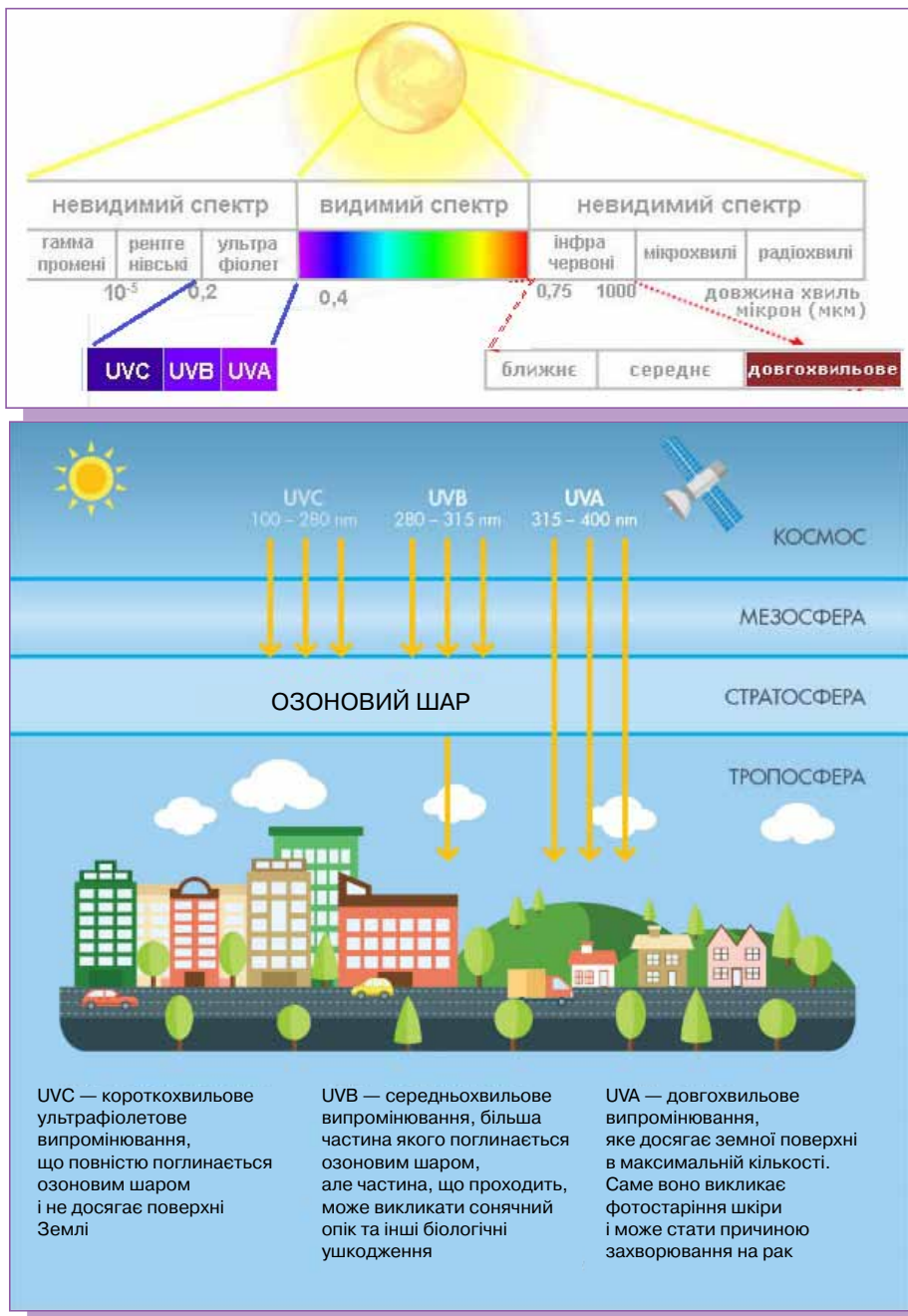
Сонячні промені поширюються зі швидкістю  $3 \cdot 10^5$  км/с й досягають поверхні Землі через 8 хв. Потік радіації, що надходить на верхню межу земної атмосфери за одиницю часу на одиничну перпендикулярну сонячним променям поверхню за середньої відстані від Землі до Сонця, називають *сонячною сталою*. Міжнародна комісія з радіації рекомендувала взяти як стандартне значення сонячної сталої 1,98 кал тепла за 1 хв на 1 см<sup>2</sup> поверхні Землі або 1382 Вт/м<sup>2</sup>. Зміст поняття «сонячна стала» полягає в тому, що на цю величину ще не впливає атмосфера.

Під час проходження крізь атмосферу сонячна радіація суттєво змінюється (мал. 8.13): частину вбирають певні газоподібні складники атмосфери та домішки й перетворюють на тепло. Частину розсіюють молекули газів повітря та тверді й рідкі домішки; частина відбивається.



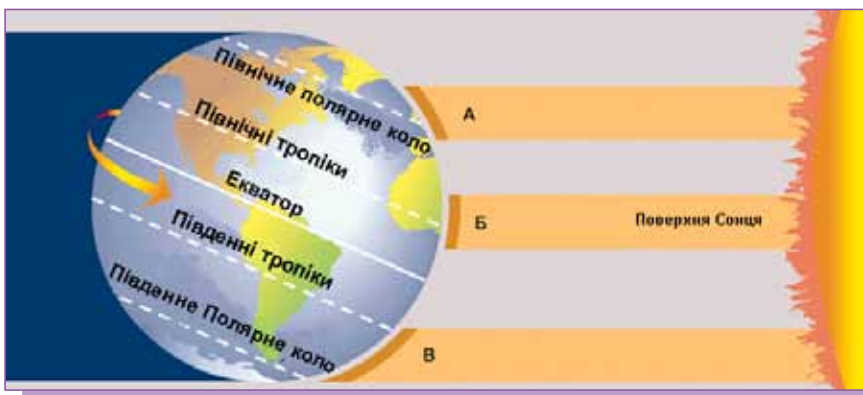
Мал. 8.13. Сонячна радіація та радіаційний баланс

Руйнівні для життя гамма-промені, ультрафіолетове й рентгенівське випромінювання повністю поглинає земна атмосфера. З того випромінювання, що доходить до поверхні Землі, близько 7 % припадає на ультрафіолетову частину спектра, 48 % — на видиму, 45% — на інфрачервону (мал. 8.14).



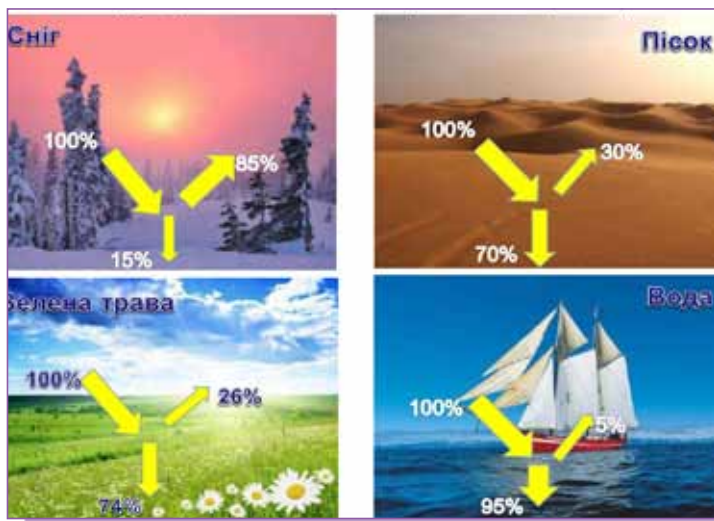
Мал. 8.14. Склад випромінювання, що досягає поверхні Землі

**Важливо:** унаслідок кулястості Землі та нахилу її осі обертання до екліптики, різні території отримують різну кількість сонячної енергії. На малюнку 8.15 зображено положення Землі 21 червня, коли промені Сонця на Північному тропіку падають прямовисно. Потоки А і В розподіляються на більші площі, у той час як енергія потоку Б концентрується на меншій. Так, на території, на яку припадає потік Б, буде тепліше, ніж там, куди надходять потоки А та В. За підрахунками, полярні райони отримують сонячної радіації в 2–4 рази менше, ніж на екваторі.



Мал. 8.15. Різні території отримують різну кількість сонячної енергії

Земля не тільки одержує сонячне тепло, а й віддає його через випромінювання й відбиття (мал. 8.16). Кількість відбитої радіації — *альbedo* — залежить від будови та фізичних властивостей поверхні. Світла поверхня снігів, льодовиків, пісків відбиває 45–80 % енергії; океан, навпаки, більшу частину енергії вбирає (відбита становить лише 6–10 %) і стає природним акумулятором тепла. Альbedo вологого ґрунту менше, ніж сухого, а суцільний рослинний покрив відбиває лише 10–25 % сонячної радіації.



Мал. 8.16. Альbedo — здатність поверхні відбивати.  $A = (I_b : I_0) \cdot 100 \%$

Під час проходження крізь атмосферу пряма сонячна радіація ще й розсіюється, тобто змінює напрямок поширення. Таке можливо в оптично неоднорідному середовищі, де показник заломлення змінюється. Такою є й атмосфера. Навіть за умови чистого повітря постійно змінюється його густина у зв'язку з тепловим рухом молекул. До того ж в атмосфері завжди є краплі рідини, кристали льоду й солей, пил тощо. Що більше в повітрі аерозолів, то більшим буде розсіювання. Воно залежить і від параметрів самого випромінювання. Так, фіолетові промені розсіюються в 14 разів сильніше, ніж червоні. Фіолетові та сині промені розсіюються більше, ніж блакитні, однак їхня енергія значно менша, ніж енергія блакитних променів, цим пояснюють *блакитний колір неба* (мал. 8.17, а).

Що довший шлях сонячних променів в атмосфері, то більше розсіюється коротких хвиль, і більшою залишається частка довгих хвиль у прямій радіації. Цим пояснюють жовте та червоне забарвлення Сонця й Місяця біля обрїю, особливо коли в повітрі є багато пилу, крапель чи кристалів (мал. 8.17, б).



Мал. 8.17. а — Тихе небо понад дахом Сине та безкрає, Темні віти понад дахом Дерево схиляє. (*Поль Марі Верлен*<sup>1</sup>. «Тихе небо понад дахом»); б — Відмикаю світанок скрипковим ключем. Чорна ніч інкрустована ніжністю. Горизонт піднімає багряним плечем день — як нотну сторінку вічності. (*Ліна Костенко*<sup>2</sup>. «Відмикаю світанок скрипковим ключем»); в — ...присмерки — сонце пішло спати за далекий ліс, залишивши на обрїї тремтіння золотого усміху... (*Євген Гуцало*<sup>3</sup>. «Діти війни»); г — І чим глибше за пагорби поринало сонце, тим нижчою ставала заграва, вужчою — вогниста смуга у воді понад лозами, наче хвилі ткали її кудись під берег. (*Григір Тютюнник*. «Холодна м'ята»)

<sup>1</sup> Поль Марі Верлен (1844–1896), Франція.

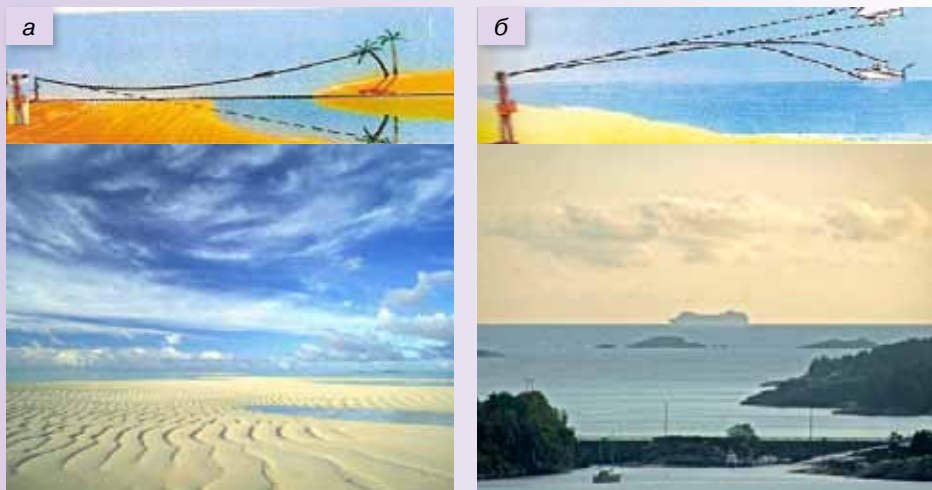
<sup>2</sup> Ліна Василівна Костенко (нар. 1930), Україна.

<sup>3</sup> Євген Пилипович Гуцало (1937–1995), Україна.

Наслідком розсіювання є вечірні й уранішні сутінки або присмерки (мал. 8.17, в). Часто до заходу й після сходу Сонця супутниками сутінок стають зміни кольорів небосхилу над цим світилом, які називають вечірньою й уранішньою зорею (мал. 8.17, г).



Заломленням світла пояснюють виникнення міражів.



Мал. 8.18. Утворення міражів

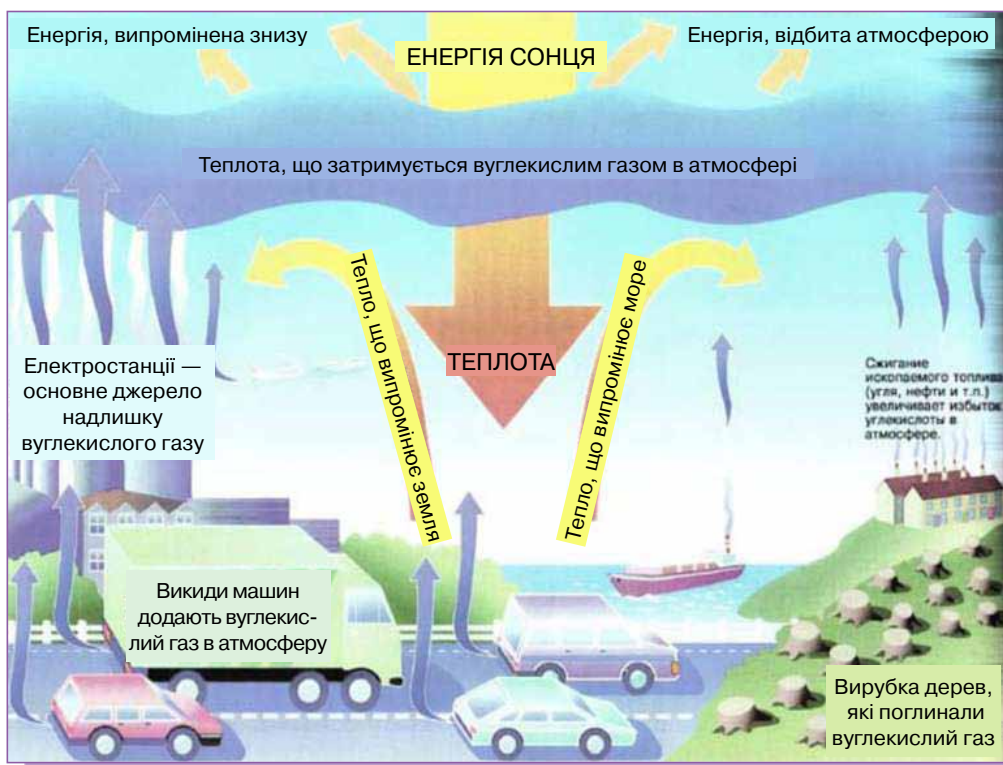
Удень у пустелі нижні шари повітря дуже прогріваються від гарячого піску, унаслідок чого повітря стає неоднорідним. Пройшовши крізь таке середовище, промінь плавно викривляється. У результаті цього, промінь, що йде зверху від блакитного неба, потрапляє в око мандрівнику знизу, і йому здається ніби він бачить блакитне озеро (мал. 8.18, а).

Такі міражі можна спостерігати спекотного літнього дня на автомобільних дорогах. Водію або пасажиру здається, що на асфальті є «калюжі», хоча насправді шосе сухе.

Міражі спостерігають і над морем. У цьому випадку тепліші шари повітря розташовані над холоднішими, й виникає так званий верхній міраж (мал. 8.18, б)

Поверхня Землі, нагрівшись, також стає джерелом випромінювання. Значну частку цього випромінювання поглинає атмосфера: хмари, вуглекислий газ, водяна пара. Нагріта атмосфера повертає Землі тепло зустрічним випромінюванням, яке компенсує втрати тепла земною поверхнею та створює *парниковий ефект* (мал. 8.19). Без парникового ефекту температура поверхні Землі, за оцінками, була б приблизно на  $33^{\circ}$  нижчою, ніж є насправді, і становила б  $18^{\circ}\text{C}$ .

Уважають, що підвищення концентрації парникових газів в атмосфері, зокрема вуглекислого газу, збільшує дію парникового ефекту, що призводить до зміни клімату в глобальних масштабах — *глобального потепління*. За останнє століття середня температура на планеті збільшилася на  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Учені прогнозують подальше потепління на  $1,5\text{--}4,5^{\circ}\text{C}$  на найближчі п'ятдесят років.



Мал. 8.19. Парниковий ефект у дії

Крім вертикального обміну теплом між атмосферою і землею поверхнею, відбувається ще й горизонтальне перенесення тепла вітрами, повітряними течіями, тропосферними циклонами.



Хоча повітря є сумішшю газів, його як і будь-який газ, характеризують складом, тиском, температурою та густиною, описують певними фізичними та хімічними законами. Причому й у фізиці, і в хімії їх не один-два. Є системи газових законів, що описують властивості газів з позиції їхньої мікро- й макробудови. З погляду фізики газові закони — це закони, які пояснюють ізопроцеси, що відбуваються в *ідеальному газі*. У хімії закономірності для опису газів перегукуються із законами фізики. Однак ці закони застосовні до *реальних газів*. Тепер варто розібратися, що таке ідеальний газ та ізопроцеси.

*Ідеальний газ* — фізична модель реального газу, у якій молекули вважають матеріальними точками, що майже не взаємодіють між собою.

Відразу зазначимо, що реальні гази набувають властивостей ідеального газу за значного розрідження, коли середня відстань між молекулами набагато більша за їхні розміри. Більшість реальних газів за звичайної (20–25 °C) температури й нормального атмосферного тиску є близькими за своїми властивостями до ідеального газу. Найближчими до ідеального газу є водень і гелій, а також повітря (за звичайних умов).

Зв'язок між тиском (*макроскопічним параметром*) і такими *мікроскопічними параметрами*, як маса однієї молекули й середня квадратична швидкість руху молекул, установлює *основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) газів*, яке записують так:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2 \text{ або } p = \frac{2}{3} n \bar{E}.$$





Основне рівняння МКТ газів підтверджує такий факт: що більшими є маси молекул та їхні швидкості, а також кількість молекул в одиниці об'єму (концентрація), то більший тиск вони чинять на стінки посудини.

Якщо газ є сумішшю кількох ідеальних газів, то молекули газів кожного типу тиснуть на стінку посудини незалежно. Згідно з принципом суперпозиції сил тиски газів, які утворюють суміш (парціальні тиски), додають. Це твердження вперше сформулював у 1801 р. фізик і хімік Джон Дальтон (1766–1844, Велика Британія), тому його називають *законом Дальтона*. Так, атмосферний тиск складається з парціальних тисків азоту, кисню та інших газів, що містяться в атмосферному повітрі.

У 1811 р. фізик і хімік Амедео Авогадро (1776–1856, Італія) відкрив важливий для фізики та хімії *закон Авогадро*, згідно з яким за однакових температур і тисків у рівних об'ємах різних газів міститься однакова кількість молекул. Згідно із законом будь-який ідеальний газ кількістю речовини 1 кмоль за нормальних умов ( $T = 273,15 \text{ К}$  або  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 10^5 \text{ Па}$ ) займає об'єм  $22,4 \text{ м}^3$ .

Фізик Людвіг Больцман (1844–1906, Австрія) показав, що середня кінетична енергія хаотичного руху молекул газу пропорційна абсолютній температурі

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT.$$

Коефіцієнт пропорційності, що входить до формули, називають *сталою*

*Больцмана*. Його значення  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  — це фундаментальна фізична стала, яка пов'язує температуру в енергетичних одиницях з температурою в кельвінах. Чисельно вона дорівнює зміні кінетичної енергії однієї молекули ідеального газу за зміни температури газу на 1 К (це співвідношення, установлене для ідеального газу, справджується й для рідин і твердих тіл, у яких атоми можуть лише коливатися біля положень рівноваги у вузлах кристалічних ґраток).

Що таке температура тіла? Відповідь нам здається нібито очевидно: температура характеризує ступінь нагрітості тіла, тому одні тіла гарячіші, інші холодні. Для фізиків такого висновку недостатньо. І саме дослідження властивостей газів дало змогу пояснити фізичний зміст температури. По-перше, температура залежить від внутрішнього стану тіла (його будови, характеру руху його молекул), по-друге, поняття температури має сенс лише для величезної кількості молекул. Поняття температури втрачає зміст, наприклад, для газу в космічному просторі, де концентрація молекул настільки незначна, що вони не утворюють газу в звичайному розумінні цього слова.

Температура, тиск і об'єм певної маси газу взаємопов'язані. Якщо ці параметри змінюються, то в газі відбувається той або інший процес. У природі часто проходять процеси, у яких одночасно змінюються всі три величини, що характеризують стан газу. Рівняння, яке зв'язує параметри стану цього газу ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ ), називають *рівнянням стану ідеального газу*:

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

де  $R$  — *універсальна газова стала*, що до-

рівнює добутку двох інших сталих — Больцмана й Авогадро. Його записують так:

$$R = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,03 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Це рівняння ще називають *рівнянням Менделєєва*<sup>1</sup> — *Клапейрона*<sup>2</sup> і воно дає змогу визначити один невідомий параметр стану ідеального газу, якщо інші параметри відомі, для газу будь-якого хімічного складу й довільної маси  $m$ . Єдина величина в цьому рівнянні, що залежить від виду газу, — це його молярна маса  $M$ .

<sup>1</sup> Дмитро Іванович Менделєєв (1834–1907), Росія.

<sup>2</sup> Бенуа Поль Еміль Клапейрон (1799–1864), Франція.



(Молярна маса дорівнює частці від ділення маси речовини  $m$  на кількість речовини  $n$ ,  $M = m/n$ , а кількість речовини  $n$  дорівнює частці від ділення кількості молекул (атомів чи йонів)  $N$  у певній порції речовини до числа Авогадро  $N_A$  (кількості атомів у Карбоні-12 масою 0,012 кг):  $n = N/N_A$ ).

Якщо в рівняння  $pV = nRT$  підставити значення тиску й температури, що відповідають нормальним умовам, то виявиться, що будь-який газ кількістю речовини один моль займає об'єм  $V_0 = 0,0224$  м<sup>3</sup>. Це було встановлено експериментально Амедео Авогадро й ще раз підтвердило, що в науці є два основні напрями досліджень: теоретичні й експериментальні. Виведене на підставі молекулярно-кінетичних уявлень рівняння підтверджує встановлений експериментально закон.

Лише за тиску в сотні атмосфер (коли виявляє себе об'єм молекул газу) і за температур, близьких до температур зрідження газу (унаслідок великої сили взаємодії молекул), відхилення від результатів розрахунків за рівнянням стану ідеального газу стають істотними.

У природі часто відбуваються процеси, коли водночас змінюються всі три параметри стану газу, при цьому маса газу залишається незмінною ( $m = \text{const}$ ). Якщо параметри на початку процесу, який відбувається з газом певної маси, позначити через  $p_1, V_1, T_1$ , а їхні значення в кінці процесу — через  $p_2, V_2, T_2$ , то співвідношення між значеннями тих чи тих параметрів на початку і наприкінці процесу для газу незмінної маси називають *газовим законом*:  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ , або  $\frac{pV}{T} = \text{const}$  — *під час*

*переходу газу незмінної маси з одного стану в інший добуток його тиску на об'єм, поділений на термодинамічну температуру газу, є сталою величиною.*

За допомогою рівняння стану ідеального газу можна досліджувати *ізопроеци*, у яких маса газу й один з трьох параметрів залишаються незмінними.

Процес зміни стану термодинамічної системи за сталої температури називають *ізотермічним* ( $m = \text{const}, M = \text{const}, T = \text{const}$ ).

Для цих умов з рівняння  $\frac{pV}{T} = \text{const}$  отримуємо:  $pV = \text{const}$  або  $p_1 V_1 = p_2 V_2$  або  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$ . Це рівняння було отримане експериментально (до створення молекулярно-

кінетичної теорії) фізиками Робертом Бойлем (1627–1691, Велика Британія) у 1662 році й Едмом Маріоттом (1620–1684, Франція) у 1676 році незалежно одним від одного, тому його називають *законом Бойля — Маріотта*.

Процес зміни стану термодинамічної системи за сталого тиску називають *ізобарним* (від грец.  $\text{ισος}$  — однаковий та  $\beta\alpha\rho\omicron\varsigma$  — вага) ( $m = \text{const}, M = \text{const}, p = \text{const}$ ). Відповідно до рівняння  $\frac{pV}{T} = \text{const}$  для вказаних умов маємо  $\frac{V}{T} = \text{const}$  або  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ . Це *закон Гей-Люссака*, оскільки встановив його експериментально в 1802 р. Жозеф Луї Гей-Люссак (1778–1850, Франція).

Процес зміни стану термодинамічної системи за сталого об'єму називають *ізохорним* (від грец.  $\text{ισος}$  — рівний та  $\chi\omega\rho\omicron\varsigma$  — простір, зайняте місце). Якщо  $m = \text{const}, M = \text{const}, V = \text{const}$ , то з рівняння стану  $\frac{pV}{T} = \text{const}$  випливає, що  $\frac{p}{T} = \text{const}$  або

$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ . У 1787 р. фізик Жак Шарль (1746–1823, Франція) експериментально встановив цей газовий закон, тому його називають *законом Шарля*.



Поштовхом для експериментів була допитливість. Незважаючи на безліч неспростованих доказів існування атмосферного тиску, багато хто не міг зрозуміти, як повітря, таке легке та рухливе, може врівноважувати стовп ртуті значної висоти.

Яке значення мають газові закони для вас з нами? Безпосередньо можливо й ні, але опосередковано — ще й яке: тепло в домівках, економіка країни, енергетична криза, політичні програми кандидатів у президенти. Здогадалися? Добування природного газу, його транспортування були б неможливі без знання газових законів так само, як і дослідження атмосферних потоків, прогнозування погоди.

Розгляньте малюнок 8.20 та спробуйте пояснити, який з ізопроеців вони ілюструють.



Мал. 8.20. а — гумову кульку з повітрям обливають гарячою водою; б — утруднення під час пиття, коли у пляшку не потрапляє зовнішнє повітря; в — зміна об'єму бульбашки повітря, що спливає на поверхню

Ще більшого значення набувають газові закони в поєднанні із законами термодинаміки.

## ВОДА В ПОВІТРІ

З поверхні водойм, вологого ґрунту, листя рослин, легень і шкіри людини й тварин в атмосферу Землі випаровується величезна кількість водяної пари ( $10^{14}$  т/рік) і майже чверть цієї води випадає у вигляді опадів на суходолі. Саме тому атмосферне повітря завжди вологе, тобто містить воду. Хоча водяної пари в атмосфері мало, порівняно з іншими складовими, її значення для життєдіяльності всього живого надзвичайне.

Від водяної пари в атмосфері залежить режим випаровування з поверхні суходолу, морів. Перехід водяної пари в рідкий і твердий стани ведуть до утворення туманів, хмар, опадів. Виділення теплоти під час конденсації й замерзання є внутрішнім джерелом енергії руху повітряних мас.

Здатність водяної пари поглинати сонячне та інфрачервоне випромінювання Землі впливає на тепловий режим земної поверхні й атмосфери.

Від умісту водяної пари в атмосфері залежить випаровування води організмом людини, який складається в середньому на 67–68 % з води. За добу (залежно від роду занять) з поверхні шкіри і легень людини випаровується вода масою майже 2 кг. Тривале перебування в теплому й вологому повітрі порушує теплообмін в організмі. Людина стає в'ялою, її працездатність знижується. Саме тому про вміст водяної пари в атмосфері (вологість повітря) щоденно повідомляють у прогнозах погоди.

Важливе значення має вологість для життєдіяльності тваринного й рослинного світу, для процесів сушіння виробів тощо. Контроль і підтримання необхідної вологості дуже важливі також для зберігання книг, творів мистецтва, музичних інструментів, харчових продуктів, овочів, фруктів тощо.

Уміст водяної пари в повітрі, тобто його вологість, можна схарактеризувати кількома величинами. Так, *абсолютна вологість* повітря дорівнює масі (г) водяної пари в повітрі об'ємом 1 м<sup>3</sup> (густина водяної пари). За значенням абсолютної вологості не можна судити про те, багато це чи мало. Проте є *стан насичення*, коли в повітрі може за певних умов міститися максимально можлива кількість водяної пари. Саме тому ввели величину, яка показує, наскільки водяна пара за певної температури близька до насичення — *відносну вологість повітря*. Звернімо увагу на те, що атмосферний тиск дорівнює сумі тисків сухого повітря й водяної пари, що є в ньому. Тиск, який чинила б водяна пара, коли б не було інших газів, називають *парціальним тиском водяної пари*. Тому *відносна вологість повітря* — це фізична величина, що показує, наскільки водяна пара, що є в повітрі, близька до насичення. Вимірюють відносну вологість  $\varphi$  відношенням парціального тиску водяної пари  $p$ , що міститься в повітрі за певної температури, до тиску  $p_n$  насиченої пари (за тієї самої температури), вираженого у відсотках. Формула для обчислення відносної вологості така:

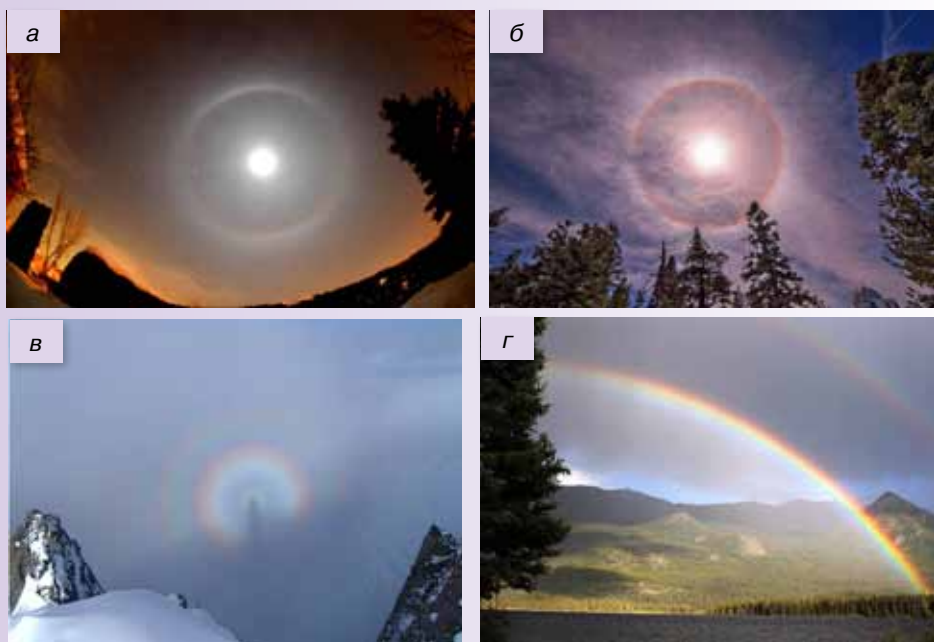
$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\%.$$

Оскільки тиск насиченої пари не залежить від об'єму, але залежить від температури, і ця залежність є складною, тому її досліджено експериментально. На основі експериментальних результатів складено таблиці залежності тиску насиченої водяної пари від температури. Унаслідок зниження температури ненасиченої пари її відносна вологість зростатиме без додаткового випаровування води. Зниженням температури повітря можна довести пару, яка є в ньому, до стану насичення, що в природі приводить до утворення туману, випадання роси. Температуру, до якої потрібно ізобарно охолодити повітря певної вологості, щоб водяна пара стала насиченою, називають *точкою роси*. Точка роси також є характеристикою вологості повітря, оскільки вона дає змогу визначити парціальний тиск водяної пари та відносну вологість. Вологість повітря вимірюють спеціальними приладами — психрометром, гігрометром тощо.

Повітря тропосфери — це потужний водонос: воно містить воду масою близько 15 т. Продукти конденсації водяної пари, що випадають у вигляді мряки, дощу, снігу, крупи, граду або наземних опадів, що осідають з повітря на земну поверхню, як роса, поморозь, ожеледь, називають *гідрометеорами*.



Краплі води та кристалики льоду створюють суттєву неоднорідність атмосфери. У краплинах води та кристалах льоду відбувається відбивання, заломлення та дифракція (розкладання) сонячних променів. Тому у хмарах досить часто спостерігають світлові (оптичні) явища (мал. 8.21). Вони не мають практичного значення, але дають деяку інформацію про самі хмари, у яких виникають.



Мал. 8.21. *а* — *гало* виникає внаслідок заломлення та відбиття світла в льодяних кристалах і спостерігається найчастіше в атмосфері у перистощаруватих хмар як світле слабо забарвлене коло навколо світила; *б* — *вінці (ореол)* виникають у високо-купчастих хмарах, які закривають диск світила і складаються з дрібненьких однорідних крапель води, а також у туманах навколо штучних джерел світла. Це світле кільце, яке прилягає впритул до диску світила, голубуватого кольору, а зовнішній край червонуватий; *в* — *гловію* спостерігають на фоні хмар або туману, які розташовані прямо перед спостерігачем або нижче його, тобто явище можна спостерігати в горах або з літака. Це ореол навколо точки, прямо протилежної диску світила. На ці хмари падає тінь спостерігача і ореол вінчає тій його голови; *г* — *райдугу (веселку)* спостерігається на фоні хмар, з яких іде дощ і які підсвічуються прямими сонячними променями

Скупчення продуктів конденсації та сублімації, завислих у повітрі безпосередньо над земною поверхнею, створює такі атмосферні явища як *серпанок, туман, імлу* (мал. 8.22).



Мал. 8.22. Краса природи й небезпека забруднення довкілля

Якщо процеси конденсації та сублімації відбуваються на земній поверхні та на наземних предметах і спорудах, ми можемо спостерігати *росу, іній, паморозь, наліт, ожеледь, ожеледицю* (мал. 8.23).



Мал. 8.23. Наслідки процесів конденсації та сублімації води: краса та небезпека

*Поясніть* відмінність між ожеледдю та ожеледицею, *наведіть* на підтвердження своєї думки приклади з художньої літератури.

## БЕРЕЖІТЬ АТМОСФЕРУ

У чому полягають функції атмосфери? Вона забезпечує:

- фотосинтез і дихання (без їжі можна прожити тижні, без води — дні, без повітря — 3–4 хвилини);

- захист живих організмів від згубного впливу ультрафіолетового випромінювання завдяки наявності озонового шару;
- перенесення тепла і вологи;
- гідродинаміку літальних апаратів;
- регулювання сезонного й добового коливання температури (якби не було атмосфери Землі, добові коливання температури на поверхні сягали б 200 °С);
- захист від метеоритів, які проходячи крізь атмосферу, згорають в ній через тертя об повітря.

Також атмосфера зумовлює низку складних екзогенних процесів (вивітрювання гірських порід, активність природних вод, мерзлоти, льодовиків тощо).

Сформований у природі колообіг атмосферних газів сприяв тому, що газовий склад атмосфери залишався незмінним доти, доки різко не зроста господарська діяльність людини, передусім видобуток і подальше спалювання викопного органічного палива. Унаслідок цього вміст карбон(IV) оксиду й інших газоподібних домішок у глобальному масштабі збільшується. Водночас забруднення атмосфери може бути й природного походження. Природне забруднення відбувається в результаті природних процесів (вулканічна діяльність, дим від пожеж у природних системах, процеси вивітрювання тощо).

Основними речовинами-забруднювачами атмосферного повітря є частинки пилу, оксиди Карбону, Сульфуру, Нітрогену, амоніак, гідроген сульфід, сполуки важких металічних елементів, вуглеводні та інші речовини, що надходять в понаднормовій кількості. Основними джерелами забруднення є теплові електростанції, транспорт і промисловість. Крім забруднення атмосферного повітря, у біосфері відбувається ще й теплове, шумове та електромагнітне забруднення.

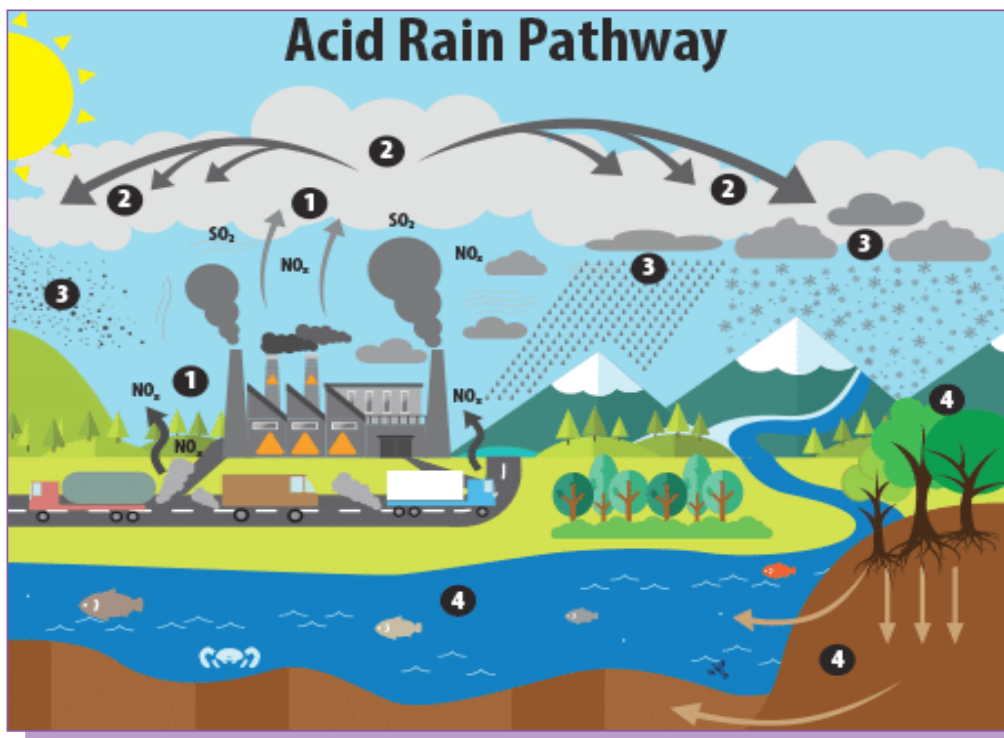
Залежно від масштабів поширення забруднення виокремлюють такі типи забруднень:

- *місцеве*, для якого характерний підвищений уміст речовин-забруднювачів на невеликих територіях (наприклад, місто, промисловий район тощо);
- *регіональне*, розташоване на значно більших територіях, ніж місцевий тип забруднення;
- *глобальне*, що включає зміну стану атмосфери в цілому.

Одним з найпоширеніших забруднювачів атмосферного повітря є чадний газ, що не має кольору та запаху. Основні джерела його надходження: транспорт і теплові електростанції. Карбон(II) оксид негативно впливає на організми: рослини, тварин, людей. Так, у рослин пошкоджуються пагоди, листки; а шкідлива дія на людину полягає в тому, що внаслідок потрапляння в кров він позбавляє еритроцити можливості транспортувати кисень. У результаті настає кисневе голодування, що запускає низку процесів — від легкого головного болю, задишки та аритмії до появи загальної слабкості, запаморочення, ослаблення пам'яті, порушення мислення та мови, роботи серцево-судинної та інших систем організму, сприяє роз-

витку атеросклерозу, коми, смерті. Концентрація CO в повітрі, що дорівнює  $1 \text{ мг/м}^3$ , становить загрозу для життя людини.

*Кислотні опади* (дощ, сніг, роса) з  $\text{pH} < 5,5$ , що містять сульфатну та нітратну кислоти, утворюються в результаті реакції оксидів Сульфуру(IV) та Сульфуру(VI), нітроген(IV) оксиду (промислових речовин-забруднювачів) з водяними парами в атмосфері (мал. 8.24).



Мал. 8.24. Так утворюються кислотні опади

*Визначте, які процеси позначено на малюнку 8.24 цифрами 1–4, і складіть стислий пояснювальний текст до нього.*

У результаті випадання кислотних опадів гинуть рослини, дерева, тварини (мал. 8.25). Вони руйнують хлорофіл у листі рослин, підвищують кислотність ґрунтів. Відомі випадки, коли кислотні дощі знищували цілі ліси, а в прісних водоймах унаслідок зміни величини  $\text{pH}$  середовища вони спричиняли загибель навіть найменших форм життя. У Канаді, США, Німеччині тисячі річок та озер залишилися без рослин і риб. Кислоти в їхньому складі руйнують споруди, пам'ятники, металоконструкції тощо. Досить важливим є той факт, що кислотні дощі можуть випадати на значній відстані від джерела викиду (від сотень до тисяч кілометрів).

Порушення природного балансу атмосфери може призвести до вкрай негативних наслідків: від підвищення рівня Світового океану в результаті глобального потепління до виникнення епідемій і різних захворювань у зв'язку із зараженням водних ресурсів.

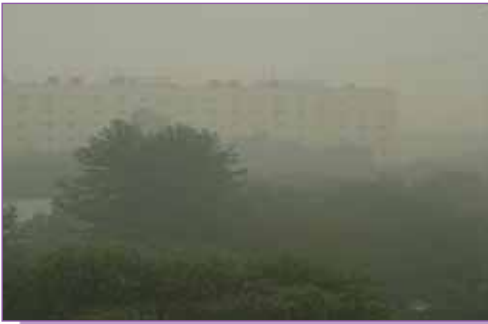




Мал. 8.25. Наслідки випадіння кислотних дощів... у нас ізнову по кислотних дощах заіржавів горбд: почорнілі цурпалки гудиння над землею стирчать, як на згарищі спалений дрїт. (Оксана Забужко<sup>1</sup>. Лист із дачі)

*Смог* — вид забруднення, що утворюється в результаті складних фотохімічних реакцій у забрудненому повітрі під дією сонячного світла, підвищеної температури та великої кількості озону, що є окисником. Має вигляд різнокольорового туману з неприємним запахом (мал. 8.26). Він призводить до подразнення очей, горла, задухи, загострює симптоми бронхіальної астми, може викликати набряк легень тощо. Уплив на рослини також є негативним (листя стає плямистим, жовтіє, в'яне).

І смог, і СНІД, і чорний дим Бхопала,  
В Червоній книзі сірі журавлі,  
Не бійтеся, ліси, — іще не все пропало,  
Останній вільний зубр ще ходить по землі!  
(Ліна Костенко. Балада про дим)



Мал. 8.26. Смог як результат взаємодії речовин-забруднювачів (зазвичай хімічного походження) з доквіллям

Група данських студентів з Інституту прикладного дизайну Копенгагена (Copenhagen Institut of Interaction Design) спільно зі співзасновником апаратно-програмної платформи для створення електронних пристроїв Массімо Банзі та Джорджо Олів'єро, з італійської дизайнерської компанії, створили «розумну парасольку» (Sensing Umbrella), за допомогою якої можна виміряти рівень забруднення повітря карбон(II) оксидом та нітроген(IV)

<sup>1</sup> Оксана Стефанівна Забужко (нар. 1960, Україна).

оксидом (мал. 8.27). Метою проекту буде збирання екологічної інформації та обмін даними про забруднення для суспільного добробуту.



Мал. 8.27. Розумна парасоля як інструмент моніторингу забруднення повітря

За даними (2014 р.) Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно у світі від забруднення атмосферного повітря помирає близько 3,7 млн. осіб. Зростання частоти загострень серцево-судинних хвороб, підвищення частоти інфекцій нижньої частини дихальної системи; збільшення частоти астматичних нападів; зниження адаптаційних можливостей організму; підвищення онкозахворюваності, зростання смертності — далеко не всі наслідки для здоров'я людини, спричинені впливом забруднення атмосферного повітря. Рівень хімічного забруднення атмосферного повітря може впливати на темп мутаційних процесів у населення, підвищувати частоту деяких уроджених вад розвитку серед новонароджених.

Розв'язуванням проблеми забрудненого атмосферного повітря займається низка міжнародних організацій, державні структури (міністерства, наукові установи) та неурядові організації. Ними прийняті різноманітні документи (конвенції, договори, резолюції) з метою зниження рівнів забруднювальних речовин у повітрі. Так, для зменшення викидів вуглекислого газу підписано Кіотський протокол (1997). В Україні основним юридичним документом з цього питання є Закон України «Про охорону атмосферного повітря».

Для зниження рівнів забруднення у викидах промислових підприємств використовують спеціальне обладнання (механічні й електричні фільтри, циклони, осаджувальні камери, скрубери, труби Вентурі тощо<sup>1</sup>) та спеціальні методи очистки (механічні, фізико-хімічні й хімічні). Нині набуває популярності використання альтернативних джерел енергії не лише для отримання енергії, а й як безвідходного виробництва для зменшення забруднення атмосферного повітря (мал. 8.28). Щодо викидів автотранспор-

<sup>1</sup> Дізнайтеся самостійно про ці пристосування з додаткових джерел інформації.

ту, то все поширенішими стають електромобілі та гібридні автомобілі для зниження рівнів забруднюючих речовин.



Мал. 8.28. Використання альтернативних джерел енергії для зменшення забруднювальних викидів в атмосферу



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Дайте визначення поняттю «атмосфера». Наведіть її основні функції.
2. Схарактеризуйте склад первинної атмосфери Землі.
3. Назвіть шари, з яких утворена атмосфера. Схарактеризуйте поділ атмосфери на шари: а) за ознакою зміни газового складу; б) за ознакою зміни температури, відносної вологості та рухомості повітря. Схарактеризуйте зміни властивостей повітря в мезо-, термо- й екзосфері.
4. Наведіть основні властивості іоносфери.
5. Дайте визначення поняттю «атмосферне повітря». Схарактеризуйте: уміст (%) газів у повітрі, яким ми дихаємо.
6. Наведіть джерела надходження і шляхи витрати вуглекислого газу в атмосфері. Схарактеризуйте роль вуглекислого газу у створенні парникового ефекту.
7. Назвіть місце формування озонового шару. Опишіть роль озонового шару. Дайте визначення поняттю «озонова діра».
8. Яке значення в метеорології прийнято за нормальний атмосферний тиск?
9. Поясніть: а) причини та наслідки виникнення парникового ефекту, утворення кислотних опадів, потоншення озонового шару; б) чому в листопаді 2018 р. столицю Індії Делі огорнув смог після проведення традиційного «Фестивалю вогнів» (індуїстського свята Дівалі).
10. Прокоментуйте з огляду на вивчене рядки з поезій:
  - а) Прокотився грім з розгоном,  
Грають блискавок шаблі,  
Пахне морем — і озоном  
Від притихлої землі...<sup>1</sup>
  - б) Люблю твій степ і подих твого степу.  
Міраж кринички і міраж осель.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> М. Рильський (Рильський Максим Тадейович, (1895–1964), Україна). «Перед грозою».

<sup>2</sup> Ліна Костенко. «Люблю твій степ і подих твого степу».



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1. Вимірювання вологості й атмосферного тиску повітря.
2. Зміна атмосферного тиску з висотою. Вимірювання висоти.
3. Дослідження параметрів стану повітря в кабінеті.
4. Виготовлення барометра. <https://www.wikihow.com/Build-a-Barometer>

### РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ:

1. З подвір'я метеостанції за температури повітря  $0^{\circ}\text{C}$  запущено одночасно два радіозонди. У крайній верхній точці перший з них зафіксував температуру  $-46^{\circ}\text{C}$ , другий — на  $8^{\circ}\text{C}$  нижчу. *Визначте*, на яку висоту піднявся кожний з радіозондів, якщо вертикальний температурний градієнт дорівнює  $0,5^{\circ}\text{C}$ .
2. У світі існує понад 55 монументальних споруд, висота яких сягає більше 40 м. На малюнку зображено деякі з них. Яким буде атмосферний тиск на вершині цих споруд, якщо вважати, що в підніжжі він відповідає нормальному значенню (760 мм рт. ст.)



### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

- Моделювання «парникового ефекту».
- Вплив концентрації вуглекислого газу на природні процеси.
- Загальні заходи щодо запобігання забрудненню атмосфери.

# ЗЕМЛЯ



## В. 9.

## ПОГОДА Й КЛІМАТ

Якою буде погода сьогодні? Питання, яке непокоїть майже кожного чи не щодня. Що вдягнути? Чи брати парасольку?

Чи не найбільше народних прикмет і нарікань також пов'язані з погодою. Чому ж не вдається безпомилково спрогнозувати погоду навіть за допомогою найсучасніших метеоприладів?

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати* складові погоди, типи клімату.

*Розуміти* взаємозв'язки між елементами погоди.

*Пояснювати* причини й наслідки зміни погоди й клімату, реагування організму людини на зміни погоди.

*Характеризувати* елементи погоди; типи клімату.

*Описувати* вплив метеопказників на самопочуття людей.

*Уміти* читати синоптичну карту.

*Користуватися* метеорологічними приладами

### ПРИГАДАЙТЕ

Що таке погода та яке її значення для людини? Робота людей яких професій пов'язана з погодними умовами та кліматом?

## ЯКОЮ БУДЕ СЬОГОДНІ ПОГОДА?

Скільки та яких приладів вам потрібно, щоби дізнатися якою є погода? Термометр — для вимірювання температури. Барометр — для вимірювання атмосферного тиску. Психрометр — для вимірювання вологості повітря. Анемометр і флюгер — для вимірювання швидкості й напрямку вітру. А можна й простіше, зауважите ви, — достатньо скористатися мобільним додатком чи сайтом, які надають відповідну інформацію (мал. 9.1). Авжеж, але, щоб ви користувалися вже готовими прогнозами погоди, у всьому світі працюють метеорологічні служби для проведення спостережень за погодою.



Мал. 9.1. Яка погода сьогодні?

*Погода* — це фізичний стан нижнього шару атмосфери в певній місцевості в певний момент або за певний проміжок часу (година, доба, декада, місяць). Поняття «погода» включає шість основних показників: температуру повітря, атмосферний тиск, швидкість, силу й напрямок вітру, вологість повітря, хмарність та опади.

Характерними особливостями погоди є мінливість і різноманітність (мал. 9.2).

Зміни погоди можуть бути періодичними й неперіодичними. Періодичні зміни погоди зумовлені добовим і річним обертаннями Землі, а отже відмінностями в надходженні сонячної радіації, що також впливає на добові та сезонні коливання всіх інших елементів: температури, тиску, вітрів, вологості повітря, хмарності, опадів. Неперіодичні зміни пов'язані з проходженням *повітряних мас* (великих об'ємів повітря в тропосфері з подібними властивостями, що пов'язані з районом їхнього формування).

Величезне значення для науки й господарства має вивчення й передбачення погоди, яке можливе лише внаслідок систематичного довготривалого спостереження за нею. Спостереження за погодою ведуть на *ме-*

метеорологічних станцій за допомогою спеціальних приладів. Такі станції розміщені на території всієї земної кулі. Стан високих шарів атмосфери вивчають за допомогою радіозондів, метеорологічних ракет, метеорологічних супутників Землі. Наука, що вивчає зміни основних показників стану повітря, — метеорологія.



Мал. 9.2: а — перший день весни може бути як таким, так і таким; б — у природи немає поганої погоди



Мал. 9.3. Служба погоди

У кожній країні є служба погоди (мал. 9.3). Метеорологічні станції працюють за визначеною програмою й методикою. Результати спостережень систематично передають у зашифрованому вигляді особливим міжнародним кодом у світові (Нью-Йорк, Москва, Мельбурн) і регіональні метеорологічні центри. У центрах на підставі численних зведень кілька разів за добу на визначений момент складаються *синоптичні карти* (карти погоди), на яких значками й цифрами зазначають атмосферний тиск, температуру й вологість повітря, вітер, хмарність, кількість і вид опадів, видимість, тумани, хуртовини, грози та інші метеорологічні елементи (мал. 9.4). Ізолініями (ізобарами) показують значення атмосферного тиску, виділяють області *циклонів*, *антициклонів*, *теплі й холодні атмосферні фронти*. За змістом розрізняють *приземні й висотні* синоптичні карти.



Мал. 9.4. Синоптична карта

Зіставлення синоптичних карт дає змогу визначати напрямки переміщень повітряних мас з різними фізичними властивостями, фронтів, циклонів й антициклонів тощо й тим самим складати прогноз погоди. Прогнозування погоди має величезне значення для багатьох галузей господарства.



## КЛІМАТ

Багаторічний режим погоди певної місцевості, зумовлений сонячною радіацією, її перетворенням і пов'язаною із цим загальною *циркуляцією атмосфери* й океану називають *кліматом*. У самому визначенні поняття «клімат» названо чинники його формування. Перш ніж розглядати чинники формування клімату та його особливості, необхідно вказати на те, що взаємодію всіх оболонок планети розглядають як *кліматичну систему*. *Кліматична система* — це атмосфера, гідросфера, літосфера, кріосфера та біосфера, що мають різні фізичні властивості й постійно взаємодіють.

Виокремлюють три основні *кліматотвірні чинники*. Це — сонячна радіація, підстильна поверхня, циркуляція атмосфери (мал. 9.5).



Мал. 9.5. Від чого залежить клімат Землі

*Кількість сонячної радіації* — джерело енергії всіх процесів, що відбуваються в атмосфері. Обертальний рух Землі (за збереження кута нахилу осі Землі до площини екліптики) зумовлює розподіл сонячної радіації на різних географічних широтах, сезонність клімату й формування теплових поясів. Тепловий режим яких визначають тривалість сонячного освітлення, прозорість атмосфери, уміст у ній вологи, хмарність тощо.

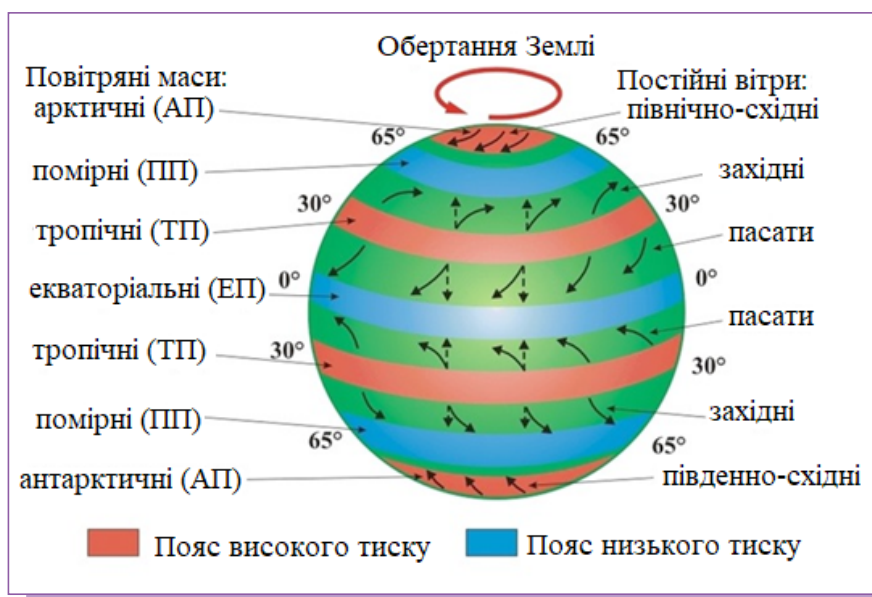
*Підстильна поверхня* враховує співвідношення суходолу й акваторій. Так, переважання величезних ділянок суходолу впливає на температурний режим території, її зволоження, на формування над нею тиску залежно від пори року, на ступінь континентальності клімату. Величезне значення має також рельєф. Рослинний покрив послаблює добову амплітуду коливань температури, а сніговий покрив під час танення снігу поглинає багато енергії.

*Циркуляція атмосфери* є похідною від перших двох чинників і самостійним найважливішим чинником кліматотворення. Оскільки йдеться про постійні глобальні переміщення величезних мас повітря з набутими,

властивими їм фізичними характеристиками, що можуть змінити повністю клімат, наприклад, на території Індії, Індокитаю — з тропічного на субекваторіальний.

Важливою рисою циркуляції повітря є безперервна мінливість, що створює враження хаотичності. Проте повітряні течії підпорядковані певним закономірностям.

Причиною повітряних течій є різниця атмосферного тиску в сусідніх ділянках. В екваторіальній смузі нагріте й насичене вологою повітря стає легким і піднімається. Над полюсами холодне й сухе повітря як важке опускається й наче притискується до Землі. Тому на однаковій висоті над екватором тиск вищий, ніж над полюсами. У приземному шарі тропосфери тиск розподілено інакше. У полярних регіонах він вищий, в екваторіальній смузі знижений і змінюється від полюсів до екватора нерівномірно. У приземному шарі його розподіл зумовлено неоднаковим нагріванням суші й моря, нерівностями рельєфу, які затримують рух повітря, тощо. У результаті в одні місця повітря надходить, з інших — відтікає. Так утворюються зони високого й низького тиску. Вони розташовані над поверхнею Землі так, що утворюють уздовж паралелей смуги високого й низького тиску, які чергуються по широті (мал. 9.6) і які переміщуються влітку — на північ, узимку — на південь.



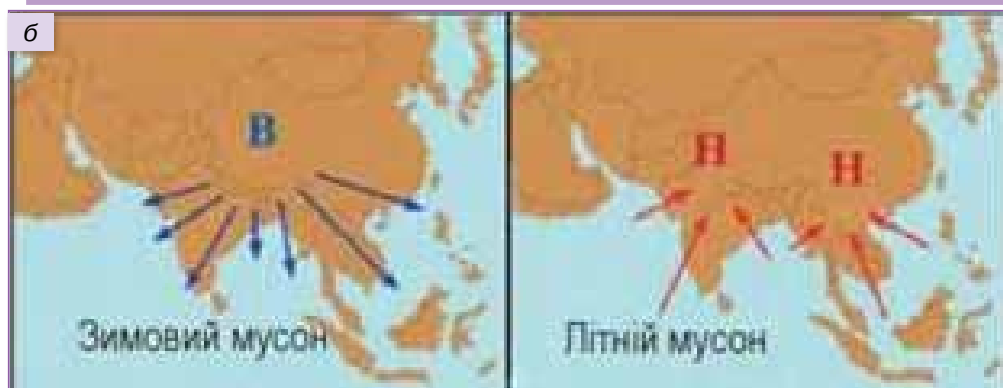
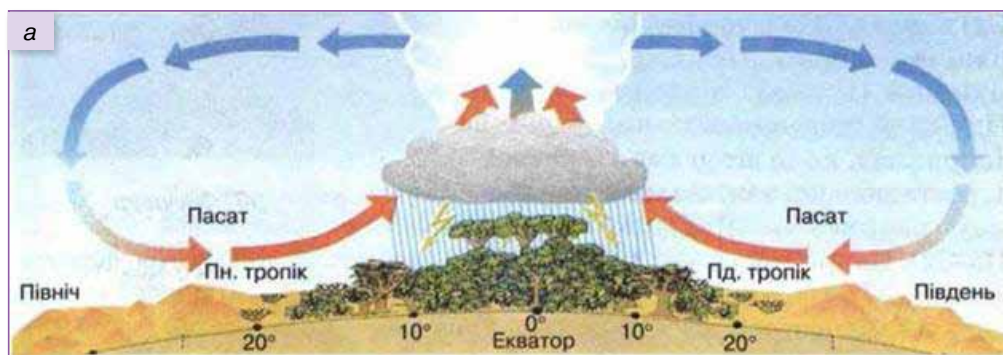
Мал. 9.6. Планетарна схема розподілу атмосферного тиску на Землі та переміщення повітряних мас

Різниця тисків атмосферних повітряних мас між екватором і полюсами змушує маси повітря рухатися з пришвидшенням від ділянок високого до ділянок низького тиску — від екваторіальної зони до полюсів. Але на цей рух відразу ж починає діяти сила Коріоліса, яка відхиляє повітряні маси в Північній півкулі праворуч, а в Південній — ліворуч. Зі збільшен-

ням широти збільшується відхилення. Зрештою повітря починає рухатися вздовж паралелей із заходу на схід і набуває сталої швидкості.

Винятково велика роль циркуляції атмосфери у зволоженні материків. Вона зумовлює перенесення водяної пари з океанів на материки, і з одних широтних зон в інші.

У низьких широтах найважливішою особливістю циркуляції атмосфери, яка впливає на клімат, є *пасати* — стійкі вітри, що майже не змінюють свого напрямку протягом року. Зона пасатів є областю інтенсивного випаровування з океанів і нагрівання повітря на материках (мал. 9.7, а).



Мал. 9.7: а — пасати; б — мусони; в — бризи: що спільного і що відмінне?

Важливим чинником формування клімату в тропічних широтах є *мусони* — стійкі сезонні повітряні течії загальної циркуляції атмосфери з різкою зміною переважного напрямку вітру на протилежний від зими до літа та від літа до зими. Класичним районом тропічних мусонів є басейн Індійського океану (мал. 9.7, б).

Унаслідок різних теплоємностей, а отже й ступеня нагрівання поверхні суходолу й вод виникають *бризи* — вітри узбереж морів і великих озер, що двічі на добу змінюють напрямок на протилежний. Нічний (береговий) бриз дме з боку охолодженого суходолу, у бік водойми, денний (морський) бриз — з боку ще холодної водойми в бік нагрітого суходолу. Вони охоплюють шар повітря в сотні метрів і проникають углиб суходолу (моря) на кілька чи десятки кілометрів. Бризи характерні для західних узбереж у тропічних широтах, де нагріті материки омиваються водами холодних течій.

У зв'язку з неоднаковою кількістю сонячного тепла, що потрапляє на поверхню Землі, і залежно від характеру підстильної поверхні (материк, океан) формуються окремі *повітряні маси* — великі об'єми повітря, які мають відносно однорідні властивості й рухаються як єдине ціле в загальній циркуляції атмосфери (мал. 9.8). Виділяють такі типи повітряних мас: *екваторіальний, тропічний, помірний і арктичний (антарктичний)*. Усі вони мають свої характерні властивості (мал. 9.8).



Мал. 9.8. Типи повітряних мас

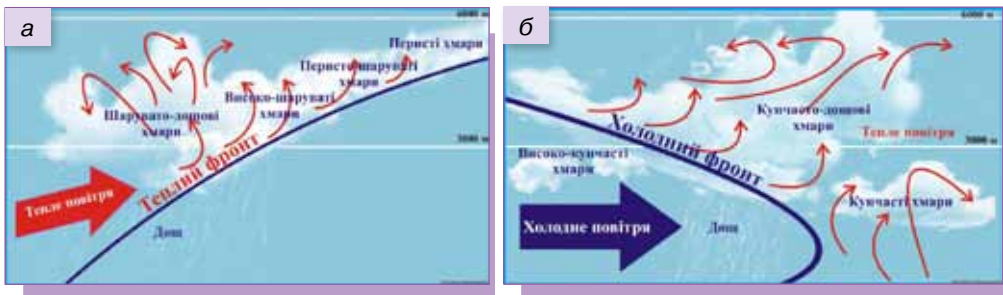
Так, екваторіальне повітря дуже тепле з великим вмістом водяної пари, тропічне повітря так само дуже тепле, але дуже сухе, особливо на суходолі, помірне повітря дуже змінюється упродовж основних сезонів, а арктичне (антарктичне) холодне й містить дуже мало водяної пари.

Усі ці типи повітряних мас у свою чергу поділяються на *морські* та *континентальні*. За своїми термічними властивостями повітряні маси можуть бути *теплыми* й *холодними*.

Коли дві сусідні повітряні маси з різними характеристиками перебувають у спокійному стані, то між ними є широка перехідна зона, у якій поступово змінюється температура, вологість та інші характеристики. Якщо ж під дією різних чинників повітряні маси починають рухатись, то перехідна зона між ними різко скорочується, або іншими словами між ними утворюється фронтальна поверхня. У місці перетину фронтальної поверхні з землею поверхнею утворюється *атмосферний фронт* (мал. 9.9) — перехідна зона між двома повітряними масами з відмінними фізичними властивостями (головним чином температурою та вологістю).

Якщо лінія фронту переміщується в бік більш холодного повітря, це означає, що клин холодного повітря відступає, і це вільне місце займає тепле повітря. Такий фронт називається *теплим фронтом*. Підйом теплого вологого повітря над клином холодної повітряної маси супроводжується хмароутворенням (*перисті та шаруваті хмари*) й обложними опадами.

Якщо лінія фронту переміщується в бік теплого повітря, це означає, що клин холодного повітря рухається вперед, і тепле повітря перед ним відступає, або витісняється вгору наступаючим холодним клином. Такий фронт називається *холодним фронтом*. Стрімке витіснення теплого повітря над лінією холодного фронту спричинює інтенсивні висхідні рухи в атмосфері та утворення *купчастих хмар* і грозових опадів значної інтенсивності. Через те, що внаслідок тертя холодна повітряна маса біля земної поверхні насувається повільніше, відбувається викривлення фронтальної поверхні, а настання фронтальних явищ характеризується значною раптовістю, порівняно з теплим фронтом.



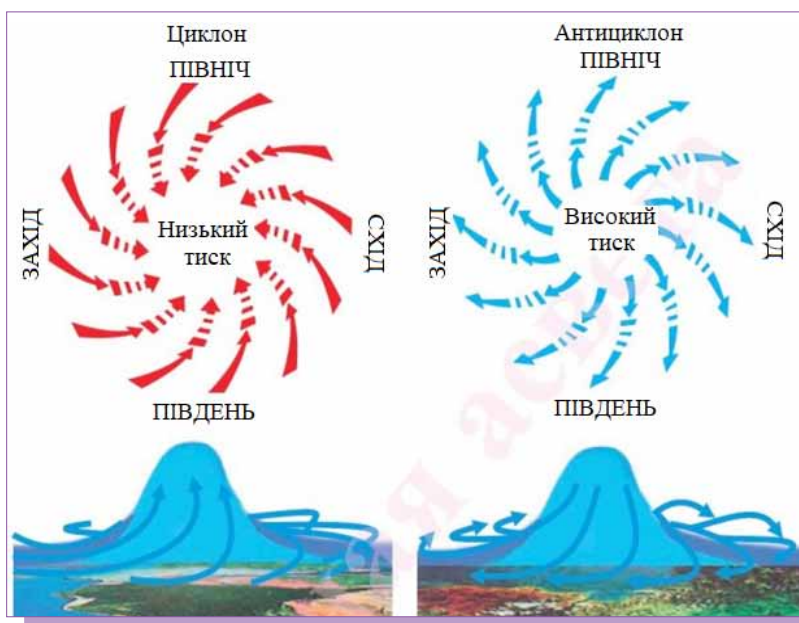
Мал. 9.9. Атмосферні фронти: а — теплий; б — холодний

Атмосферні фронти не існують постійно. Вони виникають заново, заго-струються, розмиваються і повністю зникають. Надалі вони знову виникають в інших частинах атмосфери. З проходженням атмосферних фронтів пов'язані опади і зміна температури.

Важливе значення для формування клімату мають перехідні зони між районами переважання зональних типів повітряних мас — *кліматологічні фронти*. Порівняно з атмосферними фронтами вони малорухомі. Розрізняють арктичний (антарктичний), помірний і тропічний кліматологічні фронти. На кліматологічних фронтах, де взаємодіють зональні повітряні маси з різними властивостями виникають *циклони* й *антициклони* (мал. 9.10).

**Циклони** — висхідні атмосферні вихори із замкненою областю зниженого тиску в центрі, у якій вітри дмуть від країв до центра (проти годинникової стрілки в Північній півкулі і за годинниковою стрілкою — у Південній). **Антициклони** — низхідні атмосферні вихори із замкненою областю підвищеного тиску, у якій вітри дмуть від центра до країв (за рухом годинникової стрілки у Північній півкулі, проти її руху — у Південній).

У циклонах найменший тиск спостерігають у центрі, де відбувається підняття повітря вгору. Там воно охолоджується, водяна пара конденсується й утворює потужні хмари, з яких випадають рясні опади. Погода нестійка, з частою зміною напрямку вітру, температури. Циклони переміщуються зі швидкістю 30–40 км/год, здебільшого із заходу на схід. В антициклоні повітря, що опускається, нагрівається, а тому не відбувається насичення його вологою. Погода в центральній частині антициклону ясна й суха, зі слабкими вітрами.



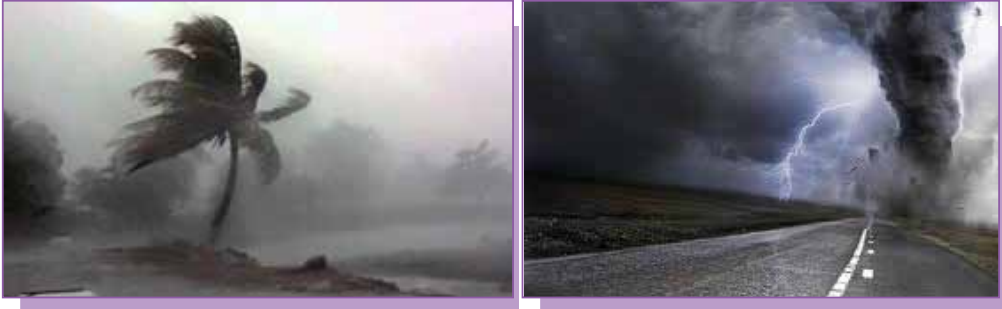
Мал. 9.10. Рух повітря в циклоні й антициклоні в Північній півкулі

На помірному фронті, де стикаються морські прохолодні помірні маси та сухі жаркі тропічні, циклони прямують у західному потоці повітря та досягають розмірів понад 1000 км у діаметрі. Вони впливають на клімат усєї Європи. У тропічних широтах виникають так звані тропічні циклони — урагани (тайфуни), які мають незначні розміри, та для яких характерні вітри величезної сили.

Кліматичні умови Землі формуються трьома масштабними геофізичними процесами циклічного типу:

- *теплообміном* — обміном теплом між земною поверхнею й атмосферою;
- *вологообігом* — інтенсивністю випаровування води в атмосферу й співвіднесення її з рівнем опадів;

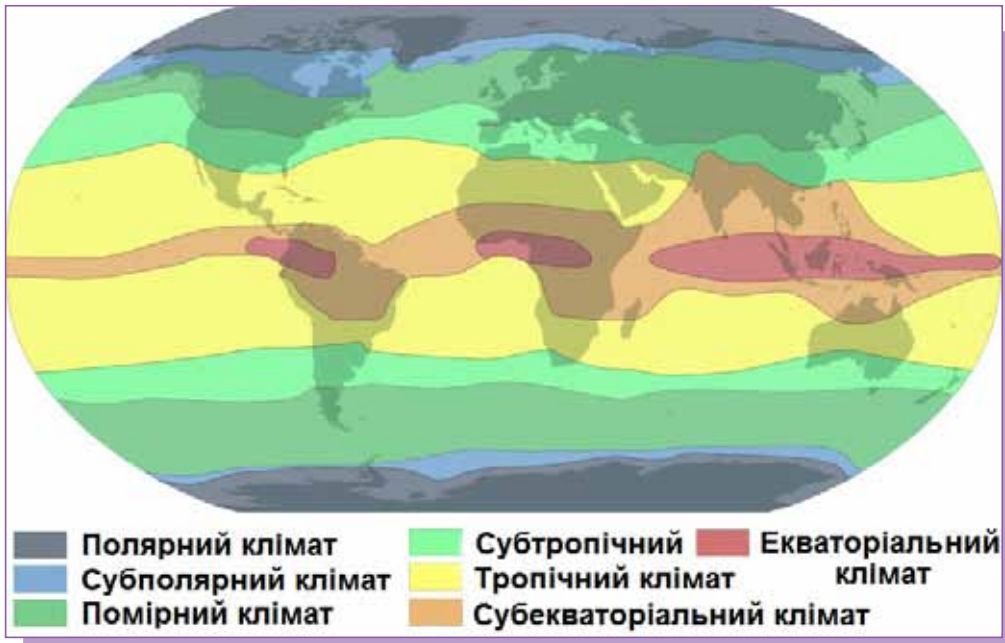
- *загальною атмосферною циркуляцією* — сукупністю повітряних течій над Землею.



Мал. 9.11. Урагани, тайфуни

Стан кліматичної системи визначено не лише впливом зовні, а й складною взаємодією між її ланками. У результаті цього за тих самих зовнішніх умов на Землі може бути кілька типів клімату. У деяких типах клімату погода істотно змінюється щодня або залежно від сезонів, в інших — залишається незмінною.

Є кілька класифікацій кліматичних поясів планети. Найпростіша класифікація виокремлює чотири базових пояси в кожній земній півкулі: екваторіальний; тропічний; помірний; полярний. Між основними зонами є перехідні ділянки. У них такі самі назви, але з префіксом суб- (мал. 9.12).



Мал. 9.12. Типи клімату

Характеристику особливостей кліматичних поясів наведено в таблиці 9.1.

## Клімати Землі

Кліматичний пояс	Циркуляція атмосфери	Тиск, температура, режим і кількість опадів
<b>Екваторіальний</b>	Панують екваторіальні повітряні маси. Переважають висхідні рухи повітря	Низький атмосферний тиск. Високі середні температури повітря (26–28 °С) протягом року. Велика кількість опадів (2000–3000 мм на рік)
<b>Субекваторіальний</b>	Улітку панують екваторіальні повітряні маси, узимку — тропічні	Два чітко виражені кліматичні сезони: вологий (панують екваторіальні повітряні маси) і сухий (переважають тропічні повітряні маси)
<b>Тропічний</b>	Панують тропічні повітряні маси. Переважають низхідні рухи повітря. Переважні вітри — пасати	Високий атмосферний тиск. Високі середні температури повітря (улітку — 30 °С, узимку 15–16 °С). Мінімальна кількість опадів, які розподілені нерівномірно
<b>Субтропічний</b>	Улітку панують тропічні повітряні маси, узимку — помірні	Зміна кліматичних сезонів: літо сухе й жарке, зима прохолодна й волога
<b>Помірний</b>	Панують помірні повітряні маси. Переважають західні вітри. Утворюються фронтальні процеси, циклони, антициклони	Чітко виражені чотири пори року. Значні амплітуди температур найтеплішого й найхолоднішого місяців року. Кількість опадів залежить від віддаленості території від океану. У цих поясах, особливо в північному, виокремлюють кілька різновидів клімату: морський, континентальний, різкоконтинентальний та мусонний, що пов'язано з розташуванням території на узбережжі чи всередині материка
<b>Субарктичний субантарктичний</b>	Улітку панують помірні повітряні маси, узимку — арктичні (антарктичні)	Літо коротке, відносно вологе, прохолодне, зима сувора й суха
<b>Арктичний та антарктичний</b>	Арктичні (антарктичні) повітряні маси. Переважають північно-східні (південно-східні) вітри	Високий атмосферний тиск. Від'ємні середні температури повітря протягом року. Незначна кількість опадів. Сталий сніговий покрив

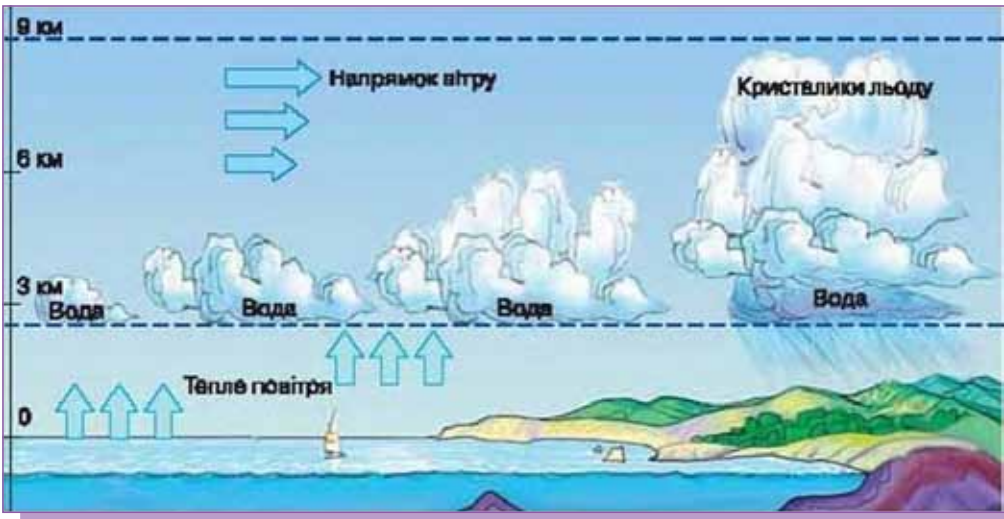


## ЯК ФОРМУЮТЬСЯ ОПАДИ

В атмосферному повітрі завжди є певна кількість водяної пари, що залежить від його температури. Що вищою є температура повітря, то більше водяної пари може в ньому міститися. Якщо під час повідомлення прогнозу погоди сказали, що відносна вологість повітря дорівнює 70 %, це означає, що повітря містить 70 % тієї кількості водяної пари, яку воно може містити за цієї температури.

Завжди висока (до 90 %) відносна вологість повітря в екваторіальній зоні, оскільки там протягом усього року висока температура й велике випаровування з океанів. Така ж висока відносна вологість і в полярних районах. Це тому, що за низьких температур навіть невеликий уміст водяної пари робить повітря насиченим або близьким до насиченого. У помірних широтах відносна вологість змінюється за сезонами: узимку вона вища, улітку — нижча. Особливо низька відносна вологість повітря в пустелях: повітря там містить водяної пари в 2–3 рази менше, ніж можливо за цієї температури.

Водяну пару виносять угору й поширюють в атмосфері повітряні потоки. У міру того, як тепле вологе повітря піднімається вгору, воно розширюється внаслідок зниження тиску у високих шарах атмосфери та охолоджується. Подальший його підйом й охолодження спричинюють конденсацію або сублімацію надлишкової вологи на дрібних зважених у повітрі частинках й утворення хмар, що складаються з крапельок води, кристаликів льоду або їхньої суміші (мал. 9.13).



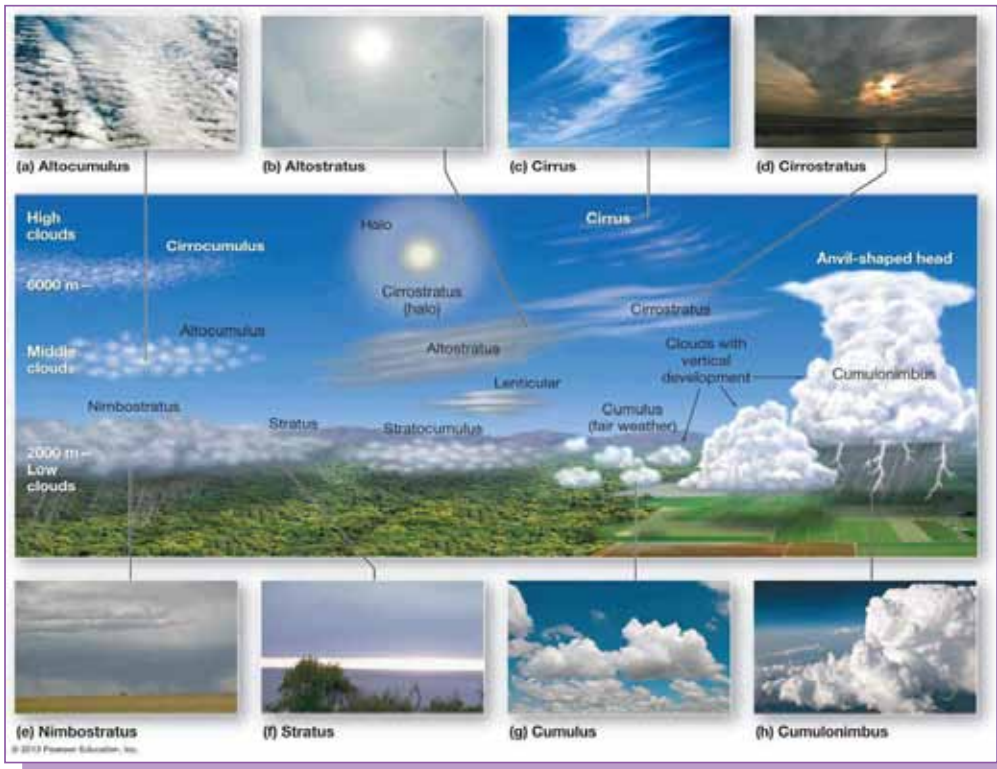
Мал. 9.13. Як утворюються хмари

За формою хмарних утворень виокремлюють 10 родів хмар, що взаємно виключають один одного.

Проаналізуйте таблицю 9.2 й малюнок 9.14. Укажіть відповідні символи й українські назви хмар, що зображені на малюнку 9.14.

Таблиця 9.2

Символ	Рід	Латинська назва	Символ	Рід	Латинська назва
	Перисті	Cirrus (Ci)		Шарувато-купчасті	Stratocumulus (Sc)
	Перисто-купчасті	Cirrocumulus (Cc)		Шаруваті	Stratus (St)
	Перисто-шаруваті	Cirrostratus (Cs)		Шарувато-дощові	Nimbostratus (Ns)
	Високо-купчасті	Altostratus (Ac)		Купчасті	Cumulus (Cu)
	Високо-шаруваті	Altostratus (As)		Купчасто-дощові	Cumulonimbus (Cb)



Мал. 9.14. Коли б не було хмар, люди не раділи б Сонцю (англійське прислів'я)

Найнижчі й важкі хмари — шаруваті. Вони розміщені на висоті 2 км від поверхні Землі. На висоті від 2–8 км можна спостерігати легші хмари — купчасті. Високі й легкі перисті хмари. Вони розташовані на висоті 8–18 км від земної поверхні.

Уночі хмарність перешкоджає зниженню температури приземного шару повітря, удень послаблює нагрівання поверхні Землі Сонцем. Крім того, хмари є джерелом атмосферних опадів.

У середині хмар краплі падають, зіштовхуються й зливаються з іншими краплинами. Якщо крапля в хмарі проходить відстань близько 1 км, вона може стати досить важкою й випасти з неї дощовою краплею. Дощ може утворюватися й інакше. Краплі у верхній, холодній, частині хмари можуть залишатися навіть за температури набагато нижчої від 0 °С — звичайної температури замерзання води. Ці краплі води, що називають перохолодженими, кристалізуюватимуться, тільки якщо в них є особливі частинки, які стають центрами кристалізації. Замерзлі краплі розростаються в крижані кристали, а кілька крижаних кристалів можуть об'єднатися й утворити сніжинку. Сніжинки проходять крізь хмару й у холодну погоду досягають Землі у вигляді снігу. Однак у теплу погоду вони тануть і досягають поверхні у формі дощових крапель.

Кількість атмосферних опадів, що досягають поверхні Землі в певній місцевості у вигляді дощу, граду або снігу, оцінюють за товщиною шару води (у міліметрах). Середня річна кількість опадів на всій поверхні Землі — близько 910 мм. Оподи розподілені на земній кулі нерівномірно. У цьому можна переконатися, поглянувши на кліматичну карту й порівнявши середньорічну кількість опадів, наприклад, на Амазонській низовині й у пустелі Сахарі. Чим це зумовлено? *Спробуйте знайти відповідь на запитання самостійно.*

## КЕРУВАННЯ ПОГОДОЮ

Враховувати кліматичні умови дуже важливо в різних галузях господарства. Під час господарського освоєння території необхідно враховувати не тільки кліматичні ресурси, а й несприятливі кліматичні явища, такі як посухи й суховії, урагани й пилові бурі, заморозки у вегетаційний період і сильні морози взимку, град і ожеледь, тумани й ожеледицю, спеку, хуртовини, густі тумани, снігопади, пилові бурі, смерчі тощо.

Грозові явища згубно впливають на роботу енергетичних господарств і ліній передач. Інтенсивне відкладання ожеледі на гілках дерев, замерзання мокрого снігу, який налипає на гілки, призводить до загибелі дерев. Негайне попередження про настання цих явищ дає змогу розробити заходи для боротьби з ними.

Для обслуговування сільського господарства в системі гідрометеослужби є спеціальні агрометеорологічні органи, які збирають і поширюють фактичну інформацію про стан посівів, ґрунту, погоди, а також складають спеціальні агрометеорологічні прогнози, дають сільському господарству рекомендації щодо проведення сільськогосподарських робіт.

Наші предки свято вірили: якщо сьогодні принести в жертву чорного цапа, то завтра піде дощ. Прикмети й забобони відійшли в минуле, і людина вчиться керувати погодою й уже зараз може змінювати природні умови за допомогою штучного впливу на хмари й тумани. Такі дослідження розпочато близько 40 років тому. Сучасні технології вже дають змогу впливати на одномоментні погодні умови. Учені швейцарської компанії Metro Systems International створили обладнання, за допомогою якого можна вікликати дощі в посушливих пустелях ОАЕ і «вікупати в зливах» місто Абу-Дабі понад 50 разів. Дослідники розмістили в пустелі ціле

поле гігантських йонізаторів, які в потрібний момент здатні направити в небо потужні потоки негативних йонів. Ці частинки сконцентровані в нижніх шарах атмосфери й притягують до себе частинки пилу, які конденсують вологу з навколишнього повітря. У певний момент конденсація стає такою густою, що хмари більше не можуть утримувати вологу. У цей момент починається злива.

Керування дощами вже стало звичною справою в багатьох країнах. Проте відомі й заперечливі факти щодо використання кліматичної зброї.



Мал. 9.15. Керування погодою: переваги й ризики



### Способи керування погодою

Основна технологія корекції погоди полягає в активному впливі на хмари.

Найвідоміший спосіб полягає в «засіванні» їх хімічними реагентами. Ще в середині минулого століття було встановлено, що аргентум(I) йодид сприяє появі центрів кристалізації води в хмарах.

Складіть його хімічну формулу та рівняння реакцій добування його: а) з простих речовин; б) йонним обміном. Проаналізуйте ці реакції з погляду окиснення-відновлення та електролітичної дисоціації відповідно.

Унаслідок «засівання» реагентами (зараз залежно від видів хмар використовують також гранули карбон(IV) оксиду, порошки цементу, тальку або гіпсу) у хмарах відбувається передчасна кристалізація вологи, і внаслідок цього утворюються опади. Розпорошують реагенти, зазвичай, з літаків. У подібний спосіб борються з градом. Градини утворюються в хмарах у результаті замерзання вологи на ядрах кристалізації. На відміну від дощу, такі кристали не встигають розтанути на підльоті до поверхні. Якщо в хмарі таких ядер кристалізації мало, то утворюються великі градини, здатні завдати значної шкоди сільськогосподарським насадженням, майну та навіть людям. Щоб запобігти укрупненню градин у хмарі, потрібно збільшити кількість центрів кристалізації. Штучні, привнесені в хмару ядра кристалізації вступають в конкуренцію за вологу, що міститься в хмарі, з природними. Унаслідок цього утворюється більше крижинок меншого розміру. На шляху до поверхні вони розтануть і перетворяться на краплі дощу, або випадуть у вигляді дрібної крижаної крупи, яка не становитиме небезпеки. Аналогічно розсіюють тумани, що важливо в районах аеропортів (поясніть чому).

## ГЛОБАЛЬНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Масштабні трансформації клімату деякі вчені розглядають як природний процес. Інші ж небезпідставно вважають, що це передвістя глобальної катастрофи. Ідеться про сильний прогрів повітряних мас, підвищення рівня посушливості й пом'якшення зим, часті урагани, тайфуни, повені та

посухи. Для пояснення причин зміни клімату Землі запропоновано багато гіпотез. Їх можна поділити на три групи — це астрономічні, фізичні та геолого-географічні.



Мал. 9.16: а — підвищення середньої температури повітря за останнє сторіччя, від 1900-х років; б — наслідки зміни клімату

Чи не найбільшу увагу привертає проблема глобального потепління. Підвищення середньої температури Землі реєструють з другої половини ХХ ст. (мал. 9.16, а). Учені вважають, що причиною цього є високий рівень парникових газів (*наведіть їхні хімічні формули*), які утворюються внаслідок людської діяльності. Наслідком підвищення глобальної температури стає зміна опадів, збільшення територій пустель, частіші екстремальні погодні явища, вимирання деяких біологічних видів, підвищення рівня моря (мал. 9.16, б). Найгірше те, що в Арктиці це призводить до зменшення льодовиків. Усе це разом здатне радикально змінити середовище проживання різних тварин і рослин, зрушити кордони природних зон і викликати серйозні проблеми із сільським господарством й імунітетом людини.

*Глобальна зміна клімату* — одна з найгостріших екологічних проблем, що постали перед людством.

## МЕТЕОЧУТЛИВІСТЬ І КОМФОРТНІ УМОВИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Для забезпечення комфортних умов життєдіяльності людини необхідно враховувати всі чинники, які їх складають, а саме:

- мікроклімат — температура, теплоізоляція, вологість та рух повітря, вентиляція, озонування;
- освітлення;
- випромінювання;
- рівень шуму;
- електробезпеку.

Містяни, які становлять 70 % населення України, більшу частину часу проводять у приміщеннях, де вони живуть і працюють. У житлових приміщеннях оптимальними вважають такі параметри: для температури 20–22 °С — у холодному та помірному кліматі й 23–25 °С — у жаркому кліматі; руху повітря — 0,1–0,25 м/с; вологості — 40–60 % з достатньою вентиляцією. Відхилення від цих оптимальних умов спочатку призводить до дискомфорту, а внаслідок тривалого перебування в них виникають захворювання дихальних органів, ревматизм, невралгії, ускладнення серцево-судинних захворювань, ослаблення імунітету.

Також одним з важливих показників забезпечення комфортних умов є повітря приміщень. Джерелами його забруднення можуть бути: продукти неповного згорання побутового газу, леткі виділення полімерних матеріалів, тютюновий дим тощо. Для поліпшення якості повітря приміщень уживають такі заходи: провітрювання й регулярне вологе прибирання, використання в інтер'єрі домашніх рослин, щільне закручування кришок на флаконах з мийними та дезінфікуючими засобами.

Клімат і погода прямо та сигнально впливають на людину. Унаслідок прямого впливу метеорологічні чинники (температура, атмосферний тиск, вологість) діють на тепловий стан організму, а внаслідок дії сигнального відбуваються патологічні реакції у метеозалежних людей і погіршення самопочуття в здорових осіб. Найбільше впливають погодні умови на людей із серцево-судинними, бронхо-легеневими захворюваннями, психоемоційними порушеннями, захворюваннями опорно-рухового апарату.



Мал. 9.17. Симптоми метеочутливості

*Метеопатія* — залежність стану здоров'я від погодних умов.

До основних симптомів метеочутливості людей належать головний біль, дратівливість, стрибки кров'яного тиску, порушення серцевого ритму, біль у суглобах, зниження працездатності, порушення сну. У метеозалежних і хворих людей унаслідок зміни погодних умов виникає погіршення самопочуття, загострення хронічних захворювань, що може призвести навіть до смерті.

Різкі зміни атмосферного тиску призводять до загострення радикуліту, виникнення шуму у вухах, мігрені. Зниження тиску спричинює утруднення дихання й порушення роботи серцево-судинної системи (мал. 9.17).

Щодо впливу вологості на людину, то в здорових осіб підвищена вологість спричинює головний біль, пришвиджене серцевиття, біль у суглобах. Унаслідок зниження вологості в людей з підвищеною чутливістю (тих, які схильні до захворювань дихальної системи) виникає відчуття сухості та подряпування в горлі; у здорових осіб виникають запальні процеси в слизових оболонках, застуди, вірусні, інфекційні захворювання.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Перелічіть географічні чинники клімату. Як вони впливають на клімат? Наведіть приклади такого впливу.
2. Назвіть типи повітряних мас та райони їх формування. Які типи повітряних мас формуються над територією України?
3. Поясніть, чи можна вважати територію України кліматично комфортною.
4. У яких умовах і де утворюються атмосферні фронти? Назвіть їхні основні риси.
5. Проаналізуйте уривки з літературних творів і вставте пропущені назви вітрів та погодних явищ: а) «... із суходолу дув протягом усієї першої ночі. Щоб потрапити в зону постійних вітрів, ми розраховували передусім на чергування вітрів із суходолу й з моря. Уранці море «видихає» повітря, і... летить на материк; потім воно завмирає, щоб зібратися з силами, а ввечері «вдихає» вітер.»; б) «Подув сприятливий вітер, хороший північно-східний..., який мав донести мене аж до Антільських островів.»<sup>1</sup>; в) «Педро глянув униз і побачив, що човни, залишені на ніч на воді, одв'язано. Нічний... відніс їх досить далеко у відкритий океан. Тепер уранішнім... їх поволи несло до берега.»<sup>2</sup>; г) «Індійський океан іскрився під полуденним сонцем. То сліпив очі відбитим вогняним промінням, то тішив погляд темною синявою. Південно-східний... дув якось нерівно, часом зовсім стихав.»<sup>3</sup>; д) «Уранці морська метеорологічна обсерваторія США повідомила, що в Тихому океані лютує надзвичайної сили..., який пересікає три морські шляхи між Азією і Америкою.»<sup>4</sup>; е) «Літній... жене з неоглядних просторів Тихого океану важкі димчасті хмари до гір Сіхоте-Алію. Чіпляючись за крилате верхів'ття темно-зелених кедрів, вони уповільнюють свій біг і виливаються на землю рясними...»<sup>5</sup>.
6. Поясніть з погляду фізики народні прикмети щодо погоди: а) бульбашки на калюжах — до довгого дощу; б) дим стелиться біля землі — до дощу; в) молоко швидко закипає через край — до негоди; г) сіль мокне — дощитиме.

<sup>1</sup> Ален Бомбар (1924–2005, Франція). «Один в океані».

<sup>2</sup> Олександр Романович Беляєв (1884–1942, Росія). «Людина-амфібія».

<sup>3</sup> Янка Мавр (Іван Михайлович Федоров, 1883–1971, Білорусь). «Амок».

<sup>4</sup> Олександр Романович Беляєв (1884–1942, Росія). «Сліпий політ».

<sup>5</sup> Сисоєв Всеволод Петрович (1911–2011, Росія). «Амба».

## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

- Опишіть у зошиті погоду сьогоднішнього дня за допомогою умовних знаків. Складіть опис погоди населеного пункту за картою погоди (на вибір). Які народні прикмети, що передбачають погоду, вам відомі? Складіть прогноз погоди для одного дня поточного року, використовуючи народні прикмети. Порівняйте ваш і науковий прогнози. Зробіть висновок.
- Оцінка патогенності погоди. Визначення рівня метеочутливості людини:
  - запишіть у таблицю 9.3 дані про погодно-метеорологічні чинники;

Таблиця 9.3

Погодно-метеорологічні чинники

Чинник	Значення чинника						Міждобова різниця	
	За попередній день			Середньодобове	На день експерименту			
	(дата)				(дата)			
	Виміри			Виміри				
1	2	3	1	2	3			
Температура, °C								
Швидкість вітру, м/с							–	
Вологість повітря, %							–	
Атмосферний тиск, мм рт. ст.								

- обчисліть значення середньої добової температури, вологості, швидкості вітру, атмосферного тиску;
- розрахуйте значення міждобової зміни атмосферного тиску і температури;
- обчисліть за формулами складові індекси патогенності температури  $i_t$ , вологості  $i_h$ , швидкості вітру  $i_v$ , зміни атмосферного тиску  $i_{\Delta p}$  та зміни температури  $i_{\Delta t}$ :

$$i_t = 0,2(18 - t)^2 \text{ за } t \leq 18 \text{ }^\circ\text{C, або } i_t = 0,2(t - 18)^2 \text{ за } t \geq 18 \text{ }^\circ\text{C;}$$

$$i_h = \frac{10(h - 70)}{20}; i_v = 0,2v^2; i_{\Delta t} = 0,06(\Delta t)^2;$$

- розрахуйте на підставі складових індексів патогенності загальний індекс патогенності погоди  $J = i_t + i_h + i_v + i_{\Delta p} + i_{\Delta t}$ ;
- оцініть за значенням загального індексу патогенності патогенну дію погоди на організм людини за шкалою (табл. 9.4);

Таблиця 9.4

Оцінка патогенності погоди

Значення $J$	Оцінка патогенності погоди
0–9	Оптимальна
10–24	Подразнювальна
25 і більше	Гостра

- визначте за формулою  $R = 0,6J$  ступінь подразнювальної дії погоди;
- обчисліть коефіцієнт жорсткості погоди за формулою:  $S = (1 - 0,006t) + (1 + 0,272v)K_a K_b$ , де  $S$  — жорсткість погоди за добу, бали;  $t$  — середня добова температура повітря,  $v$  — середня добова швидкість вітру, м/с °C;





## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

$K_a$  — коефіцієнт, що враховує роль добової мінливості температури повітря, який дорівнює: у разі мінливості до 4 °С — 0,85; від 4,1 °С до 6 °С — 0,90; від 6,1 °С до 8 °С — 0,95; від 8,1 °С до 10 °С — 1,00; від 10,1 °С до 12 °С — 1,05; від 12,1 °С до 14 °С — 1,1; від 14,1 °С до 16 °С — 1,15; від 16,1 °С до 18 °С — 1,20; понад 18 °С — 1,25;  $K_b$  — коефіцієнт відносної вологості, який дорівнює 0,9 — для вологості меншої за 60 %; 0,95 — для 61–70 %; 1,0 — для 71–80 %; 1,05 — для 81–90 % і 1,1 — для вологості понад 90 %.

Що вищі значення коефіцієнта жорсткості погоди  $S$ , то значнішими будуть порушення фізіологічних систем організму й сильніше будуть впливати погодно-метеорологічні чинники на організм людини;

9) виконайте оцінку комплексної дії погодно-метеорологічних чинників на організм людини, використавши дані таблиці 9.5.

Таблиця 9.5

### Оцінка жорсткості погоди

Жорсткість погоди	Періоди року	
	Зима та перехідні періоди	Літо
М'яка	Від 0 до 1,0	Від 0 до 1,0
Помірно жорстка	Від 1,1 до 2,0	Від 0 до -0,4
Жорстка	Від 2,1 до 4,0	Від -0,41 до -0,8
Дуже жорстка	4,1 і більше	-0,81 та менше

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

- Перспективи зміни клімату з урахуванням антропогенного впливу на нього.
- Міжнародне співробітництво з питань дослідження зміни клімату.
- Моделювання й прогнозування кліматичних змін.
- Дослідження метеочутливості: тривале реєстрування загального самопочуття та порівняння зі змінами параметрів стану повітря.
- Динаміка клімату протягом геологічної історії Землі.



## В. 10. ҐРУНТИ

Проблема охорони та раціонального використання земель є одним з найважливіших завдань людства, бо 98 % харчових продуктів, які споживає людина, отримуються за рахунок обробітку землі. Агрокультурою людина займається майже 10 тисячоліть. За цей період у багатьох частинах планети розквітали й гинули цивілізації, краї, що колись квітнули, перетворювалися на пустелі. Низька культура землеробства та хижацька експлуатація земель призводили до руйнування ґрунтів. Французькі вчені підраховали, що за весь історичний період людство втратило близько 2 млрд га родючих земель

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати* ґрунтоутворювальні чинники, складники й типи ґрунтів, показники родючості; основні типи ґрунтів в Україні, природні чинники розміщення сільського господарства.

*Розрізняти* типи ґрунтів за основними характеристиками.

*Установлювати* сукупність чинників, що формують ґрунти; ознаки ґрунтової класифікації.

*Характеризувати* типи ґрунтів й види родючості ґрунту.

*Усвідомлювати* загрози виснаження й забруднення ґрунтів, зменшення біорізноманіття.

*Оцінювати* функції організмів, органічних і неорганічних речовин у ґрунті.

*Читати* карти ґрунтів.

*Пропонувати* способи збереження родючості ґрунтів

## ЯК УТВОРИЛИСЯ ҐРУНТИ

Значні простори поверхні суходолу, вкриті різними за складом і будовою ґрунтами, утворюють тонку, але енергетично та геохімічно активну оболонку, так звану *педосферу*. Знання властивостей і походження ґрунтів є основою *ґрунтознавства* — науки, що сформувалася на перетині геологічних і біологічних наук.

*Ґрунт* — це верхній шар земної кори (літосфери). Ґрунт — це природно-історичне утворення, що виникло в результаті зміни поверхневого шару літосфери під дією води, повітря, тваринних і рослинних організмів. Ґрунтовий покрив розташований на межі взаємодії літосфери, атмосфери, гідросфери. Водночас він є компонентом біосфери.

Як і будь-яке природне тіло, ґрунти утворюються в результаті взаємодії певних чинників (мал. 10.1). Ними є *материнська гірська порода, організми, клімат, рельєф, час*.



Мал. 10.1. Ґрунтоутворювальні чинники

Найпоширенішими материнськими породами є континентальні відклади. Поміж показників клімату найважливішими для ґрунтоутворення є опади й приплив сонячної енергії (тепло та світло). Так, нерівномірне періодичне випадання опадів місцями створює несприятливий водний режим ґрунту з характерною зміною періодів засухи періодами надмірного зволоження. Важливим чинником є температура повітря й ґрунту, яка впливає на швидкість хімічних і біологічних процесів. На перебіг ґрунтоутворювальних процесів суттєво впливає рельєф. Рівнинний рельєф сприяє накопиченню й збереженню родючості ґрунтів. Значна крутизна не сприяє накопиченню родючого ґрунтового горизонту, його змивають водотоки, зносять вітри, руйнують зсуви. Вода в ґрунті є одним з основних чинників ґрунтоутворення й найголовнішою умовою родючості. Лише за потрібного для нормального росту й розвитку рослин умісту води й елементів живлення в ґрунті та сприятливих повітряних і термічних умов можна отримати високий урожай.

І, безперечно, основна роль в утворенні ґрунту належить *організмам*, — адже лише після їхньої появи на Землі виникли ґрунти. *Ґрунтоутворення* — біологічний процес. Він починається з поселення на гірській породі організмів.

## А ХТО В ҐРУНТІ ЖИВЕ?

Ґрунт є складною системою органічних і неорганічних речовин, а його органічна частина представлена всіма царствами живої природи (прокаріотами, грибами, рослинами, тваринами), де кожний з представників виконує певні функції.

Біолог Юджин Одум (1913–2002) у 1975 році виокремив групи організмів, що населяють ґрунт, залежно від їхніх розмірів (табл. 10.1).

Таблиця 10.1

Групи організмів, що населяють ґрунт

Мікробіота	Мезобіота	Макробіота
Бактерії, гриби, ґрунтові водорості, найпростіші	Нематоди, дрібні личинки комах, кліщі тощо	Корені рослин, великі комахи, дощові черви

Важливе значення мають *безхлорофільні мікроорганізми* — це бактерії, гриби, актиноміцети, найпростіші. Їхньою основною функцією є розкладання органічних і мінеральних сполук ґрунту, до того ж відбувається забезпечення доступу поживних речовин для зелених рослин. Також мікроорганізми можуть підвищувати родючість ґрунту завдяки власним продуктам метаболізму. Абіотичні речовини, які входять до складу метаболітів (ферменти, вітаміни, деякі амінокислоти тощо) виконують роль каталізаторів, активізуючи ріст рослин та збільшуючи врожайність.

Позитивна роль мікроскопічних ґрунтових водоростей — синьо-зелених, діатомових та інших — полягає у фіксації вільного азоту з повітря, і, як наслідок, забезпечення життєдіяльності азотофіксувальних бактерій і накопичення азоту в ґрунті.

*Лишайники* відіграють важливу роль у рекультивації земель. Вони оселяються на оголених субстратах і перетворюють їх на пухку масу, сприятливу для оселення інших видів.

Функції *зелених рослин* як продуцентів органічної речовини такі:

- є основним джерелом органічних речовин в ґрунтоутворювальному процесі;
- беруть участь в біологічному колообігу речовин;
- є концентраторами хімічних елементів.

Завдяки макроорганізмам відбувається пришвидшення біологічного колообігу речовин: руйнування органічних речовин, перерозподіл запасів енергії та перетворення її на інші види енергії.

*Земляні черви* забезпечують аерацію, пористість, вологоємність ґрунту. Унаслідок пропускання ґрунту через травний канал земляних червів він збагачується ферментами й солями, корисними для рослин. Хребетні тварини (полівки, ховрахи, кроти та інші) змінюють хімічний склад верхніх горизонтів ґрунту (мал. 10.2).

Окрім організмів, у ґрунті містяться корені рослин і рештки організмів. Є ґрунти, де основну частину (80–90 % умісту) може становити *гумус*<sup>1</sup>, що забезпечує процес перетворення органічних решток у ґрунті на

<sup>1</sup> Гумус, перегній (лат. humus — «земля», «ґрунт») — органічна частина ґрунту, яка утворюється в результаті розкладу рослинних і тваринних решток і продуктів життєдіяльності організмів — гуміфікації.

специфічні гумінові речовини — гумінові кислоти, фульвокислоти, гумін, ульмін. Основна функція гумусу — здатність утримувати воду та біогенні елементи.



Мал. 10.2. Мешканці ґрунтів представлені досить різноманітно

Родючий шар ґрунту є багатокомпонентною системою, де її частини — мінеральні частинки, мертва органічна речовина й організми — разом складають певну екосистему.

Основну біомасу на земній кулі створює вища рослинність, тому вона відіграє найважливішу біологічну роль у ґрунтоутворенні. Зелені рослини — єдине першоджерело органічної речовини в ґрунті. Головна їх функція — забезпечення біологічного колообігу речовин, тобто поглинання з ґрунту елементів живлення й води, синтез органічної маси, повернення її в ґрунт після закінчення життєвого циклу.

Швидкість нагромадження органічної речовини та розкладання її в ґрунті залежить від рослинної формації, яка бере участь у процесах ґрунтоутворення, й умов розкладання. Наприклад, в анаеробних умовах рослинні рештки розкладаються повільніше, що створює сприятливіші умови для утворення гумусу, ніж в аеробних умовах, де процеси мінералізації відбуваються енергійніше. Рослинні формації в природі змінюють одна одну, що зумовлює зміну напрямку ґрунтоутворювального процесу, а звідси і типу ґрунту.

Залежно від зональних умов ґрунтоутворювальної породи й напрямку процесів ґрунтоутворення в кожному ґрунті переважають певні групи тваринних організмів. Ґрунтова фауна по-різному впливає на мінеральну й органічну частини ґрунту. Так, деякі тварини розпушують ґрунт і ґрунтоутворювальну породу, часто на глибину 1–2 м й глибше, переносять ґрунт з верхніх горизонтів у нижні, перемішують його з породою тощо.

Тварини перетравлюють у своїх шлунках рослинні рештки, виділяють потім їх з організму й збагачують ґрунт органічною масою. Часто нижні перехідні горизонти ґрунтів бувають настільки перериті й перемішані дощовими червами та хребетними, що навіть важко знайти місце з незрушеним ґрунтом або породою. Це особливо характерно для чорноземів. Таке розпушування порід і ґрунту та перемішування їх сприяє хімічному й біологічному вивітрюванню мінералів, поліпшенню аерації, вологості, збільшенню пористості ґрунту тощо.

## СКЛАДНИКИ ҐРУНТУ ТА ЙОГО РОДУЧІСТЬ

Ґрунт складається з твердої, рідкої та газоподібної компонент і містить макро- і мікроорганізми — рослинні й тваринні (мал. 10.3).



Мал. 10.3. Склад ґрунту

*Тверда* компонента представлена мінеральною й органічною частинами. *Мінеральна* складова вміщує первинні, вторинні, глинисті мінерали та мінерали-солі (карбонати, сульфати, хлориди, фосфати тощо). Уміст в ґрунті мінералів-солей характеризує ступінь його засолення.

*Органічна* частина представлена гумусом, який відіграє ключову роль у родючості ґрунтів завдяки поживним речовинам і біогенним елементам, які він містить. Уміст гумусу коливається від 0,1 % до 20–22 % залежно від типів ґрунтів. Роль гумусу як безпосереднього джерела живлення рослин незначна, але він позитивно впливає на фізико- і біохімічні властивості ґрунту.

*Рідка* компонента ґрунту може бути вільною, зв'язаною, капілярною й газоподібною. Вільна вода переміщується порами під дією сили тяжіння, зв'язана — адсорбується поверхнею частинок та утворює на них плівку,

капілярна утримується тонкими порами, а газоподібна перебуває в частині пор, вільних від води. Найдоступнішою для кореневої системи рослин є вільна та капілярна форми води.

Сукупність усіх ґрунтів на певній території називають *ґрунтовим покривом*. Їхнє поширення тісно пов'язане з розподілом тепла й вологи на земній кулі. Тому на різних широтах формуються різні типи ґрунтів. Виокремлюють такі *типи ґрунтів*: тундрові, підзолисті та дерново-підзолисті, сірі лісові, чорноземи, каштанові, бурі (пустельно-степові), сіроземи, піщані й кам'янисті нерозвинені ґрунти пустель, власне піски, що переважають, червоно-бурі латеритні ґрунти саван, червоноземи тропічних широт.

Основною ознакою ґрунту є *родючість*, тобто здатність забезпечувати рослини поживними елементами, вологою, повітрям і теплом протягом вегетаційного періоду, а також забезпечувати врожай сільськогосподарських культур та біогенну продуктивність диких форм рослинності.

Види родючості ґрунту наведено в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

### Види родючості ґрунту

Природна (потенційна)	Штучна	Ефективна (економічна)
Відбувається внаслідок впливу природних процесів ґрунтоутворення та залежить від хімічного складу ґрунту, біологічних процесів, які відбуваються в ньому, кількості та якості гумусу тощо	Створюється в процесі використання ґрунту як основного засобу виробництва, залежить від продуктивних сил і виробничих відносин	Є результатом сукупності природної й штучної родючості та визначає кількість і якість урожаю

До показників родючості ґрунту відносять: гранулометричний та хімічний склад; уміст гумусу; структурність; водно-повітряний і тепловий режими; рослинність; біологічну активність. Усі ці природні чинники взаємозумовлені й взаємопов'язані.

Забезпечення родючості ґрунту досягають за таких умов:

- 1) достатній уміст поживних речовин у доступній для рослин формі впродовж усього вегетаційного періоду;
- 2) повна забезпеченість фізіологічно доступною вологою;
- 3) оптимальний газообмін, який підтримує необхідний для рослин уміст кисню в ґрунтового повітрі;
- 4) у ґрунті немає шкідливих речовин;
- 5) легка проникність коренів, яку забезпечує потужний шар ґрунту, звідки рослини поглинають елементи живлення й вологу.

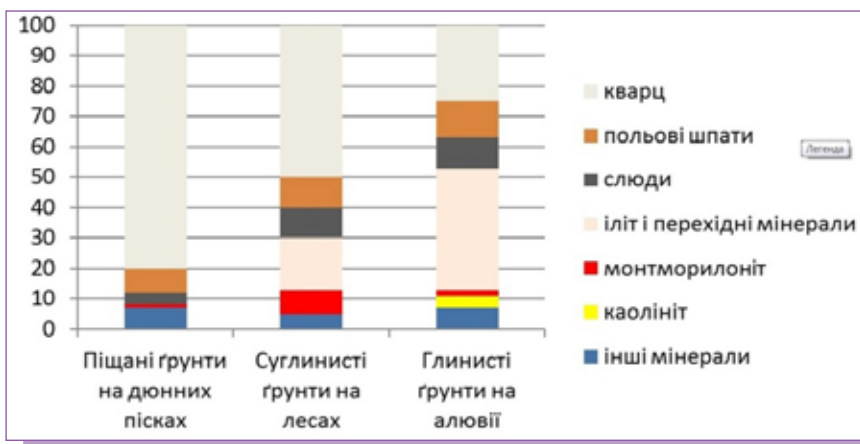
Кожна з цих умов однаково важлива для функціонування певної агроєкосистеми.

Структура ґрунтів, особливості їхнього походження та рівень родючості лежать в основі ґрунтової класифікації (табл. 10.3).

Ґрунти і природні зони<sup>1</sup>

Природна зона	Типи ґрунтів	Уміст гумусу	Властивості ґрунтів	Умови ґрунтоутворення
Арктичні пустелі	Арктичні	Дуже мало	Неродючі	Мало тепла й рослинності
Тундра	Тундрово-глеєві	0,1–0,6 %	Помірно-кислі	$K^1 > 1$ , вічна мерзлота. Рослинні рештки повільно розкладаються
Лісова зона (тайга)	Підзолисті	Мало	Промивні, кислі	$K > 1$ , рослинні залишки — хвоя
Змішані ліси	Дерново-підзолисті	Більше, ніж у підзолистих	Родючіші	Промив весною, більше рослинних залишків
Широколистяні ліси	Сірі лісові	4–5 %	Родючіші	—
Степи (лісостеп, степ)	Чорноземи, каштанові	10–12 %	Найродючіші	$K = 1$ , багато рослинних залишків, багато тепла
Зона пустель (напівпустелі, пустелі)	Бурі, сіро-бурі	Дуже мало	Засолені	Сухий клімат, розріджений рослинний покрив, $K < 0,5$
Савани	Червоно-бурі	1–2 %	Промивні	Чергування сухого і вологого періодів
Зона вологих лісів: мусонні ліси (сезонно-вологі ліси) й екваторіальні ліси (вологі ліси)	Червоноземи і жовтоземи	2–8 %	Промивні, лужні	Активний винос кальцію, магнію і кремнієвої кислоти. Алюміній і залізо закріплюється у ґрунті

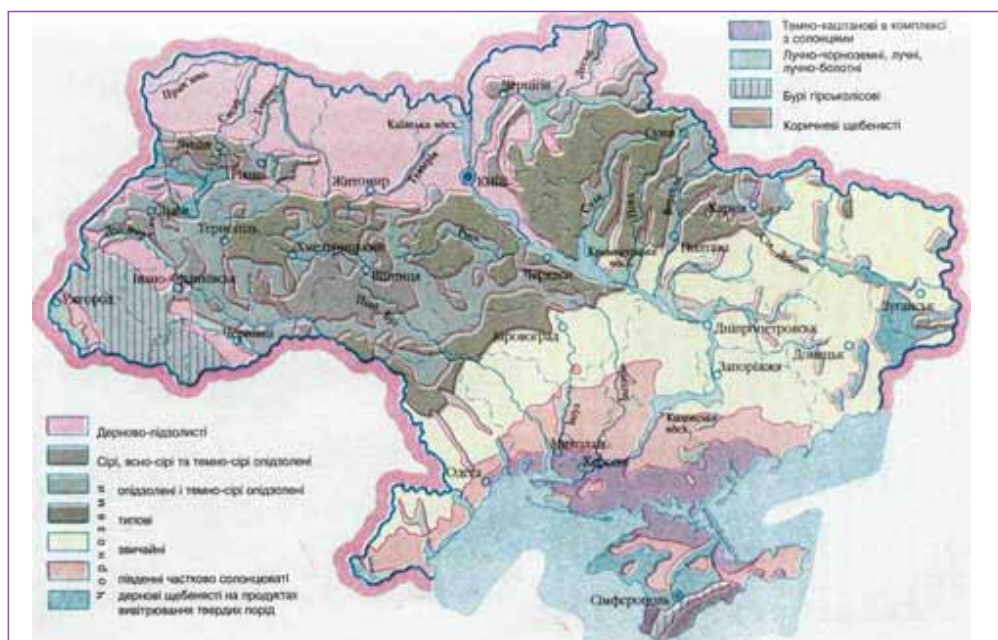
Про мінеральний склад ґрунтів ви можете дізнатися, проаналізувавши діаграму на малюнку 10.4.



Мал. 10.4. Мінеральний склад ґрунтів

<sup>1</sup> К — коефіцієнт зволоження — відношення річної кількості опадів до випаровуваності за той самий період. Вказує на природні зони: напівпустелі — 0,5; сухий степ — 0,5–0,8; степ — 0,8–1; лісостеп — 1–1,2; лісова зона — понад 1,3.





Мал. 10.5. Типи ґрунтів в Україні та їхня родючість

В Україні багато різновидів ґрунтів, які відрізняються між собою мінералогічним складом, умістом гумусу та поживних елементів, фізичними та хімічними властивостями, а отже, і родючістю, придатністю до лісо- та сільськогосподарського використання. З метою раціонального використання земель здійснюють їхнє великомасштабне дослідження, складають детальні ґрунтові карти та визначають характеристики всіх ґрунтів (їхнє бонітування), що дає змогу виробити правильний підхід до використання,

обробітку та удобрення ґрунтів, вибору найпридатніших для кожного поля сільськогосподарських культур, організації сівозміни, захисту рослин.

Серед усіх типів ґрунтів України найпоширенішими є чорноземи. Вони найродючіші, з високим вмістом гумусу (мал. 10.5)

Ефективне сільськогосподарське виробництво потребує глибоких знань земельних ресурсів, створення відповідних адміністративних і наукових установ, підготовки фахівців та здійснення послідовної державної політики в галузі сільського господарства та земельних ресурсів.

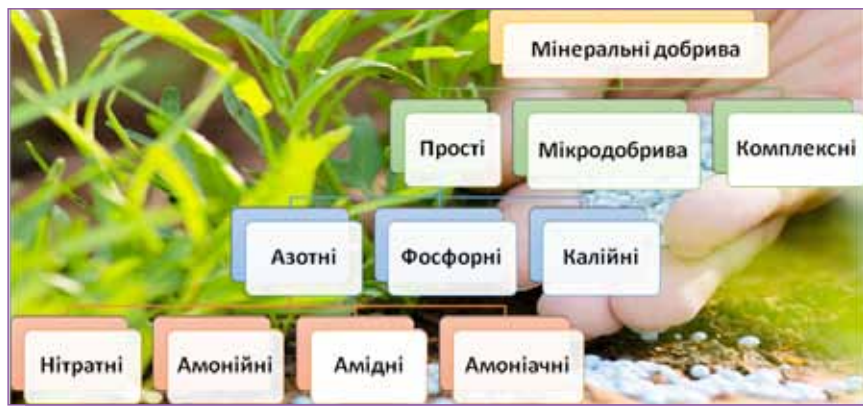
Основні *природні чинники* розміщення сільського господарства — якість ґрунтів, тривалість періоду без морозів, сума активних температур (забезпеченість теплом), сумарна сонячна радіація (забезпеченість світлом), умови зволоження, кількість опадів, забезпеченість водними ресурсами, рельєфні умови місцевості, ймовірність повторюваності несприятливих метеорологічних умов (посухи, заморозки, вітрова та водна ерозії) тощо. Природні чинники найбільшою мірою впливають на розміщення рослинництва. Для низки культур (переважно теплолюбних) ці ареали надзвичайно обмежені, наприклад, винограду, чаю, цитрусових тощо; для інших (ячменю, ярої пшениці, картоплі) — набагато ширші.

Проаналізуйте карти ґрунтів й економічну карту та встановіть залежність між типами ґрунтів і спеціалізацією певної території або країни.

На розміщення тваринництва природні чинники впливають меншою мірою (*пояснить чому*).

## ЩО ТАКЕ ДОБРИВА?

Це речовини, які вносять у ґрунт, аби поліпшити живлення рослин задля підвищення їхньої врожайності. Добрива містять один або кілька поживних елементів. Установлено, що для нормальної життєдіяльності рослин потрібні Нітроген, Фосфор, Калій. Майже всі мінеральні добрива є солями, одержуваними з природних мінералів, а також з азоту повітря. Про класифікацію добрив ви дізнаєтеся, проаналізувавши схему на малюнку 10.6 (*зробіть це*).



Мал. 10.6. Класифікація мінеральних добрив

За якими ознаками класифіковано добрива на схемі (мал. 10.6)?

Отже, *мінеральні добрива* — неорганічні речовини, добуті на хімічних підприємствах. До них відносять і деякі органічні речовини, наприклад карбамід.

*Прості добрива* містять лише один поживний елемент. Наприклад, *азотні добрива* містять Нітроген. *Нітратні* (селітри) — у складі аніона:  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . *Амонійні* — у складі катіона:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . В амоній нітрата  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  поживний елемент є складником як катіона, так і аніона. Карбамід, або сечовина  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , — також азотне добриво. До *амоніачних добрив* належать рідкий амоніак  $\text{NH}_3$ , амоніачна вода  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , амоніакати  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Їхнє виробництво значно дешевше, ніж твердих добрив, однак певні незручності в транспортуванні й унесенні дещо обмежують використання їх. *Калійні добрива* — сільвініт  $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$ , калій сульфат  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . *Фосфорні добрива* — простий суперфосфат  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSO}_4$ , подвійний суперфосфат  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , преципітат  $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , фосфоритне борошно  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

*Комплексні добрива* містять кілька поживних елементів: калійна селітра  $\text{KNO}_3$ , амофос  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , діамофос  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , амофоска  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{KCl}$ , нітроамофоска  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{KCl} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ .

*Мікродобрива* містять мікроелементи, споживані рослинами в невеликих кількостях. Це борні  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , мідні  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , манганові  $\text{MnSO}_4$ , кобальтові  $\text{CoCl}_2$ , молібденові  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ , цинкові  $\text{ZnSO}_4$  добрива тощо (мал. 10.7). Вони забезпечують приріст урожаїв у середньому на 10–12 % і поліпшують якість продукції. Проте надлишкове використання їх може призвести до накопичення мікроелементів у ґрунтах і сільськогосподарській продукції, що зумовлює негативні наслідки для довкілля й здоров'я людини.



Мал. 10.7. Мінеральні добрива

Класифікуйте добрива, зображені на малюнку 10.7.

*Застосування в сільському господарстві мінеральних добрив*, поряд з механізацією й передовими методами агротехніки, дає величезний економічний ефект. Проте досягти його можна лише за умови грамотного добору й правильного внесення добрив у ґрунт.

Деякі добрива не можна змішувати або потрібно змішувати лише у певних співвідношеннях. *Чому?* Тому що сполуки в їхньому складі можуть хімічно взаємодіяти, унаслідок чого суміші втрачають Нітроген у вигляді газоподібних оксидів та амоніаку, а Фосфор, засвоюваний рослинами, переходить у важкодоступний стан. Також може підвищуватися гігроскопічність і злежуваність змішаних добрив.

**Чому потрібно неухильно дотримуватися норм унесення добрив у ґрунт?** Добрива, у яких співвідношення поживних елементів відповідає агротехнічним вимогам (для певної культури, ґрунту тощо), називають *збалансованими*. Якщо вміст одного з поживних елементів у добриві нижче від потрібної норми, інші поживні елементи не забезпечать високого врожаю. Від надлишку поживних елементів якість сільськогосподарської продукції погіршується.

*Проблема надходження до організму нітратів*, які можуть міститися в городині або колодезній питній воді, є нагальною для кожної людини. Унаслідок хімічних реакцій під час процесів травлення ці сполуки відновлюються до отруйних *нітритів* — солей нітритної кислоти  $\text{HNO}_2$ . Нітрити мають загальнотоксичну дію, спричиняють розлади нервової, серцево-судинної, травної систем організму. Зауважимо, що в харчовій промисловості нітрити Натрію та Калію додають у м'ясо-ковбасні вироби, аби надати їм привабливого рожевого кольору. Тому слід дбати про якість споживаних харчових продуктів. Потрібно контролювати за допомогою спеціальних тестерів вміст нітратів у питній воді та харчових продуктах, не купувати продукти на стихійних ринках.

*Евтрофікація водойм*, до яких потрапляють змиті з навколишніх полів фосфорні й азотні добрива, також є серйозною екологічною проблемою. Адже підвищується некорисна продуктивність ставків, озер, річок, посилено розвиваються фітопланктон і водорості, прибережні зарості, вода «цвіте» тощо (*пояснить, чому це становить небезпеку для довкілля*).

*Надмірне використання калійних добрив* сприяє накопиченню аніонів Хлору. Вони досить рухливі й можуть переміщатися як вертикально, так і горизонтально в ґрунті. Зростання концентрації хлорид-іонів у ньому призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу в рослинах. Також небезпеку становить засолення ґрунту кальцій сульфатом унаслідок повсюдної практики внесення калій сульфату як добрива в суміші із суперфосфатами.

Хімічна промисловість постачає виробників сільськогосподарської продукції ефективними *добривами* (*пригадайте, які добрива називають мінеральними*). Застосування добрив дає змогу збільшити врожайність і поліпшити якість продукції рослинництва. У результаті їх застосування підвищується стійкість рослин проти хвороб, рослини ефективніше використовують вологу, пришвидшується дозрівання врожаю тощо. Щоб підвищити ступінь використання азотних добрив, уживають заходи для зменшення їхньої розчинності. Покриття гранул добрив тонкою плівкою із незначною проникністю подовжує термін їхньої дії в ґрунті, зменшує здатність до злежування та гігроскопічність, уможливорює транспорту-

вання насипом. Використання органо-мінеральних добрив, які виготовляють на органічній основі (гній, послід, тверді побутові відходи, решки деревини та опалого листя, торф тощо) додаванням до неї мінеральної речовини, поліпшує баланс та умови живлення рослин. Нові види органо-мінеральних добрив створюють утилізацією твердих побутових відходів з великим умістом органічних речовин — харчових відходів, залишків паперу, тканини, деревини тощо.

**Поняття про кислі та лужні ґрунти** ви вже певною мірою маєте (*пояснить, звідки та які саме*). Більше про них ви дізнаєтеся, доповнивши таблицю 10.4 значеннями рН, наведеними під нею (*зробіть це й обґрунтуйте свій вибір*).

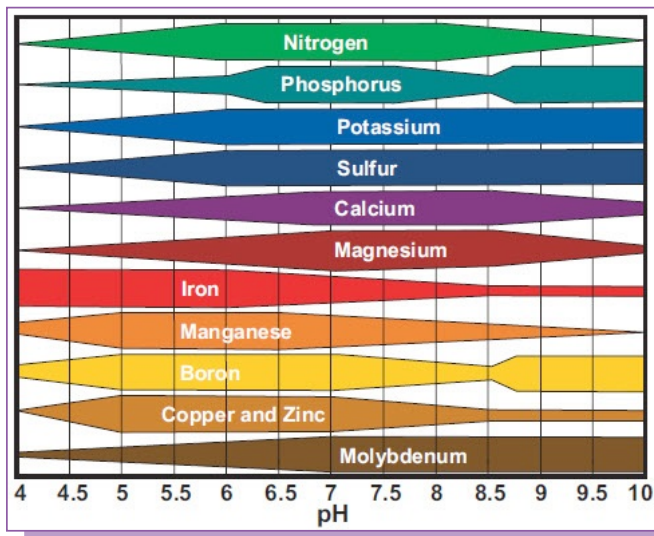
Таблиця 10.4

**Класифікація ґрунтів за величиною показника рН**

Група ґрунтів	Величина рН
Сильнокислі	
Кислі	
Слабкокислі	
Нейтральні	6,5–7,0
Слабколужні	
Лужні	
Сильнолужні	

рН: понад 8,5; 7,0–7,5; 5,5–6,5; 4,5–5,5; 3,0–4,5; 7,5–8,5.

*Чому важливо знати це?* Щоб правильно підживлювати та меліорувати ґрунти, запобігати їхньому деградуванню. Адже в надто кислих чи надто лужних ґрунтах пригнічено діяльність мікроорганізмів, порушено засвоєння поживних елементів рослинами (мал. 10.8 та мал. 10.9).



Мал. 10.8. Уплив величини рН ґрунтового розчину на засвоюваність макро- та мікроелементів рослинами

За діаграмою на малюнку 10.8 визначте, засвоюваність якого з хімічних елементів є максимальною в сильнокислих ґрунтах. Поясніть це явище з огляду на те, що рослини здатні засвоювати його йони лише з водного розчину.



Мал. 10.9. Чи матиме газон поблизу вашої оселі ідеальний вигляд? Багато в чому це залежатиме від показника рН...

1. Скориставшись даними, які ви впорядкували в таблиці 10.4, визначте групу ґрунтів для створення ідеального газону. 2. Доповніть речення: «рН ґрунтового розчину залежить насамперед від умісту в ньому йонів..., які зумовлюють кислу реакцію (дерново-підзолисті й болотні ґрунти) та...-йонів, що створюють лужну реакцію (каштанові ґрунти, сіроземи й солонці)».

*Реакція ґрунту* (величина його рН) є наслідком сукупної дії багатьох чинників. Вона залежить від мінералогічного та хімічного складу ґрунту, умісту солей, органічних речовин, складу ґрунтового повітря, вологості ґрунту та його біогенності.

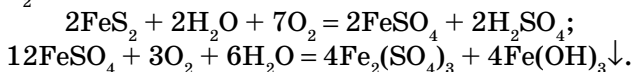
*Чи не найважливішим регулятором реакції ґрунту є солі.* Унаслідок зволоження вони переходять у ґрунтовий розчин, а внаслідок висихання залишають його. Більшість із солей зазнають гідролізу, у результаті чого, залежно від природи солі, у ґрунтовому розчині виникає надлишок катіонів Гідрогену або гідроксид-аніонів. Тож унесення добрив не лише підвищує кількість засвоюваних рослинами поживних речовин у ґрунті, а й позначається на рН ґрунтового розчину. Наприклад, систематичне використання для підживлення рослин амоній сульфату та амоній хлориду зумовлює кислу реакцію ґрунтового розчину внаслідок гідролізу цих солей.

Складіть рівняння реакцій гідролізу амоній сульфату та амоній хлориду.

*Неорганічні й органічні кислоти в ґрунті* також впливають на рН ґрунтового розчину. Однією з найпоширеніших у ньому неорганічних кислот є карбонатна. Залежно від термодинамічних умов (температури, тиску тощо) і біологічної активності вона спроможна підтримувати рН у межах 3,9–4,5–5,7.

Пригадайте з курсу біології, як унаслідок кореневого дихання потрапляє в ґрунт карбонатна кислота, і поясніть, чому її вміст тісно пов'язаний з добово-сезонними ритмами погоди та залежною від них ритмікою мікробіологічної (зокрема, і ферментативної) активності.

Сульфатна кислота утворюється в ґрунтах і материнських породах унаслідок повільного окиснення сульфідів металічних елементів, наприклад<sup>1</sup> піриту  $\text{FeS}_2$ :



1. Складіть повне і скорочене йонні рівняння, що описують процес окиснення ферум(II) сульфату. Чи належить ця реакція до реакцій йонного обміну? Чому?
2. Перевірте, використавши метод електронного балансу, чи правильно дібрано коефіцієнти в рівнянні цієї реакції.

Унаслідок гідролізу одного з проміжних продуктів — ферум(III) сульфату — утворюється кінцевий продукт окиснення — лімоніт<sup>2</sup> — і виникає надлишок (пояснить чому) катіонів Гідрогену в розчині.

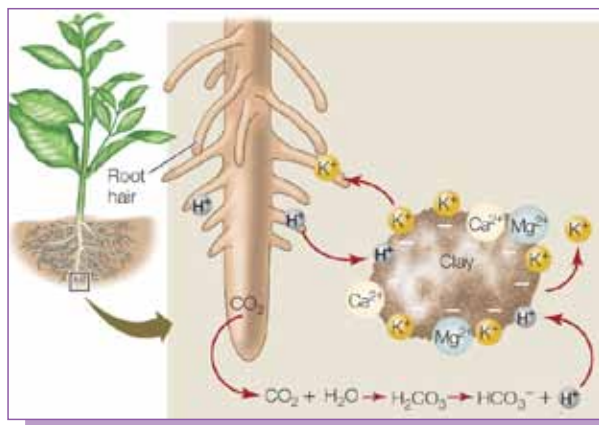
*Кислотні дощі* також сприяють зниженню рН ґрунтів.

*Гниття білків рослинних і тваринних решток* веде до утворення гідроген сульфіді й амоніаку, які за участі бактерій, води та кисню зазнають низку складних біохімічних перетворень, продуктами яких є кислоти — сульфатна, нітритна й нітратна відповідно.

Складіть формули неорганічних речовин, про які йшлося у попередньому абзаці. Які з них здатні до електролітичної дисоціації?

*Органічні кислоти* (етанова, оксалатна, лимонна, яблучна, піровиноградна тощо) потрапляють у ґрунт з метаболітами грибів, бактерій, комах і корневими виділеннями рослин.

*Рослини споживають аніони та катіони у певних пропорціях* в обмін на еквівалентну кількість йонів  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , унаслідок чого можливе зрушення реакції ґрунтового розчину в той або інший бік (мал. 10.10).



Мал. 10.10. Між частинками ґрунту, ґрунтовым розчином і поверхню корневих волосків відбувається йонний обмін.

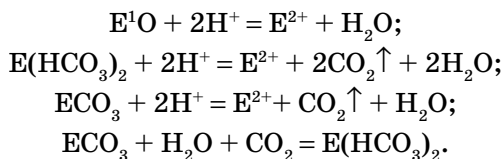
1. Частинка ґрунту. 2. Кореневий волосок. 3. Вода. 4. Пухирець повітря

<sup>1</sup> Для ознайомлення, а не для запам'ятовування.

<sup>2</sup> Його хімічний склад спрощено описують формулою  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

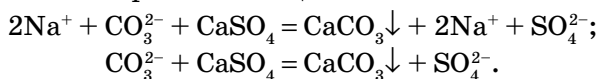
1. Поясніть, як зміниться: 1) кислотність; 2) величина рН ґрунту внаслідок поглинання кореневою системою рослини: а) катіонів Калію та Магнію; б) нітрат- та сульфат-аніонів. 2. Коренева система рослини поглинає катіони амонію значно швидше, ніж нітрат-аніони. Підвищиться чи знизиться концентрація катіонів Гідрогену в ґрунті внаслідок використання як добрива амоній нітрату?

Як можна змінити величину показника рН ґрунту? Надмірну кислотність ґрунту усувають вапнуванням, а надмірну лужність — гіпсуванням. Вапнування — це внесення в ґрунт оксидів, гідрогенкарбонатів або карбонатів Кальцію та Магнію для нейтралізації його кислотності:



Унаслідок цих процесів у ґрунтового розчині зменшується концентрація катіонів Гідрогену, натомість збільшується вміст катіонів Кальцію та гідроксид-іонів — продуктів гідролізу кальцій гідрогенкарбонату.

Гіпсування — це внесення в лужні ґрунти гіпсу, формула якого  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . У такий спосіб, наприклад, хімічно меліорують солонці, щоб замінити поглинений Натрій на Кальцій:



Гідроліз солей впливає на показник рН ґрунтів. Висока лужність, як і підвищена кислотність ґрунту, може створювати дуже несприятливі умови для росту й розвитку багатьох культур. Лужні ґрунти мають низьку родючість, оскільки зазвичай важкі, в'язкі, погано пропускають вологу й слабо насичені гумусом. У них високий вміст солей Кальцію й зависоке значення показника рН.



**Цікаво!** Якщо вирощувати гортензію на ділянці, де рівень рН ґрунту становить 6,0–6,2, то на рослині розпусяться рожеві квіти. Якщо ж знизити рН до 5,0–5,2, то виростуть квіти з блакитними або фіолетовими пелюстками. ґрунт з рН 5,5–6,0 зумовить фіолетовий колір квітів або суміш рожевого і блакитного на одному кущі гортензії. Якщо полити нейтральний ґрунт слабким розчином ферум(II) сульфату, гортензія забарвиться у фіолетовий (поясніть чому) колір (мал. 10.11).



Мал. 10.11. рН має велике значення!

<sup>1</sup> Ca, Mg.



Отже, ви пересвідчилися, що збагнути хімізм ґрунтоутворення та живлення рослин вам допомогли здобути раніше знання з біології, географії та уявлення про хімічну рівновагу, реакції йонного обміну, зокрема гідроліз, і розуміння значущості хімічних знань для забезпечення людства високоякісним продовольством.

## БЕРЕЖІТЬ ҐРУНТИ

Під час збирання врожаю людина частково або повністю порушує біологічний колообіг речовин і зменшує здатність ґрунту до саморегуляції, а також знижує його родючість (мал. 10.12). Призводять до деградації земель (зниження властивостей ґрунту) як антропогенні, так і природні чинники:

- 1) ерозія (вітрова та водна);
- 2) забруднення;
- 3) вторинне засолення та заболочення;
- 4) опустелювання;
- 5) відчуження земель для промислового та комунального будівництва.



Мал. 10.12. Бережіть ґрунти

*Ерозія ґрунтів* — це явище руйнування й переміщення ґрунтової маси й пухких порід потоками води та вітру. Залежно від чинника руйнування ерозію поділяють на *вітрову* (руйнування родючого шару під дією вітру, сонячного тепла та живих організмів) та *водну* (змивання родючого шару ґрунту або розмив його вглибину, що призводить також до втрати талих і дощових вод, замулювання річок, ставків, водойм, зрошуваль-

них і дренажних систем). Чинниками, що пришвидшують водну ерозію, є кількість та інтенсивність дощів, потужність снігового покриву й інтенсивність його танення, форма, крутизна й довжина схилів, механічний і структурний склад ґрунту. У таких ґрунтах зменшується запас гумусу, Нітрогену, Фосфору й решти поживних складників.

Вітрову ерозію поділяють на повсякденну дефляцію та пилові бурі. Перша відбувається повільно та за незначної швидкості вітру (5 м/с), переважно на піщаних, сушіщаних і карбонатних ґрунтах.

*Пилові бурі* характеризують переносом пилу та піску із сильними тривалими вітрами (зі швидкістю понад 12–15 м/с), що призводить до знищення поверхні ґрунту. Розрізняють чорні, бурі та жовті, червоні, білі пилові бурі залежно від кольору та складу пилу. Для України найтиповішими є чорні пилові бурі, що характерні для чорноземів.

Також виокремлюють нормальну (геологічну) та сучасну (пришвидшену) ерозію. Перша виникла впродовж геологічної історії Землі під впливом льодовиків, води, що стікає, коливань температури, переміщення повітряних мас тощо. Це спричинило формування схилів і рівнин, нівелювання рельєфу. Інтенсивність нормальної ерозії низька.

Сучасна ерозія виникає внаслідок виробничої діяльності людини та неправильної обробки ґрунту, у результаті чого знищується рослинний покрив.

Для *рекультивации ґрунтів* використовують різноманітні хімічні меліоранти (*наведіть приклади*), зокрема такі, що знижують рухливість катіонів важких металічних елементів у ґрунті. Для укріплення зсувів використовують геотекстиль, основною сировиною для виробництва якого є поліпропілен або поліестер — продукція хімічної промисловості. Важливо (*поясніть чому*), що для виробництва геотекстилю використовують рециклізовані полімери. Наприклад, поліестерні волокна виготовляють переробленням використаних пластикових пляшок. Натомість поліпропіленовий геотекстиль виробляють із первинної сировини (мал. 10.13).



Мал. 10.13. Ефективні меліорація (1) та укріплення (2) ґрунту неможливі без досягнень сучасної хімії

Поверхневі шари ґрунтів легко забруднюються. Високі концентрації різноманітних хімічних сполук (токсикантів) шкідливо впливають на життєдіяльність не лише організмів ґрунту, а й на всі організми, зокрема й людину. У результаті ґрунт утрачає здатність до самоочищення від

хвороботворних та інших небажаних мікроорганізмів, що призводить до небезпечних наслідків для всього живого.

Основними забруднювачами ґрунтів є *пестициди* (отрутохімікати), мінеральні добрива, відходи й викиди промислових підприємств, газодимові викиди в атмосферу, нафта й нафтопродукти.

Особливо велику кількість токсичних речовин містять пестициди. По-між них найбільшу небезпеку становлять хлорорганічні сполуки (ДДТ, ГХБ), які можуть зберігатися в ґрунті впродовж багатьох років і бути небезпечними для організмів. Наприклад, в організмі людини малі концентрації пестицидів пригнічують імунну систему, а великі — спричиняють генні мутації та ріст злоякісних новоутворень. Застосування деяких видів пестицидів (ДДТ) заборонене не лише в Україні, а й у світі.

Залишки пестицидів і мінеральних добрив виявляють у ґрунтах і рослинній продукції. Вміст таких шкідливих речовин часто перевищує гранично допустимі концентрації, що зумовлено, в основному, їх передозуванням.

Ґрунт має здатність до накопичення забруднювачів, наприклад важких металічних елементів (табл. 10.5).

Таблиця 10.5

#### Наслідки впливу деяких важких металів на здоров'я людини

Елемент	Наслідки впливу підвищених концентрацій елемента	Джерела
Меркурій (Hg)	Нервово-паралітичні розлади; порушення функцій шлунково-кишкового тракту; нирок; хромосомні порушення	Забруднені ґрунти, поверхневі та підземні води
Арсен (As)	Ракові захворювання шкіри; інтоксикація, периферійні неврити	Забруднені ґрунти, протруєне зерно
Плюмбум (Pb)	Руйнування кісткових тканин; затримка синтезу протеїну в крові; порушення роботи нервової системи та нирок	Забруднені ґрунти, поверхневі та підземні води
Купрум (Cu)	Органічні зміни в тканинах, розклад кісткової тканини, гепатит	Забруднені ґрунти, поверхневі та підземні води
Кадмій (Cd)	Цироз печінки, порушення функцій нирок, протеїноурія, хвороба «ітай-ітай» (кадмієва остеомаляція)	Забруднені ґрунти й води



Деякі рослини вибірково вбирають хімічні елементи з ґрунту. Злакові накопичують Силіцій і Фосфор, буряки та чай — Флуор. Бобові, цибуля та часник концентрують у собі Сульфур, а сочевиця — Арсен. Селен «полюбляє» кукурудза, Бор — гречка, буряк, бобові, овочеві й плодово-ягідні культури. Йод накопичується в моркві, буряку, капусті, картоплі тощо. Ці відомості також актуальні для спеціалістів з рільництва, щоб раціонально вибирати ґрунти та добрива для різноманітних сільськогосподарських культур.

*Засолювання ґрунтів* — це підвищення вмісту легкорозчинних солей в ґрунті (карбонатів, хлоридів, сульфатів), спричинене засоленістю ґрунтоутворюючих порід. Ґрунти вважаються засоленими, якщо вміст токсич-

них солей для рослин становить більше 0,1 % по масі. Також засолення ґрунтів виникає під час випаровування ґрунтових вод, рівень яких піднявся до ґрунтових горизонтів (солончаки та солонці). Такі ґрунти мають лужне значення рН. Флора та фауна таких ґрунтів є досить специфічною. Рослини (галофіти) є стійкими до концентрації та складу солей. Яскравим представником є солерос (мал. 10.14), що може витримувати концентрацію солей більше 20 %.



Мал. 10.14. Зарості солероса європейського. Кувейт, берег Перської затоки

Засолення ґрунтів призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур. Зникає багато видів рослин, зменшується генофонд наземних популяцій у зв'язку з погіршенням умов життя.

Вторинне засолення розвивається внаслідок нераціонального використання води в посушливих районах.

*Опустелювання* — незворотний процес зміни ґрунту й рослинності та зниження біологічної продуктивності, що може призвести до повного порушення біосферного потенціалу та перетворення території на пустелю.

Основні причини розвитку цього процесу поділяються на такі:

- природні (довготривалі посухи, засолення ґрунтів, переважання легких (супіщано-глинистих) ґрунтів, зниження рівня підземних вод, ерозія);
- антропогенні (вирубка лісів, надмірне навантаження на пасовища, інтенсивне розорювання, прискорена вітрова ерозія та засолення ґрунтів, нераціональне водокористування, падіння рівня ґрунтових вод, випалювання минулорічної сухої трави).

Ґрунтовий покрив порушується внаслідок *відчуження земель* для потреб несільськогосподарського використання (будівництво промислових об'єктів, населених пунктів, прокладання доріг, ліній зв'язку тощо). Так, згідно з даними ООН, у світі щороку втрачають 300 тис. га земель сільськогосподарського призначення. З розвитком цивілізації ці втрати невідворотні, проте їх необхідно мінімізувати.

Після техногенної катастрофи на Чорнобильській атомній електростанції відбулося масове радіоактивне забруднення ґрунтів. Загальна площа сільськогосподарських угідь, забруднених радіонуклідами, становить

6,7 млн га, зона відчуження — 58 тис. га. Самодезактивація поверхневих шарів ґрунту відбувається надто повільно.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Чому на Землі утворюються різні типи ґрунтів? Яким закономірностям підпорядковане їхнє поширення?
2. У чому полягає подібність і відмінність ґрунтів та гірських порід за хімічним складом? Які хімічні елементи переважають у ґрунті?
3. Опишіть основні мікроелементи, що є в ґрунтах, їхнє значення для живлення рослин.
4. Поясніть суть закономірності зонального розподілу ґрунтів.
5. Назвіть типи ґрунтів, поширених на території України. Укажіть чинники їхнього формування. Які ґрунти поширені у вашій місцевості? Чи родючі вони? Яка природна рослинність поширена на них? Які культурні рослини вирощують на ньому?
6. Як погодні умови природної зони впливають на формування ґрунтів, рослинний і тваринний світ?
7. Як можна вберегти ґрунти від руйнування та виснаження? Схарактеризуйте заходи з поліпшення якості ґрунтів.
8. Розкажіть про значення ґрунту для людини й для планети в цілому.
9. Чому ґрунти називають природно-історичним тілом?
10. Поясніть, чому: а) використання натрій нітрату як добрива спричинює нагромадження в ґрунті йонів  $\text{OH}^-$ ; б) не можна одночасно вапнувати ґрунт гашеним вапном і вносити в нього аміачні форми азотних добрив.
11. Проаналізуйте опис досліду з книжки К. А. Тимірязєва<sup>1</sup> «Життя рослин» і поясніть його результати: «...взьмемо ретельно відполіровану пластинку з білого мармуру... і закопаємо її на дно плоского квіткового горщика. Посадимо в горщик яку-небудь рослину, наприклад боби. Коріння цього бобу незабаром досягне мармурової пластини, розтягнеться по ній і щільно прилипне до її полірованої поверхні. Якщо після декількох днів ми відкопаємо пластинку, обмиємо, висушимо її й потім поглянемо на неї, розташували її проти світла, то на гладкій поверхні, що відбиває світло, побачимо матові червоподібні сліди. Це відбитки коренів..., не глибокі, проте дуже виразні».
12. Доповніть уривки з науково-популярних статей<sup>2</sup>: а) «На дуже лужних ґрунтах значно знижено доступність для рослин таких елементів, як Ферум, Манган, Купрум, Цинк і більшості мікроелементів. Порушення їхнього засвоєння зумовлене утворенням їхніх нерозчинних..., які рослини не можуть поглинати в такому вигляді»; б) «підживлені амоній хлоридом рослини інтенсивніше поглинатимуть з ґрунтового розчину катіони  $\text{NH}_4^+$ , оскільки використовуватимуть їх для синтезу амінокислот. Натомість аніони  $\text{Cl}^-$  потрібні рослині в значно меншій кількості, тож засвоюватимуться меншою мірою. Через це в ґрунтовому розчині накопичуватимуться заміщені катіонами амоній йони... й не ввібрані аніони  $\text{Cl}^-$ , що утворюватимуть... кислоту і, як наслідок, підкислюватимуть ґрунт.»; в) «...забур'янення полів хвощем польовим (*Equisetum arvense*) на Львівщині вдалося здолати лише після.... Адже хвощ дуже полюбляє саме кислі ґрунти».

<sup>1</sup> Тимірязєв Клімент Аркадійович (1843–1920, Росія).

<sup>2</sup> За матеріалами <https://agronom.com.ua/kyslotnist-gruntiv-ta-yiyi-vplyv-na-zhyv/>; <https://propozitsiya.com/ua/keruvannya-kislotnistyu-gruntiv>



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

13. Прокоментуйте з огляду на вивчене висловлювання науковців: а) Причина виникнення й занепаду націй та сама. Розкращання родючості ґрунту зумовлює їхню загибель, підтримання цієї родючості — їхнє життя, багатство та могутність. *Ю. Лібіх*<sup>1</sup>; б) Під час продажу врожаю зі свого поля селянин продає саме поле. *Ю. Лібіх*; в) Речовина, що перебуває в мінімумі, керує врожаем та визначає величину й сталість його в часі. *Ю. Лібіх*; г) Сіль є основою життя та росту всіх посівів. *Б. Паліссі*<sup>2</sup>.
14. Поміркуйте й поясніть, чому: а) тверді добрива не можна вносити надто глибоко в землю й розсипати на поверхні ґрунту; б) рідкі амоніачні добрива вносять спеціальними машинами й зашпаровують на глибину 10–12 см, а на легких ґрунтах глибину їхнього закладення збільшують до 14–18 см; в) недоцільно змішувати солі амонію з вапном або калій карбонатом, а суперфосфат з магнієвою або натрієвою селітрами; г) як саме можна раціонально використати мінеральні добрива, що злежалися; д) не можна поміщати етикетки мінеральних добрив усередині пакета з ними; ж) потрібно попереджати людей навколо про використання мінеральних добрив, а також хімічних засобів боротьби зі шкідниками та хворобами рослин; з) під час перевірки насінин соняшника багатьох вітчизняних і зарубіжних виробників було виявлено значно вищий за припустимий уміст Кадмію.
15. Під час вирощування сільськогосподарських культур на забруднених радіоактивними елементами територіях потрібно застосовувати прийоми, які сприяють зменшенню надходження радіонуклідів до рослин. Експериментально визначено, що кальцієлюбні культури (бобові, овочеві) поглинають катіони Стронцію-90 більшою мірою, ніж злакові, а калієлюбні — катіони Цезію-137. Оцініть слушність тверджень: а) вапнування кислих ґрунтів знижує рухомість радіонуклідів у них; б) унесення в ґрунт калійних добрив знижує проникнення в рослини радіонуклідів Цезію, а внесення фосфатів лужних елементів — радіонуклідів Стронцію.
16. Проаналізуйте твердження Свамінатана Айяра<sup>3</sup>: «Виснажені ґрунти — одна з причин анемії в людей. Брак поживних мікроелементів в ґрунтах призводить до нестачі поживних речовин у раціоні людей, оскільки в культурах, вирощених на таких ґрунтах, зазвичай не вистачає поживних речовин, необхідних для боротьби з прихованим голодом». Запропонуйте заходи боротьби з прихованим голодом.



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Чи можливо виростити картоплю на Марсі (за аналізом фільму «Марсіанин»).
- Ґрунт і здоров'я людини.
- Екологічна роль ґрунту.
- Ґрунт — основний ресурс агросистеми.

<sup>1</sup> *Юстус фон Лібіх* (1803–1873, Німеччина).

<sup>2</sup> *Бернар Паліссі* (бл. 1510–1589, Франція).

<sup>3</sup> *Swaminathan S. Anklesaria Aiyar* (нар. 1939, Індія).

# ЗЕМЛЯ



## В. 11. БІОСФЕРА

Якби на Землі не було життя, — обличчя її було б таким самим незмінним і хімічно інертним, як нерухоме обличчя Місяця, як інертні уламки небесних світил.

*В. Вернадський*

Унікальність нашої планети — у її біосфері

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати*: склад і структуру біосфери; основні типи речовини біосфери; хімічний склад і геохімічну роль живої речовини; принципи класифікації живої речовини.

*Наводити* приклади різних типів речовин біосфери.

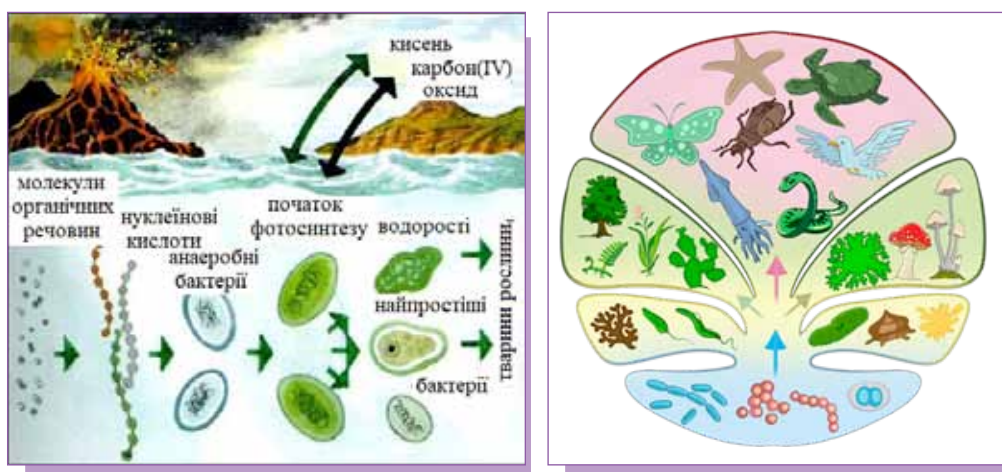
*Описувати* взаємодію біосфери з літосферою, атмосферою, гідросферою; основні властивості живої речовини; колообіги речовин у природі; наслідки впливу діяльності людини на колообіги речовин у біосфері.

*Пояснювати*, чим зумовлені межі біосфери; функції й роль ґрунту в біосфері; значення води для життєдіяльності організмів; обумовленість періодичних процесів у біосфері; значення фотосинтезу для існування біосфери.

*Розуміти* суть основного закону біосфери; основні біохімічні функції живої речовини

## ЯК УТВОРИЛАСЯ БІОСФЕРА

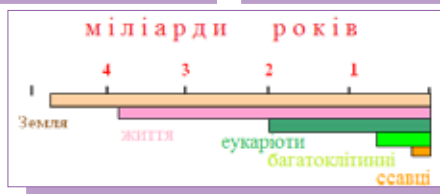
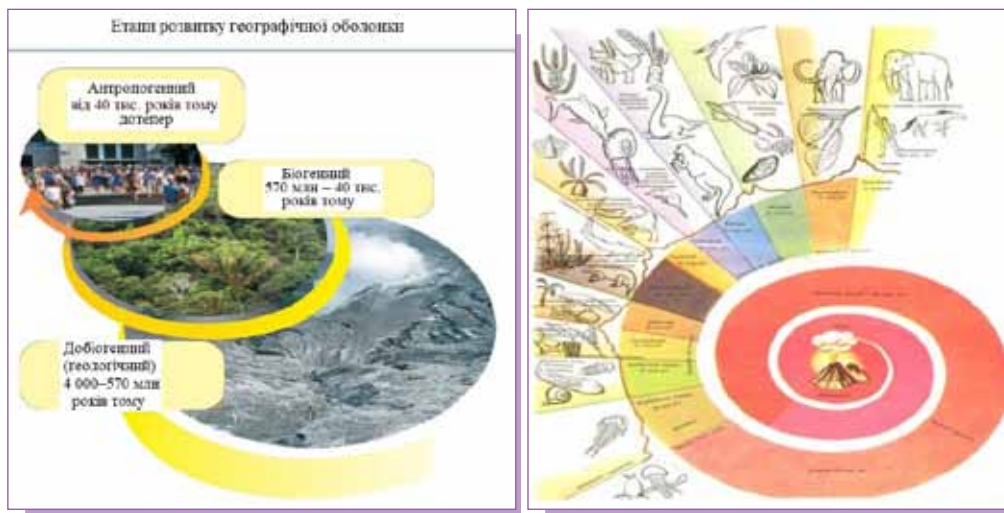
Молода Земля, що виникла близько 4,5 млрд років тому, була безлюдною. Сумно хлюпотіли води мілких річок, мовчали безплідні рівнини й голі скелі. Мертву тишу порушував лише гуркіт вулканів, які вивергали розпечену лаву та хмари розжареного попелу. 3,5 млрд років тому в первісному океані Землі внаслідок дії ультрафіолетового та рентгенівського випромінень, а також електричних грозових розрядів почалося утворення перших органічних сполук, за висловом академіка О. І. Опаріна (Опарін Олександр Іванович, 1894–1980, Росія) — «органічного бульйону». Зі зростанням його концентрації деякі молекули органічних речовин об'єднувалися в окремі краплі, які використовували елементи цього розчину для збільшення свого розміру. Так виникли молекули, здатні до самовідтворення, — це означало зародження життя (мал. 11.1).



Мал. 11.1. Зародження життя

Перші організми живилися навколишнім органічним розчином, однак настав час, коли його запаси почали вичерпуватися, а кисню — найефективнішого окиснювача — практично не було. Тож перші організми змушені були отримувати енергію через процес бродіння. Однак цей малоефективний процес потребував великої кількості їжі, і життя було приречене на голодну смерть. Єдина можливість перетворення скінченної речовини в нескінченну — включення її в колообіг. Тому внаслідок природного добору утворилися фотосинтезувальні організми, які не живилися готовою органічною речовиною, а створювали її самі: використовували сонячне світло для перетворення вуглекислого газу та води на вуглеводи. Унаслідок такого способу живлення вивільнявся кисень, що сприяв виникненню багатоклітинних представників тваринного світу, які отримували енергію з готових органічних речовин окисненням їх. Деяка частина кисню перетворилася на озон, який, поглинаючи ультрафіолетове випромінювання, захищав білкові речовини. Таким чином живі істоти отримали можливість вийти з води, яка захищала їх від дії випромінювання, на суходіл і поступово поширилися на всій планеті.





Мал. 11.2. Зародження живої речовини

Так утворилося замкнене коло взаємозалежних і взаємоприсосованих організмів і процесів, поміж яких немає жодного зайвого, оскільки кожен виконує певну функцію. Рослини здатні створювати органічні речовини з неорганічних. Цей процес, унаслідок якого утворюється кисень, називають *фотосинтезом*. Тварини не здатні самі створювати органічні речовини й дістають їх, з'ївши траву (травоїдні) або інших тварин (хижаки).



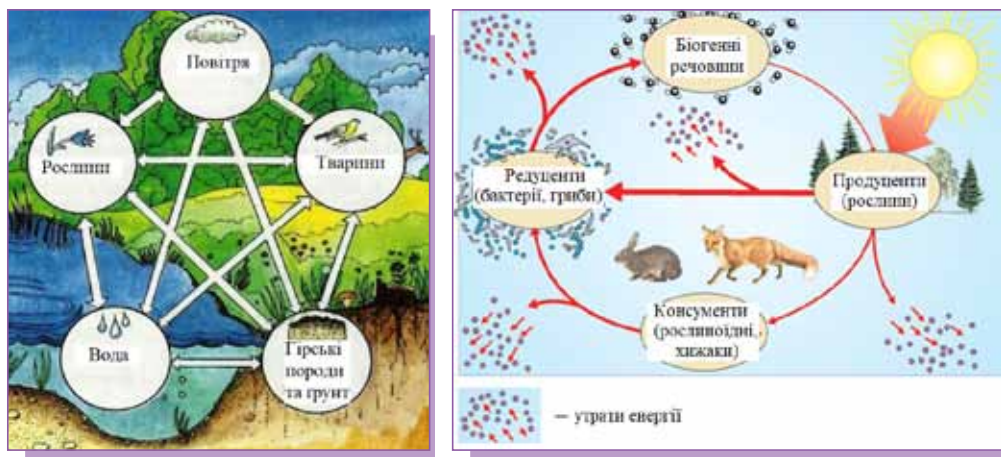
Цікаво! *Elysia chlorotica* (мал. 11.3) — вид невеликих морських слимаків, що належать до морських черевоногих молюсків. Це перша відома вченим тварина, здатна, подібно до рослин, здійснювати процес фотосинтезу. Своїх хлоропластів у неї немає, тому для здійснення фотосинтезу вона використовує хлоропласти морської водорості *Vaucheria litorea*, яку вживає в їжу. Геном слимака кодує деякі білки, необхідні хлоропластам для фотосинтезу.



Мал. 11.3. *Elysia chlorotica*

Поміркуйте й висловіть припущення, чому дорослі особини *Elysia chlorotica* зазвичай мають яскраво-зелене забарвлення.

Кисень, що виділяють рослини, усі організми використовують для дихання, а вуглекислий газ, який вони видихають, необхідний рослинам для фотосинтезу. Бактерії ґрунту розкладають рештки рослин і тварин: перетворюють їх на неорганічні речовини. Ці речовини стають джерелом живлення для нових поколінь рослин. Якби не санітарна робота бактерій, то рештки організмів укрили б Землю шаром у кілька десятків метрів (мал. 11.4).



Мал. 11.4. Коло життя

Думка про те, що істоти Землі взаємодіють з навколишнім середовищем і впливають на нього, уперше трапляється в працях Бернгардуса Вареніуса (1622–1650 або 1651, Голландія) і Християна Гюйгенса (1629–1695, там само), а також у відомого натураліста Жоржа-Луї Леклерка де Бюффона (1707–1788, Франція). Хіміки Жан Батист Дюма (1800–1884, Франція), Жан Батист Бусенго (1802–1887, там само), Юстус Лібіх (1803–1873, Німеччина) і деякі інші вчені з'ясували роль зелених рослин у газовому обміні земної кулі й значення ґрунтових розчинів у живленні рослин. Власне, учення про біосферу започаткував натураліст Жан Батист Ламарк (1744–1829, Франція), який ґрунтовно проаналізував взаємодію організмів із середовищем їхнього існування. Визначення біосфери як особливої оболонки Землі та її назву запропонував геолог Едуард Зюсс (1831–1914, Австрія) у праці з геології Альп<sup>1</sup>.

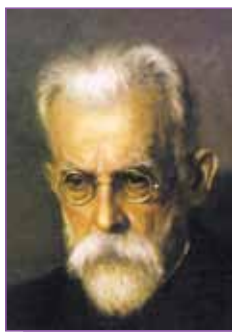
Натураліст і географ Александер фон Гумбольдт (1769–1858, Німеччина) у п'ятитомному творі «Космос» синтезував тогочасні знання про Землю й космос і розвинув ідею про взаємозв'язок усіх природних процесів та явищ.

Значно ширше й змістовніше сутність поняття «біосфера» розкрив вітчизняний учений В. І. Вернадський (мал. 11.5). Його вчення про біосферу є однією з найвизначніших праць у галузі природничих наук. Відомий письменник М. Пришвін<sup>2</sup> так оцінив працю В. Вернадського: «Я завжди відчував смутно в нестямі цю ритміку світового дихання, і тому наукову книгу Вернадського «Біосфера», де мою здогадку передано як «емпіричне

<sup>1</sup> «Die Entstehung der Alpen», 1875

<sup>2</sup> Пришвін Михайло Михайлович, 1873–1954, Росія.

узагальнення», читав, як у дитинстві авантюрний роман. І тепер я став набагато сміливіше здогадуватися про творчість так, що, може бути, ця необхідна для творчості «вічність» і є відчуття не свого людського, а іншого, планетного часу, що, може бути, цю здатність за допомогою внутрішньої ритміки стикатися з іншими часами, з іншими термінами й потрібно назвати власне творчістю».



Мал. 11.5. Вернадський Володимир Іванович (1863–1945). Нащадок запорізького козака, народився в сім'ї відомого економіста, викладача Київського університету, родич письменника В. Г. Короленка<sup>1</sup>. Фундатор і перший президент Української академії наук. Академік Російської академії наук, член Чехословацької й Паризької академії, фундатор Радієвого інституту. Найвидатнішим досягненням є вчення про біосферу та її перехід у ноосферу

## ЖИВА ОБОЛОНКА ПЛАНЕТИ

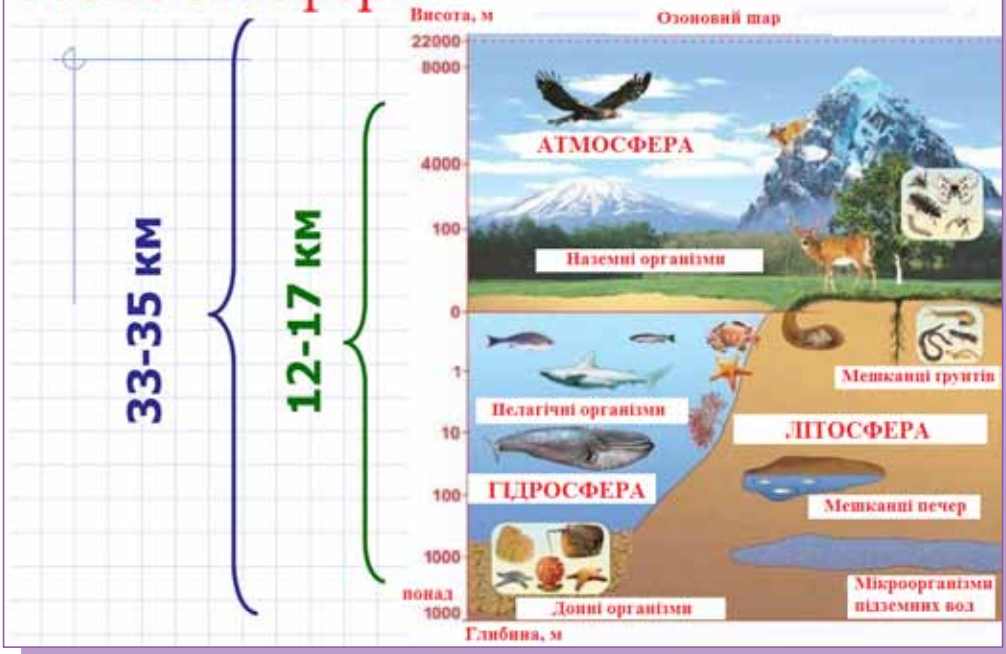
На відміну від інших оболонок Землі, біосфера не має власних меж, вона простяглася в межах інших оболонок. Біосфера охоплює нижню частину атмосфери (до висоти озонового шару), усю гідросферу й верхні шари літосфери (мал. 11.6). Її максимальна товщина сягає близько 30 км, що порівняно з радіусом Землі становить лише 0,55 %. Це зайвий раз свідчить про тендітність і вразливість живої оболонки нашої планети.

Межі біосфери визначено умовами існування життя. До них відносять воду, мінеральні речовини, кисень, вуглекислий газ у необхідних для життєдіяльності кількостях, а також сприятливий температурний режим, ступінь солоності води у водоймах, рівень радіації тощо. В. Вернадський уважав, що життя можливе всюди: від термальних джерел (де температура може сягати 100 °С) і вічних снігів Гімалаїв до пустель чи солоних озер. Сьогодні з'ясовано, що межі температур, за яких може існувати життя (латентний стан), становлять від практично абсолютного нуля до +180 °С; тиск — від частки атмосфери на значній висоті до 1000 і більше атмосфер на великих глибинах. Наприклад, для деяких бактерій значення верхньої межі критичного тиску сягає  $12 \cdot 10^8$  Па (12 тис. атм). Насінини та спори рослин в анабіозі<sup>2</sup> зберігають життєздатність у вакуумі.

<sup>1</sup> Короленко Володимир Галактіонович, 1853–1921, Україна.

<sup>2</sup> Анабіоз (грец. *ανα-βίωσις*, *ανα-βίωσις* — повернення до життя, пожвавлення, від *ανα* — знов і *βίωσις*, *βίωσις* — життя) — стан організму, за якого життєві процеси (обмін речовин та ін.) тимчасово припиняються або настільки сповільнені, що немає жодних видимих виявів життя.

# Межі біосфери



Мал. 11.6. Межі біосфери

Організми можуть існувати в широкому діапазоні хімічних умов середовища. Так, перші живі істоти Землі жили в безкисневому середовищі. Деяким сучасним організмам, зокрема й багатоклітинним, властивий анаеробний (безкисневий) режим (наприклад, тіонові бактерії витримують децимолярні розчини сульфатної кислоти, а нематоди мешкають у чанах з оцтом, що утворився внаслідок бродіння).

Найсприятливіші умови для життя в місцях зіткнення трьох оболонок планети — атмосфери, літосфери й гідросфери. Місця, у яких максимально сконцентровані живі організми, називають «плівками життя».

Поширення життя в *атмосфері* обмежено переважно її нижнім шаром — тропосферою. Наприклад, максимальна висота польоту птахів близько 7 км; комахи в повітряному середовищі піднімаються не вище 6 км. Фотосинтезувальні рослини не ростуть у горах вище 6 км через те, що там немає води та низький уміст вуглекислого газу. Вертикальне поширення організмів в атмосфері за межі озонового шару лімітоване згубною дією ультрафіолетової радіації.

Межа поширення живої речовини в *літосфері* не опускається нижче 3–4 км. На цій глибині трапляються лише анаеробні бактерії. Найбільшу густину живої речовини (до 99 %) у літосфері виявлено в поверхневому шарі земної кори — ґрунті. Найбільшу кількість становлять ґрунтові бактерії (до 500 т/га), у поверхневих шарах живуть зелені водорості й ціанобактерії, крім того, ґрунт пронизаний корінням рослин, гіфами грибів. Він є середовищем існування багатьох тварин. Обмежувальним

чинником (лімітувальним фактором) поширення життя в літосфері є висока температура.

Організми населяють усю товщу *гідросфери*, аж до максимальних її глибин. У водах Світового океану виявлено майже всі типи органічного світу — від найпростіших організмів до ссавців. На відміну від тварин, рослини мешкають лише у верхніх шарах води, де є доступ до сонячної енергії, оскільки водорості перетворюють таку енергію на хімічну в процесі фотосинтезу, третина якого припадає на Світовий океан. Хоча гідросфера й укриває 2/3 поверхні Землі, біомаса водних організмів становить  $0,003 \cdot 10^{12}$  т, у той час як біомаса всіх живих організмів —  $2,43 \cdot 10^{12}$  т (суха речовина). У Світовому океані частка рослин дорівнює 6,3 %, а тварин — 93,7 %. Це зумовлено тим, що використання організмами сонячної енергії у воді становить лише 0,04 %, а на суходолі — до 1 %.

Останніми десятиріччями межі біосфери розширено в результаті діяльності людини, яка відправляє в політ штучні супутники Землі й космічні кораблі, де проводять дослідження з різними організмами. Усе глибше проникають у надра Землі бурові інструменти геологів, а з ними — й мікроорганізми (*пригадайте найглибшу у світі свердловину*). Та це вже штучні межі біосфери, яку людство називає *техносферою* (мал. 11.7). Унаслідок діяльності людини та її подальшого проникнення у космос та глибини Землі межі техносфери постійно розширюватимуться.



Мал. 11.7. Техносфера

Біосфера — це вищий ієрархічний рівень організації життя на планеті, екосистема першого порядку або глобальна екосистема. Її складниками є всі екосистеми Землі разом з їхніми біотичними (організми різних видів) і абіотичними (ґрунт, повітря, вода) компонентами, потоками речовини та енергії. Тож упродовж вивчення курсу «Природничі науки» ви постійно розширюватимете знання про біосферу.

На думку В. Вернадського, *структуру біосфери* визначають *шість типів речовин* (основні структурні компоненти). Кожному з них властива специфічна, динамічна структура й організація (мал. 11.8).

*Жива речовина* (біомаса) — сукупність організмів різних видів



*Біогенна речовина* — органо-мінеральні й органічні продукти, створені організмами (усі форми дендриту, кам'яне вугілля, нафта, газ тощо)



*Нежива (косна) речовина* — складники літосфери, в утворенні яких організми участі не брали (гірські вивержені породи, мінерали, опади)



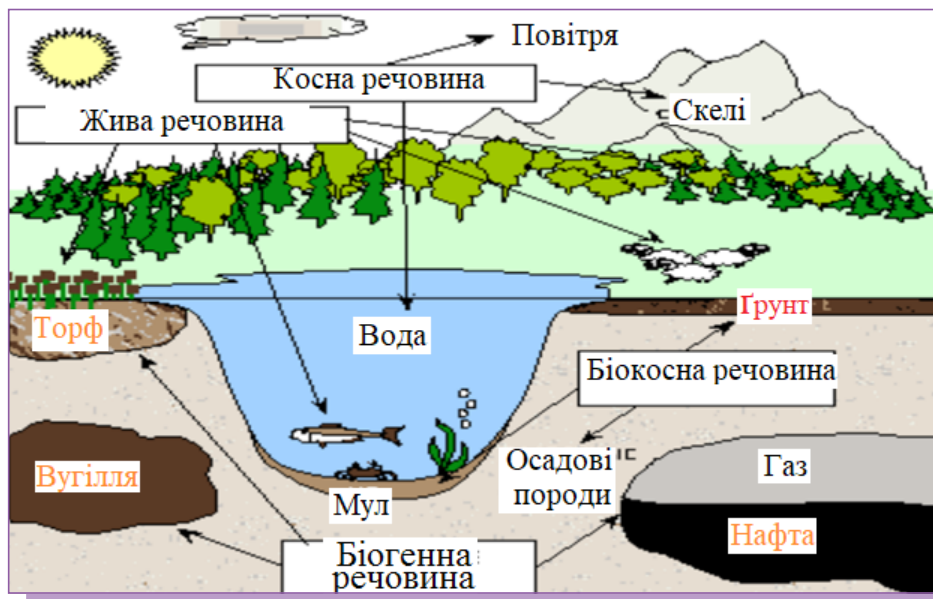
*Біокосна речовина* — неорганічні продукти, що утворюються внаслідок взаємодії живої й косної речовин (кисень, створений зеленими рослинами; вода, ґрунт, мул, газо- та нафтоносні сланці, частина осадових карбонатів, ландшафти)



*Радіоактивна речовина* — компоненти природного радіаційного фону (радіонукліди земної кори, космогенні радіонукліди)



Речовина космічного походження —  
метеорити, космічний пил



Мал. 11.8. Структурні компоненти біосфери

Біосфера не просто одна з оболонок Землі, це організована оболонка, що охоплює всю сукупність організмів і ту частину речовини планети, яка перебуває в безперервному обміні з ними. Три зовнішні оболонки Землі, що різняться фазовим станом — тверда земна кора, рідка гідросфера й газоподібна атмосфера — дуже тісно пов'язані між собою, причому речовина кожної з них проникає в межі інших оболонок. Тобто вони не лише стикаються, а й взаємодіють між собою. Верхня частина земної кори насичена підземними водами. Значний обсяг газів міститься не тільки в атмосфері, а й розчинений у водах гідросфери, а також заповнює порожнечі в ґрунті й гірських породах. А пари та дрібні крапельки води, а також дрібні тверді мінерали (пил) насичують нижні шари атмосфери.

Жива речовина та продукти життєдіяльності організмів буквально пронизують усі вищезгадані оболонки. Походження оболонок, формування їхнього сучасного хімічного складу та його подальша еволюція тісно взаємопов'язані. І цей зв'язок значною мірою зумовлений тим, що зовнішня частина планети охоплена геохімічною діяльністю живої речовини.

Ознайомимося докладніше з особливостями хімічного складу основних компонентів біосфери: земної кори, гідросфери, атмосфери та, власне, живої речовини.

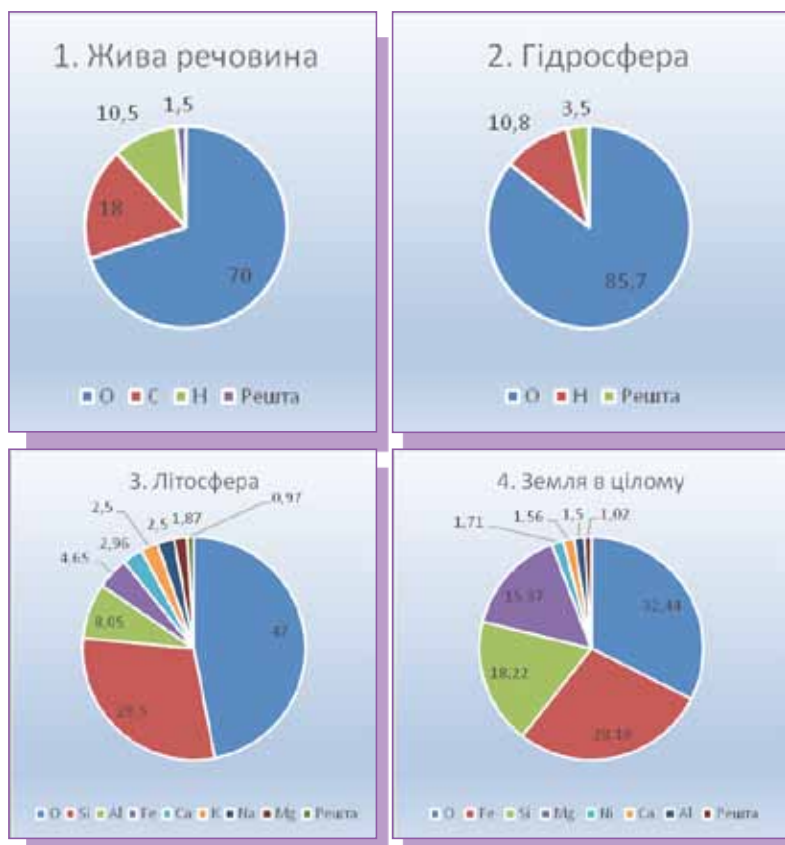
Масу земної кори оцінюють у  $28,46 \cdot 10^{18}$  т, гідросфери — у  $1,47 \cdot 10^{18}$  т (тобто майже в 20 разів менше), а атмосфери — лише в  $0,005 \cdot 10^{18}$  т. З-поміж цих трьох геосфер, вочевидь, провідна роль, безперечно, належить земній корі, оскільки її загальна маса багаторазово перевищує сумарну масу двох інших оболонок. Загальна маса живої речовини, за сучасними оцінками становить лише близько 0,00001 % маси земної кори (табл. 11.1).

Таблиця 11.1

### Співвідношення мас оболонок Землі

Оболонки Землі	Маса, т	Відношення до маси живої речовини
Жива речовина	$2,4 \cdot 10^{12}$	1
Атмосфера	$5,15 \cdot 10^{15}$	2146
Гідросфера	$1,5 \cdot 10^{18}$	602 500
Земна кора	$2,8 \cdot 10^{19}$	1 670 000

Отже, саме земна кора містить основний резерв хімічних елементів, які беруть участь у міграційних процесах, зокрема й під впливом живої речовини (мал. 11.9). Концентрація й розподіл хімічних елементів у земній корі впливає на склад організмів.



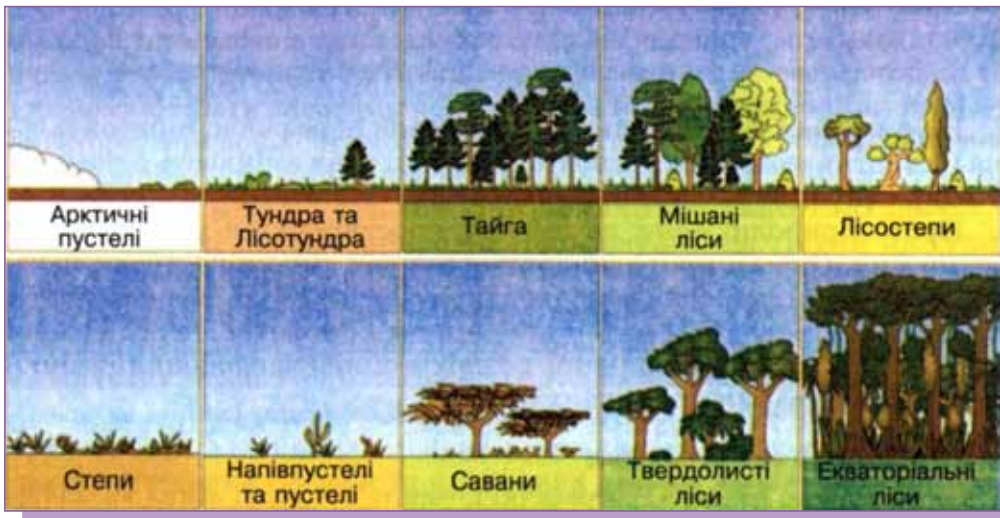
Мал. 11.9. Масові частки (%) хімічних елементів в основних сферах Землі та Землі в цілому



Проаналізуйте діаграми, наведені на малюнку 11.9, і визначте, масова частка якого хімічного елемента в основних сферах Землі є найбільшою.

## ДІЗНАЙМОСЯ БІЛЬШЕ ПРО РОЛЬ ҐРУНТУ В БІОСФЕРІ

Взаємодія всіх оболонок Землі найактивніше відбувається у верхній частині літосфери — земній корі. А саме — у ґрунті — видозміненому під впливом живих організмів поверхневому шарі земної кори (суходолу). Значення ґрунту зумовлено двома важливими чинниками: 1) він є опорним субстратом для наземних і багатьох водних рослин; 2) з нього рослини отримують необхідні для життя мінеральні речовини та воду. Значення в житті рослин мають структура ґрунту, його механічний склад, уміст води, кисню, органічних і мінеральних речовин, температура, кислотність тощо. Залежно від складу та властивостей ґрунту розподіл рослин у межах тієї чи іншої природної зони надзвичайно різноманітний (мал. 11.10).



Мал. 11.10. Розподіл рослин у межах природних зон

А є й такі, що пристосовуються до складних умов. Відомі рослини піщаних, глинистих, кам'янистих ґрунтів. Є рослини, які ростуть на скелях і кам'янистих ґрунтах, на сильнокислих або сильнолужних, а також засолених (солончаках і солонцях) ґрунтах (*пригадайте, як їх називають і у яких місцевостях вони ростуть*).

Особливості ґрунту як специфічної оболонки, що тісно взаємопов'язана з іншими оболонками планети, визначають його *функції* (мал. 11.11).

*Забезпечення існування життя на Землі.* Оскільки майже всі наземні організми отримують мінеральні елементи для живлення з ґрунту, він є середовищем існування для мешканців ґрунту.

*Сприяння колообігу речовин.* Завдяки ґрунту в природі відбуваються великий і малий колообіги речовин. У ньому відбуваються процеси вивітрювання мінералів і гірських порід. Далі продукти вивітрювання частково потрапляють з атмосферними опадами у водойми та у Світовий оке-

ан, де вони утворюють осадові породи, які внаслідок тектонічних явищ можуть знову опинитися на поверхні Землі й зазнати вивітрювання (великий колообіг речовин на Землі). Водночас рослини засвоюють з ґрунту водорозчинні елементи, які трофічними ланцюгами знову повертаються до ґрунту (малий колообіг речовин).



Мал. 11.11. Функції ґрунтів

*Регуляція біосферних процесів на Землі.* Родючість ґрунту забезпечує високу насиченість організмами.

*Забезпечення регуляції хімічного складу атмосфери й гідросфери.* Фізичні, хімічні й біологічні процеси, які відбуваються в ґрунті (дихання організмів, «дихання» ґрунту, міграція хімічних елементів), підтримують певний склад приземного шару атмосферного повітря визначають хімічний склад континентальних вод.

*Здійснення акумуляції органічної речовини й хімічної енергії.* Акумуляовані в ґрунті органічна маса й енергія (переважно представлена гумусом) витрачаються для підтримання життя й забезпечення колообігу речовин на Землі.

## ЖИВА РЕЧОВИНА ПЛАНЕТИ

Поняття «жива речовина» увів у науку В. І. Вернадський. Жива речовина — це сукупність усіх живих організмів планети незалежно від їхньої природи.

Жива речовина є найпотужнішим геохімічним й енергетичним чинником, провідною силою планетарного розвитку. На неї припадає всього 0,01 % маси всієї біосфери (97 % — рослини й 3 % — тварини й інші організми), проте саме з нею пов'язані найважливіші функції живої оболонки. Основними властивостями живої речовини є високоорганізована внутрішня структура, обмін речовин, ріст, самовідтворення, здатність нагромаджувати й передавати енергію ланцюгами живлення, зміна абіотичного середовища, адаптивність тощо.

Жива речовина протидіє хаосові й ентропії. Вона використовує прямо й непрямо сонячну енергію й утворює з бідних на енергію молекул, передусім води й вуглекислого газу, складніші й енергетично більш впорядковані сполуки — вуглеводи, білки, жири, нуклеїнові кислоти й інші — або переробляє їх. Жива речовина концентрує хімічні елементи, перерозподіляє їх у земній корі, руйнує й агрегує неживу матерію, окиснює, відновлює й перерозподіляє хімічні сполуки. «Можна без перебільшення стверджувати, що хімічний стан зовнішньої кори нашої планети, біосфери, цілком перебуває під впливом життя й визначений організмами», — зауважував В. І. Вернадський. Наприклад, бактерії однієї з груп — ферумобактерії — дістають необхідну для життя енергію в результаті окиснення сполук Феруму(II) до сполук Феруму(III). Під час утворення біомаси цих бактерій масою 1 г відбувається окиснення солей Феруму(II) масою близько 500 г. Кінцеві продукти — солі Феруму(III) — відкладаються навколо бактеріальної клітини й утворюють так звану болотну руду. Саме з неї за часів Київської Русі виплавляли чавун. На прикладі ферумобактерій можна спостерігати кілька функцій живої речовини: окиснення; концентрування; перерозподілення хімічних елементів.

Жива речовина відрізняється від неживої надзвичайно високою активністю, зокрема дуже швидким колообігом. Уся жива маса біосфери оновлюється за 33 дні, а фітомаса, тобто маса рослин, — щодня.

У процесі життєдіяльності тварин, рослин і мікроорганізмів відбувається безперервний обмін речовин між біотою та навколишнім середовищем, унаслідок чого всі атоми земної кори, атмосфери й гідросфери протягом історії Землі багаторазово входили до складу організмів. Образно можна сказати, що ми п'ємо воду, яка колись була складником тканин юрських папоротей і кембрійських трилобітів, і дихаємо повітрям, яким дихали не лише наші далекі предки, а й динозаври.

В. І. Вернадський сформулював основний закон біосфери: *кількість живої речовини є планетною константою від часів архейської ери, тобто за весь геологічний час.*

*Основні властивості живої речовини:*

- високоорганізована внутрішня структура;
- здатність уловлювати із зовнішнього середовища і трансформувати речовини й енергію та забезпечувати ними процеси своєї життєдіяльності;
- здатність підтримувати сталість власного внутрішнього середовища попри коливання умов середовища зовнішнього, якщо ці коливання сумісні із життям;
- здатність до самовідтворення розмноженням.

Жива речовина існує у формі організмів (індивідів), які й собі групуються в більш-менш дискретні одиниці існування матерії — види. Кожен організм має свою програму розвитку й діяльності, записану у вигляді певної сукупності генів, — *генотип*. Ця програма зреалізована в характерних, притаманних лише цьому організму зовнішньому вигляді, фізіологічних і біохімічних властивостях, у поведінці. Сукупність усіх ознак та властивостей, що визначені генотипом, називають *фенотипом*. Завдяки йому нього організм оптимально пристосований до навколишнього середовища, перебуває з ним у найгармонійніших відносинах. Організми одного виду мають досить схожі, хоча й не ідентичні генотипи й фенотипи. Сукупність генотипів усіх видів нашої планети становить її *генофонд* (це майже синонім терміна «видова різноманітність»). Отже, утрата будь-якого виду призводить до зменшення видової різноманітності й порушує гармонію у взаємовідносинах живої та неживої речовин.

Жива речовина здатна зберігатися навіть у умовах космосу. Так, третя експедиція американських астронавтів забула на Місяці телекамеру. Коли через півроку її повернули на Землю, на внутрішньому боці кришки об'єктива було виявлено земні бактерії, які пережили тривале перебування за межами рідної планети. Проте потрібно пам'ятати, що, попри великі потенційні можливості, «працює» жива речовина лише в межах біосфери.

Основна планетарна функція живого полягає у зв'язуванні та запасанні сонячної енергії, необхідної для підтримки багатьох геохімічних процесів у біосфері.

Виокремлюють такі основні біохімічні функції живої речовини (табл. 11.2).

Таблиця 11.2

### Основні біохімічні функції живої речовини

Енергетична (геохімічна)	Зв'язування й запасання сонячної енергії в органічній речовині та подальше розсіювання енергії під час мінералізації органічної речовини. Отримана енергія ділиться на три частини: одна частина розподіляється між компонентами оболонки, друга накопичується в омертвілій органіці (завдяки чому утворюються нафта, вугілля тощо), третя частина просто зникає. Ця функція пов'язана з харчуванням, диханням, розмноженням та іншими процесами життєдіяльності організмів
Газова	Здатність організмів змінювати та підтримувати певний газовий склад середовища існування та атмосфери в цілому, Світового океану, ґрунту. Із цієї функцією пов'язана поява перших аеробних організмів (тих, які існують у середовищі, що містить кисень), створення умов для синтезу й утворення озонового шару в атмосфері. У першому випадку почалися окиснювально-відновні процеси, а в другому — виникла можливість освоєння організмами суходолу
Концентраційна	Із самої назви зрозуміло, що вона полягає в концентруванні та накопиченні. Організми вбирають і накопичують біогенні елементи з навколишнього середовища, у результаті чого, наприклад, отримують корисні вітаміни, а також шкідливі для людського здоров'я важкі металічні елементи. Результатом концентраційної діяльності живої речовини є також утворення покладів горючих копалин, вапняків, руд тощо

Окиснювально-відновна	Окиснення та відновлення різноманітних речовин за участі організмів. Під впливом останніх відбувається міграція атомів і йонів елементів зі змінною валентністю (Fe, Mn, S, P, N тощо), утворюються нові сполуки, відбувається відкладення сульфідів і самородної сірки, утворення гідрогенсульфіду тощо
Деструктивна	Руйнування організмами та продуктами їхньої життєдіяльності решток органічної та косної речовин. Її виконують сапротрофні гриби та бактерії (деструктори)
Транспортна	Перенесення речовини та енергії в результаті активного руху організмів (приклад, міграція тварин)
Середовище-утворювальна	Перетворення фізико-хімічних параметрів середовища. Ця функція є інтегральною та має різні масштаби виявлення
Розсіювальна	Розсіювання речовин у навколишньому середовищі. Виражена через трофічну та транспортну діяльності організмів
Інформаційна	Накопичення живими організмами певної інформації, закріплення її в спадкових структурах і передавання наступним поколінням. Один з виявів адаптаційних механізмів
Біогеохімічна діяльність людини	Перетворення та перенесення речовин біосфери в результаті діяльності людини для побутових потреб (наприклад, використання нафти, вугілля, газу тощо)

*Уся жива речовина має єдину фізико-хімічну природу (закон фізико-хімічної єдності живої речовини).*

Особливості живої речовини, які зумовлюють високу перетворювальну діяльність, можна схарактеризувати як:

- здатність швидко освоювати весь вільний простір;
- активний і пасивний рух організмів;
- стійкість за життя й швидке розкладання після смерті;
- висока адаптивність до різних умов;
- велика швидкість перебігу реакцій;
- висока швидкість оновлення.

Наслідки діяльності організмів позначилися на всіх оболонках Землі: атмосфері, літосфері, гідросфері.

## КОЛООБІГИ

Колообіг речовин і перетворення енергії є основою існування біосфери.

*Колообіг речовин* — це циклічний повторюваний процес взаємопов'язаного перетворення та переміщення речовин у природі, який відбувається за обов'язкової участі організмів.

Основних колообігів речовин у природі два: великий (геологічний) та малий (біогеохімічний) (табл. 11.3).

Окремо виділяють *антропогенний колообіг (обмін)* — колообіг речовин, де рушійною силою є діяльність людини. Тут виокремлюють два складники: біологічний (пов'язаний з функціонуванням людини як організму) і технічний (пов'язаний з господарською діяльністю людини).

Якщо геологічний і біологічний колообіги певною мірою є замкнутими, то антропогенний — ні. Тому досить часто йдеться про антропогенний обмін речовин.

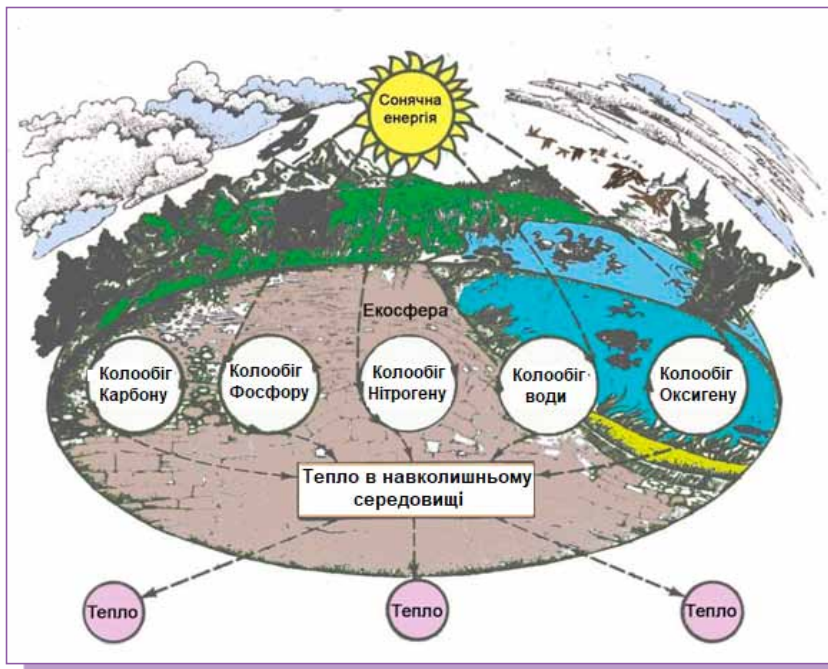
## Колообіги речовин у природі

Колообіг речовин	
Геологічний	Біогеохімічний
<p>Перерозподілення речовин між біосферою та глибшими горизонтами Землі, зумовлене взаємодією сонячної енергії та глибинної енергії планети. Осадкові гірські породи, що утворені в результаті вивітрювання магматичних порід, у рухомих зонах земної кори знову заглиблюються в зону високих температур і тиску. Там вони переплавляються й утворюють магму (джерело нових магматичних порід). Після підняття цих порід на земну поверхню та в процесі вивітрювання вони знову трансформуються в нові осадові породи. Це колообіг води між суходолом й океаном через атмосферу</p>	<p>Це колообіг речовин, який здійснюється в біосфері завдяки організмам. Джерелом енергії колообігу є сонячна радіація, яка запускає фотосинтез. В екосистемі автотрофи з неорганічних речовин синтезують органічні, які стають їжею для гетеротрофів. Унаслідок виділення під час життєдіяльності або загибелі організмів органічні речовини мінералізуються — перетворюються на неорганічні. Ці неорганічні речовини можуть бути використані автотрофами для синтезу органічних речовин.</p> <p>Розрізняють такі основні типи біогеохімічних колообігів:</p> <p><i>колообіги газового типу</i> з резервним фондом в атмосфері або в гідросфері (колообіги Карбону, Оксигену, Нітрогену);</p> <p><i>колообіги осадового циклу</i> з резервним фондом у земній корі (колообіги Фосфору, Кальцію, Феруму тощо).</p> <p>Інтенсивність біологічного колообігу визначена температурою навколишнього середовища та кількістю води</p>

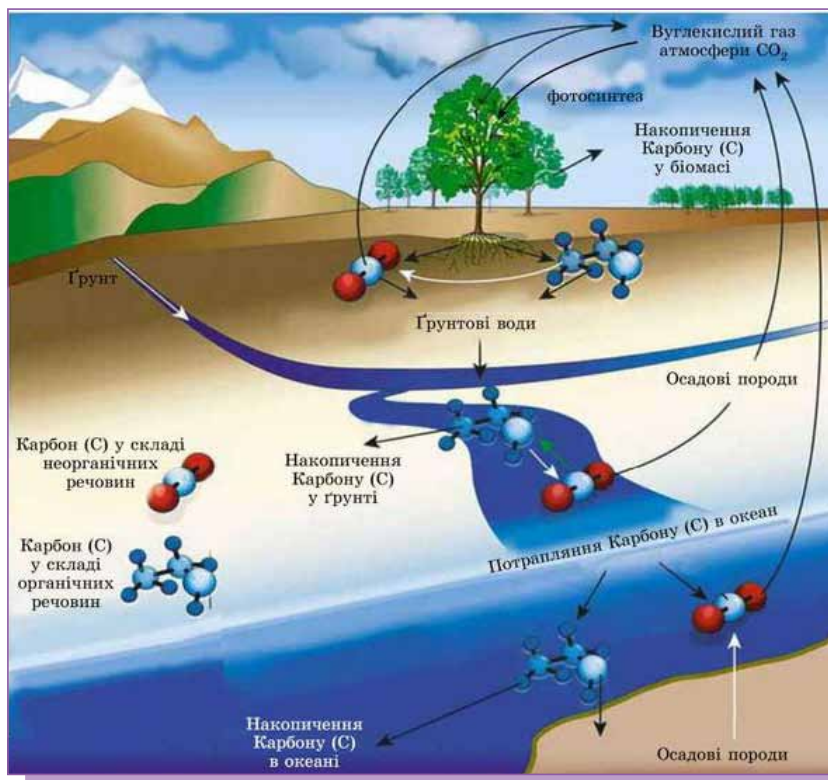
Жива речовина може брати участь у біохімічних процесах і створювати певне середовище, збагачене киснем, вуглекислим газом, воднем, азотом, сполуками Фосфору й іншими речовинами. У природі колообіг здійснюють хімічні елементи, що можуть входити до циклу як прості речовини ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $C$ ,  $N_2$ ,  $S_8$ ), і сполуки. Тому основними циклами є колообіги Карбону, Нітрогену, Оксигену та води (мал. 11.12).

*Колообіг Карбону.* Цей процес полягає у взаємодії живої речовини та сполук Карбону ( $CO$  та  $CO_2$ ). Є два типи колообігу Карбону: газоподібного в атмосфері та розчиненого у водах Світового океану. Перший починається з фіксування вуглекислого газу рослинами під час фотосинтезу з утворенням органічних речовин і побічним виділенням кисню. Також під час дихання рослин виділяється вуглекислий газ. Організми, що населяють усі середовища Землі, також виділяють карбон(IV) оксид. Одним із продуктів розкладання мікроорганізмами та грибами відмерлих решток рослин та тварин є вуглекислий газ, який знову надходить в *атмосферу*. Колообіг Карбону у Світовому океані є складнішим порівняно із суходолом, оскільки надходження сполук Карбону залежить від надходження кисню у верхні шари гідросфери. Повний цикл обміну Карбону відбувається протягом 300 років.

Головним резервуаром біологічно зв'язаного Карбону є ліси, що містять до 500 млрд т цього елемента (2/3 запасу атмосфери). Утручання людини в колообіг Карбону призводить до підвищення рівня карбон(IV) оксиду в атмосфері (мал. 11.13).



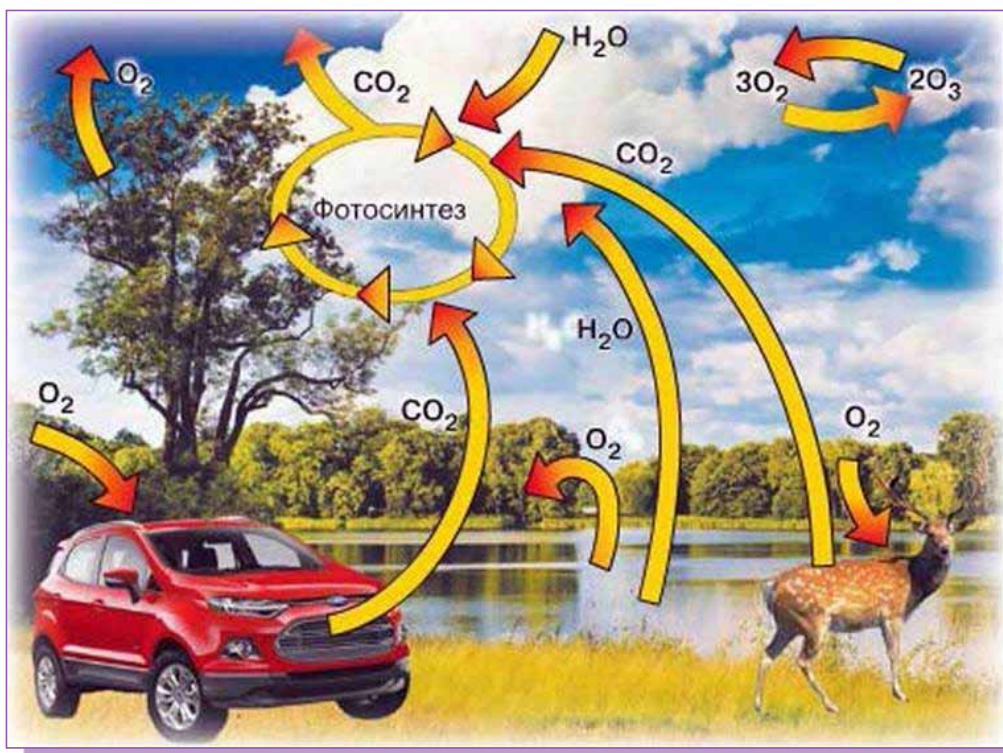
Мал. 11.12. Основні колообіги хімічних елементів



Мал. 11.13. Колообіг Карбону в природі

**Колообіг кисню.** Кисень є головним складником живої речовини. Організми використовують його для дихання, він як окисник бере участь в окисно-відновних реакціях у біосфері. Відбувається переважно між організмами й атмосферою. Швидкість колообігу кисню — 2000 років, і за цей час кисень атмосфери проходить через живу речовину біосфери. Основний постачальник кисню — зелені рослини, споживач — тварини, ґрунтові організми та рослини, що використовують його під час дихання.

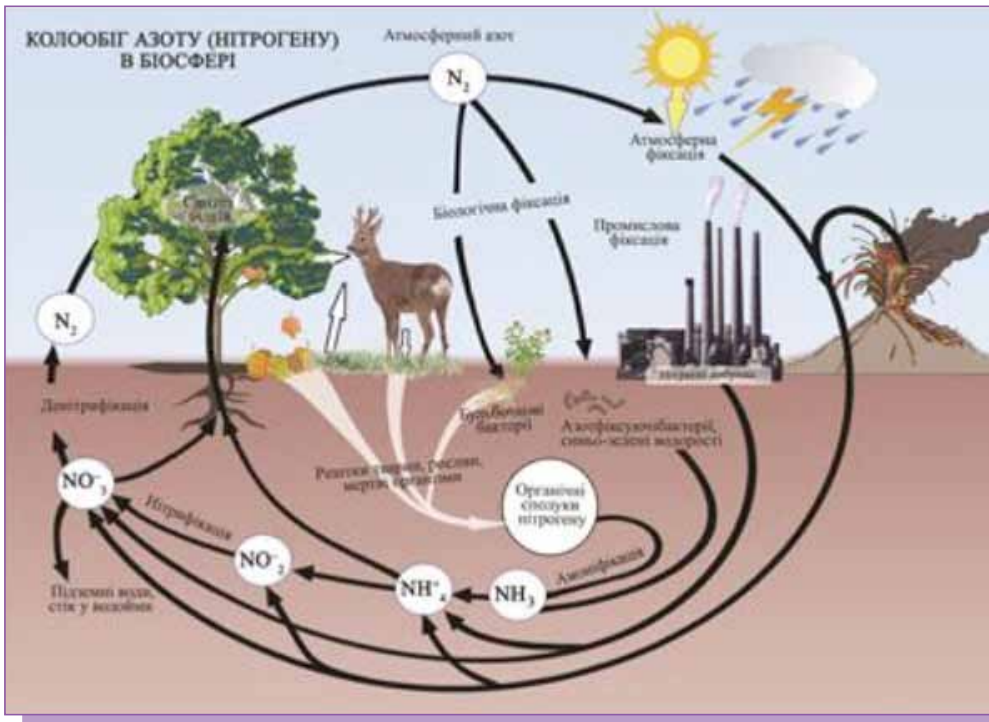
У 1941 р. біохімік Мелвін Калвін (1911–1997, США) довів, що первинний процес фотосинтезу полягає у фотолізі молекул води, у результаті чого утворюються кисень, що виділяється в атмосферу, і водень, що витрачається на реакції з карбон(IV) оксидом у результаті яких утворюються органічні речовини. За дослідження в галузі асиміляції вуглекислого газу в рослинах Калвіна вдостоєно в 1961 р. Нобелівської премії з хімії. Під час дихання відбувається біологічне окиснення органічних енерговмісних речовин з виділенням енергії, необхідної для підтримання життєдіяльності організму. Оскільки процеси фотосинтезу й дихання перебувають у рівновазі, накопичення кисню в атмосфері не відбувається. Кисень зафіксований літосферою у вигляді алюмосилікатів, кремнезему, карбонатів, сульфатів, оксидів Феруму тощо. Загалом у біосфері циркулює  $39 \cdot 10^{14}$  т Оксигену у складі кисню чи сульфатів, розчинених у гідросфері (мал. 11.14).



Мал. 11.14. Колообіг Оксигену в природі



*Колообіг Нітрогену* — один з найскладніших циклів, який охоплює всі галузі біосфери. Для включення азоту повітря до колообігу необхідне його фіксування, яке здійснюють лише деякі мікроорганізми (наприклад, аеробні бактерії роду *Azotobacter*, анаеробні роду *Clostridium* тощо). Далі відбувається засвоєння фіксованого азоту організмами (переважно рослинами, які поглинають Нітроген у вигляді сполук з Гідрогеном і Оксигеном), рух нітрогеновмісних речовин відбувається ланцюгами живлення. У результаті життєдіяльності організмів складніші сполуки Нітрогену, зокрема білки, розкладаються до простіших (амоніак, азот) і виділяються в навколишнє середовище, а колообіг Нітрогену знову повторюється (мал. 11.15).

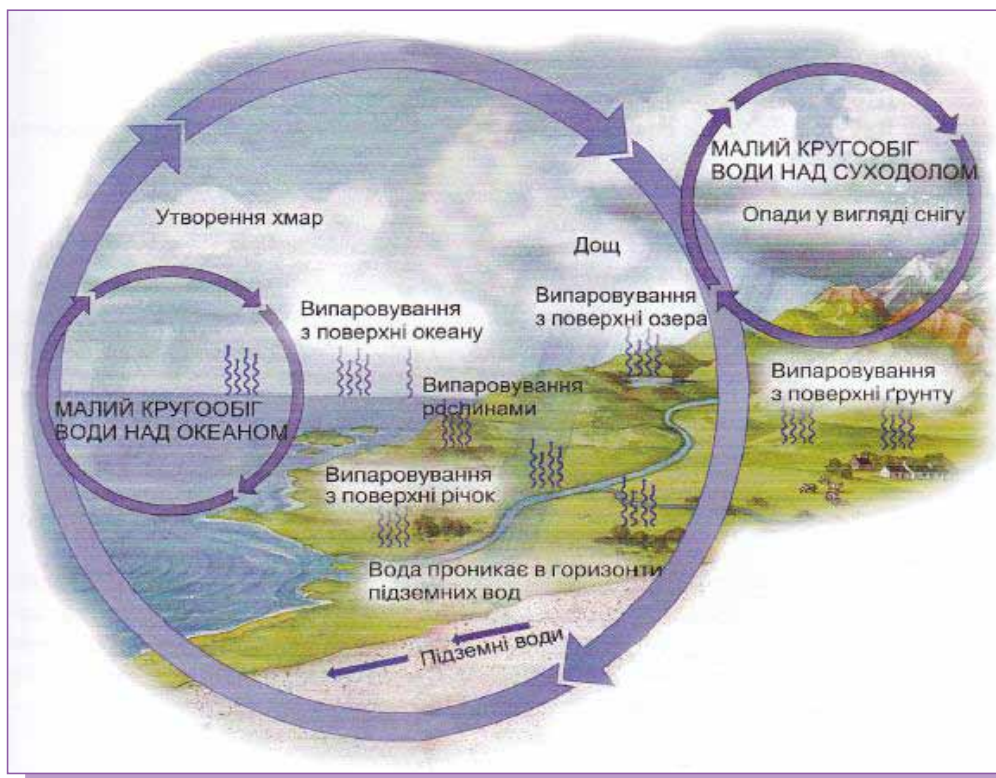


Мал. 11.15. Колообіг Нітрогену в природі

*Колообіг води.* Усі води Землі перебувають у постійному колообігу, який відбувається завдяки сонячній енергії, силі тяжіння й здатності води змінювати агрегатний стан. Легкий перехід води з одного агрегатного стану в інший у глобальних масштабах зумовлює обмінні процеси та зв'язок між оболонками планети (мал. 11.16).

Розрізняють великий і малий колообіги води. У *малому колообігу* беруть участь атмосфера та гідросфера. До *великого колообігу* залучені ще літосфера та біосфера. Під час малих колообігів вода випаровується над океаном або над материками та повертається назад туди, звідки й випарувалась у вигляді опадів. Великий колообіг води охоплює всю земну кулю. Вода, що випарувалась над океанами, з повітряними масами мігрує на ма-

терики, де випадає у вигляді опадів, а завдяки внутрішнім водам, зокрема річкам, повертається в океан. Опали над суходолом формують *поверхневий стік*, частина їх інфільтрується в ґрунти й формує *підземний стік*, а ще частина — може перехоплюватися кронами дерев. *Перехоплення води* кронами дерев полягає в тому, що частина опадів завдяки великій сукупній поверхні листків випаровується з них, не досягши поверхні ґрунту. Тому, якщо дощ дрібний і короткотривалий, під деревами завжди сухо. Завдяки явищу перехоплення в атмосферне повітря може надходити до 15 % дощової води. Вода опадів, що досягла ґрунту, може безпосередньо випаровуватися з його поверхні. Важливу роль у процесах випаровування води на суходолі відіграють організми. Вода вбирається ними та включається в біохімічні процеси: реакції обміну, біосинтезу, гідролізу, фотолізу. Організми виділяють воду в навколишнє середовище з продуктами обміну речовин, у результаті дихання, випаровування. Випаровуванню ґрунтової води сприяють рослини завдяки своїм надземним органам, насамперед листкам, через які відбувається *транспірація*<sup>1</sup>. Вода постачає рослинам розчинені в ній поживні мінеральні речовини, вона необхідна для фотосинтезу. Так, відомо, що середнього віку липа за літній день у середній смузі випаровує воду об'ємом близько 200 л.



Мал. 11.16. Колообіг води в природі

<sup>1</sup> Транспірація (від лат. trans — через, spiro — дихання) — випаровування води з поверхні рослин.

Однак, хай там що, вода великими і малими водостоками повертається до Світового океану. Сукупність води, що стікає із суходолу до Світового океану та озер, називають *світовим стоком*. За рік річки виносять воду об'ємом близько 43 тис. км<sup>3</sup>. Паралельно з рідким стоком відбувається *твердий стік* — стік розчинених речовин і твердих завислих частинок, а також *біостік* (маса організмів, що потрапляють в океан зі світовим стоком). Світовий стік вимиває з літосфери велику кількість солей, чим зумовлено солоність океанічної та морської води.

За хвилину під дією сонячного тепла з поверхні водоєм Землі випаровується вода масою 1 млрд тонн. Швидкість циркуляції води дуже велика: вода океанів поновлюється за 2 млн років, ґрунтові води — за рік, річкові — за 12 діб, водяна пара в атмосфері — за 10 діб.

Усі ланки колообігу води пов'язані між собою. Вилучення однієї з них порушує весь процес і може призвести до фатальних наслідків. Так, вирубування лісу на великій площі зумовлює збільшення стоку води в річки і, як наслідок, руйнівні повені та паводки. Забруднення океану нафтою ускладнює випаровування води, а це знижує вміст вологи в атмосфері, зменшує кількість опадів і стік в океан.

Крім того, що завдяки світовому колообігу води існує життя на нашій планеті, він має значення й для інших природних процесів. Відбувається: тісний взаємозв'язок між усіма оболонками Землі; перенесення великої кількості речовин, необхідних для забезпечення життя на Землі; процес самоочищення води у Світовому океані. Великий колообіг води активно впливає на формування клімату нашої планети. Про роль води в обміні речовин, який, власне, і лежить в основі всіх процесів життєдіяльності, ми ще поговоримо згодом.

Біогеохімічний колообіг у біосфері здійснюють й інші хімічні елементи, що входять до складу органічних речовин (Сульфур, Фосфор, Ферум тощо). Колообіги речовин — життєво важливі процеси біосфери, що мільйони років не порушувалися, доки діяльність людини не набула планетарного масштабу. За минуле століття, особливо в останні його десятиліття, антропогенна діяльність призвела до значних порушень колообігу речовин у біосфері. Саме діяльність людини значно пришвидшила процеси вивітрювання гірських порід, зумовила накопичення в атмосфері такої кількості газів, що спричинила розвиток негативних кліматичних змін (парниковий ефект), появу озонових дір і кислотних дощів, деградацію ґрунтів через надмірне накопичення в них токсичних хімічних сполук. Унаслідок збільшення в природних водах, у повітрі та в ґрунтах концентрації важких металічних елементів, нафтопродуктів, пестицидів деградують і гинуть екосистеми, уповільнюються процеси колообігу речовин у біологічному циклі. Людина також створює у великій кількості речовини, що не можуть бути залучені до біологічного колообігу (пластмаси, поліетилен тощо), оскільки вони не розкладаються в біосфері.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Де закінчуються межі біосфери?
2. Які взаємозв'язки біосфери з іншими оболонками Землі?
3. Розкрийте основні ідеї вчення В. І. Вернадського про біосферу.
4. Назвіть види речовини біосфери. До якого з типів біосферних речовин належить ґрунт? Нафта? Кішка? Вода? Липа?
5. Проаналізуйте зони поширення живої речовини в геосферах планети. Поясніть, із чим пов'язана нерівномірність розподілу живої речовини в різних частинах біосфери.
6. Назвіть функції живої речовини.
7. Поясніть суть колообігів Оксигену, Карбону, Нітрогену в біосфері. Чим відрізняється біологічний колообіг від геологічного?
8. Поясніть слова В. І. Вернадського: «Надзвичайно характерне для всього живого те, що хімічні елементи, раз потрапивши в його цикли, майже з них не виходять, у них залишаються вічно».
9. Прокоментуйте з огляду на вивчене цитати з літературних творів: а) «О, не журися за тіло! Яним вогнем засвітилось воно, чистим, палючим, як добре вино, вільними іскрами вгору злетіло. Легкий, пухкий попелець ляже, вернувшись, в рідну землю, вкупі з водою там зростить вербицю, — стане початком тоді мій кінець»<sup>1</sup>; б) «Що ж до мільярдів дрібних істот, які мільйонами кишать у кожній краплі води, то роль їх не менш важлива. Вони поглинають морські солі, убирають у себе розчинене у воді вапно й у вигляді поліпів і мадрепорових коралів є справжніми рифоутворювачами! Померши, вони знову віддають воді різні мінеральні речовини, а частково відкладають їх у вигляді кістяків на морському дні. У такий спосіб здійснюється вічний колообіг, вічне життя!»<sup>2</sup>.
10. Чому в ХХІ ст. виникла загроза існуванню біосфери?
11. Аргументуйте або спростуйте твердження: «Людина не панує над природою, вона є її частиною».

<sup>1</sup> *Леся Українка*, «Лісова пісня».

<sup>2</sup> *Жуль Верн*, «20 000 льє під водою».



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1. Складання схеми колообігу речовин у природі за участю живих організмів.
2. Використавши різноманітні джерела інформації, заповніть таблицю «Структура біосфери за В. І. Вернадським».

Компоненти біосфери	Їхні особливості	Приклади
Жива речовина		
Косна речовина		
Біокосна речовина		

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Еволюція біосфери та людина.
- Роль людини в еволюції біосфери.
- Біотичні колообіги.
- Портрет В. І. Вернадського як людини та науковця.
- Проект «Біосфера-2»: провал чи досягнення?

# БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Продовжуємо досліджувати нашу домівку — Землю. У цьому розділі ми наблизимося до розгадки найважливішого питання в історії людства — як саме зародилося життя на Землі. Що таке життя? Чим зумовлене різноманіття форм життя?

За підрахунками вчених, на Землі нараховується 8,7 млн видів, з них 6,5 млн є наземними, а 2,2 млн — морськими видами. Ці цифри і справді вражають, важко навіть уявити собі таке різноманіття. Може здаватися, що втрата кількох десятків або сотень видів серед кількох мільйонів не буде відчутною для планети, але насправді все не зовсім так. Вивчаючи цей розділ, ми переконуємося, що стійкість екосистем планети Земля і нашого з вами життя залежить саме від кількості видів.

Милуватися всім різноманіттям форм життя нам допоможе не лише спостереження за природою, а й картини британської художниці у стилі фентезі Жозефіни Волл (нар. 1947), що використані в оформленні цього розділу.

Тож досліджуємо красу, принадність та вразливість живої природи!



# БІОРІЗНОМАНІТТЯ



## Г. 1. ЖИТТЯ ЯК ВОНО Є

Науці поки що відома лише одна точна адреса Життя в неосяжному Всесвіті: планета Земля. Таємниця появи перших організмів — одне з найважливіших питань людства, адже за ним ховається не лише наше минуле, а й можливе майбутнє. Тому питання зародження життя до цього часу займає розуми багатьох учених по всьому світу.

### ПРИГАДАЙТЕ

Про зародження життя  
Б.1, Б.11, В.1, В.2, В.11

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати:* основні гіпотези походження життя, визначення життя з різних поглядів; основні ознаки живого; рівні організації живого.

*Наводити приклади* біосистем.

*Описувати* суть хімічної, передбіологічної й біологічної еволюції.

*Пояснювати* суть різних гіпотез походження життя; особливості наукового, художнього, міфологічного, релігійного розуміння життя; властивості біосистем.

*Порівнювати* етапи розвитку життя з розвитком оболонок планети (атмо-, гідро- і літосфери).

*Усвідомлювати*, чому поява життя на Землі має закономірний характер; чому є різні підходи до визначення життя

*Виявляти* вплив на розвиток поглядів на походження життя досягнень природничих та інших наук.

*Характеризувати* життя як ієрархію біосистем, сутність основних ознак живого.

*Висловлювати* та обґрунтовувати судження щодо впливу астрономічних і геологічних чинників на виникнення та розвиток життя на Землі; гіпотез походження життя з погляду їхньої науковості

## ЯК ВИНИКЛО ЖИТТЯ

Ми вже неодноразово згадували про зародження життя. Пригадаймо, де й чому про це йшлося (Б.1, с. 46; Б.11, с. 228; В.1, с. 18; В.2, с. 29; В.11, с. 232). Яких висновків можемо дійти? Людина завжди замислювалася над глобальними, чи то пак фундаментальними, питаннями існування світу, а особливо — над загадкою виникнення організмів. І цю таємницю й дотепер до кінця не розгадано. Щодо походження життя є кілька гіпотез і теорій. Деякі з них не становлять наукового інтересу, а цікаві тим, що свідчать про уявлення людей певного часу. Деякі підживлюють новими даними й науково обґрунтовують. Спробуймо розібратися.

«Життя існувало й існуватиме вічно». Прихильники теорії стаціонарного стану вважають, що Земля й життя на ній, як і все у Всесвіті, ніколи не виникали: вони просто були завжди, завжди й зостануться (мал. 1.1). Ця теорія припускає вимирання видів, але вважає, що нові види не утворюються. Як не дивно, однак прихильники цієї теорії є й дотепер. Та щоб усерйоз прийняти таку «теорію», доведеться забути про незліченні знахідки палеонтології, геології та астрономії. А по суті — відмовитися від усього надбання природничих наук, включно з комп'ютерами й безболісним лікуванням зубів 😊.



Мал. 1.1. Вічне життя



«Життя створено вищою силою». Теорія креаціонізму (від лат. *creationis* — творіння), згідно з якою життя на Землі було створене надприродною силою — Творцем, лежить в основі всіх релігій (мал. 1.2). І хоча механізми творіння та характеристики вищих сил різняться в релігіях і міфологіях, усі ці вчення пояснюють виникнення життя діяльністю якоїсь потойбічної сили. Креаціоністські погляди є ненауковими, оскільки не можуть бути підтверджені або спростовані фактами чи експериментами. У них можна лише вірити або не вірити.



Мал. 1.2. Життя створене Творцем: а — І створив Бог риби великі, і всяку душу живу плазуючу, що її вода вироїла за їхнім родом, і всяку пташину крилату за родом її (Буття 1:21). Створення тварин<sup>1</sup>; б — І Бог на Свій образ людину створив, на образ Божий її Він створив, як чоловіка та жінку створив їх (Буття 1:27). Створення Єви<sup>2</sup>

«Життя занесено зі Всесвіту». Панспермія (від грец. *πασ/παν* — «увесь», «усякий» і грец. *σπέρμα* — «насіння») — це гіпотеза, згідно з якою «насінини» живого занесено з космосу разом з метеоритами й космічним пилом (мал. 1.3). Тобто життя має позаземне походження.

Деякі прихильники гіпотези панспермії вважають, що істотами нашу планету заселили інопланетяни задля експерименту. І зараз вони спостерігають за життям і розвитком людства 😊.

На початку ХХ ст. панспермія перестала бути лише філософським міркуванням і обзавелася різними науковими обґрунтуваннями та моделями. Є принаймні два наукові висновки, які допомагають підтвердити панспермію. «Матеріал життя» набагато поширеніший у Всесвіті, ніж здається. Прикладами цього є виявлені в космосі етанол, метаналь і деякі амінокислоти. Потрапляння їх на Землю з космічним пилом, метеоритами є ймовірним. Інший факт: є певні типи бактерій, які можуть протистояти несприятливим умовам космосу, щоб витримати гіпотетичну подорож на Землю. Проте ця теорія не дає відповіді на саму суть питання: як зародилося життя у Всесвіті, якщо воно й було перенесене.

<sup>1</sup> Тінторетто (Якопо Комін (1518–1594), Італія).

<sup>2</sup> Мікеланджело ді Франческо ді Нері ді Мініато дель Сеєра і Лодовіко ді Леонардо ді Буонарроті Сімоні (1475–1564, Італія)



Мал. 1.3. Панспермія та її прихильники: Юстус фон Лібіх (1803–1873, Німеччина), Сванте Август Арреніус (1859–1927, Швеція), Володимир Вернадський (1863–1945, Україна)

«Життя самовільно виникає». Гіпотеза постійного самозародження життя з неживої речовини (мал. 1.4, 1.5) проголошена ще в античні часи й проіснувала аж до середини ХІХ ст. Прихильниками цієї гіпотези було багато вчених Стародавнього Китаю, Єгипту, Греції. Зокрема, Аристотель, якого часто називають засновником біології, писав, що жаби й комахи зароджуються в сирому ґрунті. Прихильники цієї ідеї переконували, що деякі частинки речовини містять «активний зародок», з якого може розвиватися організм.



Мал. 1.4. а — Давні уявлення про самозародження комах, овець, гусей; б — Прихильники гіпотези самозародження життя: де Бюффон Жорж-Луї Леклерк (1707–1788, Франція), Лінней Карл (1707–1788, Швеція), Гарвей Вільям (1578–1657, Велика Британія)

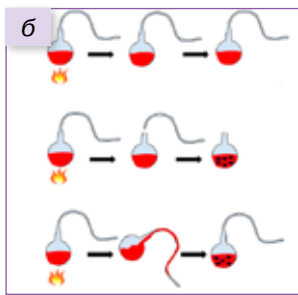


Мал. 1.5. «Для зародження мишей досить купки брудних речей і жменьки зерна».  
Ван Гельмонт Ян Баптист (1580–1644, Бельгія)

Щоб довести неможливість самозародження життя, у XVII та XVIII ст. ученими проведено низку дослідів (мал. 1.6). Зокрема, італійським лікарем Франческо Реді.



Мал. 1.6. а — Руйнівник теорії самозародження життя Реді Франческо (1626–1697, Італія); б — Його дослід з доведення неможливості самозародження життя



Мал. 1.7. а — Руйнівник теорії самозародження життя — Пастер Луї (1822–1895, Франція); б — Його дослід з доведення неможливості самозародження життя

За малюнком 1.6 опишіть проведений Ф. Реді дослід. Якого висновку за його результатами він, на вашу думку, мав дійти?

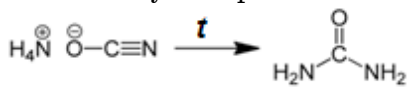
Попри проведені Ф. Реді дослідів самозародження повністю спростувати не вдалося, адже і в закритих, і у відкритих посудинах було виявлено мікроорганізми. На початку XIX ст. ідея самозародження трансформувалася у віталізм — учення про «життєву силу», що ширяє Всесвітом і в про-

цесі взаємодії з неживою речовиною перетворює її на живу. Остаточного удару теорії віталізму завдав 1862 р. мікробіолог Луї Пастер (мал. 1.7). Завдяки дослідям із бульйоном у колбах із «лебединими шиями» наочно підтверджено, що й мікроорганізми розвиваються з інших мікроорганізмів. Тобто остаточно доведено постулат «Усе живе розвивається із живого».

1. За малюнком 1.7 опишіть проведений Л. Пастером дослід. Якого висновку за його результатами він, на вашу думку, мав дійти? 2. Прокоментуйте уривок лекції, прочитаної Л. Пастером 7 квітня 1864 р. в Сорбонні: «Отже, панове, я можу сказати, під час показу вам цієї рідини: ось я взяв цю краплю води, повну елементів, необхідних для розвитку нижчих істот. Я чекаю, я спостерігаю, я питаю, вимагаю від неї, щоб вона почала свою основну творчу роботу. Але вона мовчить! Вона мовчить вже протягом декількох років, що минули з моменту початку цього досліді. І це тому, що я видалив з неї й видаляю досі єдине, що не може створити людина; я видаляю з неї зародки, що носяться в повітрі, я видаляю з неї життя, оскільки життя — це зародок, і зародок — це життя! Ніколи теорія самовільного зародження не підведеться після того смертельного удару, який завдав їй цей простий дослід».

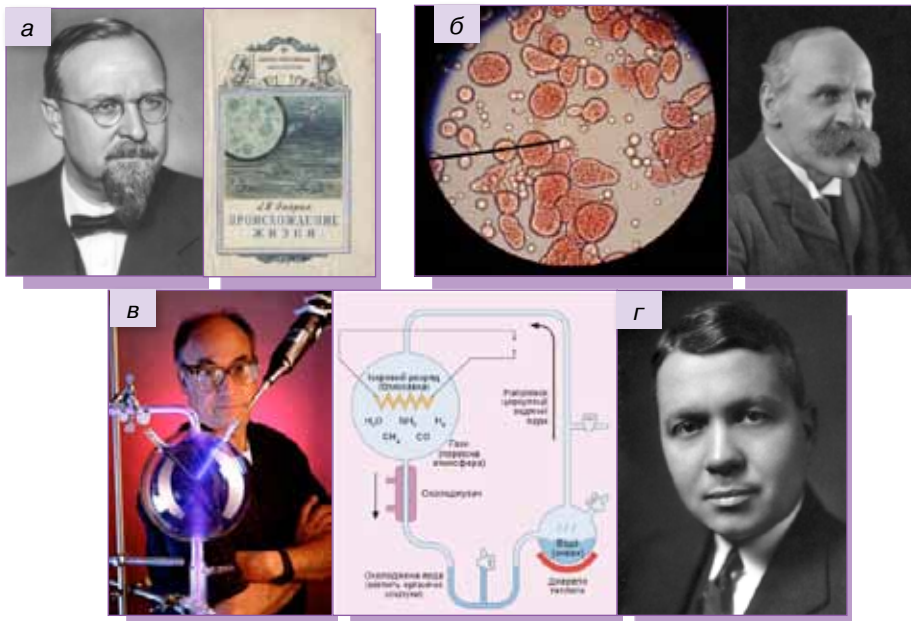
Водночас наукове обґрунтування походження живих істот на Землі з неживого втілено в *гіпотезі біохімічної еволюції (або теорії абіогенезу)*. Ця гіпотеза розглядала життя як результат тривалих хімічних перетворень сполук Карбону й пояснювала ці процеси законами фізики та хімії. Першою з них була теорія Опаріна — Холдейна (мал. 1.8). У цій теорії основну увагу приділено утворенню білків з органічних сполук простої будови. І дуже важливу роль відігравали *коацервати* (коацерватні краплі) — пухирці з ліпідів, які утворюються у воді (про роль нуклеїнових кислот тоді ще не знали).

Визнанню й значному поширенню теорії Опаріна — Холдейна багато в чому сприяло те, що процеси абіогенного синтезу органічних молекул легко відтворювані в модельних експериментах. Можливість синтезу органічних речовин з неорганічних була відома з початку ХІХ ст. Уже в 1828 р. видатний хімік Фридрих Велер (1800–1882, Німеччина) синтезував органічну речовину — сечовину з неорганічної — амоній ізоціанату:



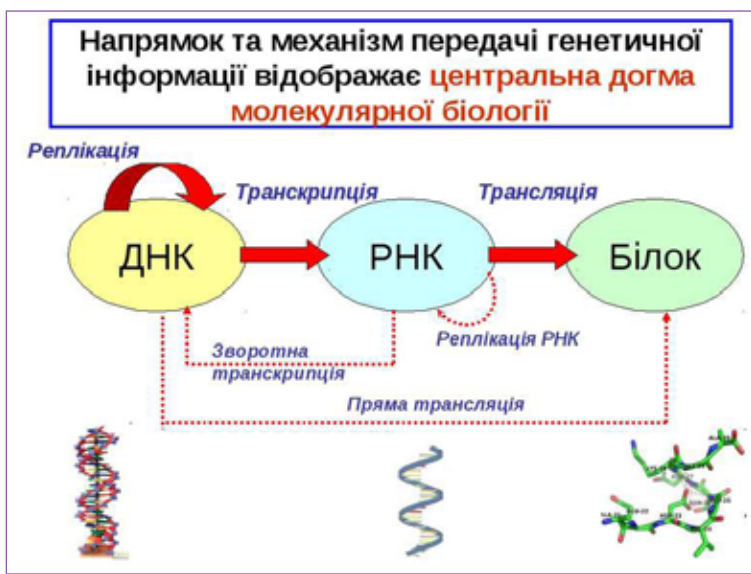
Можливість абіогенного синтезу органічних речовин в умовах, близьких до умов ранньої Землі (мал. 1.8, *в*), уперше доведено в 1953 р. студентом Чиказького університету Стенлі Міллером (1930–2007, США) під керівництвом професора Гарольда Юрі (1893–1981, США).

Сьогодні вчені продовжують вивчати питання походження життя, пропонують нові моделі та механізми. Однак центр інтересу змістився з питання про синтез перших біомолекул до питань їхнього впорядкування в «протоклітини» та виникнення метаболізму.



Мал. 1.8. а — Автори теорії біохімічної еволюції: Опарін Олександр Іванович (1894–1980, Росія) та б — Холдейн Джон Бердон Сандерсон (1892–1964, Велика Британія); схема установки в досліді Міллера (в) — Юрі (г)

Як ви пам'ятаєте з курсу біології основної школи, центральна догма молекулярної біології (мал. 1.9) установлює взаємний зв'язок між ДНК, РНК і білком. Ця система доволі складна: ДНК реплікує сама себе за допомогою білків, також за допомогою білків утворює РНК. А РНК за допомогою білків та інших РНК забезпечує біосинтез білка.



Мал. 1.9. Центральна догма молекулярної біології

Тепер відомо, що інколи РНК може слугувати матрицею для синтезу інших молекул РНК чи навіть ДНК, але всі ці процеси також здійснюються за безпосередньою участю білків. Тому важко припустити, що в цій схемі виникло раніше: ДНК і РНК можуть самовідтворюватися та функціонувати лише за наявності білків, а білки не можуть утворюватися без нуклеїнових кислот. Створюється враження, що така схема мала виникнути відразу, цілком, з усіма компонентами: ДНК, РНК і білками.

Ситуація суттєво змінилася після відкриття американськими вченими Томасом Чеком (нар. 1947, США) та Сідні Альтманом (нар. 1939, США) каталітичних молекул РНК — *рибозимів*. Виявилося, що РНК може бути не тільки носієм генетичної інформації, а і — завдяки хімічному каталізу — її реалізатором.



Мал. 1.10. а — До гіпотези «світу РНК»; б — мікробіолог Карл Воуз (1928–2012, США); в — фізик Волтер Гілберт (нар. 1932, США)

Припускають, що рибозими, які існували на давній Землі, могли забезпечувати власну реплікацію без допомоги білків. Такі рибозими могли конкурувати між собою за нуклеотиди, тобто вони брали участь у природному доборі. Із часом відбулося розділення функцій: зберігання генетичної інформації дісталось ДНК, а катализ — білку. Ця гіпотеза має назву «*світу РНК*» і вперше її запропонував Карл Воуз у 1968 р., а остаточно сформулював Волтер Гілберт у 1986 р. (мал. 1.10).

Не обходиться сучасна теорія абіогенезу і без коацерватів, — саме вони стали основою для формування клітинних мембран.

Отже, узагальнено про зародження життя можна стверджувати таке: згідно із сучасними теоріями абіогенезу життя найвірогідніше зародилося від 4,1 млрд до 3,7 млрд років тому. Щодо можливого місця, де зародилося життя, є різні припущення (мал. 1.11).



Мал. 1.11. Можливо життя зароджувалося в таких місцях: а — гарячі прісні водойми; б — гідротермальні джерела на дні океану («чорні курці»); в — поверхня й порожнини кристалів піриту; г — глини

Головне, що в цих місцях органічні речовини абіогенного походження могли накопичуватися й утворювати розчин високих концентрацій.

Сучасні уточнення щодо етапів розвитку життя (мал. 1.12) в теорії Опаріна — Холдейна такі: виникнення вуглеводних сполук та їхніх похідних → виникнення білків → формування білкових тіл усередині коацерватів.



Мал. 1.12. Етапи розвитку життя за теорією Опаріна – Холдейна (а) та за теорією «світу РНК» (б)

У сучасних теоріях вже беруть до уваги формування нуклеїнових кислот, тому виокремлюють більшу кількість етапів, хоча деякі з них могли відбуватися паралельно: виникнення вуглеводних сполук та їхніх похідних → утворення поліароматичних вуглеводнів → формування циклів реакцій, які здатні тривати досить довго та ґрунтуються на перетвореннях сполук, утворених нуклеотидами або залишками амінокислот → формування «світу РНК» → використання білків як ефективніших каталізаторів реакцій у процесах відтворення РНК → поява ДНК як форми надійнішого збереження інформації з РНК → об'єднання на базі коацерватів біохімічних циклів за участі РНК і білків → формування клітинних форм життя.

З розвитком палеонтології та еволюційної біології вдалося глибоко осягнути та зрозуміти процеси виникнення нових життєвих форм на Землі. Для зручності й ліпшого розуміння цих процесів уведено систему періодизації історичного розвитку органічного світу, яка умовно ділить час існування життя на проміжки, пов'язані з певними ключовими подіями. Так, існує поділ на 5 ер, які поділяють на 12 періодів, у які виникали нові таксони життєвих форм. З таблиці 1.1 ви зможете дізнатися про час виникнення певної групи організмів.

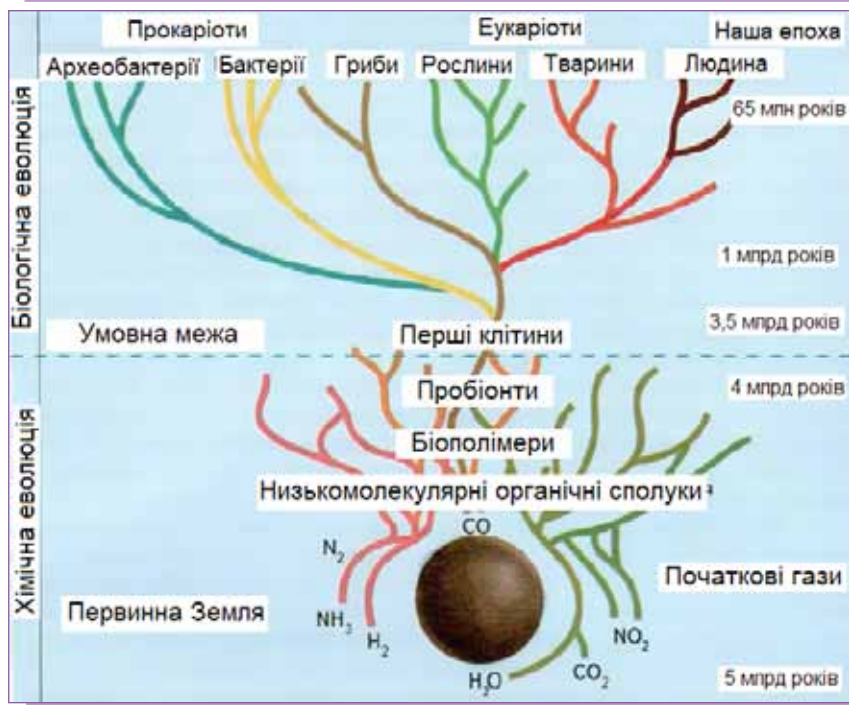
Таблиця 1.1

**Процеси виникнення нових життєвих форм на Землі**

Ера	Період, відділ	Тривалість періоду (млн років)	Основні події навколишнього світу
Кайнозойська	Четвертинний	0,7–1,8	Кінець Льодовикового періоду. Виникнення цивілізацій
	Неогеновий	25	Рослинний і тваринний світ став подібним до сучасного
	Палеогеновий		
Мезозойська	Крейдовий	41	Поява перших людиноподібних мавп та «сучасних» ссавців
	Юрський	70	Поява перших плацентарних ссавців. Вимирання динозаврів
	Тріасовий	55–60	Поява птахів і сумчастих ссавців. Розквіт динозаврів
Палеозойська	Пермський	40–45	Поява перших динозаврів та яйцекладних ссавців
	Кам'яновугільний	50–60	Вимирання 95 % видів, що існували тоді (масове пермське вимирання)
	Девонський	65–75	Поява дерев і плазунів
	Силурійський	60	Поява спорових рослин і земноводних
	Ордовицький	25–30	Вихід життя на суходіл: скорпіони й пізніше – перші рослини
Протерозойська ера	Кембрійський	60–70	Багата морська фауна: ракоскорпіони, кальмари
		70	Поява великої кількості нових організмів («Кембрійський вибух»)
Архейська ера		2 100 ± 100	Перші багатоклітинні тварини. Одне з наймасштабніших зледенів Землі
		Понад 1800	Поява примітивних одноклітинних організмів

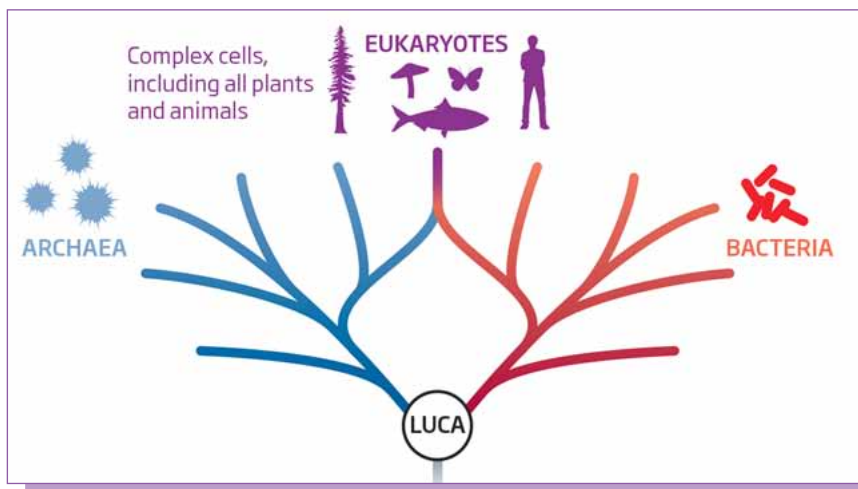


Етапи еволюції живого наведено у схемах (мал. 1.13).



Мал. 1.13. Етапи еволюції живого

Наприкінці ХХ ст. вчені дійшли висновку про можливість існування одного спільного предка всіх клітинних організмів, що є нині. Його запропонували називати останнім універсальним спільним предком — англ. Last Universal Common Ancestor, скорочено LUCA (мал. 1.14).



Мал. 1.14. Хто такий LUCA?



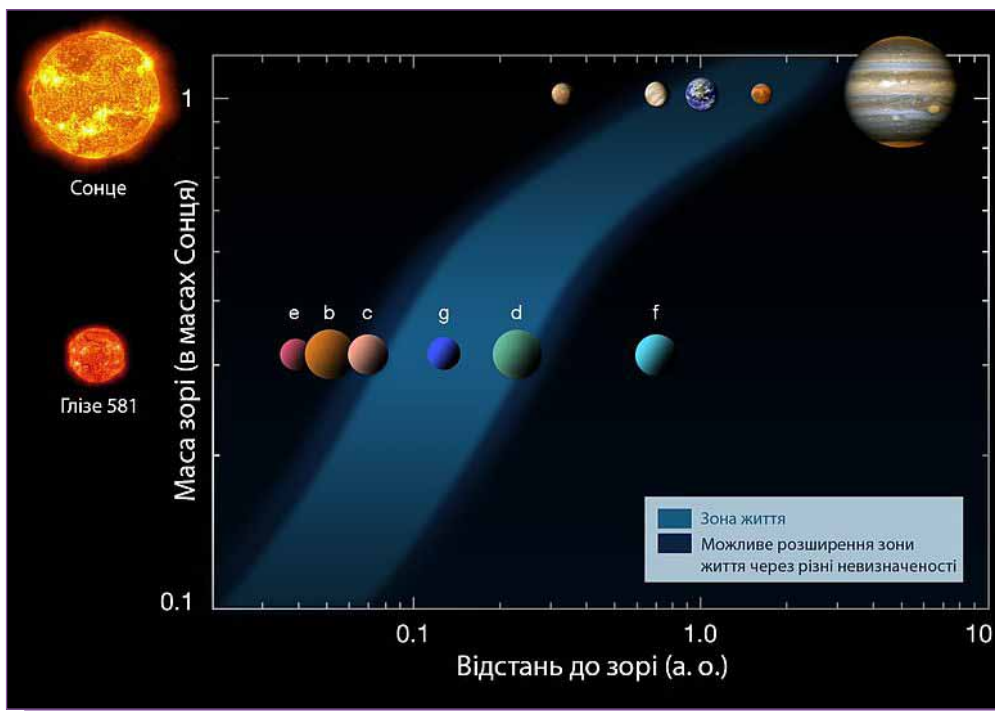
Мал. 1.15. Океан життя — фантастика чи реальність?

Припускають, що жив він близько 3 млрд років тому. Це був величезний мегаорганізм, що займав якщо не всю, то більшу частину біосфери планети. Його багатоклітинне «тіло» було занурене в океан, причому різні клітини не конкурували одна з одною, а допомагали одна одній. У якийсь момент загальний предок розділився на трьох «нащадків» — бактерій, архей та еукаріотів (мають клітинне ядро). Останні потім розділилися на рослини, тварини та гриби. Така гіпотеза виникла через те, що всі теперішні домени організмів (бактерії, архебактерії та еукаріоти) мають низку спільних властивостей: зберігання спадкової інформації в молекулах ДНК, клітинну мембрану, синтез білка на рибосомах, процеси транскрипції (перенесення інформації), трансляції (синтез білка) та реплікації (відтворення), подібність основних біохімічних процесів тощо.

Ідея «океану життя» не така вже й нова, і вчені дещо «забарилися» з науковим обґрунтуванням того, що вже описано в науковій фантастиці, зокрема в романі «Солярис» Станіслава Лема, присвяченому пошуку контакту з Океаном, що мислить, екзопланети Солярис (мал. 1.15).

Це ми розглянули «земні» передумови виникнення життя — тобто ті, що склалися на нашій планеті.

А які причини того, що поміж планет Сонячної системи тільки на Землі сформувалися всі умови, необхідні для існування життя? Ідеться про воду, повітря, достатню кількість світла й тепла. Виникнення таких сприятливих умов можливе в тих випадках, коли планета розташована відразу в двох сприятливих для життя зонах: у навколосоряній і галактичній. Навколосоряна зона, яку в літературі часто називають «екосфера» — це уявна сферична оболонка навколо зорі, у межах якої температура на поверхні планет допускає наявність води. Галактична «сприятлива для життя зона» є безпечною для життя ділянкою міжзоряного простору, розташованою досить близько до центру Галактики. Ця ділянка містить значну кількість важких хімічних елементів, необхідних для формування планет з кам'яною поверхнею та гарячим ядром. Водночас ця ділянка має бути досить віддаленою від центра Галактики, щоб уникнути шкідливих радіаційних спалахів, які виникають під час вибухів наднових зір і зіткнень з численними масивними кометами й астероїдами, що можуть бути викликані гравітаційним впливом зір, які блукають поблизу галактичного центра. У нашій Галактиці «сприятлива для життя зона» (мал. 1.16) на відстані приблизно 25 000 св. р. від свого центра. Саме тут розташована наша Сонячна система (окрім Сонця до цієї зони входить лише близько 5 % усіх зір нашої Галактики).

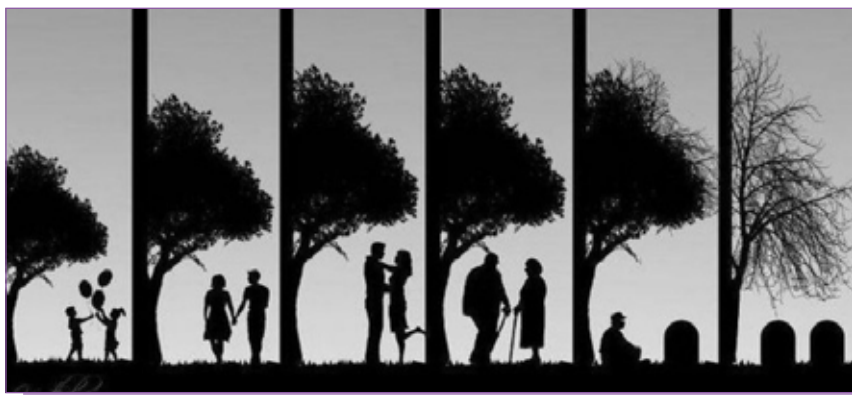


Мал. 1.16. Зона, придатна для життя, у планетних системах Сонця та Глізе 581 (Глізе 581 — це червоний карлик у сузір'ї Терезів, який розташований за 20,4 св. р. від Землі й має планетну систему)

## ЩО ТАКЕ ЖИТТЯ?

Ми досліджували, як виникало життя. А що ж воно таке — життя? Як відрізнити живе від неживого? За якими ознаками? Організмам притаманна низка ознак, яких немає в більшості неживих систем. Проте поміж них немає жодної, яка була б притаманна лише живому. Пригадаймо основні ознаки живого. Це певний хімічний склад і впорядкованість, обмін речовин, живлення, розмноження, дихання (газообмін), пристосовування, саморегуляція, рухливість, унікальність. Яка з цих ознак дає змогу розмежувати живе та неживе? Жодна! Наприклад, особливий хімічний склад, що відрізняє організми, можна отримати й у лабораторних умовах, проте суміш цих речовин не є живою системою. Обмін речовин може відбуватися й у неживій природі, розмножуються й еволюціонують не лише організми, а й наприклад, комп'ютерні віруси. То який же об'єкт уважатимемо живим і що таке життя в цілому?

Є багато визначень поняття «життя» й наразі немає єдиного прийнятого визначення його (*чи відомі вам ще такі терміни, які не мають усталеного єдино прийнятого визначення?*). Трактатування поняття «життя» (мал. 1.17) дуже різняться в природничих і математичних науках, у філософії та релігіях. Уявлення про саме життя, його походження та розвиток настільки відмінні в різних напрямках суспільної свідомості, що часто призводять до конфліктних ситуацій.



Мал. 1.17. Що таке життя

Наприклад, Аристотель (384–322 до н. е., Давня Греція) визначав життя як «живлення, ріст і старіння», академік І. П. Павлов (Павлов Іван Петрович, 1849–1936) визначав його як «складний хімічний процес», а академік О. І. Опарін як «особливу, дуже складну форму руху матерії». «Життя — це глобальна планетарна самовпорядкована, енергетично й інформаційно відкрита система, що є великим розмаїттям форм єдиної у фізико-хімічному відношенні живої речовини» (В. І. Вернадський).



**Фізика.** «Життя є явищем, яке властиве відкритим системам, що здатні самочинно знижувати власну внутрішню неупорядкованість за рахунок речовин або вільної енергії, отриманих з довкілля й згодом виділених у вигляді продуктів життєдіяльності й теплоти»



**Хімія.** «Життя — це не властивість якої-небудь молекули, а радше результат взаємодії між молекулами».



**Біологія.** «Життя — особлива форма існування матерії, яка виникла на певному етапі та для якої є характерним метаболізм. Життя — біологічне явище, якому притаманні: внутрішня структурованість, власний метаболізм, здатність до розмноження, спадковість та підтримка внутрішнього гомеостазу».



**Астрономія.** Згідно з офіційним визначенням NASA, запропонованого у 1994 р. й застосованого в задачах пошуку життя у Всесвіті, життя — «хімічна система, що здатна до самопідтримування та до дарвінівської еволюції».



**Кибернетика.** «Живі системи — це системи, крізь які проходять безперервні потоки речовин, енергії, інформації та які здатні сприймати, зберігати й переробляти інформацію».



**Філософські** визначення поняття «Життя» дуже різні та залежать від різних течій та напрямів цієї науки. Часто-густо філософські концепції життя діаметрально відрізняються одна від одної, ототожнюють його з ідеальним існуванням, що має божественний початок; наділяють рисами живого й неживі об'єкти; спрощують сутність явища життя до механічних моделей; обмежують рамками: органічне походить лише від життя; наділяють усе живе розумом та здатністю до мислення тощо.

*Доповніть таблицю прикладами наукового, художнього, міфологічного, релігійного розуміння життя*

**Життя** (*Vitae*; синонімія: *Biota*, *Eobionti*) — це явище, що є сукупністю фундаментальних загальнобіологічних ознак (метаболізму, гомеостазу, росту, розвитку, відповіді на подразнення, розмноження, еволюції тощо), які притаманні істотам і відрізняють їх від неживих об'єктів (мал. 1.18). Життя визначають як форму існування матерії, найхарактернішими рисами якої є обмін речовин, самооновлення та самовідтворення. Вивчає властивості життя наука *біологія*, покликана з'ясувати фундаментальні закони його існування та безперервності в часі.



Мал. 1.18. Властивості живих об'єктів

Будь-який організм є складно влаштованим та виконує певні, притаманні йому функції. Тобто організм є організованою *біологічною* системою. Ви обізнані з такими поняттями, як «Сонячна система», «травна» та «кровоносна» системи тварин, і знаєте, що терміном «система» позначають ціле, що складається зі взаємопов'язаних складників. Якщо вилучити якийсь з них, система втрачає цілісність.

*Біологічна система* (біосистема) — це об'єкт живої природи, що складається з компонентів, які мають певну будову, виконують певні функції, взаємодіють між собою й навколишнім середовищем. Ця система, побудована на основі білків і нуклеїнових кислот, є відкритою, оскільки організми обмінюються речовиною, енергією та інформацією із зовнішнім середовищем. Завдяки взаємозв'язкам між структурними компонентами біосистеми забезпечується її цілісність.

Властивості системи не можна звести до суми властивостей її складників. У їхньої сукупності є властивості, не притаманні жодному з її окремих елементів. Наприклад, такі живі системи, як клітини, є живими лише як результат взаємодії їхніх складових (органел, цитоплазми, мембран). А кожний із цих елементів, виділений окремо, живим бути не може. Незважаючи на те, що організми досить різноманітні, вони мають спільні риси.

Найфундаментальнішими ознаками організмів учені вважають здатність до *самовідтворення*, *самооновлення* та *саморегуляції*.

*Самовідтворення* — це здатність до утворення подібного до себе. В організмів здатність до самовідтворення проявляється у формі статевого або нестатевих розмноження.

Також можна виокремити спадковість і мінливість, завдяки яким організми адаптуються до умов навколишнього середовища з метою виживання та залишення після себе потомства. Спадковість можна схарактеризувати як здатність організму передавати ознаки з покоління в покоління в процесі розмноження, мінливість — здатність організму змінювати свої ознаки під час взаємодії із середовищем.

**Самооновлення** — це здатність утворювати нові складники системи замість старих. У випадку пошкодження чи поганої роботи клітина може замінювати свої органели, а багатоклітинні організми — окремі клітини, інколи цілі групи клітин або навіть окремі органи. З підвищенням складності будови організмів ця здатність зазвичай зменшується.

**Саморегуляція** — це здатність системи встановлювати й підтримувати свої основні показники на відносно постійному рівні. У біологічних системах такими показниками є, наприклад, концентрація деяких йонів у клітинах ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  тощо), рН внутрішнього середовища, уміст кисню та вуглекислого газу в клітинах, температура тіла або кількість світла, яка проходить крізь зіницю ока тощо.

## РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОГО

Біологічним системам притаманна ієрархічна організація, тобто в їхній структурі можна виокремити різні рівні: кожний наступний рівень уключає в себе попередні (мал. 1.19). Проте вони не лише підпорядковані один одному, а взаємодіючи один з одним, утворюють якісно нову структуру — новий рівень організації.



Мал. 1.19. Біосистема і рівні біосистем

У наукових дослідженнях використовують дуже детальну класифікацію й розрізняють такі рівні: молекулярний, клітинних органел, клітинний, тканинний, організменний тощо — аж до біосферного. Головні рівні організації живих систем зображено на малюнку 1.19.

**Молекулярний рівень** — це рівень макромолекул складної будови (білки та нуклеїнові кислоти), де відбувається обмін речовин й передавання спадкової інформації, закодованої в структурі молекул нуклеїнових кислот. Елементарною одиницею на молекулярному рівні є ген.



Сучасні технології дають змогу вченим проводити свої дослідження саме на молекулярному рівні. Сформувалася нова галузь біології — молекулярна біологія та її практична складова — молекулярна біотехнологія. З розвитком останньої пов'язано створення нових лікарських препаратів і вакцин, харчових продуктів, розроблення методів лікування онкологічних і спадкових захворювань та багато іншого.

*Клітинний рівень* — це рівень, на якому відбувається обмін речовин, передавання енергії, процеси розмноження й передавання спадкової інформації наступним поколінням. Елементарною одиницею життя на цьому рівні є клітина.

*Організменний рівень* — це рівень, для якого характерна певна самодостатність (лише організм має здатність до автономного існування в навколишньому середовищі). Елементарною одиницею живого є організм (особина). Для нього характерна сукупність перетворень особини з моменту появи на світ під час запліднення яйцеклітини (за статевого розмноження) чи ділення материнського організму (за нестатевого розмноження) до кінця її життя.

Групи організмів утворюють більші угруповання.

Сукупність організмів одного виду, які населяють певну територію та взаємодіють між собою, називають *популяцією*. Це — *популяційно-видовий рівень*, де відбувається інтенсивний обмін генами за статевого розмноження, у результаті якого виникають генетичні зміни, що можуть швидко поширитися всередині популяції. Ієрархічні рівні організації живого зображено на малюнку 1.20.

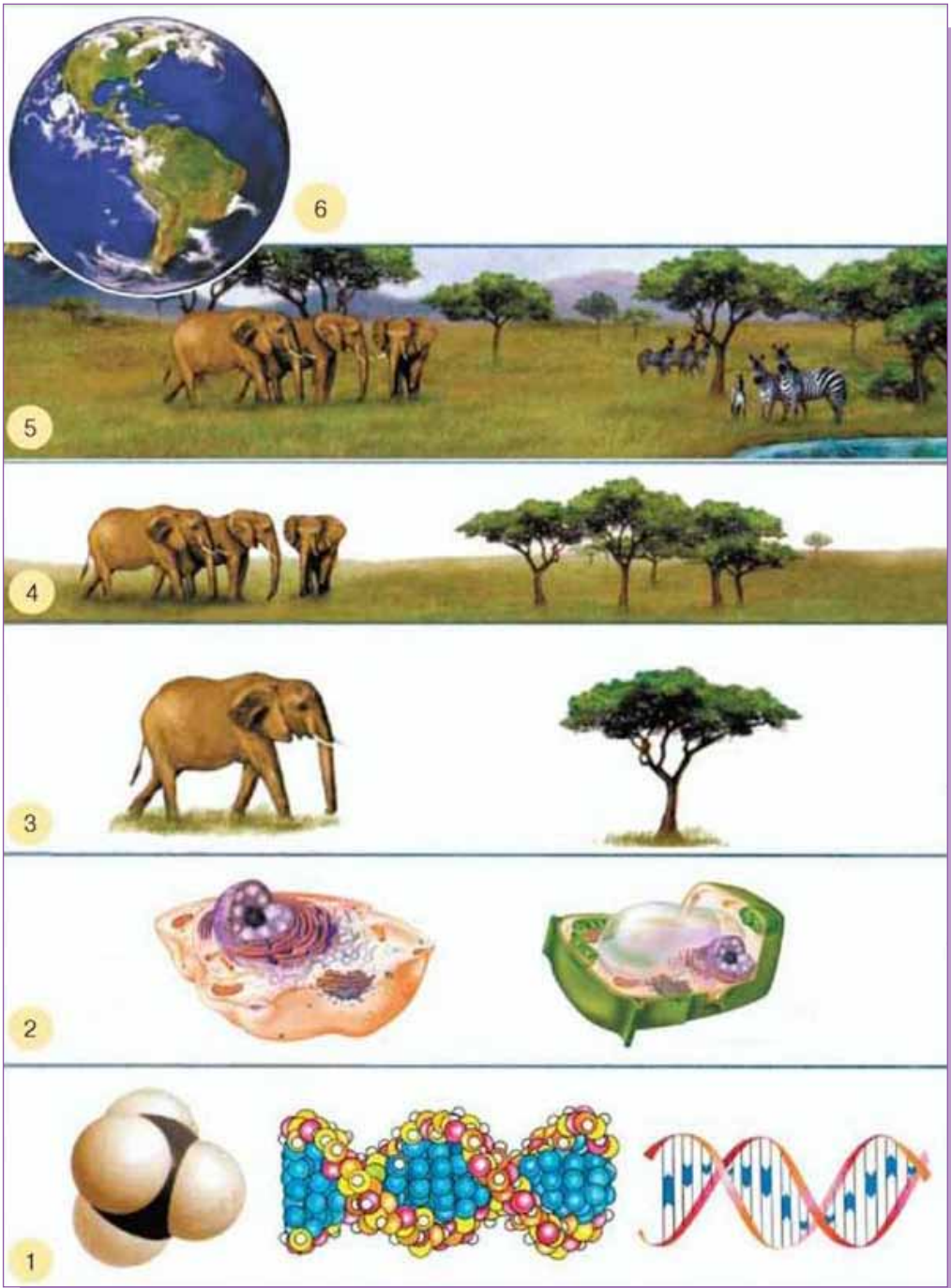
Сукупність організмів різних видів, які населяють певну територію зі схожими фізико-кліматичними умовами та взаємодіють між собою, називають *біоценозами*.

Сукупність популяцій різних видів, які взаємодіють із середовищем існування, де відбувається енергетичний потік та здійснюється колообіг речовин, називають *екосистемою*. На *екосистемному рівні* основою є рослини та/або бактерії, які можуть створювати первинну органічну речовину в результаті фотосинтезу або хемосинтезу.

Окремі екосистеми утворюють найбільшу екосистему нашої планети — *біосферу*, що включає в себе всі організми планети й середовища їхнього існування: літосферу, гідросферу, атмосферу.

Хоча життя за своєю суттю — явище неподільне (воно або є, або його немає), для вивчення дуже зручно розглядати все живе на різних рівнях його організації. Кожен рівень має свої унікальні властивості, і такий поділ, попри його умовність, дає змогу розуміти феномен життя повніше та змістовніше. Про це буде в наступній темі.





Мал. 1.20. Ієрархічні рівні організації живого: від молекулярного (1) до екосистемного (біосферного) рівня (6)



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Яку гіпотезу походження життя ви вважаєте найвірогіднішою? Чому?
2. Чи можливе в сучасних умовах зародження життя на Землі з неживої природи?
3. Що виникло раніше — ДНК, РНК чи білок — і чому?
4. Чим зумовлено те, що життя виникло у водному середовищі, а не на поверхні суходолу чи в атмосфері?
5. Які є фундаментальні властивості живого?
6. Для чого потрібні живим системам самоорганізація, саморегуляція і самовідтворення? На прикладі будь-якого ссавця покажіть, як живі організми здійснюють саморегуляцію.
7. Наведіть приклади біологічних систем, що перебувають на різних рівнях організації.



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Моделювання умов для зародження життя

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Теорії появи життя на Землі: світоглядний і науковий підхід.
- Катастрофічні події в історії Землі та їхнє значення.
- Біогеоценологічні кризи та оновлення флори й фауни.
- Що таке життя?
- Експерименти зі створення штучного життя.
- Пошуки позаземного життя.



## Г. 2. ЕНЕРГІЯ ЖИТТЯ

Що б не робили живі істоти — бігали, їли або сиділи в засідці, — усе це можливо завдяки енергії. Ріст, розмноження, скорочення м'язів серця, рух поживних речовин, проведення нервового імпульсу — усе це вимагає безперервних енергетичних витрат. Звідки ж черпають енергію живі істоти? У яких акумуляторах зберігають її? По яких провідниках передають? Які трансформатори допомагають їй перетворюватися з одного виду в інший?

### ПРИГАДАЙТЕ

Про закони збереження в природі Б.5

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати:* підходи до класифікації живого; джерела енергії для життєдіяльності організмів.

*Пояснювати* відмінності між «рослинним» і «тваринним» способами синтезу АТФ.

*Обґрунтовувати* значення обміну речовин, енергії та інформації для існування життя.

*Класифікувати* організми за роллю в синтезі органічних сполук, за джерелами енергії, за видом клітинного дихання, роллю в ланцюгах живлення.

*Описувати* механізми обміну речовин й перетворення енергії; процеси фото- і хемосинтезу, бродіння, клітинного дихання; колообіг речовин у біосистемах різних рівнів.

*Пояснювати* процеси життєдіяльності на різних рівнях.

*Застосовувати* знання про закони збереження для пояснення процесів життєдіяльності організмів.

*Складати* трофічні ланцюги.

*Усвідомлювати* планетарне значення фотосинтезу для існування життя

## ХТО НА ПЛАНЕТІ ЖИВИЙ?

Оцінки вчених щодо ймовірної кількості сучасних видів істот на Землі розходяться в межах від 10 млн до 100 млн, що пов'язано з використанням різних розрахункових методик. Автори дослідження<sup>1</sup>, результати якого оприлюднені в 2011, оцінили різноманітність еукаріот планети в 8,74 ( $\pm 1,3$ ) млн видів (мал. 2.1). З них близько 7,7 млн тварин, 298 000 рослин, 611 000 грибів і 36 400 найпростіших. Тобто сьогодні ми знаємо «в обличчя» близько 14 % видів, що існують на Землі. Частка вивченої фауни еукаріот Океану становить 9 %. Ще один розрахунок, зроблений авторами: за збереження сучасних темпів опису нових видів виявлення повного видового складу наших сусідів по планеті, займе 1200 років і потребуватиме зусиль 303 000 спеціалістів-систематиків.



Мал. 2.1. Розмаїття видів

Співробітники Королівського ботанічного саду в Единбурзі в 2016 р. оприлюднили доповідь<sup>2</sup>, у якій навели точну кількість видів рослин, виявлених на Землі на поточний момент. Вони виявили, що на Землі росте 390 900 рослин різних видів.

Поясніть, чим, на вашу думку, зумовлені розбіжності в даних 2011 й 2016 років щодо кількості видів рослин.

Величезна кількість і різноманітність форм життя є об'єктом дослідження такої галузі знань як біологічна класифікація. Часто термін «біологічна класифікація» вважається синонімом до терміна «систематика», у науковій літературі здебільшого використовують саме другий термін.

Найдавнішу систему біологічної класифікації розроблено давньогрецьким філософом Аристотелем (384 до н. е. – 322 до н. е., Давня Греція), який класифікував тварин за способом їхнього пересування (землею, водою чи повітрям).

<sup>1</sup> Camilo Mora, Derek P. Tittensor, Sina Adl, Alastair G. B. Simpson, Boris Worm. How many species are there on Earth and in the Ocean? // PLoS Biology, 2011. 9 (8): 1–8.

<sup>2</sup> [https://stateoftheworldsplants.org/2016/report/sotwp\\_2016.pdf](https://stateoftheworldsplants.org/2016/report/sotwp_2016.pdf)

У таблиці 2.1. наведено інформацію щодо того, як змінювалися підходи до систематики об'єктів живої природи.

Таблиця 2.1

**Еволюція підходів до систематики об'єктів живої природи**

Систематика об'єктів живої природи					
за Геккелем <sup>1</sup> , 1894	за Віттекером <sup>2</sup> , 1969	за Воузом <sup>3</sup> та ін., 1977	за Воузом та ін., 1990	За Кавальє-Смітом <sup>4</sup> , 1998	
Три царства	П'ять царств	Шість царств	Три домени	Два домени	Сім царств
Тварини	Тварини	Тварини	Еукаріоти	Еукаріоти	Тварини
Рослини	Гриби	Гриби			Еукаріоти
	Рослини	Рослини	Прокаріоти	Прокаріоти	Рослини
Протисти	Найпростіші	Найпростіші			Археї
	Монери	Архебактерії	Еубактерії	Протисти	
				Археї	
				Еубактерії	

За сучасними уявленнями, усі організми на Землі поділяють на дві великі групи: неклітинне життя та клітинні організми (мал. 2.2).



Мал. 2.2. Класифікація організмів

Базовою одиницею існування клітинних організмів є клітина, яка може мати різний рівень організації та складність будови. До *клітинних*

<sup>1</sup> Геккель Ернст Генріх Філіпп Август (1834–1919, Німеччина).

<sup>2</sup> Віттекер Роберт Гардінг (1920–1980, США).

<sup>3</sup> Воуз Карл Річард (1928–2012, США).

<sup>4</sup> Кавальє-Смит Томас (нар. 1942, Велика Британія).

організмів належать усі без винятку бактерії, археї — об'єднані під назвою *прокаріоти* (у клітинах яких немає ядра та мембранних органел), а також *еукаріоти* (рослини, гриби та тварини), які можуть існувати у формі одноклітинних, тканинних чи системно-органних організмів (у клітинах цих представників є ядро та мембранні органели). Усі сучасні еукаріоти розподілено на п'ять великих груп, які називають *супергрупами* (про них детальніше буде згодом).

До *неклітинних* організмів належать істоти, які виявляють ознаки живого лише у внутрішньому середовищі клітинних організмів, а поза ним — ознаки неживих об'єктів. Це віруси та інші мікроорганізми.

Біологічна система будь-якого рівня, будь то клітина, тканина, орган, рослина, тварина чи екосистема, влаштована дуже складно. Вона утворена певним чином впорядкованими компонентами, що взаємодіють один з одним і з навколишнім середовищем. Кожен зі складників біологічної системи виконує властиві йому функції. Це й окремі органи у організмі багатоклітинних тварин, й органели в клітині, і навіть молекули в складі клітинних структур. Важливо пам'ятати, що на кожному рівні організації система набуває якісно нових властивостей, яких немає на нижчих рівнях. Спробуємо узагальнити знання про механізми життєдіяльності на різних рівнях і для різних представників живої природи.

### З ЧОГО СКЛАДАЄТЬСЯ КЛІТИНА Й ОРГАНІЗМ?

Усі живі організми значно відрізняються від навколишньої неорганічної природи за кількісним хімічним складом. Наприклад, Карбону в рослинах міститься близько 18 %, у ґрунті — менше 1 %, а Силіцію, навпаки, у рослинах — 0,15 %, а в ґрунті — 33 %. Високий уміст Карбону в живих організмах пов'язаний з тим, що їхніми складниками є сполуки Карбону, які називають *органічними*.

Деякі організми накопичують певні хімічні елементи. Так, водорості накопичують Йод, жовтець — Літій, болотна ряска — Радій тощо. З-поміж неорганічних сполук у клітині найбільше води. Що вища інтенсивність обміну речовин у тій чи тій тканині, то більше вона містить води. Вода виконує в клітинах багато функцій: збереження об'єму, забезпечення пружності клітин, розчинення різних речовин. Крім того, вода — це середовище, у якому відбуваються всі хімічні процеси. Вона безпосередньо бере участь у всіх хімічних реакціях. Так, розщеплення жирів, вуглеводів та інших органічних сполук відбувається в результаті хімічної взаємодії їх з водою. Завдяки високій теплоємності вода захищає цитоплазму від різких коливань температури, сприяє терморегуляції клітин і організму. Частина молекул води (~15 %) у клітинах перебуває у зв'язаному з білковими молекулами стані. Вони ізолюють білкові молекули одну від одної в колоїдних розчинах<sup>1</sup>.

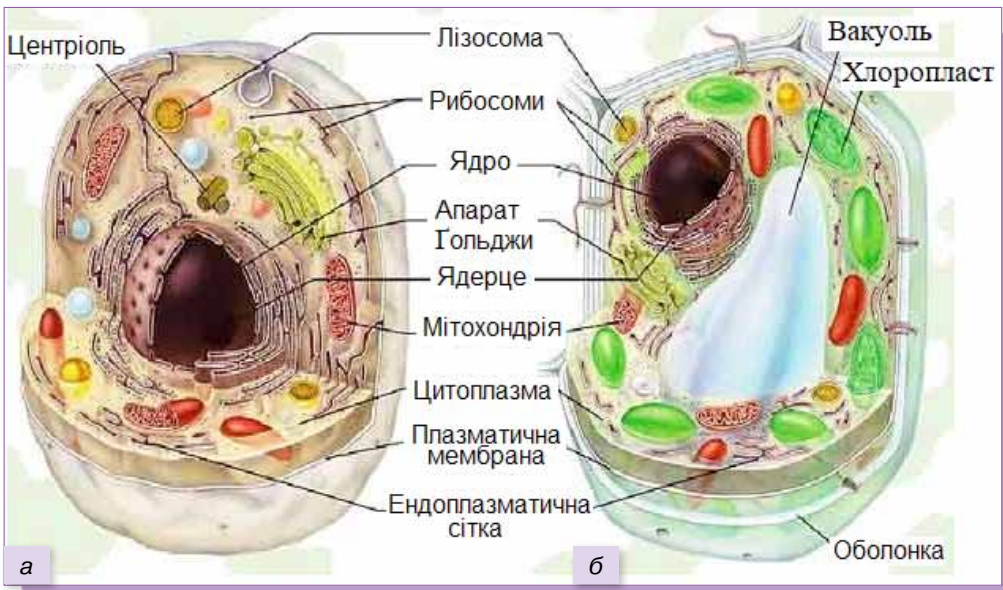
Органічні речовини клітини та їхні функції наведено в таблиці 2.2.

<sup>1</sup> Колоїдний розчин (від грец. κολλα – клей, λειδωσ – вид) на відміну від істинних розчинів, колоїдні містять частинки розміром від 1 нм до 1000 нм, які рівномірно розподілені в однорідному середовищі.

## Функції органічних речовин у клітині

Органічні речовини	Виконувані функції
Білки	Ферментативна, будівельна, регуляторна, захисна, транспортна, скорочувальна, запасальна
Ферменти	Каталізатори хімічних реакцій, що відбуваються в організмах
Ліпіди та вуглеводи	Будівельна, енергетична; є запасними поживними речовинами організму. Унаслідок розщеплення вуглеводів і жирів в організмі виділяється велика кількість енергії, необхідної для процесів життєдіяльності
Нуклеїнові кислоти	Передача спадкової інформації, синтез білків, регуляція всіх процесів життєдіяльності клітини

*Еукаріотична клітина* складається із зовнішньої клітинної мембрани, цитоплазми з органелами та ядра (мал. 2.3).



Мал. 2.3. Будова клітини: а — тваринна клітина; б — рослинна клітина

Докладніше про будову клітини в покликанні:

<https://www.youtube.com/watch?v=URUJD5NEXC8>

Для опису енергетичних процесів, які розглядатимемо далі, важливо пригадати роль мітохондрій і хлоропластів. *Хлоропласти* — пластиди (двомембранні органели рослинних клітин), які мають зелене забарвлення за рахунок пігменту хлорофілу, вони забезпечують процес фотосинтезу.

*Мітохондрії* — це напівавтономні мембранні структури довгастої форми. Їхня кількість у клітинах — різна, збільшується в результаті поділу. У процесі дихання в них відбувається остаточне окиснення речовин киснем повітря. При цьому виділена енергія запасається в молекулах АТФ, синтез яких відбувається в цих структурах, тому їх називають «енергетичними станціями» клітини. АТФ (аденозинтрифосфатна кислота) — осно-

вний переносник енергії в клітині. За своїм складом АТФ — нуклеотид, що включає в себе три фосфатні групи, рибозу (залишок цукру) та аденін (залишок азотистої основи). Будь-якій клітині для забезпечення процесів життєдіяльності необхідна енергія.

Уся енергія безлічі хімічних реакцій, що відбуваються в організмах, акумулюється в енергію хімічних зв'язків молекули АТФ, що робить увесь енергетичний обмін універсальним: є чітко визначений носій енергії. Чому саме АТФ став універсальною «енергетичною валютою» живих систем, наразі до кінця невідомо, проте як функціонує АТФ — досліджено досить добре.

*Хімічний склад живих організмів* представлений великим різноманіттям хімічних елементів. З них основну частину (98 %) становлять органічні елементи, тобто ті елементи, що визначають основні властивості організмів, передусім Карбон, Гідроген, Оксиген і Нітроген. Решту хімічного складу (2 %) становлять групи макро- (Фосфор, Сульфур, Хлор, Калій, Натрій, Кальцій, Магній, Ферум), мікро- (Купрум, Цинк, Кобальт, Алюміній, Селен, Йод, Флуор, Бром тощо) та ультрамікроелементів, що різняться вмістом в організмі ( $10^{-2}$ – $10^{-12}$  %). Усі вони забезпечують виконання певних функцій, необхідних для нормального функціонування організму.

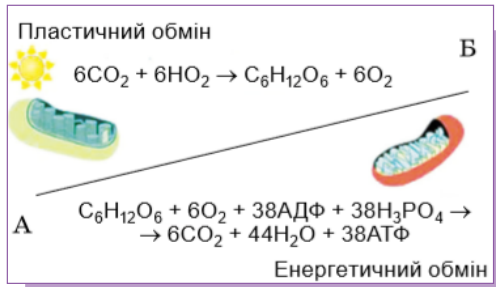
## БІОЕНЕРГЕТИКА ЖИВИХ СИСТЕМ

Окрім хімічного складу, від неживої матерії організми відрізняються тим, що вони ростуть, розвиваються, рухаються, розмножуються, реагують на зміни навколишнього середовища. Усе це можливо завдяки енергії. Обмін речовин (або метаболізм) і перетворення енергії характерні для всіх біосистем і відбуваються на усіх рівнях їхньої організації. Так, на молекулярному рівні в обміні речовин беруть участь біоелементи, біоорганічні та біоорганічні речовини. У клітинах обмін речовин та енергії здійснюється за участі ферментів. В організмі відбуваються процеси взаємоперетворення речовин. В екосистемах і біосфері обмін речовин та енергії називають *біологічним колообігом*, тому що його здійснюють організми в харчових ланцюгах.

Обмін речовин і перетворення енергії в організмі складається з *фізіологічних* (живлення, травлення, дихання, транспортування речовин, всмоктування, виділення), *фізичних* (дифузія, осмос, розчинення) і *хімічних* (окиснення, відновлення, гідроліз, бродіння) процесів. Цю сукупність перетворень розглядають як єдність двох протилежних і взаємопов'язаних процесів — асиміляції (*анаболізму*) і дисиміляції (*катаболізму*) (мал. 2.4).

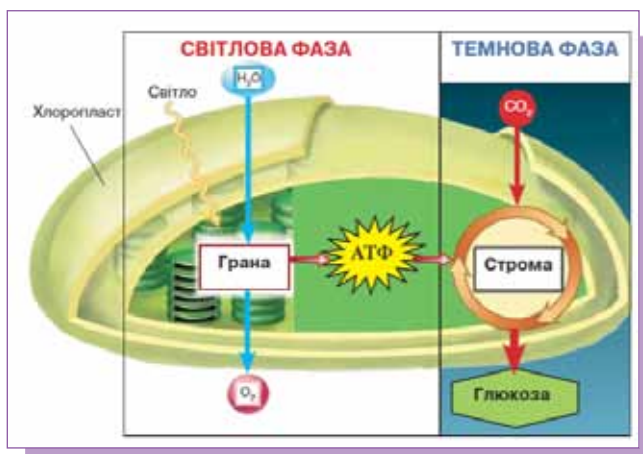
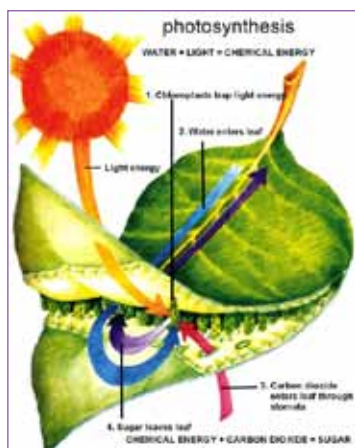
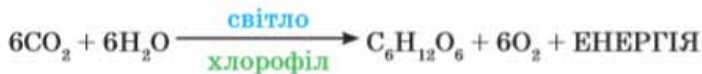
Переважаання анаболічних процесів забезпечує зростання, накопичення маси тіла. Переважаання катаболічних процесів веде до часткового руйнування тканинних структур, зменшення маси тіла. Д того ж відбувається перетворення енергії, перехід потенційної енергії хімічних сполук, що звільняється внаслідок їхнього розщеплювання, переважно в теплову, і частково — в електричну енергію.





Мал. 2.4. Схема процесу обміну речовин і потоку енергії

Пригадуєте, яким є механізм обміну речовин і потік енергії в рослині тварин? *Рослинам* достатньо світла та хлорофілу, щоб з води ( $\text{H}_2\text{O}$ ) і вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) утворити органічну речовину глюкозу ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Цей процес, як ви знаєте, називають *фотосинтезом* (мал. 2.5). Спрощено його можна описати рівнянням:



Мал. 2.5. Фотосинтез — основа обміну речовини й енергії у рослин

Під час дослідження фотосинтезу встановлено, що цей процес має світлову й темнову фази. Світлова фаза об'єднує реакції, що відбуваються тільки на світлі в *гранях* хлоропластів (так називають тилакоїди — спрощені вакуолі або мішечки, які є всередині хлоропластів, складені в стовпчики). Порядок процесів світлової фази фотосинтезу такий:

- світло потрапляє на молекулу хлорофілу, поглинається нею, що приводить її в збуджений стан. Електрон у складі цієї молекули переходить на вищий рівень і бере участь у процесі синтезу;
- відбувається розщеплення води, під час якого протони, під дією електронів перетворюються на атоми Гідрогену, які потім витрачаються на синтез вуглеводів, а кисень, що утворився, виводиться з клітини або використовується для дихання;

■ на останньому етапі світлової фази фотосинтезу відбувається синтез АТФ.

Результатом світлової фази фотосинтезу є розщеплення води, виділення кисню, утворення атомів Гідрогену й молекул АТФ. Темнова фаза фотосинтезу перебігає у *stroma*х хлоропластів. Саме під час неї відбувається синтез органічних речовин, зокрема глюкози. Можна подумати, з огляду на назву, що темнова фаза фотосинтезу відбувається лише в темний час доби. Насправді це не так, синтез глюкози триває цілодобово, просто на цьому етапі енергія світла не потрібна.

Тобто маленька структура клітини — хлоропласт — є унікальною природною лабораторією, яка поглинає та перетворює сонячну енергію на хімічну енергію, яка так само потрібна для утворення нових органічних сполук — білків, жирів.

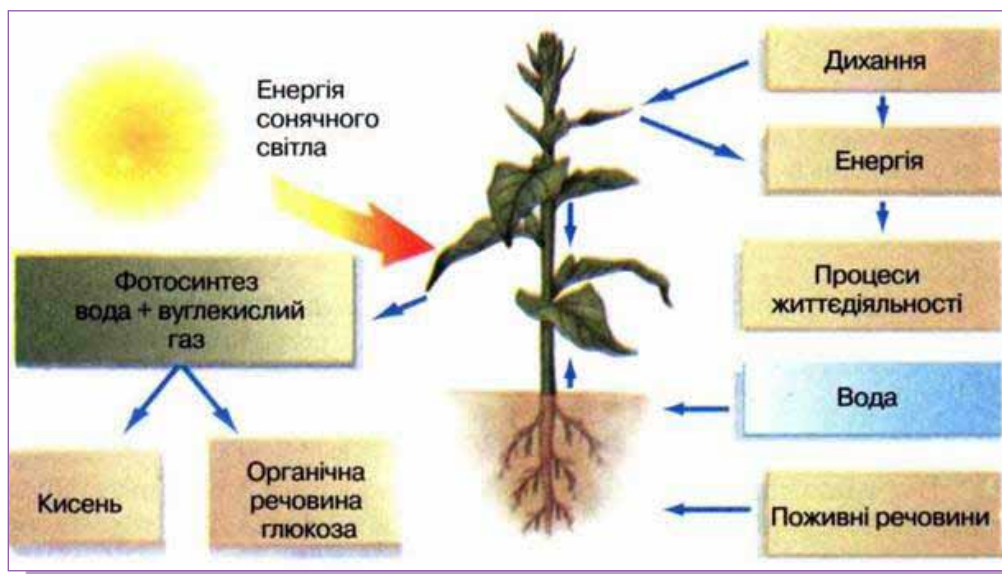
Органічні речовини складної будови розкладаються на простіші в процесі окиснення під час дихання:

вуглеводи + кисень → вуглекислий газ + вода + енергія

та забезпечують організм енергією, потрібною для всмоктування води коренем, руху поживних речовин до всіх органів, розпускання й закривання пелюсток, проростання насінин тощо.

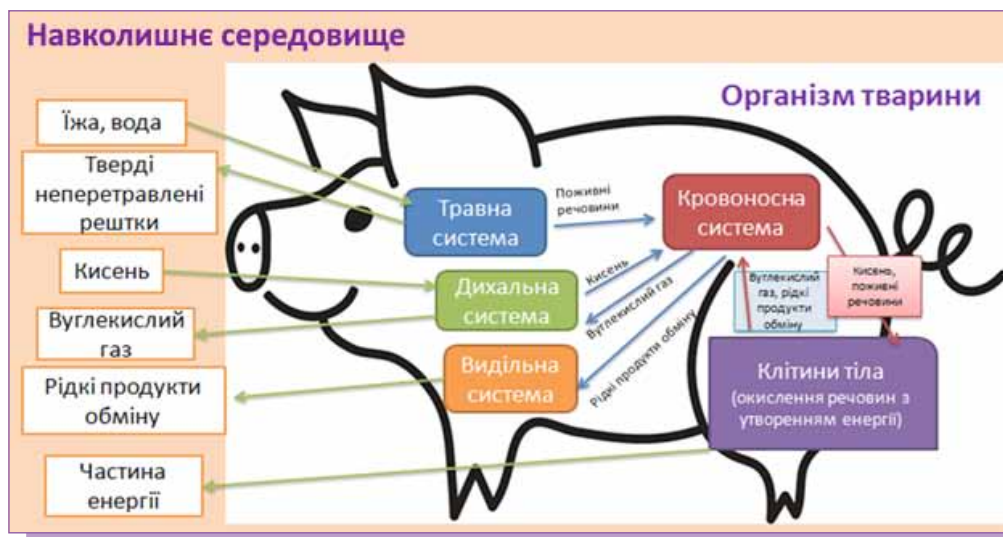
Найважливіший асиміляційний процес у рослин — фотосинтез.

Найважливіший дисиміляційний процес у рослин — дихання (мал. 2.6).



Мал. 2.6. Як рослина дістає будівельний матеріал і енергію для своєї життєдіяльності (коріння вбирає з ґрунту воду з поживними речовинами, які стеблом піднімаються до листків; у листках під час фотосинтезу утворюються органічні речовини, які також за допомогою стебла поширюються всією рослиною; кисень, що надходить у рослину під час дихання, допомагає розщеплювати органічні речовини й забезпечувати рослину енергією)

Звідки беруть поживні речовини та енергію *тварини*? Звісно, з їжі, скажете ви. Так, джерелом речовин та енергії для тваринних організмів є білки, жири, вуглеводи, що містяться в їжі. У тваринному організмі вони зазнають складних хімічних перетворень. Розпочинається це в органах травлення, а завершується в клітинах усього тіла тварини. Завдяки травленню великі молекули органічних речовин їжі розпадаються на менші. Це дає їм змогу потрапити до всіх клітин організму й стати своєрідним будівельним матеріалом, з якого утворюються молекули білків, жирів, вуглеводів, властивих цьому організму. Частина з них організм використовує на ріст і розвиток, а інша частина, як і в рослин, бере участь у диханні, унаслідок чого виділяється енергія, а також вода й вуглекислий газ (мал. 2.7).



Мал. 2.7. Обмін речовин і енергії у тварин

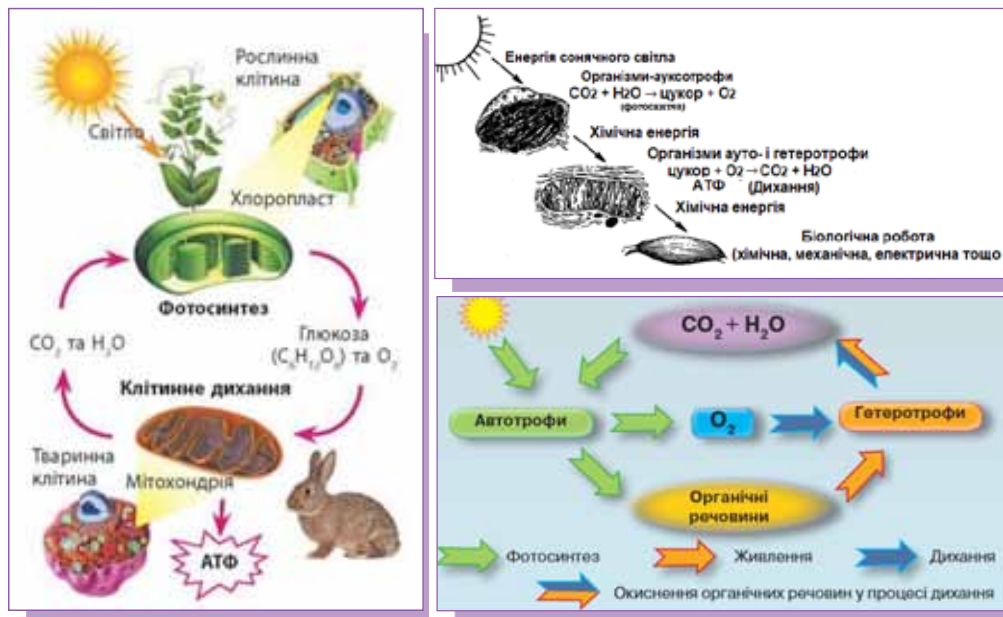
Тварини вживають їжу, щоб отримати протони та електрони, і до того ж позбутися Карбону у складі вуглекислого газу. А кисень вдихають, щоб зв'язати протони та електрони, які вже виконали свою функцію із забезпечення синтезу АТФ.

Ми навели досить спрощений опис обміну речовин і енергії, що відбувається у тварин, оскільки в 11 класі під час вивчення розділу «Людина» розглянемо ці процеси докладніше. Основний висновок, якого маємо дійти, полягає в тому, що в організмах тварин перетворюється енергія сонячного світла, яку свого часу поглинув зелений листок.

## ЩЕ РАЗ ПРО ФОТОСИНТЕЗ

Як бачимо, від фотосинтезу залежить життя не лише рослин, а й інших мешканців нашої планети. Фотосинтез є джерелом органічних речовин — важливих компонентів живлення організмів. Рослини й ціанобактерії синтезують їх самостійно. Тому їх називають *автотрофами* (від грец. *αυτός* — сам і *τροφή* — живлення), або автотрофними організмами. Тва-

рини, гриби та деякі бактерії використовують готові органічні речовини їжі. Ці організми називають *гетеротрофами* (від грец. *ετερος* — різний, інший і *τροφή* — живлення), або гетеротрофними організмами. Значення фотосинтезу для автотрофів і гетеротрофів і зв'язок між ними показано на малюнку 2.8.



Мал. 2.8. Взаємозв'язки фотосинтезу й дихання в рослинних і тваринних організмах

Фотосинтез має планетарне значення. Рослини залучають в колообіг мільярди тонн Нітрогену, Фосфору, Сульфору, Кальцію, Магнію, Калію та інших хімічних елементів. Щорічно на Землі виробляється органічна речовина масою близько 150 млрд тонн і виділяється кисень масою 200 млрд тонн. У результаті фотосинтезу безпосередньо утворюються органічні речовини, що є складниками харчових продуктів (цукру, борошна, круп, плодів тощо). Кам'яне й буре вугілля, торф та деякі інші види викопного палива утворилися з решток давніх рослин унаслідок низки біохімічних, фізико-хімічних і фізичних перетворень. Тож у результаті спалювання цих корисних копалин людина отримує енергію, накопичену давніми рослинами в результаті фотосинтезу. Фотосинтез перешкоджає нагромадженню вуглекислого газу, що є одним з газів, які спричиняють парниковий ефект на нашій планеті.

Про планетарну роль фотосинтезу ви дізнаєтеся, проаналізувавши малюнок 2.9.

Дані про те, скільки енергії Сонця використовують організми, досить суперечливі. Згідно з одними джерелами — 0,1 %, з іншими — до 1 %. Цю енергію засвоюють рослини під час фотосинтезу, перетворюють на енергію органічних сполук, а далі передають іншим організмам в екосистемі, які за рахунок цього підтримують усі процеси, що відбуваються в них.

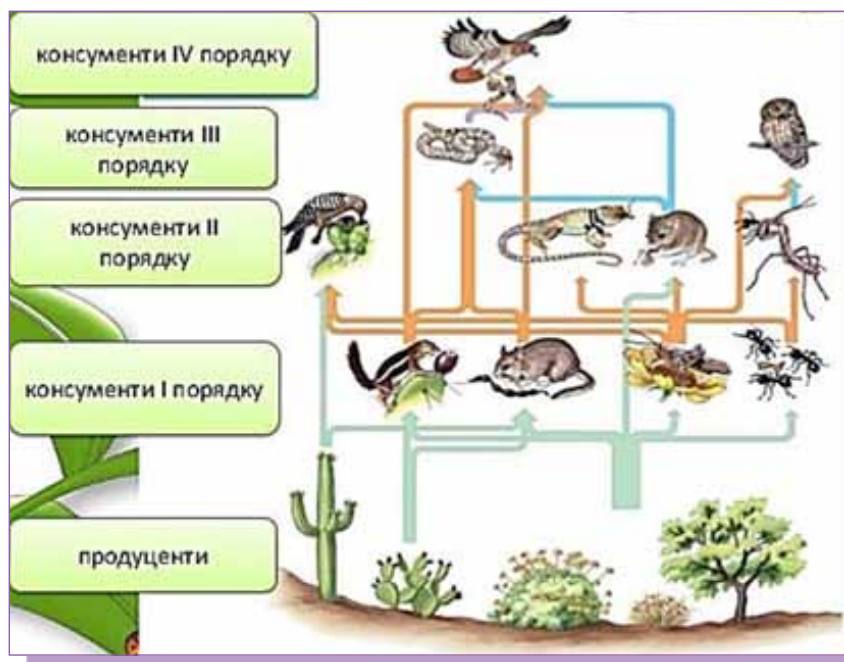
Забезпечує сталість вмісту $O_2$ і $CO_2$ в атмосфері	Захищає поверхню Землі від парникового ефекту
Утворює захисний озоновий екран у верхніх шарах атмосфери	Забезпечує накопичення органічних речовин, що утворюють біомасу планети (це маса всіх організмів на Землі)



Мал. 2.9. Планетарна роль фотосинтезу: «Колись, десь на Землю впав промінь сонця, але він упав не на безплідний ґрунт, він упав на зелену билинку пшеничного паростка, або, краще сказати, на хлорофілове зерно. Б'ючись об нього, він згаснув, перестав бути світлом, але не зник... У тій чи тій формі він увійшов до складу хліба, який став нам їжею. Він перетворився в наші м'язи, у наші нерви. Цей промінь сонця зігріває нас. Він приводить нас у рух. Можливо, цієї хвилини він грає в нашій свідомості»<sup>1</sup>.

## ЛАНЦЮГИ ЖИВЛЕННЯ

Шлях, за яким можна прослідкувати передавання сонячної енергії в екосистемах від одного організму до іншого, називають *ланцюгом живлення*, а місце кожного організму в цьому ланцюгу — *трофічним рівнем* (мал. 2.10).



Мал. 2.10. Трофічні ланцюги

Ланцюги живлення можуть бути різних типів, що залежать від початкової ланки (рослини, рештки рослин і тварин). Наприклад, рослини – заєць — лисиця. Основою цього трофічного ланцюга є *продуценти*, які з неорганічної речовини та енергії Сонця створюють живу речовину (пер-

<sup>1</sup> Тимірязев Климент Аркадійович (1843–1920, Росія) «Життя рослин»

винну біомасу). Другою ланкою є тварини, які споживають цю первинну біомасу (*консументи I порядку*). Вони — їжа для організмів наступного трофічного рівня (*консументів II порядку*).

Головною особливістю ланцюга живлення є біологічний колообіг речовин унаслідок якого енергія, запасена в органічній речовині, вивільняється.

## ХЕМОСИНТЕЗ

Автотрофні бактерії не містять хлорофіл, однак теж здатні синтезувати органічні сполуки. Для цього вони використовують хімічну енергію, що виділяється внаслідок окиснення неорганічних сполук. Синтез органічних речовин у такий спосіб називають *хемосинтезом* (від грец. *chēmia* — хімія й *συνθεσις* — сполучення). Цей процес здійснюють нітрифікувальні бактерії, ферумобактерії, гідрогенобактерії, сульфуробактерії та інші групи бактерій (мал. 2.11). Часто-густо їхня назва пов'язана з назвою неорганічної сполуки, окиснення якої забезпечує ці бактерії енергією.



Сульфуро-  
бактерії

Азото-  
фіксувальні  
бактерії

Нітрифікувальні  
бактерії

Ферумобактерії

Пурпурні  
сульфу-  
бактерії

Мал. 2.11. Бактерії-хемосинтетики

З'ясуймо, чим подібні й відмінні хемосинтез і фотосинтез.

*Подібність:*

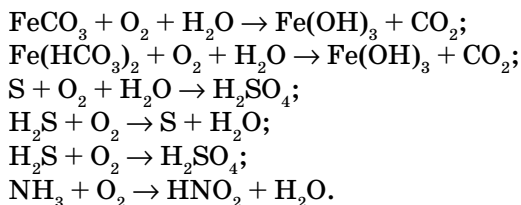
- як хемосинтез, так і фотосинтез є типом автотрофного живлення, коли організм синтезує органічні речовини з неорганічних;
- енергія такої реакції запасується в аденозинтрифосфатній кислоті (АТФ) і згодом використовується для синтезу органічних речовин.

*Відмінність* фотосинтезу від хемосинтезу:

- різне джерело енергії, і, як наслідок, різні окиснювально-відновні реакції. За хемосинтезу первинним джерелом енергії є не сонячне світло, а хімічні реакції — окиснення певних речовин;
- хемосинтез характерний лише для бактерій та археїв;
- у хемосинтезі задіяні клітини бактерій, що не містять хлорофілу, у фотосинтезі навпаки — ті, що містять хлорофіл;
- джерелом Карбону для синтезу органічних речовин у хемосинтезі може бути не лише карбон(IV) оксид, а й карбон(II) оксид, метанова та етанова кислоти, метанол і карбонати (*складіть хімічні формули цих сполук*).

Отже, залежно від того, що є джерелом енергії для життєдіяльності, усі організми можна поділити на *фототрофи* й *хемотрофи* (або *хемосинтетики*). Фототрофи використовують енергію світла, хемотрофи — це організми, які отримують життєву енергію завдяки хемосинтезу. Хемотрофи відіграють важливу роль в колообігу речовин, особливо азоту, зокрема вони підтримують родючість ґрунтів. Також завдяки діяльності бактерій-хемосинтетиків у природних умовах накопичуються великі запаси руди та селітри.

Використавши метод електронного балансу, перетворіть наведені далі схеми реакцій хемосинтезу на хімічні рівняння, зазначте в них тепловий ефект:



Тобто за роллю в синтезі органічних сполук організми поділяють на автотрофи та гетеротрофи, а за джерелами енергії — на фототрофи й хемотрофи (мал. 2.12).



Мал. 2.12. Види організмів за ознаками синтезу органічних речовин і джерелами енергії

## КЛІТИННЕ ДИХАННЯ

Незалежно від того, яку енергію використали організми та в який спосіб отримали поживні речовини, усі вони окиснюють ці органічні речовини для синтезування АТФ (мал. 2.13).






Мал.2.13. Мета — синтез АТФ

Такий процес окиснення називають *клітинним диханням*. Залежно від того, яка речовина є окисником у процесі дихання, організми поділяють на *аеробів* і *анаеробів*. Аероби — це організми, які використовують кисень для дихання, а анаероби відповідно — ні. У мітохондріях деяких з анаеробів відбувається *бродиння*, що також приводить до синтезу АТФ. Але якщо внаслідок аеробного дихання утворюється 32–38 молекул АТФ з однієї молекули глюкози, то в результаті бродиння — одна-дві молекули АТФ на одну молекулу глюкози.

Приклади хімічних продуктів бродиння й організмів, що його здійснюють, наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

### Бродіння

Тип бродиння	Кінцеві продукти бродиння	Організми	Застосування
Спиртове	Етанол, карбон(IV) оксид	Дріжджі й рослини в анаеробних умовах	
Молочнокисле	Молочна кислота $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{CH} - \text{COOH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	Молочнокислі бактерії в анаеробних умовах	
Маслянокисле	Масляна (бутанова) кислота, карбон(IV) оксид, водень $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	Бактерії роду <i>Clostridium</i>	



Складіть повну структурну формулу бутанової кислоти.

Інша частина анаеробів може окиснити органічні речовини до вуглекислого газу й води, але окисником виступають відмінні від кисню сполуки, приклади яких наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

### Дихання

Тип дихання	Іон-окисник	Організми
Нітратне (денітрифікація)	Нітрат $\text{NO}_3^-$	Псевдоманади, <i>Paracoccus denitrificans</i>
Сульфатне	Сульфат $\text{SO}_4^{2-}$	Десульфатувальні бактерії ( <i>Desulfotomaculum</i> та <i>Desulfovibrio</i> )
Залізне	Ферум(III)	<i>Geobacter metallireducens</i>
Фумаратне	Фумарат $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4^{2-}$	Кишкова паличка, аскариди, мідії

## БІОЛОГІЧНИЙ КОЛОБІГ РЕЧОВИН

В екосистемах між організмами й довкіллям відбувається постійна циркуляція речовини, енергії (мал. 2.14):

- надходження речовин з ґрунтів та атмосфери до організмів;
- перетворення в організмах речовин, які надходять, у нові сполуки складної будови;
- повернення цих сполук у ґрунти та атмосферу в процесі життєдіяльності зі щорічним опаданням частини органічної речовини та розкладанням решток організмів, які входять до складу біоценозу.



Мал. 2.14. Циркуляція речовин та енергії

Екосистеми, як і всі істоти, підпорядковані фундаментальним законам природи — закону збереження та перетворення енергії (першому закону термодинаміки) та закону ентропії (другому закону термодинаміки). Так, згідно з першим законом термодинаміки, сонячна енергія перетворюється на енергію речовин та використовується на виконання роботи й витрати на тепло. Згідно з другим законом (законом ентропії) усі форми енергії спонтанно намагаються перейти в менш організовану хаотичну форму — ентропію. Організми здатні підтримувати складну структуру — упорядкованість, але необхідно, щоб до них поступово надходила енергія.

Біологічний колообіг речовин завдяки постійному притоку енергії забезпечує відновлення біомаси Землі, впливає на регенерацію біосфери. Його інтенсивність визначає загальну кількість і різноманітність організмів на Землі, об'єм накопичуваної органічної продукції, використовуваної для потреб людей. Необґрунтоване втручання в процеси біологічного колообігу речовин може призвести до деградації й руйнування історично складених екосистем.



Окиснення речовин у природі (окрім живого) відбувається під час перебігу хімічних реакцій (корозія залізної конструкції у вологому повітрі, горіння пропан-бутанової суміші в газовому пальнику або пожежа) — це вільне окиснення (за участю кисню). Воно супроводжується виділенням тепла в навколишнє середовище, відповідно:

- позитивною зміною ентальпії  $+\Delta H$ , що характеризує теплонакопичення системи (стає гаряче на пожежі);
- негативною зміною вільної енергії  $-\Delta G$ , оскільки система втратила деяку її частину, (що згоріло, то пропало);
- позитивною зміною ентропії  $+\Delta S$ , що вказує, що система стала менш упорядкованою (безладу на згарищі більше).

За вільного окиснення, що підпорядковане законам термодинаміки (і хімії) величина  $-\Delta G$ , яка могла б бути витрачена на виконання корисної роботи, «губиться». (А ось удома, щоб ця  $-\Delta G$  не «губилася», ви використовуєте систему — газову плиту — і частину тепла, що виділяється, направляєте до іншої системи — каструлі, пательні тощо).

Процес окиснення в біологічній системі — біологічне окиснення, що підпорядковується тим самим законам природи, що й вільне окиснення. Воно відбувається на клітинному рівні й за участю ферментативних систем. І це окиснення вже «не вільне програмне забезпечення», а «цільове» — життєзабезпечувальне. Процес біологічного окиснення в організмах «запрограмований» генетично й постійно контрольований самою біологічною системою (у часі і в просторі). По суті, він є процесом, зворотним фотосинтезу (тому поки рослини ростуть, тварини жують).

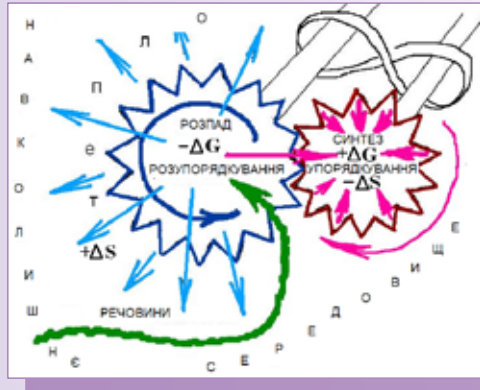
Вимоги живого до біологічного живлення зрозумілі: мінімум витрат і втрат, задовільний вихід енергії, хороший ККД (що більший, то краще), можливість контролювати процес тепловиділення (тут «горіти» просто так ні до чого). Організмам енергія потрібна для здійснення безлічі найрізноманітніших процесів. На мікрорівні енергозабезпечення необхідне для біохімічних реакцій синтезу, процесів йонного переносу, створення потенціалів. На макрорівні без витрат енергії неможливі рух (обертання джгутиків, помах крил або плавників, перестановка ніг і біг), праця, творчість, спорт, і, в цілому, розумна поведінка (остання одними тільки витратами енергії не визначається).

Високий ступінь упорядкованості біологічної системи, і, отже, низький рівень ентропії, створює сама система в процесі добре налагодженого обміну речовин з навколишнім середовищем — метаболізму (за мільйони років еволюції жива система сама собі його й організувала способом, який термодинаміка називає *самоорганізацією*).

Метаболізм в організмах здійснюється за рахунок енергії, що виділяється в реакціях біологічного окиснення. Окиснюються сполуки (вуглеводи їжі та інші), що надходять у систему із навколишнього середовища (здебільшого примусово). Загальний термодинамічний висновок: реакції біологічного окиснення організми використовують як засіб для зменшення «власної» ентропії (усередині системи) за рахунок збільшення «чужої» (зовні). Для практичної реалізації цього засобу в процесі еволюції організмами винайдений (і «генетично» запатентований) унікальний спосіб — енергетичне сполучення біохімічних реакцій.



Математична суть способу — це підключення реакцій з  $-\Delta G$  до реакцій з  $+\Delta G$  за такої умови, щоб  $|\Delta G| > |\Delta G|$ , а саме: різниця має бути більшою за суму. Тобто, реакції з від'ємною зміною вільної енергії мають проходити в хімічному «зчепленні» з реакціями з додатною зміною вільної енергії (мал. 2.15).



Поєднавши реакцію з великою від'ємною зміною вільної енергії  $-\Delta G$  (реакцію окиснення) з реакцією, що протікає з додатною зміною вільної енергії  $+\Delta G$  (реакції синтезу) біологічна система здійснює хімічну роботу й синтезує спочатку проміжну (малорухому з коротким часом «життя») сполуку (робить «зчеплення»). Хімічні зв'язки цієї сполуки затримують на деякий час частину вільної енергії, що виділяється під час реакції, перешкоджають її розсіюванню — перетворенню на тепло.

І вже з проміжної сполуки синтезується лабільний (тобто рухливий) і досить стійкий (а отже й з довгим часом «життя»), добре керований (ферментами) «посередник» — АТФ — аденозинтрифосфатна кислота. Вона акумулює вільну енергію «порціями» у хімічних зв'язках фосфатних залишків кислоти  $H_3PO_4$ , їх називають *макроергічними*. Синтез АТФ як «посередника» виправданий: у біологічній системі неможливе пряме, без перетворень, використання енергії хімічних сполук на виконання корисної роботи.

Перші «патенти» на «макроергів» (макроергічні сполуки), напевно, варто було б видати мікробам. АТФ — одне з головних винаходів хімічної еволюції. Ця невисокомолекулярна сполука унікальна й має низку цінних якостей. За мільярди років еволюція відібрала низку сполук-«помічників», але не знайшла рівнозначної заміни АТФ (і вже не шукає — навіщо даремно час витратити?)

Обмін речовин відбувається й у неживій природі, однак цей процес значно відрізняється від обміну в живих системах. Ця відмінність зумовлена насамперед тим, що обмін речовин у біосистемах забезпечує постійне самооновлення, саморегуляцію й самовідтворення та здійснюється завдяки злагодженій дії численних структур. У результаті обміну речовин енергія в біосистемах може накопичуватися, зберігатися й використовуватися для процесів життєдіяльності. Окрім того, ознаками біологічного обміну речовин й перетворення енергії є поетапність перебігу, біокаталітичний характер і регульованість процесів внутрішньосистемного перетворення (мал. 2.16).

Дізнатися більше про обмін речовин та енергії, провести паралелі зі світом техніки, фізичних або хімічних систем ви зможете, проаналізувавши інформацію, наведену в таблиці 2.4 (зробіть це).



Мал. 2.16. Біологічний обмін речовин

Таблиця 2.4

Властивість	Приклад з життя організмів	Приклад з техніки, фізики або хімії
<b>Ентропія</b>		
Експорт	Організми є селективно відкритими термодинамічними системами з підсистемами (органами), для яких властивий експорт ентропії. Актуальна ентропія організму утримується нижче максимально можливої межі, яка означає смерть	Технічні системи з механізмами саморемонту. Передавання даних з коригуванням помилок. Як і в організмів резервування (англ. Redundancy) забезпечує тут необхідну відстань між наразі досягнутою та максимально можливою ентропією
<b>Обмін енергією із середовищем</b>		
Поглинання енергії	Тварини одержують енергію через їжу завдяки обміну речовин із середовищем. Рослини поглинають енергію світла під час фотосинтезу. Бактерії-хемосинтетики отримують енергію завдяки окисненню водню, мангану, заліза, сірки, амоніаку тощо	Скелі нагріваються за день унаслідок поглинання енергії світла...
Віддавання енергії	Усі організми, а особливо ссавці, віддають енергію безпосередньо у вигляді тепла та опосередковано через викидання речовин	...і знову віддають її протягом ночі
<b>Обмін речовин із середовищем</b>		
Приймання	Приймання їжі	Заправлення автомобіля бензином
Віддавання	Тварини віддають у середовище вуглекислий газ і воду	Викиди автомобіля, що переважно складаються з вуглекислого газу й води
Обмін речовин (хімічне перетворення речовин)	Характерний для всіх організмів (окрім вірусів, віроїдів і пріонів)	Свічка, що горить

Властивість	Приклад з життя організмів	Приклад з техніки, фізики або хімії
<b>Обмін інформацією</b>		
Приймання інформації	Рослини розпізнають, наскільки високо піднялося сонце	Експонетр фотоапарата вимірює діафрагму
Передавання інформації	Попереджувальне забарвлення ос, мова бджіл і людей	Світлофор
<b>Речовинна основа</b>		
Основні складники	Біомолекули	Молекули води
Носії інформації	ДНК, РНК	Кристали металів



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Назвіть принципи класифікації живого. Як змінювалися підходи до систематики об'єктів живої природи?
2. Для синтезу нових речовин необхідна енергія. Звідки її отримують клітини? Які структури клітини беруть участь в енергетичному обміні?
3. Завдяки яким процесам відбувається синтез АТФ? Скільки молекул АТФ утвориться внаслідок повного окиснення трьох молекул глюкози?
4. Поясніть цитати: а) «Рослина — посередник між небом і землею. Вона — істинний Прометей, який викрав вогонь з неба»; б) «Бродіння — це наслідок життя без вільного газоподібного кисню».
5. За яких умов відбувається фотосинтез?
6. Що відбувається в темнову фазу фотосинтезу?
7. Де в процесі фотосинтезу синтезується АТФ? Як вона використовується?
8. У чому полягає планетарна роль фотосинтезу?
9. На чому ґрунтується твердження: «Фотосинтез має значення не лише для рослин, а й для хижаків»?
10. У чому полягає хемосинтез? Бродіння? Клітинне дихання?
11. Наведіть приклади ланцюгів живлення.
12. Опишіть, як здійснюється біологічний колообіг речовин.
13. У чому полягають прояви законів збереження в живій природі?



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Складання трофічних ланцюгів різних екосистем.

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Подібність у будові та проявах життєдіяльності рослин, бактерій, грибів, тварин — свідчення єдності живої природи.
- Поглинання сонячної енергії живими організмами та сонячними батареями (іншими пристроями).
- Як дихають (ростуть, розмножуються...) рослини, бактерії, гриби, тварини.



## Г. 3.

# ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

Біологічна еволюція — це процес зміни організмів, їхніх груп, видів, вищих систематичних категорій, генів, органів, ознак, екосистем і біосфери в ході історичного розвитку Землі. Складно? Незрозуміло, хто й у який бік змінюється? Розберімося.

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Називати* методи дослідження історії Землі; основні види адаптацій.

*Характеризувати* основні положення теорій еволюції; розвиток поглядів на механізми еволюції; чинники еволюції.

*Наводити приклади* доказів еволюції; дії природного добору та боротьби за існування, географічного та екологічного видоутворення.

*Описувати* основні події з історії органічного світу Землі. *Порівнювати* географічне й екологічне видоутворення.

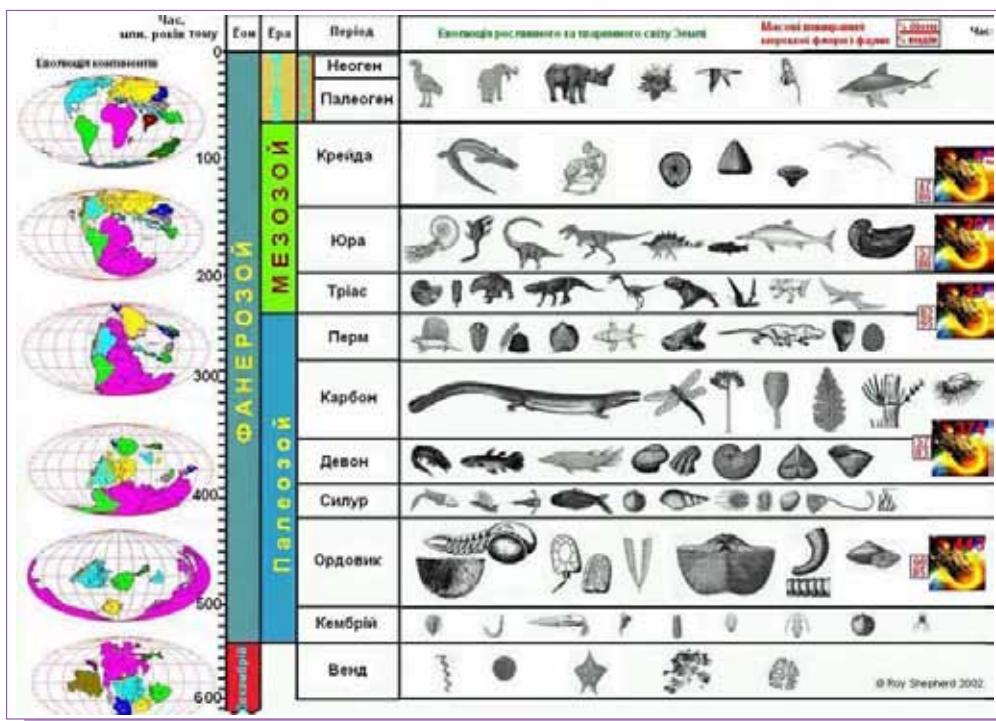
*Розуміти* зв'язок між еволюційним розвитком природи та геологічною історією Землі; значення адаптацій в еволюції органічного світу.

*Застосовувати знання* про еволюцію для обґрунтування єдності органічного світу.

*Пояснювати* механізми виникнення видів, рушійні сили еволюції; типи еволюційних змін (дивергенція, конвергенція, паралелізм)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІСТОРІЇ ЗЕМЛІ

Порівняймо геохронологічні шкали, які ми розглядали в розділах В.1, с.19 та Г.1, с. 264. Що можете сказати про найважливіші події, указані на цих шкалах? На першій більше відображено геологічні зміни, на другій — біологічні. А це означає, що майже всі галузі природознавства зробили свій внесок у розуміння основних подій минулого Землі: від утворення гірських порід, виникнення й руйнування форм рельєфу, занурення суші під воду, відступ моря, зледеніння, до появи й зникнення тварин і рослин та інших подій, що може бути відображено на геохронологічній шкалі (мал. 3.1).



Мал. 3.1. Ще одна геохронологічна шкала

Історію Всесвіту в розділі В. 1 ми розглядали, стиснувши час в один рік. Якщо історію Землі стиснути до 24 годин, то життя б уже виникло о четвертій годині ранку, а наземні рослини о 22:24. О 23:41 унаслідок страшної катастрофи вимерли б динозаври, а людська історія розпочалася б лише в 23:58:43. Упродовж цього досить пришвидшеного дня материка рухаються й невинно стикаються один з одним. Гори здіймаються й опускаються, океани припливають і відпливають, льодовики наступають і відступають, щось блимає і бахкає — це відбуваються зіткнення з астероїдами.

Дивно, що в середовищі, постійно атакованому й дестабілізованому чимось, щось вижило. І нам не хотілося б вас засмучувати, але життя на Землі має характерну властивість: схильність до вимирання. І що складнішими є організми, то швидше вони вмирають.

Розвиток тваринного та рослинного світу, що тривав протягом багатьох мільйонів років, учені відстежують під час вивчення будь-яких копалин біологічного походження. До них належать не лише рештки організмів (збережений скелет, м'які тканини, фрагменти скелетів, органічні залишки), а й біогеохімічні компоненти, що виникли в біосфері минулого за участю організмів (це сліди життєдіяльності, зокрема відбитки, сліди повзання й заривання тощо). Для всіх них широко використовують терміни «органічні залишки», «викопні рештки», і «скам'янілості» (мал. 3.2). Виявлені 1818 р. кістки стали першими вивченими й збереженими кістками динозавра. Щоправда їх ідентифікували лише 1855 р.



Мал. 3.2: а — як досліджують викопні рештки (розкопки в Південній Америці); б — викопні рештки: 1 — панцир трилобіта (ордовик); 2 — відбиток таргана (юра); 3 — мушля амоніта (крейда); 4 — відбиток м'якотілого організму Inagia; 5 — мушля радіолярії (крейда); 6 — скелет морської лілії; 7 — скелет саламандри (юра); 8 — скелет птерозавра (юра); 9 — листок берези (неоген); 10 — череп текодонта (тріас); 11 — гніздо гадрозавра (крейда); 12 — череп хазарського слона (четвертинний період)



Палеонтологічні докази еволюції представлені викопними рештками. У найглибших, найдавніших шарах немає ані тварин, ані рослин. Далі розташовані дивні мінерали, утворення яких майже неможливе за законами геохімії, але легко відбувається під дією бактерій. У вищих шарах знаходять уже й залишки бактерій і ціанобактерій (організмів, здатних до фотосинтезу). Усе далі й далі догори ми не бачимо нічого цікавого, окрім бактерій. Аж раптом — що це? Відбитки, схожі на черв'як, медуз і водорості. З'явилися тварини й рослини! Вище, вище... Тварини стають усе різноманітнішими, бачимо залишки зі скелетами, мушлями. Рослини всі ті самі — водорості. Ще вище ми бачимо перших риб: хрящових, панцирних і дуже дивних. Звертаємо увагу, що всі тварини, яких ми знаходимо, радше за все морські. Медузи, корали, молюски, схожі на раків трилобіти й аномалокаріси... А ось якась багатоніжка — вона сухопутна. Чи, може, вона повзала морським дном? Усе вище риби стають схожими на сучасних — лопатепері, променепері — хоча це все ще не щуки та соми. Але не бачимо жодного зайчика чи жабки. Жодного метелика. Жодної вільхи чи сосни. Та й взагалі з рослин тільки водорості. Аж ось знаходимо перші рослини, які могли б рости на суходолі, з коренем і пагоном. Вище риби стали зовсім дивними: з плавцями, які більше схожі на ноги. Ще вище спостерігаємо об'єкти, подібні до гігантських тритонів і саламандр. Оце так гіганти: 5–10 м завдовжки! Далі бачимо динозаврів, а потім і птахів із ссавцями. Істоти, схожі на людей, з'являються в тоненькому шарі віком не більше 2–3 млн років.

Але звідки ми знаємо, що шари мають саме такий вік?

Історію Землі вивчають за допомогою комплексу різноманітних методів:

- *геологічні* дослідження історії Землі, зміни флори й фауни в різні геологічні епохи;
- *палеонтологічні* дослідження викопних решток організмів минулих геологічних епох і слідів їхньої життєдіяльності;
- *анатомічні* дослідження внутрішньої будови органів, їхніх систем і організму в цілому та порівняння їх;
- *ембріологічні* — у вузькому сенсі дослідження зародкового розвитку, а в широкому — вивчення індивідуального розвитку організмів (онтогенезу);
- *молекулярно-генетичні*, що дають змогу чітко та однозначно визначити родинні зв'язки між організмами, вивчити еволюційні процеси на молекулярному рівні. Ці методи є ключовими в сучасних еволюційних дослідженнях;
- *біогеографічні* дослідження закономірностей географічного розподілу тварин і рослин на Землі, визначених історичними чинниками (виникнення біогеографічних областей, розподіл видів поверхнею Землі);
- *екологічні* методи враховують процеси виникнення різних пристосовань, які виробляються в процесі взаємодії організмів з навколишнім середовищем і закріплюються генетично (успадковуються) та зміни екосистем і біосфери в цілому.

У геологічних і палеонтологічних дослідженнях визначення віку шарів Землі від верхніх до нижніх застосовують різні підходи: зокрема, еволюційний, радіофізичний, біологічний.

Знання еволюційного розвитку органічного світу й наявність останків (скелетів) організмів розставляє цілком конкретні опорні точки й дає змогу встановити вікові співвідношення геологічних шарів, що залягають на великій відстані один від одного. Але цей метод має недоліки. Наведемо для наочності спрощений приклад. Припустимо, після сильних дощів з гір зійшов сіль, і морська затока виявилася похованою разом з її мешканцями. Через деякий час на цьому місці виріс ліс, і в ньому оселилися звірі. Чергова катастрофа поховала і їх. Чи вказують два таких пласти на еволюційний розвиток життя протягом мільйонів років? Звісно, ні. Сучасні вчені приходять до висновку, що послідовність шарів зовсім не є повільним і поступовим укарбуванням в камені історії розвитку життя, а є наслідком катастроф.

Більш точно встановити вік шарів можна, застосувавши закони радіоактивного розпаду. Пригадуєте, ви їх вивчали в курсі фізики. Лежить собі купка атомів радіоактивних елементів, а через певний інтервал часу (характерний період піврозпаду саме цієї речовини) випромінює радіацію вже половина купки. Фізики — люди серйозні. Вони рахують речовини з точністю до атома, а час — у мільйонних і мільярдних частках секунди, тож їхнім розрахункам можна довіряти. Ось вони й беруть зразки атомів (скажімо, Карбону чи Калію) і дивляться, чи багато залишилося там радіоактивних ізотопів. Трошки математики — і ми вже знаємо точний вік.

Ізотопні методи виникли тільки в середині ХХ ст. і лише вписалися в сформовану систему, засновану на гіпотезі еволюції. Проте і їхнє застосування не може бути абсолютно точним. Річ у тім, що породи не лежать спокійно мільйони років. З різних причин відбувається постійне їхнє переміщення. Тому поміж шарів можна виявити породи, що не відповідають цьому періоду. Тоді на допомогу дослідникам приходять біологічні методи. Палеоботаніки, озброєні мікроскопом, детально вивчають спори з пилок рослин, зокрема й навколо знайдених кісток і на них самих, та виключають помилки датування, оскільки мікроскопічні спори й пилок зберігаються в геологічних покладах мільйони років і в кожного виду рослин спори та пилок свої, неповторні за формою. Якщо, наприклад, в геологічному шарі виявляють кам'яновугільні ліси, то незалежно від радіодатування їх відносять до палеозойської ери (400 млн р. тому), якщо ж раптом трапляється динозаври або амоніти, то, зазвичай, змінюють дату на мезозойську еру (200 млн р. тому). Тож датування підтверджують даними з фізики, геології, біології.



#### **У чому відмінність між археологією, геологією й палеонтологією?**

Цікаве запитання. Передусім потрібно зазначити, що геологія — це великий комплекс наук, у кожній з яких є певний об'єкт вивчення. Тому геологію й визначають як сукупність наук про будову Землі, її походження та розвиток. Об'єктом вивчення геології є земна кора, геологічні процеси й історія Землі.

Розгляньмо стисло основні науки, з яких складається геологія.



По-перше, це науки про земну кору (мінералогія, петрологія), по-друге, — науки про сучасні процеси в земній корі (вулканологія, сейсмологія), науки про історію геологічних процесів — і ось *відповідь на друге питання* (сюди входить *палеонтологія*, яка вивчає древні форми життя, описує викопні останки й вивчає сліди життєдіяльності організмів). Отже, палеонтологія — це *підрозділ історичної геології*.

У комплекс геології входять також різні суміжні науки, такі як геофізика та геодинаміка.

А як щодо археології? Вона до геології, на відміну від палеонтології, жодного стосунку не має, бо це є суто *історична* наука. Це є її головною відмінністю від попередніх двох наук. Археологія вивчає минуле людства.



Це сьогодні знання, які здобували впродовж віків, доступні кожному з вас. Хочете дізнатися вік Землі — прочитайте цю книжку, або просто задайте пошук у Google — і ось ви маєте відповідь. А як про це дізнавалися, коли ще не було Google?

Одна з найкращих на той час ідей щодо визначення віку планети запропонована Едмуном Галлеем (1656–1742, Велика Британія) у 1715 р. Він припустив: якщо розділити загальну кількість солі у світовому океані на кількість, що додається щороку, можна отримати кількість років, упродовж яких існують океани, що дасть приблизне уявлення про вік Землі. Логіка його міркувань спокуслива, але, на жаль, ніхто не знав, скільки солі у світовому океані й наскільки щороку збільшується її кількість. Це робило експеримент нездійсненним.

Визначенням віку Землі переймався упродовж другої половини життя видатний фізик Вільям Томсон лорд Кельвін (1824–1907, Велика Британія). Так, саме той лорд Кельвін, чийм ім'ям названо термодинамічну шкалу температур, і який є визнаним чи не в кожній галузі фізичної науки. А ось завдання визначити вік Землі виявилось для нього найскладнішим.

Просто у фізиці не було нічого, що могло б пояснити, як небесне тіло завбільшки із Сонце могло безперервно горіти понад кілька десятків мільйонів років, не вичерпавши всього пального. Звідси випливало, що Сонце та його планети були відносно молодими. Проте викопні рештки доводили протилежне.

Ситуація змінилася, коли у 1896 р. Антуан Анрі Беккерель (1852–1908, Франція) випадково відкрив явище радіоактивності, яке згодом дослідило подружжя Кюрі (П'єр Кюрі, 1859–1906; Марія Склодовська-Кюрі, 1867–1934, Франція). Прагматичний Ернест Резерфорд (1871–1937, Велика Британія) першим зрозумів, як практично застосувати це явище. Адже для будь-якого зразка радіоактивного матеріалу існує період піврозпаду, і цей час є незмінним. Тож сталий темп цього розпаду можна використати як годинник. Резерфорд дослідив ураніт (основний елемент уранової руди) і виявив, що йому 700 мільйонів років! Це було значно більше за прогнозований вік Землі й стало для тогочасних учених великою несподіванкою.

Визначити вік Землі за хімічним складом метеоритів, які по суті є залишками будівельних матеріалів, що збереглися з ранніх часів формування Сонячної системи, запропонував американський геохімік Клер Кемерон Паттерсон (1922–1995, США). Паттерсону знадобилося сім років наполегливої праці, щоби лише відібрати необхідні зразки. І ось 1953 р. науковець, працюючи на мас-спектрографі останньої моделі — приладі, здатному виявляти й вимірювати наймізерніші кількості Урану й Пльумбуму в древніх кристалах, отримав результат і оголосив вік Землі — 4 550 мільйонів (плюс-мінус 70 мільйонів) років. Коли Паттерсон отримав цей результат, то так розхвилювався, що подумав, що у нього стався серцевий напад. Хай там що, завдяки працям Паттерсона до 1953 р. нарешті визначили вік Землі!

Але виникла нова проблема — Земля стала старшою за Всесвіт (за тогочасними гіпотезами щодо його утворення).

Далі ми розглянемо основні віхи, установлені на геохронологічній шкалі, але при цьому зауважимо, що завдяки розвитку геологічної науки й отриманню ще точніших даних, ця шкала колись може бути змінена.

Історію Землі відповідно до геологічних і еволюційних подій поділяють на ряд часових відрізків різної тривалості. До того ж в еволюції життя зазвичай виокремлюють два дуже великих неоднакових за тривалістю проміжки часу — *еони*. Перший — Докембрій (його ще називають первинним періодом) охоплює величезний часовий відрізок від 3,6 до 0,6 млрд р. і складається з двох ер — Архею (від грец. *αρχαίος* — *давній*) і Протерозою (від грец. *πρωτερος* — *перший, старший* та *ζωή* — *життя*). В Археї на Землі жили переважно одноклітинні організми, а в Протерозої вже виникли водорості й м'якотілі (позбавлені будь-якого твердого скелета) багатоклітинні тварини, які не залишили жодних слідів в осадових породах. Тому «первинний період» ще називають *часом прихованого життя*.

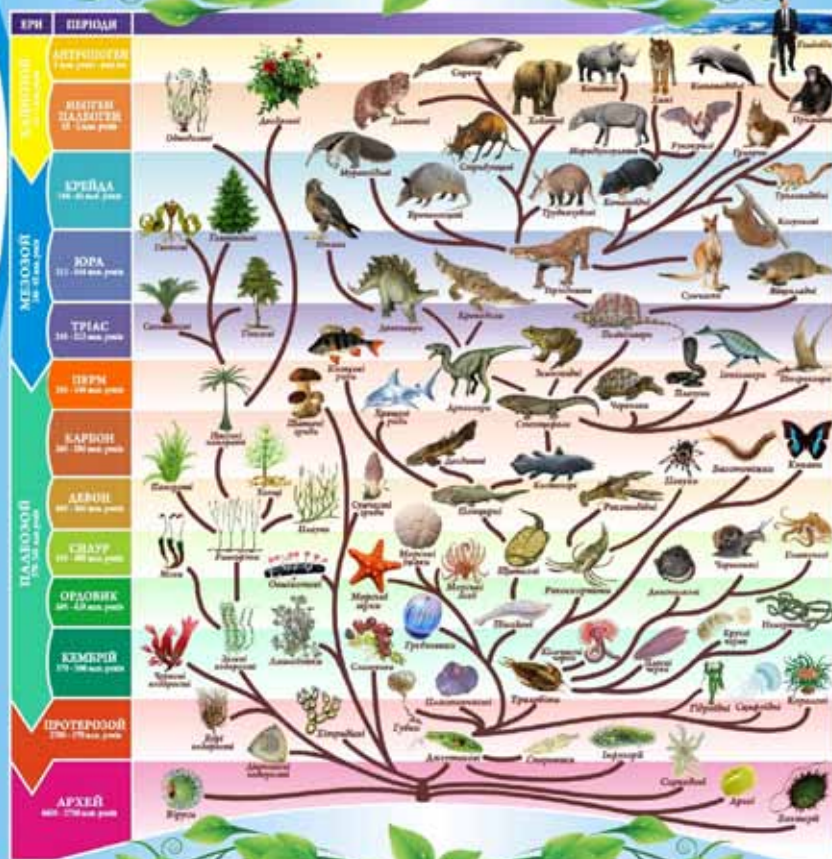
Набагато більший інтерес для дослідження еволюції становить другий еон — Фанерозой (від грец. *φανερος* — *явний* та *ζωή* — *життя*). Палеозой (від грец. *παλαιός* — *прадавній* та *ζωή* — *життя*) і Мезозой (від грец. *μεσος* — *середній* та *ζωή* — *життя*) — дві перші ери Фанерозою — становлять 340 млн і 170 млн р. відповідно. У цей проміжок історії розвитку Землі відбулася інтенсивна еволюція багатоклітинних тварин. У результаті утворилися представники всіх сучасних типів і класів царств тварин і рослин.

Організми еволюціонували від примітивних до складніших. Наприклад, перші хордові виникли на самому початку Фанерозою — у Кембрійському періоді (близько 488 млн р. тому), безщелепні рибоподібні — в Ордовикському періоді (близько 440 млн р. тому); щелепні риби й амфібії — у Девонському періоді (близько 360 млн р. тому), примітивні яйцекладні ссавці — у Тріасовому періоді (близько 200 млн р. тому) і птахи — у Юрському періоді близько (146 млн р. тому).

Подібну ситуацію спостерігаємо й з рослинами. Перші судинні рослини з'явилися в Ордовикському періоді (440 млн р. тому), деревоподібні папороті панували на Землі на межі Палеозою й Мезозою (близько 220–200 млн р. тому), розквіт голонасінних припав на Тріасовий і Юрський періоди (200–140 млн р. тому), а початок еволюційного піднесення квіткових рослин — на Крейдовий період (близько 65 млн р. тому). Важливою подією цього історичного відрізка часу, що відіграла ключову роль у подальшій еволюції тварин і рослин, став вихід істот на суходіл. Спочатку це відбулося у Силурійському періоді (416 млн р. тому), коли першопоселенцями стали примітивні судинні рослини й членистоногі (скорпіони й павуки), а потім — у Девонському (420–360 млн р. тому) і Карбоновому періодах (360–300 млн р. тому), коли суходіл заселили амфібії та рептилії.

Кайнозой (від грец. *καινός* — *новий* та *ζωή* — *життя*) — остання ера геологічної історії Землі, час розвитку сучасної флори й фауни. У цю еру максимального розвитку досягли ссавці, птахи, костисті риби, комахи й квіткові рослини. У кайнозої виник і вид *Homo sapiens* — людина розумна (мал. 3.3). Тому цей період ще називають антропогеном (від грец. *άνθρωπος* — *людина* та *γενεσις* — *виникнення*).

# ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ



Мал. 3.3. Ілюстрація розвитку рослинного й тваринного світу на Землі

Геологічна історія Землі засвідчує, що в біосфері постійно відбувалося виникнення й зникнення видів — усі види мають кінцевий час існування. Вимирання компенсувалося появою нових видів, і в результаті загальна кількість видів у біосфері періодами катастрофічно зменшувалася, але потім знову зростала. За останні 500 млн р. було принаймні п'ять масових вимирань (ордовського, девонського, пермського, тріасового та крейдового періодів). Страхітливим було масове вимирання пермського періоду — найбільше вимирання в історії земної біосфери, що розділяє палеозой (пермський період) і мезозой (тріасовий період) — близько 265 млн р.

тому. Вимерло приблизно 96 % усіх морських і 70 % наземних хребетних видів. Також це є єдиним масовим вимиранням комах (83 % видів).

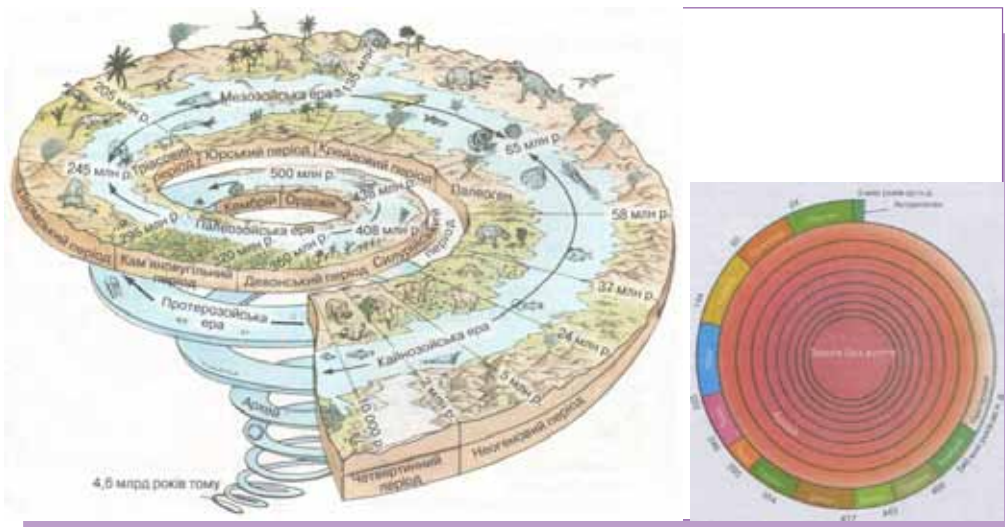
Вимирання було швидким (тривало не більше 200 тис. р.), синхронним у морі й на суші, супроводжувалося масовими пожежами. Імовірно, його причиною став різкий викид парникових газів, що призвело до значного перегріву планети й посухи. Першими загинули тропічні ліси, за ними — інша рослинність, результатом чого стало різке посилення ерозії та загибель ґрунтів (мал. 3.4).



Мал. 3.4. Ілюстрація масового вимирання пермського періоду

Кількість видів, з яких складається нинішній органічний світ, є лише незначною частиною загальної кількості видів, що виникали на нашій планеті від найдавніших часів до нашої ери. Остаточо вимерло понад 99 % усіх видів, які виникли на Землі. Як не дивно, але вимирання видів на Землі, у буквальному сенсі, є способом життя. Після вимирання одних видів виникали умови для розвитку інших.

Якщо про самі факти вимирання у вчених немає заперечень, то їхні причини дотепер достеменно невідомі. Одна з причин того, чому так тяжко знайти переконливі пояснення вимирань, полягає в тому, що дуже складно знищити життя у великих масштабах. А ще важче пояснити, чому виживає решта живих істот.



Мал. 3.5. Ще один вигляд геохронологічної шкали

Відмічено, що еволюція на нашій планеті відбувається з пришвидшенням. Для того щоб на Землі зародилося життя, знадобилося від 1 млрд р. до 1,5 млрд р., щоб виникли еукаріоти та статевий процес — ще близько 1 млрд р. На те, щоб виникли перші багатоклітинні, пішло ще близько 800 млн р. Виникнення хребетних відбулося через 600 млн р., а ссавців — через 200 млн р. Саме тому геохронологічну шкалу часто зображають не у вигляді таблиці, а у вигляді спіралі, що розкручується (мал. 3.5).

## ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ

Ми дізналися про сучасні методи дослідження історії Землі. Побачили, що життя на Землі в різні епохи однозначно було різним. Але чим зумовлені зміни? Звідки беруться нові види?

Це ми сьогодні всі знаємо, що в живій природі відбуваються еволюційні зміни, природний відбір, пристосування організмів до умов існування, мутації й збереження спадкових ознак. Знаємо, що між ембріонами різних груп організмів є подібності. А у який спосіб і завдяки чому це стало відомо?

Повернімося на триста років тому. У XVIII ст., коли світосприйняття ще формувалося під впливом релігійних догм, практично всі вчені дотримувалися креаціоністських поглядів — усе живе на Землі створене «вищими силами». Однак їхні погляди розділялися: одні вважали, що всі живі об'єкти залишаються такими, якими їх створив «усевишний», інші — що вони змінюються, і сьогодні ми бачимо їх уже видозміненими порівняно з давнішими представниками. І першим, хто відкрито й обґрунтовано (на скільки це було можливо в тих умовах) пояснив еволюційний процес на основі природного й статевого добору, був англійський учений Чарльз Роберт Дарвін (1809–1882, Велика Британія). Чарльз Дарвін брав участь в експедиційних дослідженнях геології, фауни, флори, був спостережливим, занотовував бачене й намагався дати йому раціональне пояснення. Понад 20 р. він настирливо розвивав й обґрунтовував свою ідею про те, що вимерлі тварини й ті, що існують зараз, мають спільне походження, але останні істотно змінилися.

З 1859 по 1871 р. вийшли у світ геніальні праці Чарльза Дарвіна «Походження видів за допомогою природного добору або збереження вибраних рас у боротьбі за життя», «Зміна свійських тварин і культурних рослин», «Походження людини й статевий добір», які становлять єдину наукову трилогію, і в яких наведено докази історичного розвитку органічного світу, встановлено рушійні сили еволюції, визначено шляхи еволюційних перетворень, нарешті, показано, як і з яких позицій потрібно вивчати складні явища й процеси природи. Це була цілком наукова теорія. Ба більше, це була перша теорія, що описувала асиметричний у часі процес. Подібні теорії у фізиці, що описують нерівноважні процеси, які потребують залучення «стріли часу», виникнуть набагато пізніше.

### Основні положення теорії еволюції Чарльза Дарвіна

1. Усі види істот, що населяють Землю, ніколи і ніким не були створені.
2. Види, які виникли у природі, поступово перетворювалися й вдосконалювалися відповідно до природних умов.

3. Основу перетворень видів у природі становлять мінливість, спадковість, природний відбір.
4. Результатом еволюції є пристосованість організмів до умов існування і різноманітність видів у природі.



Дарвін з'ясував, що всі істоти пов'язані між собою, а Мендель пояснив механізм того, як це могло відбуватися. Обоє цілком могли б допомогти один одному. У Менделя було німецьке видання «Походження видів», відомо, що він його читав, тож, мабуть, усвідомлював придатність своєї праці до теорії Дарвіна, проте, здається, він навіть не намагався зв'язатися з автором. Як там не було, але попри те, що працювали роздільно, Ч. Дарвін і Г. Мендель разом заклали ґрунт усіх наук про життя ХХ ст.



Чарльз Дарвін  
(1809–1882),  
Велика Британія



Грегор Мендель  
(1822–1884),  
Австрія

З розвитком генетики, зокрема з відкриттям законів Менделя, та молекулярної біології (*пригадайте, що вивчає ця наука*) виникла необхідність удосконалення еволюційної теорії. На початку 40-х років ХХ ст. була створена *синтетична теорія еволюції* (СТЕ), тобто та, яка утворилася внаслідок синтезу знань з різних біологічних наук. У розроблення синтетичної теорії еволюції зробили внесок багато вчених. Зокрема, Сергій Сергійович Четвериков (1880–1959, Росія), Джон Голдейн (1892–1964, Велика Британія), Микола Володимирович Тимофеев-Ресовський (1900–1981, Росія), Феодосій Григорович Добржанський (1900–1975, Україна, США), Рональд Фішер (1890–1962, Велика Британія).

#### Основні положення СТЕ

1. Найменша одиниця еволюції — популяція: усі еволюційні перетворення відбуваються в популяції.
2. Матеріалом для еволюції є спадкові зміни — мутації (зазвичай генні) та їхні комбінації.
3. Основним рушійним чинником еволюції є природний відбір, що виникає на основі боротьби за існування.
4. Еволюція має поступовий і тривалий характер, може відбуватися в різні способи.
5. Еволюція — це адаптаційний процес, тобто вона базується на пристосуванні виду до умов навколишнього середовища.

Значення синтетичної теорії еволюції полягає в заміні типологічного мислення, за яким елементарною одиницею еволюції вважали особину (індивідум), на популяційне, що ґрунтується на визнанні популяції як



елементарної одиниці еволюції. СТЕ показала неспроможність попередніх еволюційних теорій пояснити еволюційний процес дією лише одного еволюційного чинника. За цією теорією еволюція є результатом взаємодії всіх елементарних еволюційних чинників за інтегративної та спрямованої ролі природного добру.

Однак не можна забувати й про недоліки, що притаманні їй, як і будь-якій іншій теорії. Її створювали на прикладах видів багатоклітинних організмів, які розмножуються статевим шляхом. Тому цілком зрозуміло, що для випадків з розглядом еволюційних процесів видів, які не мають статевого розмноження або не є багатоклітинними, можуть виникати труднощі з поясненням певних процесів.

У кінці ХХ ст. Михайлом Олександровичем Шишкіним (нар. 1936, Росія) на основі ідей Івана Івановича Шмальгаузена (1884–1963, Україна, Росія) та Конрада Воддінгтона (1905–1975, Велика Британія) започатковано *епігенетичну теорію еволюції (ЕТЕ)*.

#### Основні положення ЕТЕ

1. Визначальний вплив на спадковість має не геном, а епігенетична система (ЕС) — сукупність чинників, що впливають на онтогенез.
2. Від предків до нащадків передається загальна організація ЕС, яка і формує організм під час його індивідуального розвитку, причому відбір веде до стабілізації низки послідовних онтогенезів, усуваючи відхилення від норми (морфози) і формуючи стійку траєкторію розвитку (креод).

Проблеми, порушені епігенетичною теорією, дуже близькі до тих, які вивчає еволюційна біологія розвитку (ЕБР) (англ. *evo-devo* — evolutionary developmental biology), що швидко розвивається нині в західних країнах.

Тобто якщо порівнювати сучасні теорії еволюції, то головним чинником у СТЕ є природний відбір генетичних мутацій у ДНК, у ЕТЕ та ЕБР — механізми внутрішньої спрямованої мінливості онтогенезу за сталого генотипу особин.

Значна кількість біологів на початку ХХІ ст. каже про потрібність наступного синтезу знань про еволюцію у вигляді нової теорії. Чому ж виникає така необхідність? Невже ще є нез'ясовані питання еволюції? Річ у тім, що саме *явище еволюції* не викликає сумніву в науковій спільноті. Предметом дискусії є *механізми еволюції*, постульовані певними теоріями. Зокрема, до проблемних питань теорій еволюції належать:

- проблема спрямованості еволюції;
- еволюційний прогрес;
- роль відбору;
- адекватність мінливості;
- проблема монофілії й еволюції вищих таксонів;
- емерджентність, утворення нового.

Окрім того, палеонтологи-еволюціоністи побачили, що різні форми життя розвивалися стрибкоподібно, а не поступово. Тобто з викопних решток видно, що нові види виникали раптово, протягом свого існування майже не змінювалися, а потім несподівано зникали.



Щоб пояснити, чому розбиті чашки ніколи знову не з'являються цілими на столі, зазвичай посилаються на те, що це суперечило б другому закону термодинаміки — закону, що описує необоротні процеси. Згідно з цим законом в будь-якій замкненій системі безлад, або ентропія, завжди зростає з часом. Іншими словами, ціла чашка на столі — це стан вищого порядку, а розбита, що лежить на підлозі, перебуває в стані безладу. Неважко простежити події від цілої чашки на столі в минулому до розбитої на підлозі, але зворотний хід подій неможливий.

Збільшення безладу (ентропії) з плином часу — це одне з визначень так званої стріли часу, що описує час як пряму, що спрямована з минулого в майбутнє. З будь-яких двох незбіжних точок стріли часу одна завжди є майбутнім щодо іншої. Можна говорити принаймні про три різні стріли часу. По-перше, стріла термодинамічна, яка вказує напрямком часу, у якому зростає безлад, або ентропія. По-друге, стріла психологічна. Цей напрямок, у якому ми відчуваємо хід часу, напрямком, за якого ми пам'ятаємо минуле, але не майбутнє. І по-третє, стріла космологічна. Це напрямком часу, у якому Всесвіт розширюється, а не стискається.

Речовина Всесвіту розвивалася в напрямку від простого до складного, з хаосу виникали все нові й нові впорядковані структури. Системи, що виникають у таких умовах, ніколи не бувають стабільними й стійкими. Вони завжди далекі від рівноваги і, руйнуючись, знову повертаються до хаосу. Але серед величезної множини подібних новоутворень досить часто та неминуче виникали й системи з мінімальним приростом ентропії, які за певних умов зберігалися, тобто відбувався своєрідний добір лише стійких фізичних і хімічних систем, еволюція яких спрямовувалася у певний бік.

Еволюційні процеси в органічному світі супроводжуються мутаціями, адаптаціями, передаванням інформації тощо. Процеси вимирання й стрибкоподібні еволюційні процеси свідчать про те, що біосистема ніби забуває своє минуле. Вона повинна загинути або віднайти й зберегти нову структуру з новими режимами функціонування. Виникає стріла часу та різниця між минулим, сьогоденням і майбутнім. Система й відповідні процеси стають асиметричними не тільки в просторі, а й у часі. Її існування набуває нового змісту й виникає можливість говорити про *розвиток*.

Отже, природний світ нашої планети розвивався системним шляхом згідно з основними принципами самоорганізації матерії. Створювався своєрідний часово-просторовий континуум, у якому й розгорталися відповідні процеси утворення нових структур і способів підтримки гомеостазу. Жодне з таких новоутворень не виникало незалежно від інших складників системи. Це також сприяло системним перетворенням усєї біосфери, яка еволюціонувала як єдине ціле: будь-які зміни абіотичних чи біотичних чинників спричинювали цілий комплекс перебудов відповідних екосистем та їхніх складників. Особливо енергійно це відбувалося в умовах суттєвих відхилень тих чи тих параметрів довкілля від стаціонарного стану. Тоді зміни відбувалися майже блискавично (за геологічним часом) і біосфера змінювалася радикально.

## ЧИННИКИ ЕВОЛЮЦІЇ

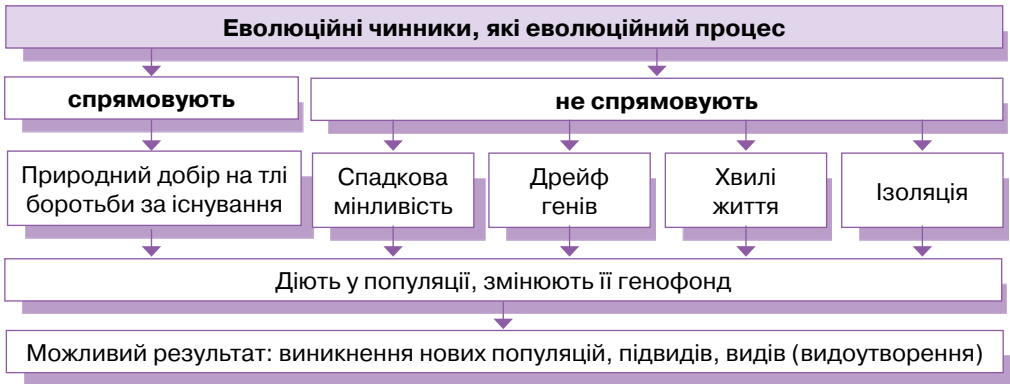
Еволюція відбувається під дією різних чинників. Так називають впливи, що спричиняють зміни популяцій, видів, організмів і мають випадковий характер.

Виокремлюють такі чинники еволюції:

- мутаційний процес;
- дрейф генів;
- популяційні хвилі;
- природний відбір.
- ізоляцію;

Перші чотири з них не спрямовують еволюційний процес, а останній — природний відбір — спрямовує еволюцію на виживання лише найбільш пристосованих особин.

Класифікація та значення еволюційних чинників наведені на малюнку 3.6.



Мал. 3.6. Чинники еволюції

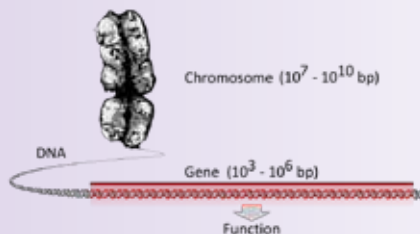
**Мутації** (мал. 3.7) — це зміни генетичного матеріалу (зазвичай ДНК або РНК). Мутації можуть бути спричинені помилками копіювання генетичного матеріалу на стадії поділу клітини, опроміненням жорсткою радіацією, речовинами-мутагенами, вірусами або можуть відбуватися свідомо під клітинним контролем упродовж таких процесів як, наприклад, мейоз або гіпермутація. Мутаційна мінливість і комбінації під час схрещування дають нові поєднання генів у генофонді, що спричинює зміни в генетичній структурі популяції. Виникнення мутацій — це елементарний еволюційний чинник постійної дії. Можна сказати, що мутаційний процес є постаціальним елементарним еволюційним матеріалом.

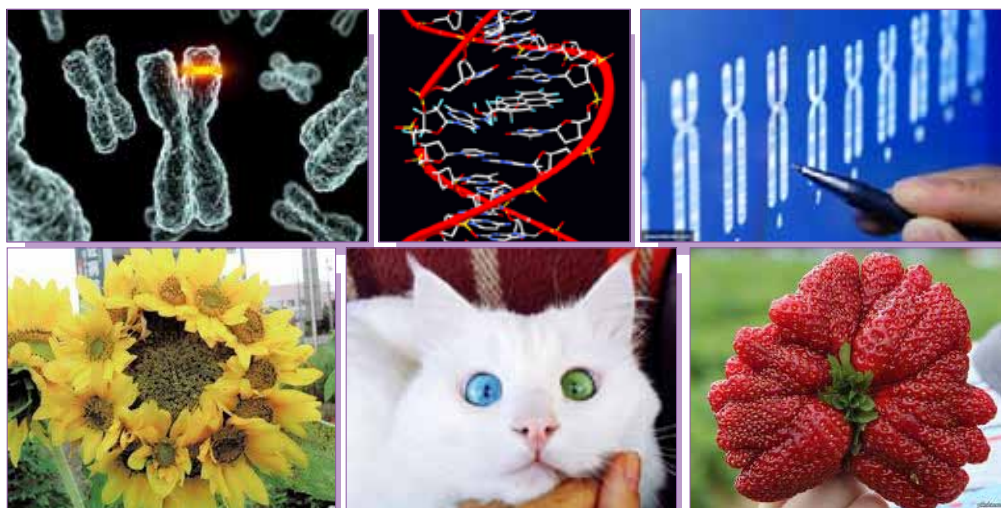


**Ген** — це ділянка ДНК, яка кодує функцію. Хромосома складається з довгого ланцюга ДНК і хромосомних білків. Людська хромосома має до 500 млн пар основ ДНК з тисячами генів.

**Алельні гени, алелі** (від лат. *Allelos* — *протилежний*) — парні гени, що визначають альтернативні взаємовиключені стани тієї самої ознаки. Трапляються в межах однієї популяції організмів і визначають різні фенотипи цих організмів.

**Фенотип** — сукупність характеристик, властивих індивіду на певній стадії розвитку. Будь-яка *спостережувана характеристика* або *риса* організму: його морфологія, розвиток, біохімічні та фізіологічні властивості або поведінка. Фенотипи формуються під дією *генотипу*, опосередкованого низкою чинників довкілля та можливими взаємодіями між ними двома.





Мал. 3.7. Мутації

*Хвилями життя* (популяційними хвилями) називають коливання чисельності популяцій, пов'язане з невибірковим (випадковим) знищенням особин, завдяки чому змінюється співвідношення рецесивних і домінуючих алелів у популяціях. Періодичні або неперіодичні коливання чисельності особин характерні для всіх популяцій. Ви їх теж спостерігали. Пригадайте, як одного року можна потерпати від надокучливих комарів, а іншого їхня кількість у рази менша. Причинами таких коливань можуть бути різні чинники середовища (температура повітря, кількість харчових ресурсів тощо). Помічено, що коливання чисельності популяції мають періодичний характер: після зростання кількості особин відбувається її зменшення. Популяційні хвилі є постачальником еволюційного матеріалу. Наслідком популяційних хвиль є зміна інтенсивності боротьби за існування, а отже — і природного відбору.



Мал. 3.8. Ілюстрація «хвиль життя»

Поняття про *природний відбір* сформульоване Ч. Дарвіном. Під цим терміном учений розумів «збереження сприятливих індивідуальних відмінностей і змін та знищення шкідливих» або «виживання найпристосованіших». Тобто для перебігу природного відбору необхідні:

- більша кількість нащадків, ніж та, що може вижити за цих умов;
- передавання ознак від батьків до нащадків;
- різні типи індивідів у популяції, які мають відмінності за однією чи кількома ознаками;
- вища ймовірність виживання нащадків, які мають певну фенотипову ознаку;
- постійні умови існування в середовищі.

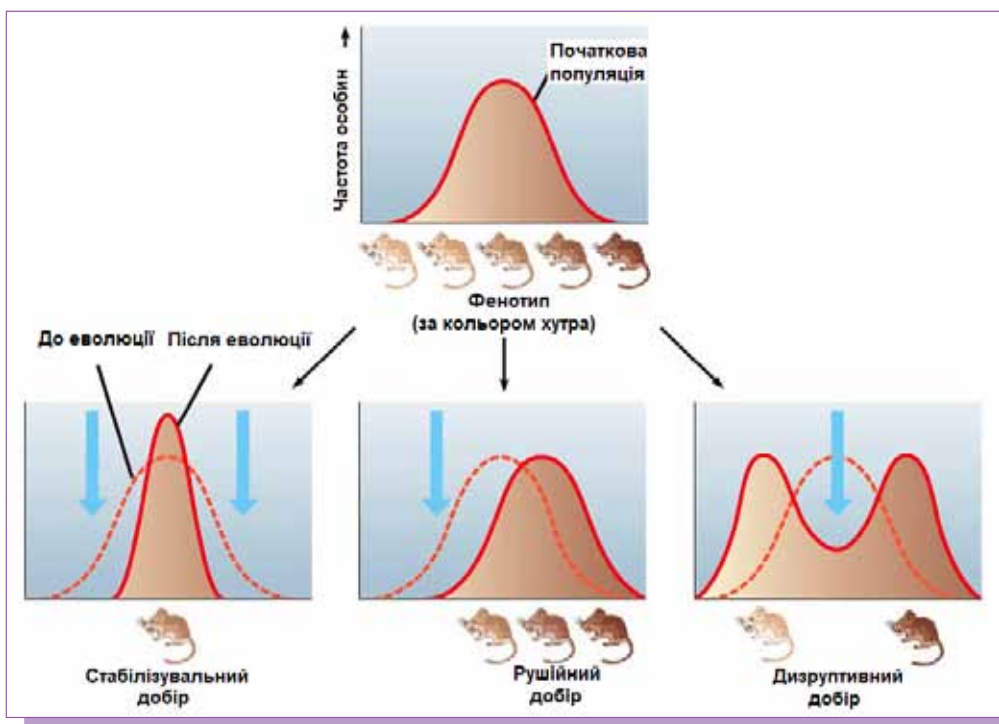
У сучасній науці під природним відбором розуміють процес, у результаті якого виживають і залишають потомство особини, які мають корисні в цих умовах спадкові ознаки. Виникають вони за рахунок мінливості. Унаслідок природного відбору виживають і залишають по собі потомство особини, генотипи яких забезпечують їм найліпшу пристосованість до умов середовища.

Природний відбір ґрунтується на таких змінах генотипу, які підвищують шанси організмів на виживання. Як відомо, зміни в генотипі спричиняють мутації та комбінації генів, що виникають за статевого розмноження. Якщо зміни позитивні, тобто поліпшують виживання організмів в популяції, вони закріплюються добором (передаються в низці поколінь). Якщо ж зміни в генотипі погіршують виживання, такі організми гинуть.

Розрізняють три основні форми природного добору (мал. 3.9): стабілізуювальний, рушійний (спрямований) і розривний (дизруптивний).

Також виокремлюють *статевий відбір* — схильність особин виду здійснювати селективне спарювання за певними ознаками. Статевий відбір виступає як певна форма внутрішньовидового добору, напрям впливу якого збігається із загальною спрямованістю впливу природного відбору.

*Генетичний дрейф* — зміна відносної частоти, з якою певний варіант гену (алель) трапляється в популяції. Через генетичний дрейф варіації гена можуть повністю зникнути, зменшивши внаслідок цього генетичну розмаїтість.



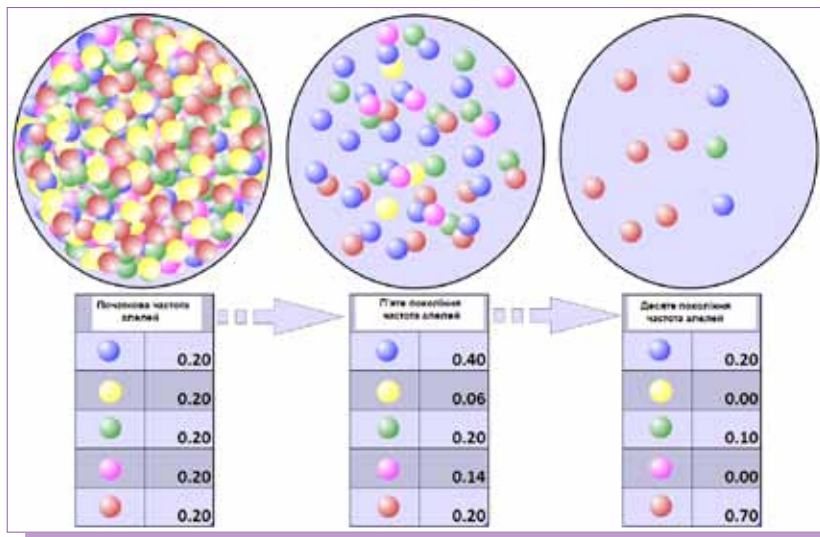
Мал. 3.9. Форми природного відбору: 1 — стабілізуючий — спрямований на збереження певного діапазону мінливості ознаки; 2 — рухливий — зумовлює постійну зміну пристосувань видів відповідно до змін умов середовища та збереження мінливості; 3 — дизруптивний — сприяє виживанню крайніх форм (у яких найбільше виражені ознаки) і розділенню популяції

За малюнком 3.9. поясніть особливості окремих форм природного добору.

Генетичний дрейф є одним з механізмів еволюції, що спричинює зміни в частоті алелей з часом. На відміну від природного відбору, що приводить до виникнення великої кількості алелей, зміни, спричинені генетичним дрейфом не виникають під тиском навколишнього середовища та можуть бути корисними, нейтральними або шкідливими. Тому генетичний дрейф належить до нейтральних механізмів еволюції генів і популяцій. Співвідношення між впливом природного відбору й дрейфу генів у популяції змінюється залежно від сили відбору та ефективного розміру популяції (кількість особин, що здатні до розмноження). Природний відбір зазвичай відіграє більшу роль у великих популяціях, а дрейф генів переважає в малих. Переважання дрейфу генів у малих популяціях може навіть призводити до фіксації шкідливих мутацій. Як результат, зміна чисельності популяції може значно змінювати хід еволюції. Ефект «пляшкового горла» (мал. 3.10), коли чисельність популяції різко знижується й у результаті втрачається генетичне різноманіття, призводить до більшої однорідності популяцій.

Суть теорії еволюції полягає в тому, що початковий матеріал визначено спадковою мінливістю, а природний відбір вибирає осіб, менш

приспособлених до умов існування й залишає найбільш пристосованих. Оскільки багато особин не виживає, і, відповідно, не має змоги залишити нащадків, у популяції відбувається «боротьба за існування» (мал. 3.11). Ті особини, ознаки яких найліпше адаптовані до середовища існування, відтворюють більше нащадків, ніж менш пристосовані види. Тобто *боротьба за існування* — це явище, що розглядає взаємозаміни й адаптації, які виникають унаслідок дії чинників еволюції (це чинники навколишнього середовища, що впливають на особини популяції).



Мал. 3.10. Ефект «пляшкового горла»

Розглядають такі *форми боротьби за існування*:

- внутрішньовидова — відбувається між особинами одного виду за кращі умови існування;
- міжвидова — відбувається між особинами різних видів;
- з абіотичними чинниками — унаслідок їхньої дії гине значна кількість особин.



Мал. 3.11. Приклади боротьби за існування

## ЯК ВИНИКАЮТЬ НОВІ ВИДИ?

Під дією природного відбору на основі спадкової мінливості виникають нові *види*. Пригадайте: вид — це сукупність популяцій особин, які подібні між собою за будовою, процесами життєдіяльності, положенням в

екосистемах (вид займає певну екологічну нішу), населяють певну частину біосфери (ареал), вільно схрещуються між собою (якщо їм притаманне перехресне запліднення) і дають плодючих нащадків.

Розрізняють два основні способи видоутворення — унаслідок ізоляції та внаслідок перетворення виду-попередника на новий вид у процесі його історичного розвитку завдяки пристосуванням до змін довкілля.

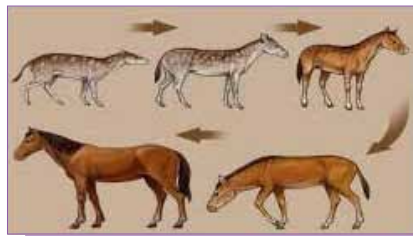
*Ізоляція* — це процес утворення певних бар'єрів усередині популяції, що перешкоджають обміну генетичною інформацією (розмноженню).

*Географічне видоутворення* відбувається в результаті розширення або розділення ареалу початкового виду фізичними бар'єрами. Наприклад, виникнення гірських хребтів, утворення нових водойм, що призводить до ізоляції популяцій і видів. До того ж вони опиняються в нових умовах середовища — інший склад ґрунту чи температура повітря тощо, трапляються з новими угрупованнями організмів. У популяціях виникають спадкові зміни, триває природний відбір, що з часом спричинює утворення нових видів.



Мал. 3.12. Географічне й екологічне видоутворення

*Екологічне видоутворення* відбувається, коли невеликі групи особин однієї популяції потрапляють у різні екологічні умови (наприклад, змінилася харчова база) у межах свого ареалу. При цьому організми зазнають впливу нових умов, що спричинює виникнення й закріплення нових генетичних змін, зміни напряму природного добору та завершується формуванням нових ознак. Наприклад, кілька видів синиць мешкають у тих самих екосистемах й утворюють змішані зграйки. Кожен з них відрізняється за місцем живлення (одні збирають корм на землі, інші — на стовбурах дерев або в їхніх кронах), складом їжі (тваринна, рослинна або змішана), місцями гніздівель, шлюбною поведінкою тощо.



Мал. 3.13. Процес перетворення одного виду на інший

*Перетворення одного виду на інший* полягає в історичній зміні видів у часі. Зміни окремих особин не можуть спричинювати еволюційних перебудов, оскільки тривалість життя особини обмежена. Тільки у великих популяціях, які існують тривалий час, окремі зміни особин у процесі схрещування спричинюють гене-



тичну різномірність і зміни генетичного складу популяції. Потім популяція зазнає дії природного відбору, який підтримує вигідні для виживання в певних умовах комбінації генів. Їхня частота зростає, водночас частота невдалих комбінацій генів знижується, і поступово вони видаляються з популяції. Така тривала направлена зміна генофонду популяції є еволюційним процесом, який спричинює утворення різних видів, підвидів (мал. 3.13).

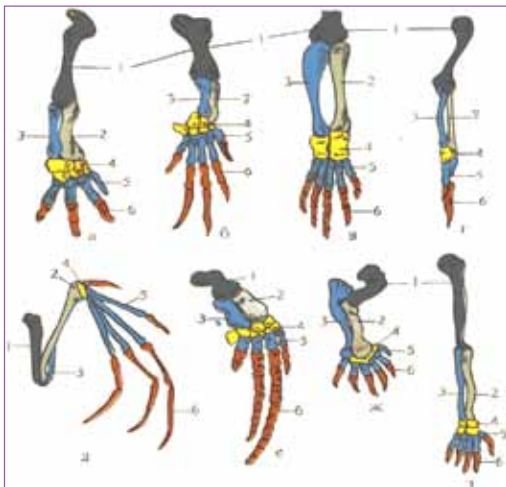
## ЯК АДАПТУЮТЬСЯ ОРГАНІЗМИ В ПРОЦЕСІ ЕВОЛЮЦІЇ?

Зміни, які відбуваються з організмами в процесі еволюції, забезпечують їхнє пристосування до умов навколишнього середовища — *адаптації*.

Адаптації — це специфічні властивості організмів, які можуть забезпечити їхнє виживання й розмноження в певних умовах середовища. Унаслідок цього адаптації виявляються відносними. Це означає, що адаптації до одного типу середовища існування зовсім не обов'язково залишаться пристосуваннями в інших умовах. Важливою особливістю адаптації є те, що вони можуть формуватися на будь-яких стадіях онтогенезу особин. Оптимальна збалансованість відповідних процесів забезпечується не окремими адаптаціями організмів до окремих чинників довкілля, а цілісною системою пристосувань до всього комплексу умов абіотичних і біотичних чинників середовища.

Уперше розв'язання проблеми розвитку адаптації запропонував Ч. Дарвін, показавши, що адаптація виникає в результаті дії природного відбору. *Еволюційна адаптація* — поява генетично закріплених морфологічних і фізіолого-біохімічних пристосувань у низці поколінь, стійких у часі та просторі ареалу популяції або типу біоценозу. Такі пристосування найчастіше відображують специфічні умови існування організму.

Розрізняють загальні (пристосування до життя в широкому діапазоні середовища, наприклад, кінцівки наземних хребетних, що на малюнку 3.14) та окремі адаптації (спеціалізації до певного способу життя, наприклад, спеціалізовані форми кінцівок копитних).



Мал. 3.14. Приклад загальних адаптацій: а — саламандра; б — черепаха; в — крокодил; г — птах; д — кажан; е — кит; ж — кріт; з — людина; 1 — плечова кістка; 2 — променева кістка; 3 — ліктьова кістка; 4 — зап'ясток; 5 — кістки п'ясті; 6 — фаланги кисті

Для виникнення адаптацій необхідним є елементарний еволюційний матеріал (спадкова мінливість) і спільна дія еволюційних чинників (мутаційний процес, популяційні хвилі, ізоляція, природний добір). Появу в популяції вдалого фенотипу ще не можна вважати адаптацією. Про неї говорять лише після виникнення спеціалізованої ознаки в більшості особин популяції або виду.

Є декілька класифікацій адаптацій, що здійснюються згідно з різними ознаками, які визнають провідними. Одну з класифікацій наведено на схемі (мал. 3.15).



Мал. 3.15. Приклад класифікації адаптацій

Становлення й розвиток будь-якої таксономічної групи відбувається протягом тривалого часу. Вони мають свою історію, тобто *філогенез*. Це стосується не тільки видів, а й великих систематичних груп надвидового рівня. Розрізняють кілька форм їх еволюції.

*Дивергенція* — процес, унаслідок якого відбувається зовнішня зміна органів за збереження подібних ознак внутрішньої будови. Відбувається це явище, коли схожі види перебувають у різних умовах навколишнього середовища (мал. 3.16).

Нові види, роди, родини тощо виникають здебільшого способом дивергенції.



Мал. 3.16. Приклади дивергенції в природному середовищі:  
а — вовк; б — кажан; в — кріт; г — ластоногі

*Конвергенція* — це процес утворення подібних рис у систематично різних груп організмів, тобто види мають спільні риси внаслідок адаптації до однакових умов середовища (мал. 3.17).



Мал. 3.17. Приклади конвергенції в природному середовищі

*Паралелізм* — це процес пристосування близьких за походженням видів до однакових умов середовища (мал. 3.18).



Мал. 3.18. Приклади паралелізму в природі: а — їжак звичайний; б — ехидна



### ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Схарактеризуйте зміни складності організмів у процесі історичного розвитку життя на Землі.
2. Чому не можна встановити точну причину масових вимирань різних видів тварин і рослин? Яка ймовірна причина масового вимирання пермського періоду?
3. Схарактеризуйте теорії еволюції органічного світу. Поясніть, у чому полягає відмінність між: а) дарвінізмом і синтетичною теорією еволюції; б) між синтетичною та епігенетичною теоріями. Чи є у цих теорій спільні положення?



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

4. Яка роль мутацій і популяційних хвиль в еволюційному процесі?
5. Які існують механізми видоутворення?
6. Прокоментуйте уривок літературного твору: «Наше вміння пристосовуватися виявило дивовижну властивість, завдяки якій наші гени успішно передавалися з покоління в покоління, поки чисельність людей істотно не зросла і вони не підкорили всю планету. Тепер нас так багато, і ми настільки технологічно розвинені, що наше існування є загрозою для всього навколишнього середовища й для інших видів. Якби властивості *Homo sapiens* мала якась рослина, то її вважали б дуже небезпечним бур'яном. Ми — найбільший бур'ян Землі. Можливо, так вийшло тому, що еволюція не призначала нас до того, щоб стати глобальним видом. Ми поширилися в усьому світі відносно недавно і дотепер не навчилися мислити масштабно. Для більшості з нас «світ» до цього часу закінчується горизонтом. Найбільше нас турбують наші особисті справи й справи нашого місцевого співтовариства, а не потреби і проблеми людства в цілому».
7. Поясніть з огляду на вивчене, що зобразив Пітер Брейгель Старший (1525–1569, Велика Британія) на картині «Мізантроп» («Віроломство світу») та гравюрі «Великі риби пожирають маленьких» (мал. 3.19).



Мал. 3.19: а — «Мізантроп» («Віроломство світу»);  
б — «Великі риби пожирають маленьких»



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Визначення розмірів тіла та швидкості руху за відбитками опорних кінцівок.

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Чого не може пояснити еволюційна теорія? Упередження та стереотипи в сприйнятті сучасниками теорії еволюції Чарльза Дарвіна.
- Аналіз еволюційних подій на Землі, що зумовили появу сучасного життя.
- Викопні види існують сьогодні. Чому це можливо?
- Чому зникли динозаври?
- Чому зникли й повернулися таргани?
- Стерилізація тварин: за і проти.

# БІОРІЗНОМАНІТТЯ



## Г. 4.

## БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Скільки істот мешкає на Землі? Питання здавалося б просте, а ось дати на нього точну відповідь — непросто. Як виявилось, порахувати зорі на небі простіше, ніж істот на Землі.

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Знати:* сучасну систему органічного світу, рівні біорізноманіття (генетичне, видове, екосистемне, ландшафтне).

*Називати:* підходи до класифікації живого; ознаки представників царств органічного світу; панівні види сучасної флори й фауни України.

*Наводити приклади:* тварин і рослин природних зон світу.

*Розпізнавати* представників рослин, тварин і грибів своєї місцевості.

*Порівнювати:* різні форми життя (неклітинні, археї, бактерії та еукаріоти).

*Характеризувати:* оптимальні умови середовища для життя організмів; пристосування організмів до різних умов середовища.

*Пояснювати* закономірності поширення організмів.

*Оцінювати* значення різноманіття живої природи.

*Виявляти* ставлення до збереження біологічного різноманіття

## КЛАСИФІКУЄМО Й СИСТЕМАТИЗУЄМО

Еволюційні процеси створили величезне різноманіття організмів, що населяють Землю. Термін «біологічне різноманіття» запропонований Томасом Лавджоєм (Thomas Lovejoy, нар. 1941, США) у 1980 р., неологізм «біорізноманіття» — Едвардом Вілсоном (Edward Wilson, нар. 1929, США) у 1986 р., у доповіді на першому Американському форумі з біологічного різноманіття, організованому Національною Радою Досліджень (NRC, National Research Council). Відтоді це слово стало поширеним.

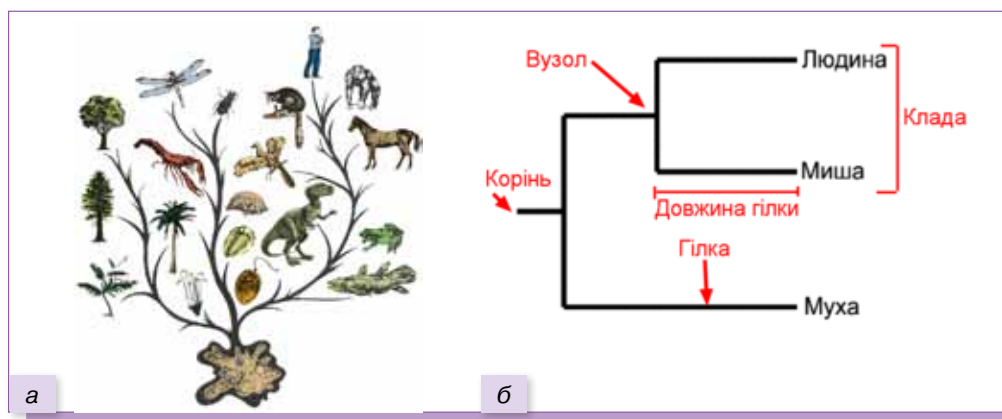
Як ми вже зазначали у блоці Г.2, учені неодноразово здійснювали спроби виокремити серед усього біорізноманіття живих об'єктів певні групи. Сьогодні це є завданням систематики — на основі даних генетики, біохімії та інших наук описати систему органічного світу, об'єднавши філогенетично споріднені групи організмів.

До основних принципів систематики належать принцип *філогенетичної спорідненості* та принцип *ієрархічності*. Принцип ієрархічності (супідрядності) означає, що таксони нижчого порядку об'єднують у таксони вищого рангу (наприклад, види — у роди, роди — у родини). Він схематично зображений на малюнку 4.1.



Мал. 4.1. Ієрархія таксонів у сучасній класифікації тварин і рослин

Принцип філогенетичної спорідненості (від грец. *φυλον*, *phylon* — *рід*, *плем'я* та грец. *γενετικός* — *породжувати*) ураховує хід еволюційних подій. За цього підходу групи організмів графічно представляють у вигляді філогенетичних дерев, або дерев життя (мал. 4.2, а), а за допомогою сучасних комп'ютерних програм — кладограми (мал. 4.2, б).



Мал. 4.2. Філогенетична спорідненість між організмами у вигляді філогенетичного дерева й кладограми

За сучасними уявленнями всі живі об'єкти на Землі поділяють на дві великі групи: *неклітинні* та *клітинні* організми.

До *неклітинних форм життя* належать *віруси*, *віроїди* та *пріони*. Оскільки найбільше вивченими з-поміж них є віруси, розглянемо на їхньому прикладі особливості цієї групи організмів.

*Віруси* — це мікроскопічні організми, що є виключно внутрішньо-клітинними паразитами, оскільки вони можуть розмножуватися тільки в клітині-хазяїні. Відкриті Дмитром Йосиповичем Івановським (1864–1920, Росія) у 1892 р. на прикладі вірусу тютюнової мозаїки.

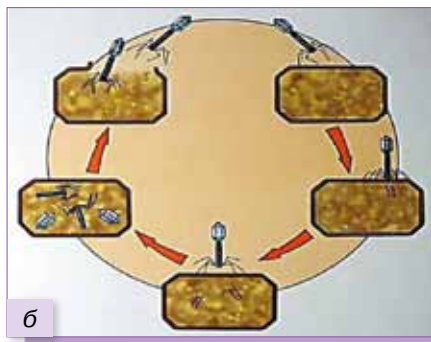
Віруси складаються з нуклеїнової кислоти та білкової оболонки, яка захищає вірус та оберігає молекулу нуклеїнової кислоти, що містить генетичний матеріал.

Їх поділяють на прості (складаються з однієї нуклеїнової кислоти — ДНК чи РНК та білкової оболонки — капсида) та складні (містять окрім нуклеїнової кислоти та білкової частини спеціальну мембрану, тобто подвійний ліпідний шар з глікопротеїдами — суперкапсид) віруси.

Віруси не мають власних органів руху та передаються від одного хазяїна до іншого різними шляхами: повітряно-дихальним (з краплями вологи під час чхання чи кашлю), унаслідок безпосереднього потрапляння в кров (наприклад, поширення жовтої лихоманки через комах-кровососів) та передавання з рідинами організму (наприклад, вірус ВІЛ). Віруси рослин зазвичай потрапляють через пошкоджені тканини, багато видів поширюють тля або інші комахи, що висмоктують рослинні соки.

Розмноження вірусів відбувається в певній послідовності:

- стадія прикріплення вірусу до поверхні клітини;
- стадія, на якій відбувається введення нуклеїнової кислоти вірусу або всієї вірусної частинки в клітину;
- стадія синтезу копій вірусної нуклеїнової кислоти;
- синтез білкових вірусних оболонок і збирання вірусних частинок;
- стадія руйнування клітини, вихід вірусних частинок у навколишнє середовище (мал. 4.3).

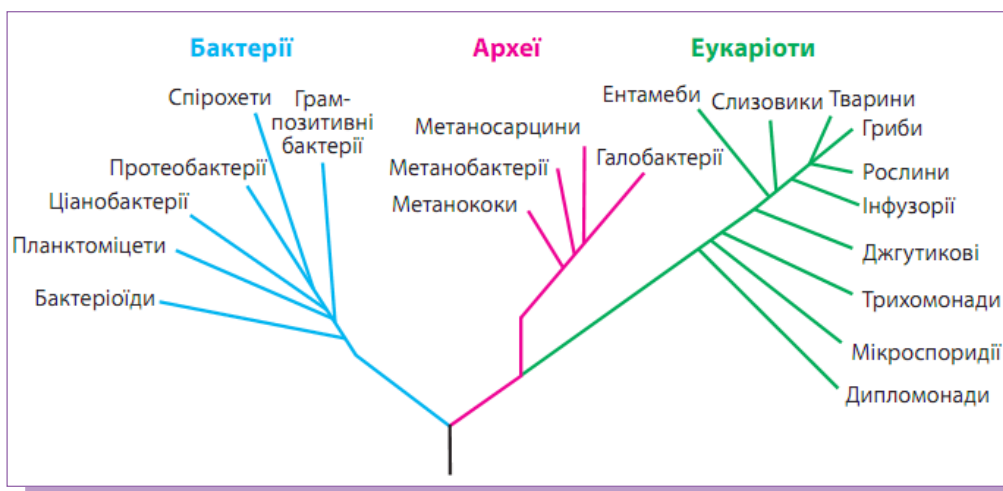


Мал. 4.3: а — приклад вірусу-бактеріофага; б — життєвий цикл вірусу

Тканини тварин реагують на вірус або інший чужорідний протеїн виробленням *антитіл*, що знешкоджують той або інший білок. Антитіла зберігаються в кровообігу ще деякий час після знешкодження чужо-

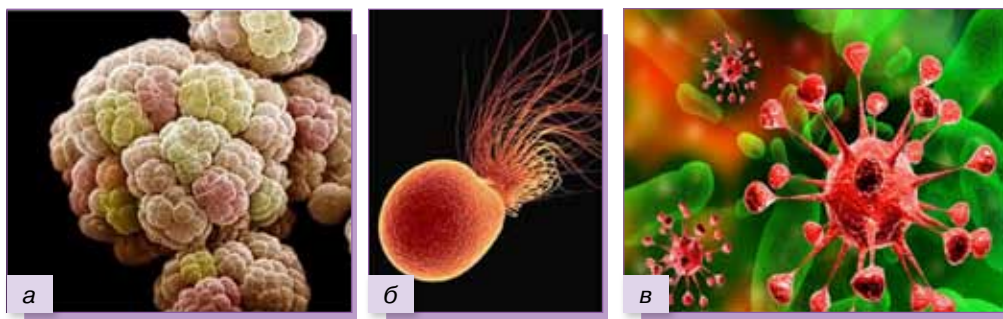
рідних протеїнів, тим самим забезпечуючи організм певним імунітетом. Здатність антитіл захищати організм лежить в основі механізму дії вакцини. Імунітет забезпечують уведенням у кров самих антитіл або ін'єкцій суспензії з убитих або ослаблених вірусів для того, щоб організм сам, залишаючись здоровим, виробив антитіла.

Для класифікації *клітинних організмів* у систематиці використовують кілька критеріїв. До них належать такі: рівень організації, спосіб живлення, особливості будови клітини й здатність до активного переміщення в просторі. На основі цих критеріїв створено сучасну систему органічного світу. Згідно з нею всі клітинні організми належать до трьох доменів (від лат. domain — *над, зверх, головний*) живого: *бактерії, археї, еукаріоти* (мал. 4.4).



Мал. 4.4. Домени клітинних організмів

Перші два домени об'єднують *прокаріотів* (мал. 4.5), клітини яких не мають ядра, що містить генетичний апарат.



Мал. 4.5. Прокаріоти: а — колонія археї; б — клітина археї; в — бактерія

*Археї* — одноклітинні прокаріоти, що мають риси як бактерій, так й еукаріот. У них немає ядра та мембранних органел, натомість є інтрони. Характерна особливість археї — стійкість до чинників навколишнього середовища й різноманітність способів живлення через певні особливості



хімічного складу, будови мембран й організації генома. Археї займають екологічну нішу, у якій інші живі організми прожити не можуть. Наприклад, висока температура гарячих джерел (70 °C), кисле середовище, високий тиск, постійно низька температура тощо.

*Бактерії* — це одноклітинні прокариотичні організми. Їхня величина варіюється від 0,5 до 10–13 мкм. Клітина бактерії оточена зовні твердою оболонкою, утвореною з мурену (до її складу входять амінокислоти та дисахариди). Клітинна стінка оточена слизовою капсулою, що виконує захисну функцію.

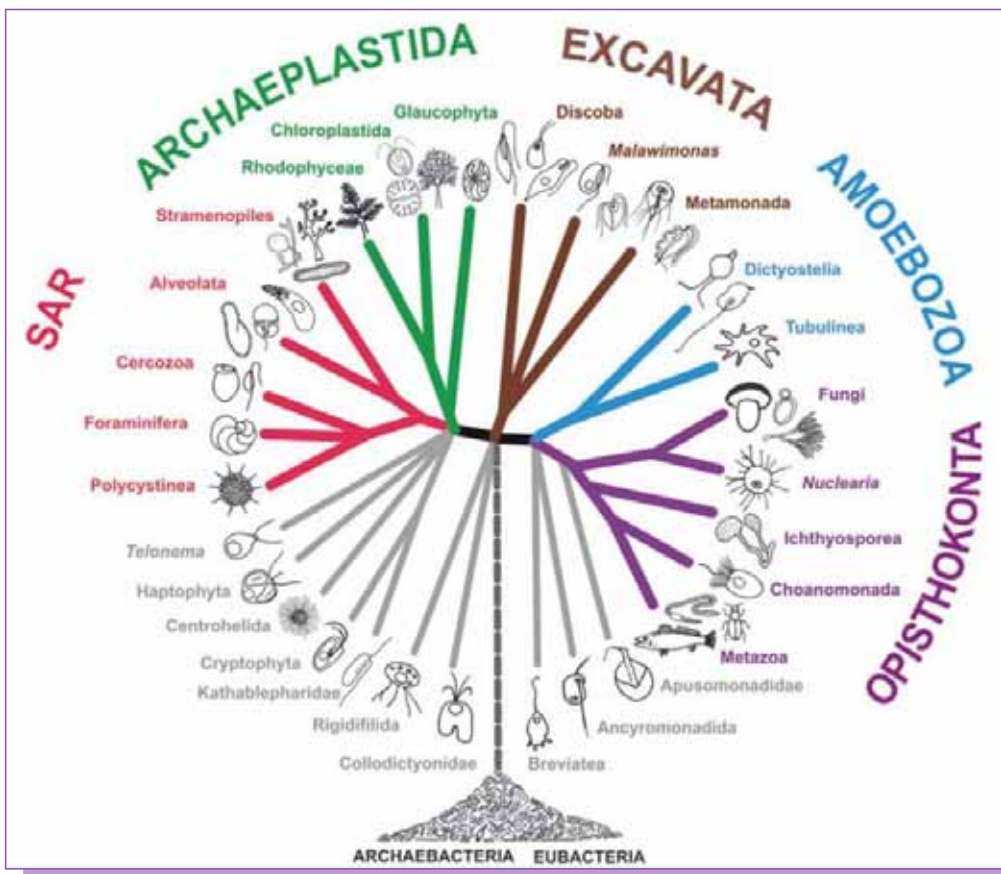
Бактерії живуть усюди: зовні та всередині рослин і тварин, в океанських глибинах, ґрунті, повітрі, й навіть верхніх шарах атмосфери. Серед значного різноманіття бактеріальних форм можна виокремити: сферичні (коки), паличкоподібні (бацили), спіралеподібні (спірили) тощо. Бактерії мають білкову оболонку, що утворює захисний шар навколо вмісту клітини, яке не згруповане в органелах. Функції (дихання, фотосинтез, секреція й виділення) виконує вся клітина. У більшості бактерій немає ядра, оточеного мембраною.

Розмноження відбувається такими способами: поділ, кон'югація. Під час поділу нуклеїнові кислоти ділять генетичний матеріал, утворюючи кільце (неофор), яке розпадається навпіл, і бактерія ділиться на дві однакові клітини. Під час кон'югації внаслідок контактування двох клітин відбувається обмін фрагментами молекул ДНК через цитоплазматичний місток.

Хоча деякі бактерії здатні спричинювати тяжкі хвороби (чума, холера, дифтерія, менінгіт тощо), що призводять до смерті тисяч людей унаслідок епідемій, багато з них приносять користь. Вони пришвидшують розкладання й перероблення мертвої органічної речовини, розкладають клітковину в травних системах домашніх тварин, їх застосовують для біологічного очищення каналізаційних стоків. За їхньої безпосередньої участі відбувається гниття в компості, азотофіксуювальні бактерії перетворюють атмосферний азот на легко засвоювану форму. Бактерії використовують у виробництві сиру, вершкового масла, йогурту, оцту.

*Еукаріоти (Eukaryota)* — одноклітинні, колоніальні або багатоклітинні організми, клітини яких мають оформлене ядро, оточене ядерною мембраною й численні органели, розташовані в цитоплазмі. Перше, що вирізняє всіх еукаріотів, — це надзвичайна різноманітність форм, розмірів, типів клітин. В одному із царств еукаріотів — царстві Тварин (*Animalia*) — понад 1,5 млн відомих видів (з них понад мільйон видів — представники комах).

За сучасною системою органічного світу, запропонованою на основі результатів новітніх досліджень у 2005–2016 р.р., еукаріоти розділено на п'ять основних супергруп: *Екскавати*, *Амебозії*, *Оністоконти*, *Археопластиди*, *SAR* (мал. 4.6).



Мал. 4.6. Супергрупи еукаріотів

Супергрупа SAR (*SAR* — *Stramenopiles* + *Alveolata* + *Rhizaria*) — багатоманітна супергрупа еукаріотів. Сюди входять багатоклітинні *бури водорості*, що утворюють густі підводні ліси, планктонні *діатомові водорості*, що мешкають у черепашках з кремнезему, паразит людини — *маларійний плазмодій*, а також найскладніше влаштовані та багатоманітні одноклітинні організми — *інфузорії*. Також до цієї супергрупи належать *радіолярії* й *форамініфери* — одноклітинні організми, що формують тверду мушлю. Вони мешкають у планктоні або на морському дні.

Супергрупа Археопластиди (*Archaeplastida*) — організми, далекий предок яких уступив у симбіоз із ціанобактерією, отримавши хлоропласти з двома мембранами. Сюди належать *червоні та зелені водорості*, а також *вищі рослини*.

Супергрупа Екскавати (*Excavata*) — доволі різноманітна супергрупа. Сюди входять різні *одноклітинні організми з джгутиками*: паразити людини, такі як *лямблія* та *трипаносома*, а також непаразитичні організми, наприклад, *евглена зелена*.

Супергрупа Амебозії (*Amoebozoa*) — супергрупа, до якої входять різні *амеби* (і звичайна амеба протей також) і складніші *слизовики*.

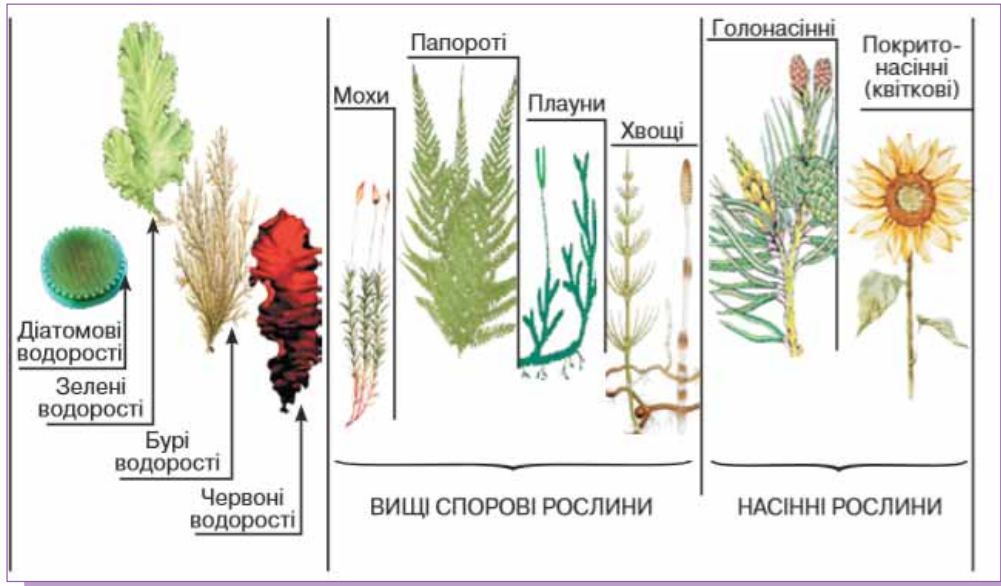
Супергрупа Опістоконти (*Opisthokonta*) — супергрупа, до якої належить людина. Її представники первісно мають лише один джгутик на своїх джгутикових стадіях. До цієї супергрупи належать царства *Тварини* та *Гриби*.

Традиційно серед еукаріотів виокремлюють три групи (царства): *Гриби*, *Рослини* й *Тварини* (мал. 4.7).



Мал. 4.7. Представники царств Гриби, Тварини, Рослини

*Рослини* — організми, які перетворюють енергію Сонця на енергію хімічних зв'язків (автотрофи), тобто вони створюють (продукують) їжу для тварин, отже, є продуцентами. Усі форми рослин живляться за рахунок фотосинтезу. Рослини поділяють на дві основні групи: «нижчі» (водорості, папороті, мохи) та «вищі» (голонасінні й покритонасінні). Більше про це ви дізнаєтеся, проаналізувавши малюнок 4.8 (зробіть це).

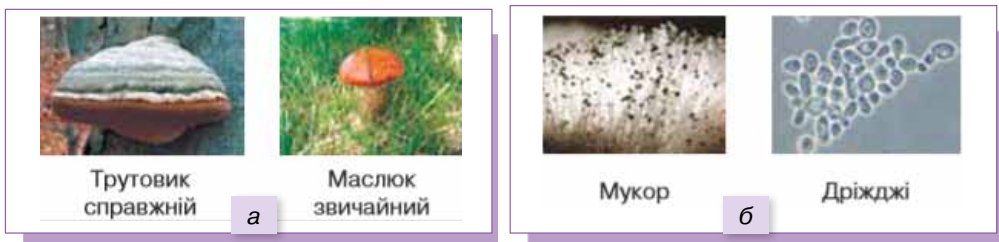


Мал. 4.8. Основні групи рослин

*Водорості* — група рослин, що живе у воді; перші на Землі фотосинтезувальні організми, завдяки яким виник кисень в атмосфері, здатні засвоювати Нітроген, Калій, Фосфор, Сульфур та інші речовини з води.

Рослини суходолу через їхню кореневу систему отримують з ґрунтів поживні речовини, які транспортуються через стебло та листя і включаються в процес фотосинтезу. Вони є головним генератором кисню, який надходить в атмосферу, а бездумне знищення рослинності призведе до нестачі не лише харчування, а й кисню.

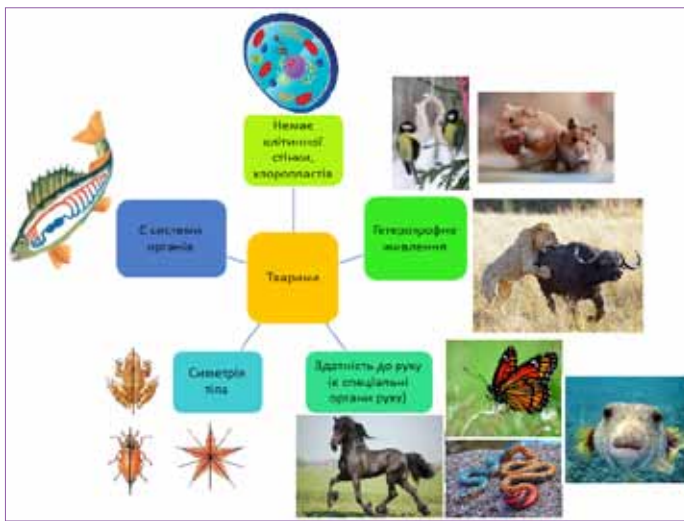
*Гриби* — безхлорофільні еукаріотичні гетеротрофні організми, які складаються з однієї або багатьох клітин (мал. 4.9). Їм як гетеротрофним організмам потрібні готові поживні речовини, тому вони або живляться мертвими тканинами, або живуть за рахунок інших живих організмів. Результат симбіозу грибів й одноклітинних водоростей — лишайники, які є харчовою базою для деяких тварин. Крім цього, користь симбіозу грибів та рослин виявляється в процесах ґрунтоутворення.



Мл. 4.9. Гриби: а — багатоклітинні, б — одноклітинні (під мікроскопом)

*Тварини* — гетеротрофні організми, що не здатні синтезувати органічну речовину; консументи. Найбільша за кількістю видів та за чисельністю серед тварин група членистоногих, друге місце обіймає клас моллюсків, третє — хребетні, де ссавці становлять десяту частину, а половина видів припадає на риб.

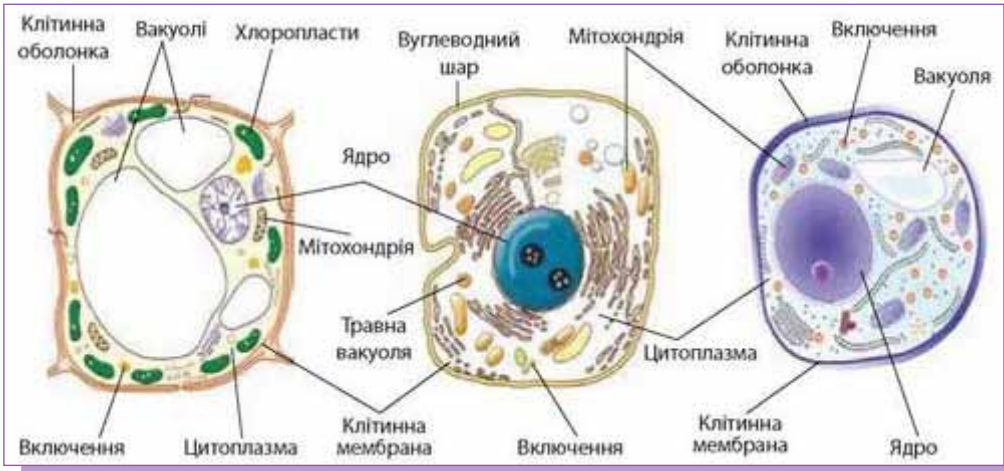
Основні ознаки багатоклітинних тварин наведено на малюнку 4.10.



Мал. 4.10. Деякі ознаки представників тварин

Більшість видів хребетних тварин формувалась у водному середовищі. Кількість видів організмів суші та гідробіонтів, співвідношення рослин і тварин приблизно однакові. Тобто вихід організмів на суходіл під час неперервного еволюційного процесу спричинив збільшення видового різноманіття істот, що також підвищило стійкість природних угруповань організмів й екосистем загалом.

Рослини, тварини й гриби мають багато спільного, але водночас вони кардинально відрізняються, імовірно, найголовніші відмінності пов'язані з будовою клітини (мал. 4.11) та типами живлення. Це зумовлює всі інші особливості цих організмів.



Мал. 4.11. Будова клітин: а — рослинної; б — тваринної; г — грибної

Винайдення електронного мікроскопа й удосконалення біохімічних методів досліджень дало змогу визначити цитолого-біохімічні ознаки різних царств живої природи.

Таблиця 4.1

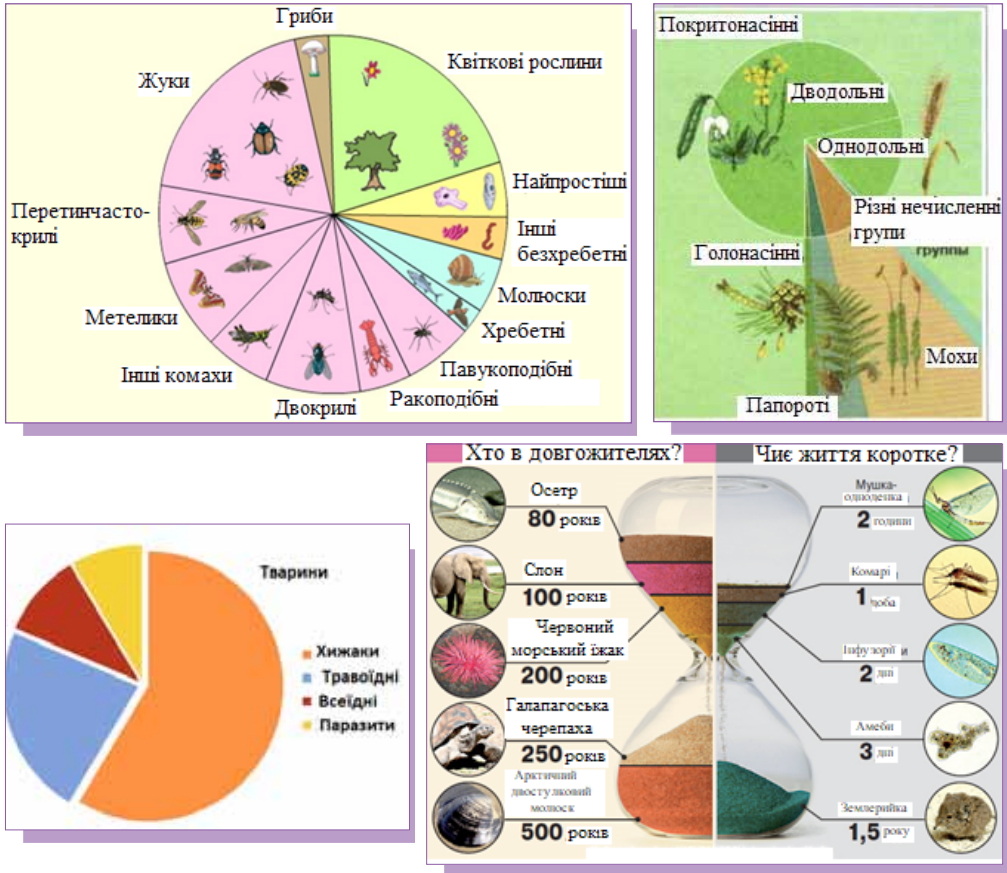
**Риси відмінності та подібності тварин, рослин, грибів**

Ознака порівняння	Тварини	Рослини	Гриби
1. Будова клітини:	немає	є, розташована ззовні від клітинної мембрани	є, містить хітин
а) клітинна стінка	немає	є	є
б) вакуоля	немає	є	немає
в) хлоропласти	немає	є	немає
г) запасні поживні речовини	глікоген	крохмаль	глікоген
д) клітинний центр	є	немає	є
2. Тип живлення	гетеротрофний	автотрофний	гетеротрофний
3. Системи органів	є	немає	
4. Ріст	обмежений або необмежений		необмежений

Ви ще, напевне, запитаете, а чому не згадали *мікробів*? Справа в тому, що це узагальнена назва організмів, яких не видно неозброєним оком — мікроорганізмів, до яких належать бактерії, археї, гриби і деякі еукаріоти (як правило, одноклітинні). Чи задумувалися ви, скільки є

мікробів? Тільки в одній порожнині вашого рота їхня кількість більша за кількість людей на Землі. Тож можна стверджувати, що планета Земля належить мікроорганізмам 😊.

Інші цікаві факти зі світу царств живої природи наведено на діаграмах (мал. 4.12.).



Мал. 4.12. Цікаві факти зі світу живої природи

## ПРОДОВЖУЄМО СИСТЕМАТИЗУВАТИ

Учених різних галузей розглянуте нами біорізноманіття цікавить по-різному. Для біологів біорізноманіття — це розмаїтість видів. Для генетиків — розмаїтість генів. Для екологів — розмаїтість тісної взаємодії як усередині виду, так і між різними видами (мал. 4.13).

Структурні рівні біологічного різноманіття включають у себе:

- різноманітність організмів (як таксономічне — вид, рід тощо, так і типологічне — за певними ознаками);
- різноманітність спільнот;
- різноманітність територіальних поєднань організмів, тобто флори і фауни певної території;
- різноманітність екосистем і природних комплексів.



*Видове різноманіття* — це різноманітність організмів (рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів) в екосистемах, що ми розглядали вище.

І нарешті, різноманітність самих екосистем (мал. 4.15), що охоплює відмінності між типами екосистем, різноманітністю середовищ існування й екологічних процесів. Відзначають різноманітність екосистем не тільки по структурних і функціональних складниках, а й за масштабом — від мікробіогеоценоза до біосфери.



Мал. 4.15. Біологічне різноманіття природних наземних і водних екосистем

Окрім природного, сьогодні ми маємо біорізноманіття, створене людиною (мал. 4.16), — це біологічні форми, які цілеспрямовано було створено людиною методами селекції, відбору, а нині й генної інженерії.

**Ландшафтне різноманіття** — це множинність ландшафтів, створених природою (а тепер майже скрізь тією чи іншою мірою антропогенізованих), яка реально існує на земній поверхні. У загальному розумінні ландшафт — це будь-який простір з характерним виглядом. Ландшафти мають різні розміри: від невеликих локальних утворень (річкові заплави й те-



раси, ерозійні яри й балки, гляціальні долини й горби тощо) до геокомплексів регіонального (рівнинні й гірські простори, континенти й океани тощо) і глобального (географічна оболонка Землі) рівня.



Мал. 4.16. Створені природою й людиною

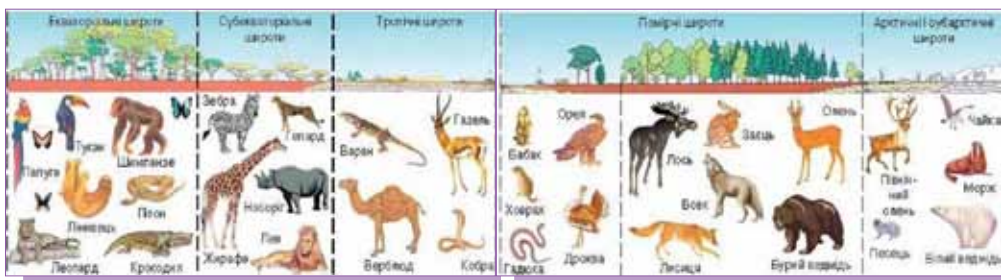
У класи ландшафтів об'єднують природні комплекси з однаковими загальними орографічними ознаками, які визначають вертикальні зміни в балансах тепла, вологи й біотичних процесах. У межах України поширені два класи ландшафтів: рівнинні й гірські. Типи й підтипи ландшафтів виокремлюють усередині класів за певним співвідношенням тепла й вологи, яким зумовлено зональний розподіл типів ґрунтового й рослинного покриву, перебіг фізико-географічних процесів, особливості гідрологічного режиму. Наприклад, на території України — це мішанолісові (17,2 % території України); широколистянолісові (6,9 %); лісостепові (31,2 %); степові (31,7 %). Окремі типи становлять Східно-Карпатські й Кримські гірські ландшафти, субтропічні ландшафти Південного берега Криму й заплави річок.

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ПОШИРЕННЯ РОСЛИН І ТВАРИН НА ЗЕМЛІ

Організми поширені в біосфері нерівномірно. Рослинам необхідні тепло, світло, волога та поживні речовини. Тваринний світ також залежить від кількості й різноманіття рослин. Тому на суходолі від екватора до полюсів склад біосфери змінюється залежно від кліматичних умов. Фізико-географічний принцип є основою поділу на природні зони й комплекси (мал. 4.17).

Найбагатшим є рослинний і тваринний світ приекваторіальних та помірних широт.

Дуже різноманітними є рослинність і тваринний світ в *екваторіальних широтах*. Клімат там жаркий і вологий протягом року. Це сприяє буянню рослин, які утворюють розкішні ліси. Дерев так багато, що вони формують кілька ярусів. Стовбури й гілки оповиті гнучкими ліанами та обліплені рослинами, які поглинають вологу просто з повітря. У кронах дерев знаходять прихисток багато видів тварин, серед них численні мавпи й птахи. У лісі повно кажанів, ящірок, змій. Тут велика кількість комах — яскравих метеликів, жуків, мурах.



Мал. 4.17. Типові представники рослин і тварин природних зон

Найрізноманітніші на Землі породи дерев ростуть в області верхньої течії Амазонки в Перу (мал. 4.18), де вчені нарахували 300 видів/га. Уважають, що перуанський ліс є також найбагатшим у світі на види птахів, метеликів та земноводних. На другому місці за різноманітністю видів — ліси Південно-Східної Азії. Тут росте близько 200 видів/га дерев, а в лісах Центральної Африки — близько 120 видів/га.



Мал. 4.18. В екваторіальних лісах

У субекваторіальних широтах, де клімат жаркий і перемінно-вологий, серед трав'яної рослинності з поодинокими деревами панують великі трав'яні тварини (жиряфи, зебри, антилопи, слони, носороги тощо) і хижаки (леви, гепарди, гієни).

На північ і південь від екватора, у тропічних широтах, де клімат жаркий і посушливий, тепла достатньо, але бракує вологи. Тому рослини там ростуть де-не-де. До таких умов пристосувалися, наприклад, колючі чагарники з дрібним листям, що випаровує мало вологи. Нечисленні тварини теж пристосувалися до посушливих умов. Верблюд може обходитися тривалий час без води й харчуватися колючками. Антилопи здатні в пошуках води та їжі долати величезні відстані. Змії та ящірки закопуються від спеки в пісок.

У помірних широтах, де зима холодна, літо тепле, а опадів достатньо, ростуть ліси — хвойні (сосна, ялина, модрина), широколисті (дуб, бук, граб, липа), мішані. Там водиться багато лісових звірів і птахів. Далі на південь, де опадів менше, панує степова трав'яна рослинність. Серед тварин переважають гризуни: тушканчик, ховрах, бабак. Багато птахів, які гніздяться на землі, — дрохва, сіра куріпка, перепілка.

У полярних районах протягом року панують низькі температури повітря. Тому в тих краях поширені лишайники, а рослинність дуже бідна: мохи та чагарнички (брусниця, чорниця, морошка). Тварини так само нечисленні. Там водяться білий ведмідь, північний олень, лемінг, песець.

В Антарктиді на узбережжі живуть пінгвіни. А в її центральних районах, на крижаному покриві, узагалі немає ні рослин, ні тварин.

Фізико-географічне розташування України, особливості геологічного розвитку, рельєфу, клімату, густа мережа річок зумовили надзвичайне різноманіття її рослинного й тваринного світу (мал. 4.19).



Мал. 4.19. Розмаїтий рослинний і тваринний світ України

Рослинний світ України нараховує близько 30 тис. видів рослин, з яких понад 400 тис. занесені до Червоної книги України. Під природною рослинністю зайнято 19 млн га (близько третини території). Тваринний світ України вирізняється різноманітним видовим складом і нараховує майже 45 тис. видів тварин.

Основні типи рослинності поширені на території нашої країни: ліси, луки, степи, болота. Рослинність цих типів представлена досить різноманітно. Наприклад, серед лісових порід найпоширенішими є дуб, бук, ялина, сосна, вільха, граб, береза, клен, ясен тощо. Для Карпат характерними є бук, ялина, ялиця.

Рослинність луків представлена багаторічними травами, що ростуть в умовах достатньо вологого клімату. Це злакові рослини (тонконіг, костриця, очеретянка, ковила), бобові (конюшина, в'язіль), осокові (осоки, комиш, пухівка) види.

Для степової рослинності характерними є багаторічні трави, що можуть витримувати тривалі посухи (ковила, осоки, костриця, типчак).

Рослинність боліт відповідно є вологолюбною. Для неї типовими представниками є вільха, осока, очерет, чагарники, мохи, журавлина тощо.

Тваринний світ представлений відповідно до особливостей території мешкання. Наприклад, у Карпатах та лісовій частині країни мешкають олень шляхетний, лось, козуля, кабан, білка, лисиця, вовк, бурий ведмідь, рись. Найпоширенішими серед птахів є шпаки, дрозди, синиці, лелеки, тетеруки. У гірських річках трапляється форель, харіус. Для степової частини характерними є степові тварини: перепілки, степові орли, ховрахи, байбаки, тушканчики, польові миші тощо. Морська фауна представлена також досить різноманітно: від ставриди, скумбрії, осетра, кефалі, оселедцю у водній частині до пеліканів, чайок, бакланів, мартинів, качок, чапель. У річках та озерах є щука, карась, окунь, лящ, судак.

У флорі й фауні будь-якого великого регіону є види — представники двох особливих категорій: ендеми й релікти.

*Ендеми* — це види, поширені на обмеженій території. Такою може бути гірська система чи окремий гірський масив, острів, фізико-географічний район, річковий басейн тощо. Особливо багато ендемів у флорі й фауні гірських екосистем та островів, що зумовлено географічною (екологічною) ізоляцією цих екосистем у поєднанні зі специфічними природними умовами. Зокрема, у флорі України є близько 200 ендемічних видів рослин, більшість з яких трапляються в Карпатах, Гірському Криму та на Поділлі.

*Релікти* — види, які збереглися в біоті певної території з минулих геологічних епох. Більша частина реліктових видів флори України є четвертинними, або льодовиковими реліктами, — видами, що збереглися з часів останнього зледеніння, яке закінчилося близько 10 тис. років тому. Ці види поширені переважно у високогір'ї Карпат (сосна кедрова, дріада восьмипелюсткова, верба трав'яна, товстянка альпійська, родіола рожева тощо) або на болотах лісової зони (хамедафна чашкова, ліннея північна та ін.).

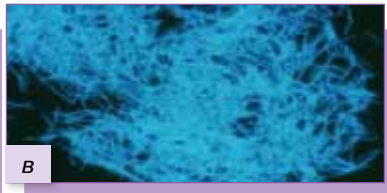
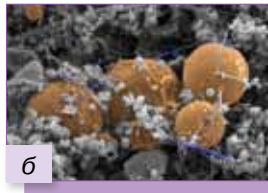
## ЯК ВИЖИТИ В РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ?

У природі кожна рослина й тварина *приспособлені* до умов певного середовища. Найбільшою є їхня концентрація на поверхні суходолу, поверхневих шарах Світового океану, на його дні в мілководних частинах. Трапляються організми, середовищем існування яких є інший організм. Виокремлюють чотири групи організмів за середовищем існування (мал. 4.20). Найнасиченішими життям є наземно-повітряне й водне середовища.

Організми можуть існувати лише за таких умов, до яких пристосований їхній метаболізм. Дослідженнями виявлено, що це можливо й у дуже несприятливих умовах. Зокрема, на багатокілометровій глибині впродовж еволюції без доступу світла й за низьких температур існує життя (мал. 4.21). Переважно це бактерії, археї та примітивні еукаріоти.



Мал. 4.20. Середовища існування життя: 1 — водне; 2 — наземно-повітряне; 3 — ґрунтове; 4 — організмове

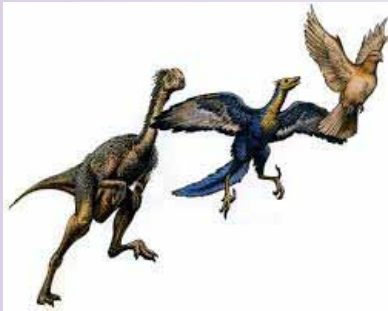


Мал. 4.21. Форми життя на дні океану: а — примітивні еукаріоти на глибині 1,4 км; б — бактерії на дні океану на глибині 2,8 км, біля ПАР (Африка); в — бактерії виду *Methanobacterium* на глибині 2 км нижче від дна Тихого океану біля узбережжя Японії



Чому літають птахи? Як плавають і дихають риби у воді? Як можна пересуватися без ніг? Чому потрібні чотири лапи, коли можна обійтись і двома? Ці та безліч інших питань щодо способів життя в різних середовищах й умовах ви вже досліджували на уроках природознавства, біології, географії й фізики.

І найбільше цікавило питання: чому птахам дана можливість підкорювати небесні простори, а риbam — водні?



Мал. 4.22. Ілюстрація еволюції птахів

Головні особливості зовнішньої будови птахів пов'язані з польотом це:

форма тулуба, перетворені на орган польоту (крила) передні кінцівки й специфічна будова задніх кінцівок, які слугують не тільки опорою для тулуба, а й для пересування; позбавлена залоз, суха й тонка шкіра має пір'я, яке дає змогу літати й зберігає тепло;

міцні й тонкі кістки скелета, які полегшують масу тіла за рахунок повітряних порожнин;

сильно диференційована м'язова система. Найбільші м'язи — грудні, що відповідають за опускання крил. Досить розвинені шийні, підключичні, підшкірні, міжреберні м'язи і м'язи лап. Завдяки цьому багато видів птахів здатні здійснювати тривалі перельоти;

специфічна будова системи травлення. Швидке розщеплення великих обсягів їжі дає змогу полегшувати масу травного тракту, що важливо для польотів;

легкі органи дихання. У птахів, які літають, подвійне дихання: у легенях газообмін здійснюється і під час вдихання, і під час видихання, під час потрапляння в легені атмосферного повітря, що виходить з повітряних мішків. Завдяки цьому під час польоту птах не задихається;

немає сечового міхура, що зменшує масу тіла.

Природний дар птахів літати людина завжди намагалася використати для власних польотів (мал. 4.23).



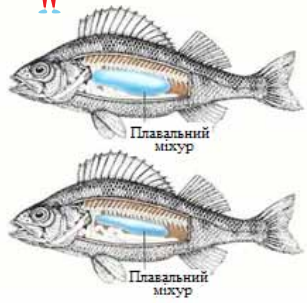
Мал. 4.23. Літатимемо як птахи

Не менш цікавим є питання, чому плавають риби. Людина плаває, докладаючи великих зусиль. А багато риб плавають без втоми, без відпочинку цілий день, а то й багато років поспіль. Як вони це роблять і як витримують таке навантаження?

Головними особливостями зовнішньої будови риб, пов'язаними з плаванням, є:

- м'язи для тривалого і швидкого плавання. З'ясувалося, що вся таємниця — в особливій смугі темної тканини, яка розташована безпосередньо під шкірою по обидва боки тіла — у так званих червоних м'язах. Ці м'язові тканини добре забезпечуються кров'ю і призначені для здійснення тривалих скорочень, що вимагають витривалості. З кров'ю у м'язи надходять жири і кисень, що складають «руйнівну речовину». У час, коли риба відпочиває і приймає їжу, в її організм потрапляє необхідна кількість поживних речовин і кисню, тому риба й далі може плавати з постійною швидкістю без особливих ознак втоми. Під цією тканиною розташовується наступний м'язовий шар, у який кисень надходить в меншій кількості. Це так звані білі м'язи. Вони здатні здійснювати швидкі й сильні, але короточасні дії. Ці м'язи у великій кількості містять у собі глікоген. Коли кисню недостатньо, глікоген розщеплюється, відбувається вивільнення енергії, і у м'язах утворюється молочна кислота. Тому риба швидко втомлюється. Щоб робота системи оновилася, необхідний кисень. Можна констатувати, що риби використовують червоні м'язи для тривалого плавання, а білі — для швидкого полювання або втечі;
- обтічна форма й рухи тіла. Оскільки вода підтримує тіло риби, а також необхідну для неї ідеальну температуру, то всю свою енергію риба може витратити на рух. Риби, що плавають найшвидше, мають обтічне тіло, що досить широке в боках. Одним зі способів плавання є хвилеподібні рухи тіла, до того ж амплітуда хвиль від голови до хвоста збільшується, а роль двигуна відіграє хвостовий плавник. Регулювання руху вгору-вниз для кісткових риб здійснюється завдяки спеціальному плавальному міхуру. Риба сама може регулювати кількість повітря в міхурі й змінювати відносну масу тіла.

Серед мешканців водних просторів трапляються й інші способи пересування. Наприклад, реактивний рух у медуз. Є види, що нагадують птахів, які махають «крилами». Незвичайно відбувається рух морських коників, забезпечений постійною роботою спинного плавника (мал. 4.24).



Мал. 4.24. Як рухатися у воді

І знову ж людина запозичує у природи ідеї для створення засобів пересування під водою для власних цілей (мал. 4.25).



Мал. 4.25. Плавати як риби

Усі компоненти навколишнього середовища, температура, вологість, світло, хімічний склад ґрунту, інші організми тощо впливають на організми та їхні угруповання. У деяких кліматичних зонах Землі ці параметри періодично змінюються, як-от: кількість світла вдень і вночі, температура повітря й кількість опадів улітку та взимку. Це пов'язано з добовими та сезонними змінами в природі. В організмів виробилися різноманітні *приспособлення* до таких змін.

У більшості рослин і тварин головним чинником регуляції сезонних циклів є тривалість світлового дня. Реакцію організмів на тривалість світлового дня, яка проявляється в змінах процесів життєдіяльності, називають *фотоперіодизмом* (від грец. фотос — *світло* та періодос — *обертання*). Здатність сприймати довжину світлового дня й реагувати на неї властива організмам різних таксономічних груп (мал. 4.26).



Мал. 4.26. Сонечко «скаже», коли пора розкрити бутон або змінити «шубку»

У тварин фотоперіодизм проявляється в різних сезонних явищах їхнього життя, наприклад, гніздуванні, линянні, впаданні у сплячку, прильоті і відльоті птахів. Зміна тривалості світлового дня тісно пов'язана з річною зміною температури. Скорочення світлового дня сигналізує про наближення зими й сприяє зміні густоти хутра, накопиченню жиркових відкладень, запасанню корму, підготовці до сплячки.

Фотоперіодична реакція рослин полягає в зміні фаз розвитку (розпускання бруньок, цвітіння, утворення плодів, проростання насінин, опадання листків). Тривалістю світлового дня визначено перехід рослин до стану спокою, а також виходу з нього. Пізньої осені можна досягти розпускання листків на гілках верби й тополі, штучно збільшивши тривалість світлового дня.

Фотоперіодизм регулює сезонні явища (строки розмноження, розвитку та підготовки до зими) у різноманітних організмів. Знання фотоперіодизму використовує людина під час вирощування рослин і розведення тварин. Наприклад, за допомогою штучного освітлення змінюють тривалість світлового дня. Це дає змогу в теплицях вирощувати овочеві й декоративні рослини впродовж року, а на птахофермах подовжувати період несучості в курей. З фотоперіодизмом пов'язане використання ранніх і пізніх плодово-овочевих культур, сортів картоплі, моркви, полуниці, яблунь тощо.

Для нормальної життєдіяльності організмам необхідний комплекс екологічних чинників. Їхня сукупність утворює середовище існування, до якого в біологічних видів існують різні *приспособлення*, що виробились у процесі еволюції (мал. 4.27).

**а**

**За відношенням до світла**

**Світлолюбні (геліофіти)**  
рослини відкритих місць з постійним добрим освітленням

**Тіньлюбні (сциофіти)**  
зростають на затінених ділянках

**Тіньовитривалі (сциогеліофіти)**  
можуть рости в умовах затінення і на добре освітлених відкритих ділянках

**За відношенням до води**

**Гідатофіти**  
рослини, цілком занурені у воду

**Гідрофіти**  
наземно-водні рослини, живуть в умовах постійно високої вологості повітря і ґрунту

**Гігрофіти**  
рослини сильно зволожених ґрунтів.

**Мезофіти** - ростуть при середньому зволоженні і переносять не дуже сильні посухи

**Ксерофіти**  
мешкають в умовах недостатнього зволоження

**склерофіти**    **суккуленти**

**За відношенням до температури**

**Теплолюбні**    **Холодостійкі**

**Галофіти**  
ростуть на солонцях

**Оксилофіти**  
ростуть на кислих ґрунтах

**Псаммофіти**  
рослини піщаних ґрунтів



б

стосовно  
температури

пойкілотермні (холоднокровні) — тварини, температура тіла яких змінюється залежно від коливань температури навколишнього середовища; гомойотермні (теплокровні) — тварини, температура тіла яких є сталою та не залежить від коливань температури навколишнього середовища; гетеротермні — група теплокровних тварин, здатних до часткової регуляції температури

стосовно  
вологи

*гігрофіли* — тварини, яким для оптимальної життєдіяльності необхідна висока вологість середовища; *мезофіли* — тварини, які існують в умовах помірної вологості; *ксерофіли* — тварини, які живуть в умовах низької вологості

стосовно  
світла

Світло є необхідною умовою під час зорового орієнтування в просторі. Види: *фотофіли* (світлолюбиві) та *фотофоби* (тінелюбиві). Інтенсивність освітлення впливає на спосіб життя, який ведуть тварини: присмерковий, нічний і денний



Мал. 4.27. Класифікація за пристосуванням до різних фізичних умов середовищ:  
а — рослин; б — тварин

Для будь-якого організму існує оптимальне поєднання екологічних чинників. Як ви знаєте, у результаті конвергенції виробилися подібні пристосування в мешканців кожного з чотирьох середовищ життя на нашій планеті — наземно-повітряного, водного, ґрунтового та організму як середовища існування. Тож не лише біотичні, а й абіотичні чинники є вагомою силою природного відбору.

## БЕРЕЖІТЬ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Підстав для збереження біорізноманіття багато. Сучасна економіка ґрунтується на використанні біоресурсів (мал. 4.28). Економічна цінність біорізноманіття полягає у використанні біологічних ресурсів — це той

фундамент, на якому збудована цивілізація. Вони є основою більшості видів діяльності людини, таких як сільське господарство, фармацевтика, целюлозно-паперова промисловість, садівництво й городництво, виробництво косметичних засобів, будівництво й переробка відходів.



Мал. 4.28. Біоресурси

Біорізноманіття є рекреаційним ресурсом. Головний напрям рекреаційної діяльності — отримання задоволення без руйнування природи. Ідеться про пішохідний туризм, фотографування, спостереження за птахами тощо. Річки, озера, ставки, водосховища створюють можливості для водних видів спорту, водних прогулянок, купання, аматорського рибальства. У світі індустрія екологічного туризму зростає швидкими темпами й включає в свою орбіту до 200 млн осіб щорічно.

Біорізноманіття приховує ще багато резервів для здоров'я людей. Упродовж століть рослинні й тваринні екстракти використовували для лікування людей. Сучасна медицина виявляє зацікавленість у біологічних ресурсах, сподіваючись знайти нові види ліків. Побуває думка, що більше різноманіття живих істот, то більше є можливостей для відкриття нових ліків.

З біорізноманіттям тісно пов'язані як виробничі й технологічні, так і художньо-мистецькі галузі. Пригадаймо лише міфологію (мал. 4.29). Стародавні римляни називали Флорою богиню рослин і квітів, а Фауну вважали покровителькою тварин. Мати Флори й Фауни Богиня Землі *Tellus* уособлювала материнське лоно землі, яка сприймає насінини й дає нове життя. Нині флорою біологи називають сукупність усіх видів рослин, що населяють певну територію, а фауною — відповідно сукупність тварин.



Мал. 4.29: а — «Flore (Flora)», Клод Вільон (1593–1670, Париж); б — Ліва частина східного фасаду вітаря Августа Миру (верхня панель). Мармур. (Рим, 13 рік до н. е.)

Проте головна причина збереження біорізноманіття полягає в тому, що воно відіграє провідну роль у забезпеченні стабільності екосистем та біосфери в цілому (поглинання забруднення, стабілізування клімату, забезпечення придатних для життя умов). Екологічна цінність видового різноманіття є передумовою для виживання й стійкого функціонування екосистем, про які ми поговоримо в наступному розділі.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. Що таке біорізноманіття? Які воно має рівні та межі поширення?
2. Які основні таксони в системі органічного світу? За якими критеріями їх виокремлено?
3. Висловіть свою думку з приводу значення для сучасної людини (незалежно від професії) створення системи органічного світу.
4. Назвіть чинники, які впливають на біорізноманіття.
5. Які закономірності поширення рослин і тварин на земній кулі?
6. Назвіть біотичні й абіотичні чинники середовища. Наведіть приклади пристосувань до абіотичних чинників.
7. Яке значення світла для рослин і тварин? Як вони пристосовуються до існування в умовах різного освітлення?
8. Поясніть з огляду на вивчене українські прислів'я: «Де звіру живеться, там він і ведеться»; «Ведмідь усю зиму лапу ссе»; «Де ластівка не літає, а на весну додому прилітає»; «Сові сонце очі коле»; «Не вчи рибу плавати, а птицю літати».



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Розпізнавання різних представників рослин, тварин і грибів своєї місцевості.

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Створення фотогербаріїв та фотоколекцій.



Мал. 4.30. Фотографії макро- вже давно не новинка.

Однак макрозйомка українця Олександра Чорного з Коростишева справді особлива. У своїх роботах він розкриває світ флори та фауни, красу якого ми часто не помічаємо...

- 7 чудес своєї місцевості.
- Рекорди в живій природі.
- Фізика в живій природі.
- Біоніка: минуле, сьогодення, майбутнє.
- Зміни біорізноманіття в просторі й часі.
- Роль ландшафту (природи) у становленні духовності народу України.

# БІОРІЗНОМАНІТТЯ



## Г. 5. ЖИТИ РАЗОМ

Усім нам, мешканцям невеликої, прекрасної, але вкрай переобтяженої шкідливими плодами людської діяльності планети, необхідно почати діяти. Ми мусимо активно рятувати природне середовище, зберігати й «ремонтувати» свій дім, колись прекрасний, який почав розвалюватися з нашої ж вини. Але робота ця — надзвичайно складна, важка, відповідальна. І вона лише тоді дасть позитивні наслідки, коли ми виконуватимемо її не тільки сумлінно, з душею, а й, що дуже важливо, професійно, грамотно, з урахуванням законів природи

### ВИ НАВЧИТЕСЯ

*Знати:* основні положення концепції ноосфери; структуру й функціонування екосистем.

*Наводити приклади:* екологічних ніш; способів обміну інформацією в довкіллі; функціональних зв'язків в екосистемах; природоохоронних територій; рослин і тварин, занесених до Червоної книги.

*Характеризувати* вплив екологічних (біотичних, абіотичних й антропогенних) чинників.

*Пояснювати:* наслідки для організмів змін параметрів середовища; коеволюцію як основу функціонування стабільних екосистем.

*Визначати:* риси адаптованості рослин і тварин до середовища існування; оптимальні умови середовища життя для організмів різних екологічних груп; умови стабільності екосистем і причини її порушення.

*Усвідомлювати:* вплив діяльності людини на природу; єдність живої й неживої природи; необхідність побудови гармонійних стосунків природи і суспільства

## НООСФЕРА — СФЕРА ВЗАЄМОДІЇ ПРИРОДИ Й СУСПІЛЬСТВА

Для того щоб розглянути поняття ноосфери, дамо відповідь на запитання «Що таке природа?» Чи не здивувало воно вас? Адже досить несподівано чути його наприкінці вивчення «Природничих наук» у цьому році. «Ми впродовж року говорили про матеріальний світ — живу й неживу речовину й поля — об'єкти людської діяльності й пізнання. Усе це і є природа», — скаже хтось із вас. А хтось може зауважити, що природа — це все те, що утворилося й існує навколо без участі людини: повітря, ліси, поля, океани, моря, річки й озера, гори й степи, флора й фауна. Дехто згадає, що часто вживають термін «природа» стосовно суті чогось: природа явища, природа процесу. І кожен з вас матиме рацію. Природа (від лат. *natūga*, *pat* — *народжувати, породжувати*) — багатозначний термін, що залежно від контексту може означати: органічний і неорганічний матеріальний світ; сукупність буденних умов існування людства, тобто земне оточення, у якому живе людина (за винятком створеного нею); позначення сукупності основних якостей, властивостей чогось, сутність.

Наявність таких визначень природи є свідченням того, що фізичне (не живе), біологічне (живе) і соціальне перебувають у генетичному зв'язку між собою, але кожному притаманні й свої закони.

Оболонкою Землі, у якій взаємодіє жива й нежива речовина, є *біосфера*. Біосфера як замкнена біосистема щодо колообігів речовини й потоків енергії ніколи не перебувала в статичному стані: рослини, тварини, біогеоценози поступово еволюціонували, змінювали свою структуру. Поступова еволюція організмів у межах живої оболонки Землі спричинює зміну якісного стану біосфери, виникнення багатьох нових видів. З появою людини та суспільства в історії біосфери розпочався новий період — своєрідне пришвидшення еволюційних процесів. Розум людини вносить якісні зміни в характер земної еволюції. Людина створює нові технології, залучає до життєдіяльності нові ресурси планети й водночас вилучає з колообігу хімічних елементів дедалі більшу кількість речовин. З появою людини та її розумово-технологічної діяльності біосфера набуває нової якості — *ноосфери*, де життєві процеси відбуваються як розумні, технологічно обґрунтовані, морально вивірені. Ця нова оболонка є найскладнішою планетною системою, у ній людське суспільство вперше стає вирішальною й найбільшою геологічною силою, яка за обсягами здійснюваної роботи перевищує масштаби впливу природних фізико-географічних процесів.

Поняття «ноосфера» вперше ввели в науку французькі вчені Едуард Леруа (1870–1954, Франція) та П'єр Тейяр де Шарден (1881–1955, Франція, США) у 20-ті роки минулого століття. Важлива роль у теоретичному обґрунтуванні ідеї ноосфери належить академіку Володимирі Івановичу Вернадському (1863–1945, Росія). Він уважав, що до формування ноосфери приводять два відносно самостійні й водночас взаємопов'язані процеси: еволюція біосфери й еволюція соціуму. В. І. Вернадський устиг тільки в загальних рисах намітити концепцію ноосфери, та його слова залишаються актуальними й звучать застережливо: «У геологічній історії біосфери

перед людиною відкривається величезне майбутнє, якщо вона зрозуміє це й не використовуватиме свій розум і свою працю на самознищення».

Що ж таке ноосфера — утопія чи реальна стратегія виживання? Щоб обґрунтовано відповісти на поставлене запитання, розгляньмо коло подій та умов, що характеризують сучасний стан природи й суспільства:

- заселення людиною всієї планети;
- зростання кількості видобутку корисних копалин з надр літосфери;
- масове споживання біогенних речовин в енергетичних цілях. У зв'язку із цим в атмосфері поступово збільшується вміст вуглекислого газу. Цьому процесу сприяє також скорочення площ лісів — легенів планети й природних «фабрик» кисню;
- різке зростання обсягів продуктів і технологій виробництва й обміну ними між країнами;
- створення в масовій кількості нових речовин, зокрема й шкідливих, стійких до розкладання. Відбувається забруднення біосфери;
- відкриття нових джерел енергії;
- інтенсивна трансформація й розсіювання енергії Землі, а не її акумулювання, що було характерним для утворення біосфери;
- початок переважання геологічної ролі людини над іншими геологічними процесами, що відбуваються в біосфері;
- посилення зв'язків, зокрема й політичних, між усіма країнами світу;
- розширення меж біосфери й вихід у космос — у третьому тисячолітті виникає принципова можливість створення штучних біосфер на інших планетах та їхніх супутниках.
- рівність людей усіх рас і релігій;
- посилення ролі народних мас у розв'язуванні проблем зовнішньої та внутрішньої політики;
- виключення війн з життя суспільства;
- свобода наукової думки та наукового пошуку відтиску релігійних, філософських і політичних чинників та створення в державному устрої умов, сприятливих для свободи наукової думки;
- продумана система освіти й зростання добробуту; створення реальних умов для запобігання бідності, недоїдання та голоду;
- здійснення заходів, спрямованих на боротьбу з поширеними хворобами;
- перетворення природи Землі з метою зробити її здатною задовольняти всі матеріальні, естетичні й духовні потреби населення, що невпинно зростають.

Як бачимо, сьогодні відбуваються дії з трагічними наслідками для біосфери, одні умови не виконано, інші виконано, але знову ж результати деяких з них є загрозливими для біосфери. Коли людина усвідомить свої дії і, що найголовніше, навчиться прогнозувати наслідки, запобігати їхньому негативному впливу на біосферу, лише тоді можна буде говорити про утворення нового стану — ноосфери.

Для ноосфери як нового якісного етапу в розвитку біосфери характерний тісний зв'язок законів природи та соціально-економічних законів суспільства, заснований на науково-обґрунтованому, раціональному вико-

ристанні природних ресурсів біосфери, який передбачає відновлюваність колообігу речовин і потоку енергії.

Характерною рисою ноосфери є екологізація всіх сфер життя людини. До розв'язування будь-яких проблем людина має підходити з позицій екологічного мислення, тобто з позицій збереження й поліпшення стану природного середовища. Людині необхідно намагатися не перебирати на себе керівництво біосферою, а діяти так, щоб не заважати природі. Для цього важливо знати всі взаємозв'язки в біосистемах будь-якого рівня, особливо екосистем і біосфери в цілому. Гармонізувати стосунки з природою перебудовою технологій так, щоб вони не були шкідливими. Для цього необхідна й перебудова свідомості людини.



Мал. 5.1. Думи мої, думи<sup>1</sup>...

Які роздуми викликає у вас малюнок 5.1. Опишіть ваші уявлення про ноосферу.

## ЕКОСИСТЕМА

Про що достеменно має знати людина, щоб жити в гармонії з природою й не порушувати взаємозв'язки? Щонайменше закономірності взаємовідносин організмів між собою і з довкіллям, тобто функціонування екосистем.

Як відомо, екосистема — це сукупність організмів, які взаємодіють між собою та довкіллям. Унаслідок цього утворюється потік енергії. Це об'єкти різних розмірів, що можуть складатися з багатьох видів організмів. Для них усіх характерним є певний склад флори й фауни, притаманний цьому типу екосистем (мал. 5.2).



Мал. 5.2. Складники екосистеми

<sup>1</sup> Тарас Григорович Шевченко (1814–1861, Україна)



Розрізняють природні і штучні типи екосистем. Природні екосистеми поділяють на три основні групи (мал. 5.3):

- наземні, до яких належать тундра, тайга, широколистяні ліси, пустеля, тропічні ліси тощо;
- прісноводні — річка, озеро, болото тощо;
- морські — океан, коралові утворення, гирла річок (естуарії) тощо.

Деякі екосистеми можуть містити в собі проміжні риси, утворюючи перехідні типи, наприклад лісостеп. Екосистеми відрізняються розмірами, наприклад, екосистемами є як діброва, так і дуб, який у ній росте. Існують екосистеми з різноманітним видовим складом (наприклад, коралові рифи), а також такі, що налічують невелику кількість видів (наприклад, пустелі).



Мал. 5.3. Приклади екосистем: а — пустеля; б — широколистяні ліси; в — відкритий океан; г — річка; д — дощові тропічні ліси; е — тундра

Окремо виділяють штучні екосистеми, створені людиною. До них належать парки, сади, штучні водойми тощо. Головна відмінність від природних полягає в тому, що без людського втручання такі екосистеми гинуть.

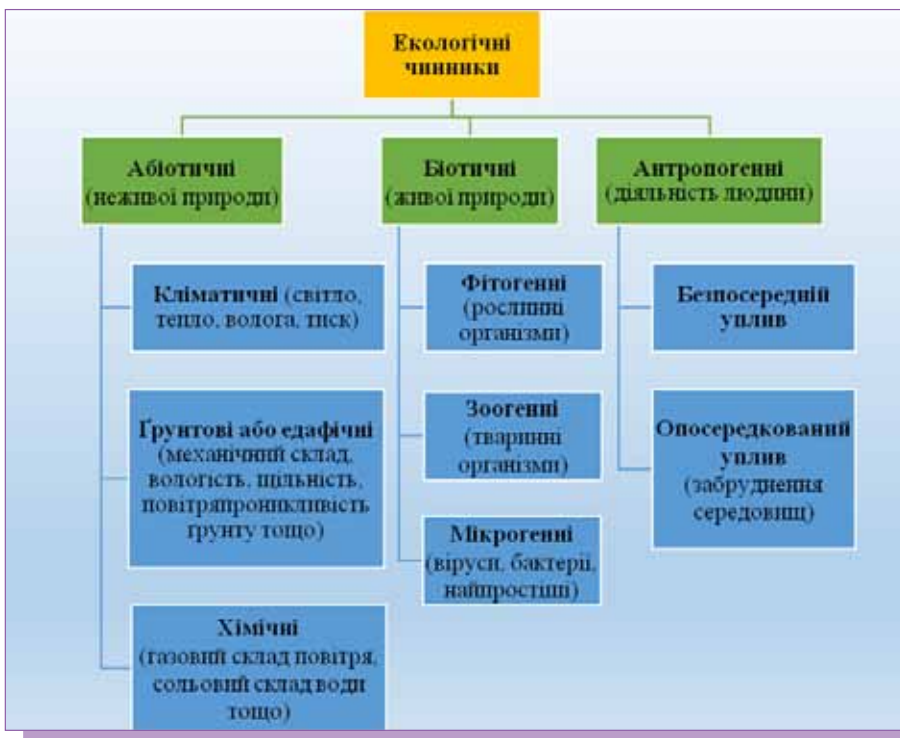
Схарактеризувати екосистеми можна так:

- 1) вони є складовими одиницями біосфери;
- 2) складаються з органічної та неорганічної речовини;

- 3) між усіма складниками відбувається обмін речовинами та енергією. У термодинамічному відношенні вони є відкритими системами;
- 4) мають певну стабільність і чітко виражений внутрішній колообіг речовин. Певною мірою вони є здатними до саморегуляції (гомеостаз).
- 5) склалися в процесі довготривалої еволюції. Це — результат адаптації видів до навколишнього середовища.

Між організмами екосистеми є різноманітні зв'язки, наприклад, рослини виділяють кисень, яким дихають тварини; тварини одного виду слугують їжею для інших видів; організми певного виду залишають потомство й утворюють нові групи особин. На всіх мешканців екосистеми впливають різні компоненти неживої природи, як-от: температура повітря й води, сонячна радіація, уміст у воді певних речовин (кисню, вуглекислого газу, солей тощо), рельєф, склад і структура ґрунту та інші.

Усі компоненти навколишнього середовища, які впливають на організми та їхні угруповання, називають екологічними чинниками (мал. 5.4).



Мал. 5.4. Екологічні чинники

Їх класифікують:

- 1) за характером дії — інформаційні, енергетичні, фізичні, хімічні;
- 2) за середовищем виникнення — атмосферні, водні, фізіологічні, генетичні, екосистемні;
- 3) за чинником часу — еволюційні, історичні, чинні;
- 4) за ступенем впливу — летальні, екстремальні, обмежувальні;
- 5) за об'єктом впливу — індивідуальні, групові, видові;

- 6) за місцем у системі — зовнішні й внутрішні;  
7) за походженням — абіотичні, біотичні та антропогенні.

Екологічні чинники можуть впливати на організми як:

- *подразники*, зумовлюючи пристосувальні зміни функцій організму;
- *обмежувачі*, що унеможливають існування організмів за цих умов;
- *сигнали* про зміни інших чинників середовища.

Кожний екологічний чинник впливає на живі організми позитивно або негативно, залежно від сили прояву його дії. Залежно від кількості та сили дії той самий чинник може мати протилежне значення для організму, наприклад, вплив температури. Крім того, той чи інший чинник може бути життєво необхідним для одних видів і не мати жодного значення для інших, наприклад, вплив світла на рослини та ґрунтових безхребетних.

У впливі чинників середовища на організми та реакціях останніх на цей вплив виявлено певні *закономірності*, причому вони стосуються чинників будь-якого походження.

Першу закономірність називають *законом оптимуму*. Залежно від сили дії того чи іншого екологічного чинника умови існування особин виду можуть бути оптимальними, неоптимальними або відповідати проміжному рівню.

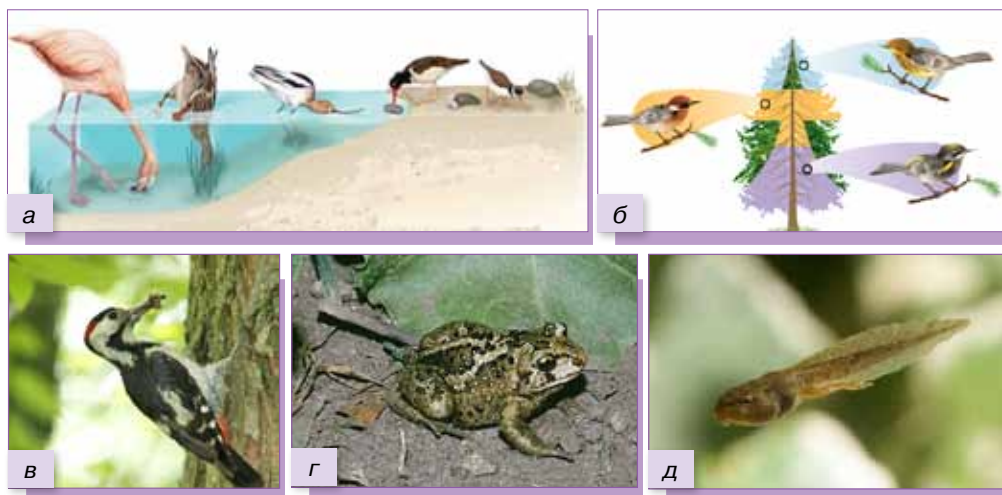
Сприятливу силу впливу чинника (таку, що забезпечує найліпші або оптимальні умови життєдіяльності особин) називають *зоною оптимуму екологічного чинника*. Будь-яке відхилення від оптимуму негативно впливає на розвиток організмів. Що більші ці відхилення, то сильніше пригнічується життєдіяльність організмів. Мінімальні й максимальні значення екологічного чинника є критичними — за їхніми межами життя вже неможливе. Цей принцип і називають *законом оптимуму* (мал. 5.5).



Мал. 5.5. Ілюстрація закону оптимуму

Наступні закономірності пов'язані з поняттям *екологічної ніші*. Термін «екологічна ніша» застосовують для характеристики положення організмів певного виду в екосистемі, способу їхнього життя й живлення. Поняття «екологічна ніша» включає фізичний простір, який займають організми виду, їхню функціональну роль в угрупованні, відношення до

чинників зовнішнього середовища (освітленості, вологості, температури, кислотності чи солоності ґрунтового розчину тощо), а також їхню пристосованість до цих чинників, фізіологічні та поведінкові реакції. Екологічна ніша організму залежить не тільки від того, де він живе, а й від того, що він робить. Тому важливо не плутати поняття «місце перебування» та «екологічна ніша». Місце перебування — це адреса організму, а ніша — його «професія», що вказує на функцію в угрупованні чи екосистемі, у природі. Іншими словами, екологічна ніша — це «спосіб життя організму» (мал. 5.6).



Мал. 5.6. Приклади екологічних ніш: а — водойми; б — дерева; в — опис екологічної ніші може бути таким: середовище існування — повітряно-наземне, екосистема — широколистяний ліс, екологічна ніша — дуб; той самий вид (жаба ропуха) може займати кілька ніш — земноводну (г) і водну, будучи пуголовком (д)

Отже, скільки біологічних видів в екосистемі, стільки й екологічних ніш. Екологічні ніші поділяються на види: фундаментальну (біологічні потреби виду, його вимоги до навколишнього середовища) та реалізовану (місце виду в біогеоценозі). У тому самому місці існування може бути кілька екологічних ніш. Різні види можуть займати однакові екологічні ніші, а популяції одного виду — різні екологічні ніші.

Функціонування екологічної ніші підпорядковане таким правилам:

- *правило обов'язковості заповнення екологічної ніші*. Порожня екологічна ніша завжди буває природно заповненою;
- *принцип винятку (теорема Гаузе) або правило конкурентного виключення*. Два види не можуть існувати в тій самій місцевості, якщо їхні екологічні потреби ідентичні, тобто вони «займають ту саму екологічну нішу».

Ці правила мають велике значення для вивчення поведінки організмів і пояснення закономірностей їхнього співіснування.

Найпоширенішими формами взаємодії є *конкуренція, хижацтво, мутуалізм, паразитизм та коменсалізм* (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

## Форми взаємодії організмів в екосистемах

Форма взаємодії	Опис форми	Приклади
<p>Мутуалізм</p> 	Взаємовигідне співіснування двох видів	Мурахи й попелиці. Взаємодія термітів та мікроорганізмів їхнього кишечника, які забезпечують розщеплення целюлози в травному тракті
<p>Паразитизм</p> 	Співіснування двох видів, за якого один вид використовує інший як середовище існування й джерело харчування	Гусінь та личинки їздців. Паразити людини як зовнішні (воші, клопи), так і внутрішні (гельмінти, лямблії, хламідії)
<p>Коменсалізм</p> 	Співіснування двох видів, за якого один вид використовує інший вид або його житло як середовище існування, але не завдає йому шкоди	Кліщі, які в норах гризунів харчуються їхньою шерстю, що випала
<p>Конкуренція</p> 	Співіснування особин одного (внутрішньовидова конкуренція) або різних (міжвидова конкуренція) видів, за якого вони змагаються за ресурси середовища існування	Боротьба самців за самок, зебр та антилоп — за траву, якою вони живляться
<p>Хижацтво</p> 	Тип відносин між популяціями двох видів організмів (хижак і жертви), за якого організми-хижаки харчуються організмами-жертвами, напавши на живу жертву	Вовки й зайці, шапки й комахи, дельфіни й риби

У результаті взаємозв'язку хижак—жертва в природі здійснюється природний добір. У процесі еволюції в хижака й жертви виробилися різні *адаптації* до спільного існування. У хижаків — це пристосування, що допомагають виявляти та атакувати здобич (наприклад, гострий зір, ікла, розвинені м'язи кінцівок, потужні щелепи й кігті, отруйні залози), у жертв — це пристосування до захисту й утечі (*поміркуйте й наведіть приклади таких пристосувань*).

Для багатьох видів взаємовигідним є об'єднання особин у групи (мал. 5.7). Це полегшує пошук здобичі, допомагає захищатися від ворогів і переживати несприятливі впливи неживої природи.



Мал. 5.7. Вигідне співіснування тварин у групах: а — зграя вовків нападає на бізона; б — стадо вівцебиків проти вовка; в — пінгвіни гуртуються, щоб перечекати заметіль

Екосистеми, як і всі біосистеми, підкорюються фундаментальним законам: закону збереження й перетворення енергії та законам термодинаміки. Колообіг речовин і потік енергії забезпечують стабільність екосистеми, тобто злагоджене існування її компонентів та умов середовища.

Разом усі організми утворюють складну цілісну систему, яка перебуває в стані динамічної рівноваги. Через зміну якогось з елементів системи інші елементи компенсують ці зміни й виправляють становище. Таку здатність системи відновлювати свій стан після його порушення називають *саморегуляцією*. Здатність до саморегуляції екосистем теж має певні межі. Якщо вплив якогось чинника є надто сильним, динамічна рівновага в екосистемі порушується. Це може призвести до руйнування екосистеми й вимирання багатьох видів.

Стійкість екосистем планети Земля й нашого з вами життя залежить саме від кількості видів. Що їх більше, то вища стійкість. Це означає, що в разі втрати якогось одного виду, є велика ймовірність того, що якийсь інший вид візьме на себе його функції. Якщо ж видів буде недостатньо, не буде кому зайняти цю вільну екологічну нішу, й екосистема втратить одну свою ланку, у результаті чого виникне дисбаланс. Він збільшуватиметься з утратою наступних видів. У решті-решт екосистема може повністю зруйнуватися та спричинити загибель усього, що її населяло, зокрема й людей.

Прикладом того, що одна зміна не є ізольованою, а тягне за собою іншу, може також слугувати один експеримент у 70-і роки ХХ ст. — спроба боротися з малярією на острові Калімантан в Індонезії. Для того щоб позбутися комарів — переносників малярії, було здійснено обробку місцевості пестицидом ДДТ, після цього на острові почали коїтися загадкові події. Спершу дахи будинків місцевих жителів почали обвалюватися, потім спостерігали масову загибель котів, і врешті-решт на острів прийшла чума. Чому так сталося? А тому, що окрім комарів ДДТ з'їли також і таргани. Вони не загинули, але стали повільнішими, тож ящірки стали поїдати їх в значних кількостях. Накопичений в організмах ящірок ДДТ викликав нервові розлади та послаблення рефлексів, тому вони частіше, ніж зазвичай, ставали жертвами котів. Масове знищення ящірок дало змогу розмножитися гусені, яка поїдала дахи будинків, зроблені з тростини, що спричиняло обвали. Окрім того, почалася масова загибель кішок, що отруїлися ДДТ. Зникли кішки — і не було кому регулювати чисельність пацюків.

Заповнивши острів, пацюки живуть у симбіозі з блохами, що є носіями чумної палички. Замість малярії, жителі острова отримали іншу, страшнішу хворобу — чуму. Цей приклад є хрестоматійним і добре ілюструє, як усе в докільлі пов'язане між собою.

*Стійкість екосистеми* — її здатність зберігати свою структуру й функції під впливом навколишнього середовища. Виокремлюють два типи стійкості екосистем: *резистентна* (здатність екосистеми протистояти порушенням за підтримання її структури та функції незмінними) та *пружна* (здатність системи відновлюватися після того, як її структуру та функцію було порушено).

Зрозуміло, що стійкість екосистеми поняття відносне. По-перше, постійно відбувається адаптація до зовнішніх умов, по-друге, — адаптація до середовища існування. Тобто стійкість досягається механізмами саморегуляції за незначних змін умов довкілля.

Зміни в екосистемах — природний процес, не обов'язково пов'язаний із зовнішніми впливами. Одні угруповання організмів змінюються на інші, створивши тим самим передумови для подальших змін.

Послідовна незворотна зміна біоценозів, що відбуваються на тій самій території в результаті впливу природних або антропогенних чинників, називають *сукцесією*.

Екологічні сукцесії — це закономірно направлений процес, який можна передбачити; також це наслідок змін, які відбуваються в середовищі існування та в угрупованнях.

Розрізняють сукцесії *первинні* та *вторинні* (мал. 5.8).

Первинні — виникають у місцях, які до цього не були зайняті ґрунотворними процесами, тобто позбавлені життя. Наприклад, формування флори та фауни на піщаній дюні.

Вторинні сукцесії виникають в місцях, які раніше були заселені, але втратили своїх мешканців унаслідок кліматичних, геологічних або антропогенних явищ.



Мал. 5.8. Сукцесія: а — первинна; б — вторинна

Екологічні сукцесії закінчуються утворенням стійкої стадії, для якої характерні максимальна величина біомаси, найбільше біорізноманіття та розвинуті зв'язки між різними організмами.

Зазначимо причини стійкості екосистем:

- видова різноманітність (що більше видів населяє екосистему, то різноманітніші харчові зв'язки між організмами й більша ймовірність того, що потік енергії не припиниться із зникненням певного виду);
- колообіг речовин;
- пристосованість видів до співіснування;
- саморегуляція (процес обмеження чисельності особин кожного виду, а не знищення їх одне одним).

До цього часу ми більше розглядали біотичні чинники, що впливали на функціонування екосистеми. Не менш важливими є й *абіотичні чинники* — компоненти неживої природи, які прямо чи опосередковано впливають на організми. Це температура, вологість, тиск, радіоактивність, вітер, течії, хімічний склад повітря тощо. Вони мають неоднакову інтенсивність у різних куточках нашої планети. У ході еволюції організми пристосовуються до впливу певного комплексу абіотичних чинників. Абіотичні чинники впливають на поширення видів і зумовлюють їхній *ареал*.

Особливого значення для функціонування екосистем має обмін інформацією між усіма учасниками живого світу, що перебуває в нерозривному зв'язку з чинниками неживої природи. Взагалі-то обмін інформацією здійснюється на всіх рівнях організації живого на нашій планеті: молекулярному, клітинному, тканинному, організменому, популяційно-видовому, екосистемному, біосферному.

Що ж розуміють під обміном інформацією в живих системах? Це процес отримання, перероблення живою системою інформації з навколишнього середовища й передавання їй власної інформації.

На *молекулярному* рівні найбільше значення має процес передавання й отримання генетичної інформації, оскільки він лежить в основі спадковості.

Інформація на *клітинному* рівні лежить в основі такого явища, як *фагоцитоз*.

На *тканинному* рівні інформація, наприклад, визначає широко відомий феномен несумісності тканин.

На *організменому* рівні обмін інформацією з навколишнім середовищем відбувається за участю органів чуття й нервової системи. В основі такого обміну лежить рефлекторна діяльність.

На популяційно-видовому рівні різноманітну інформацію тварини передають одне одному за допомогою особливої поведінки.

На екосистемному й у цілому на біосферному рівнях здійснюється складний взаємопов'язаний і взаємозалежний потік інформації.

Усі живі організми мають одну загальну властивість: вони розмножуються внаслідок передавання інформації від предків до нащадків через дані, що зберігаються в ланцюжках ДНК — *генах*. Однак, окрім передавання інформації щодо розмноження, є ще безліч інших. Наприклад, такі найпростіші одноклітинні організми, як інфузорія тифелька, постійно сприймають і використовують інформацію про температуру й хімічний склад навколишнього середовища для вибору найсприятливіших умов іс-



нування за допомогою своїх чутливих відростків. Складніші організми обмінюються інформацією один з одним. Ссавці передають її через видавання різних звуків (виття, мукання, нявчання, ричання тощо). Деякі істоти, такі як кажани й дельфіни, використовують ехолокацію. Поміж біологів є такі, що вважають — усе живе «харчується інформацією»: створює, накопичує й активно використовує її. Під час накопичення інформації істоти набувають певного досвіду, який допоможе їм вижити в майбутньому, щоб передати цю інформацію нащадкам.



Мал. 5.9. Людина і природа

Ми не зупинятимемося на описі тих антропогенних чинників, які призводять до руйнування екосистем (мал. 5.9). Зосередимо увагу на тому, які заходи зі збереження екосистем і біосфери в цілому здійснюють люди. Що ми робимо для того, щоб зберегти гармонійні стосунки з природою. У сучасній науці підхід до розв’язання актуальних проблем взаємодії суспільства й людини дістав назву *коеволуції*, відповідно до якого суспільство і природа — це соціоприродна система, де гармонійний розвиток суспільства неможливий без усебічного врахування природного й навпаки. Тобто подальший розвиток суспільства, усіх його духовних і матеріальних чинників неможливий без узгодження з розвитком природи.

## БЕРЕЖІМО ПРИРОДУ, ЩОБ ЖИТИ РАЗОМ

Тож зберігати біорізноманіття є дуже важливим завданням сучасного світу на шляху до збереження природи та людства. Механізм охорони навколишнього природного середовища регулюють згідно з нормами міжнародного екологічного права. Основними напрямками міжнародної спів-

раці в галузі охорони навколишнього середовища є державні ініціативи, міжнародні організації, міжнародні конвенції та угоди, двостороннє співробітництво.

Об'єкти охорони навколишнього середовища поділяють на *національні* (державні) та *міжнародні* (світові). До національних об'єктів належать земля, вода, надра, дикі тварини та інші елементи природного середовища, що є на території держави. Охорону та керування цими об'єктами здійснюють на базі державного законодавства в інтересах своїх народів.

До міжнародних об'єктів охорони навколишнього середовища належать об'єкти в межах міжнародного простору: Космос, повітряний басейн, Світовий океан, Антарктида та об'єкти, які переміщуються територіями різних країн, (наприклад, дикі тварини, що мігрують). Ці об'єкти не є національним надбанням та не входять до юрисдикції певної держави. Їх охороняють згідно з положеннями різноманітних договорів, конвенцій, протоколів, які є відображенням сумісних зусиль міжнародного співробітництва; оскільки причинами цього є загальна екологічна небезпека; загроза масштабної шкоди компонентам та системам навколишнього середовища.

Регулювання, погодження та керування такою діяльністю здійснює низка міжнародних організацій: Міжнародний союз охорони природи (МСОП), Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки й культури (ЮНЕСКО), Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ), Програма ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП), Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ), Продовольча й сільськогосподарська організація ООН (ФАО), Міжнародна морська організація (ММО), Всесвітня метеорологічна організація (ВМО), бюро з надання допомоги у разі стихійного лиха (ЮНДРО).

На сьогодні прийнято ряд природоохоронних конвенцій та угод, які є чинними й для України. Основою є *Конвенція про біологічне різноманіття* (Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 1992 р.), де піднято питання щодо збереження біорізноманіття. Набула чинності на території України 29.11.1994 р.

*Картахенський протокол про біобезпеку* при Конвенції про біологічне різноманіття (2000 р.), підписаний з метою уникнення шкідливого впливу генетично-модифікованих організмів, що можуть мати несприятливий вплив на біорізноманіття, набув чинності в нашій державі 12.09.2002 р.

*Рамсарська конвенція* (Рамсар, Іран, 1971 р.) стосується охорони водно-болотяних угідь, що мають міжнародне значення. Ратифікована Україною 1995 р., при цьому є зафіксованими 22 водно-болотяні угіддя міжнародного значення.

*У Конвенції про збереження видів диких тварин, що мігрують* (Бонн, Німеччина, 1979 р.) поставлено питання збереження, за можливості — відновлення середовищ існування з метою запобігання зникненню видів тварин, що мігрують. В Україні набула чинності 19.03.1999 р.

*Конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення* (CITES, Вашингтон, США, 1979

р.) ратифікована Україною 14.05.1999 р. з метою захисту рідкісних видів флори та фауни від безконтрольного використання їх у міжнародній торгівлі.

*Бернська конвенція* (Берн, Швейцарія, 1979 р.) стосується охорони дикої флори й фауни та природних середовищ їхнього існування в Європі з метою збереження рідкісних та зникаючих видів рослин і тварин. Набула чинності в Україні 29.10.1996 р.

*Бухарестська конвенція* (Бухарест, Румунія, 1992 р.) стосується питань захисту морського довкілля та зменшення й контролю забруднення Чорного моря. Україна приєдналася до неї 15.01.1994 р.

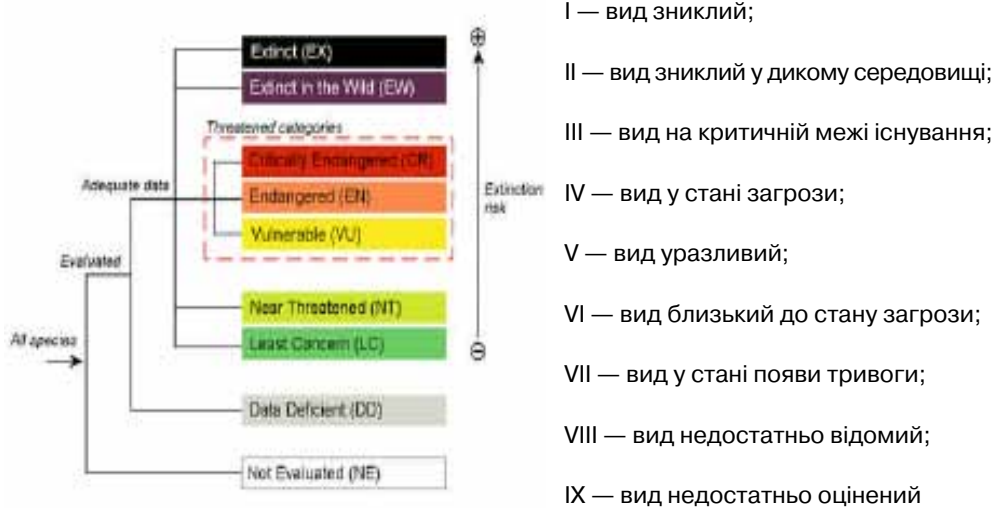
*Міжнародний союз охорони природи (МСОП)*, заснований 1948 р. як спостерігач при Генеральній Асамблеї ООН, є міжнародною громадською організацією, що займається питаннями висвітлення проблеми збереження біорізноманіття Землі, представляє конференції та конгреси, що відбуваються в різних країнах; списки видів, які потребують охорони в різних регіонах планети.

Дані щодо рідкісних, зникаючих або видів рослин і тварин, які перебувають під загрозою зникнення, систематизують і заносять до Червоної книги з метою введення режиму їхньої особливої охорони та відтворення.

Червона книга МСОП — це систематизований документ, який містить дані про охоронний статус рослин і тварин у світі. Його почали видавати від 1963 р., але на сьогодні Список існує у вигляді електронних баз даних, розміщених в Інтернеті. Дані в цьому збірнику щорічно уточнюють, уносять зміни та нові види, які потребують охорони.

Міжнародна Червона книга побудована на універсальних критеріях оцінки статусу видів флори й фауни та ризику їхнього зникнення.

Категорії видів Червоної книги МСОП:



Наприклад, українська флора представлена переважно видами сьомої категорії, що входить до Червоного списку МСОП.

На сьогодні Міжнародна Червона книга вміщує 96 951 вид; з них 972 — повністю вимерлі види; понад 26 500 видів перебувають під загрозою зникнення (мал. 5.10, 5.11).

Окрім Червоного списку МСОП є ще так званий Блакитний список, де вказують види біорізноманіття, які стабілізували свій популяційний склад та не перебувають під загрозою зникнення в результаті правильних природоохоронних заходів держави.



Мал. 5.10. Види, занесені до Червоного списку МСОП



Мал. 5.11. Види, занесені до Червоної книги України

Однією з ефективних форм охорони біотичних угруповань, природних екосистем є державна система природоохоронних територій.

*«Природоохоронна територія — це географічно виокремлена ділянка землі, на якій здійснюють регулювання та використання природних ресурсів для досягнення конкретних природоохоронних цілей»* (Конвенція про біорізноманіття).

До основних категорій природоохоронних територій належать природні території та об'єкти й штучно-створені об'єкти: *державні природні заповідники*, зокрема й біосферні; *національні та природні парки*; *державні природні заказники*, *пам'ятки природи*; *дендрологічні парки й ботанічні сади* тощо. Класифікацію природно-заповідного фонду України регулює Закон України «Про природно-заповідний фонд України» (1992 р.).

В Україні є 19 природних і 4 біосферних заповідники. Найвідоміші з них — Асканія-Нова, Дунайський та Карпатський заповідники (мал. 5.12).



Мал. 5.12. Найвідоміші біосферні заповідники України:  
Дунайські плавні та Асканія-Нова

*Природні національні парки* — природні території та акваторії, де забезпечено підтримку екологічного балансу й збереження природних екосистем; урегульовано туризм і відпочинок людей; розроблено та впроваджено методи збереження природного комплексу за умови масового допуску відвідувачів.

В Україні створено 48 національних природних парків, серед яких найвідомішими є Шацький національний природний парк у Волинській області та Синевир у Закарпатській області (мал. 5.13).



Мал. 5.13. Природні національні парки

*Заказники* — території, створені на певний термін з метою збереження чи відтворення природних комплексів або їхніх складників та підтримання екологічного балансу (наприклад, це може бути популяція одного або кількох видів тварин або рослин, природні ландшафти, водні об'єкти тощо). Після відновлення чисельності популяції виду, природного ландшафту та ін. заказник закривають.

*Пам'ятки природи* — це унікальні, невідтворювані природні об'єкти, що мають наукову, екологічну, культурну та естетичну цінність (печери, урочища, скелі). На такій території заборонена будь-яка діяльність, що порушує їхнє збереження.

*Дендрологічні парки й ботанічні сади* — колекції дерев і кущів, створені людиною з метою збереження біорізноманіття та збагачення рослинного світу, а також з метою наукової, освітньої та культурно-просвітницької роботи (мал. 5.14).



Мал. 5.14. Проект «Едем» — ботанічний сад у Великобританії, створений з метою природоохоронної просвіти людства

Особливу увагу приділяють збереженню рідкісних і зникаючих у природі видів. Наприклад, колекція Київського ботанічного саду ім. М. Гришка<sup>1</sup> налічує 13 тисяч видів (мал. 5.15).



Мал. 5.15. Ботанічні сади, як штучно створені об'єкти природно-заповідного фонду

<sup>1</sup> Гришко Микола Миколайович (1901–1964, Україна)

Найвідомішими в Україні є дендрологічні парки «Софіївка» у Черкаській, «Олександрія» — у Київській, Тростянецький дендропарк — у Чернігівській області.

За порушення режиму природоохоронних територій встановлено адміністративну й кримінальну відповідальність.

Скорочення різноманіття тваринного та рослинного світу неминуче позначиться на житті людини, оскільки біорізноманіття є фундаментом духовного й фізичного здоров'я будь-якої нації. Біорізноманіття є цінним і саме по собі, незалежно від цінності його використання людьми. Якщо ми бажаємо зберегти свій менталітет і національну самобутність, то маємо зберегти природу рідного краю. Стан природи є дзеркалом стану нації. Збереження біорізноманіття — необхідна умова виживання людства.

Можливо, ми — лише одна з мільйонів розвинених цивілізацій. На жаль, космічний простір такий розлогий, що середня відстань між будь-якими двома цивілізаціями становитиме, як вважають фахівці, принаймні 200 св. р., які значно легше вирахувати, ніж уявити. Це означає, що навіть якщо ці інопланетяни знають, що ми тут є, і якимось можуть розгледіти нас у свої телескопи, вони бачать світло, яке залишило Землю 200 років тому. Тож вони бачать не нас із вами. Вони спостерігають за диваками у панчохах і напудрених перуках, — людьми, яким іще невідомо, що є атом або ген, та які викреслюють електричну іскру натиранням бурштину й вважають це неабияким дивом.



## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

1. У чому полягає єдність природи?
2. Як ви розумієте поняття «ноосфера»?
3. Наведіть визначення екосистеми. Назвіть її структурні елементи. Які існують типи екосистем?
4. За якими ознаками класифікують екологічні чинники?
5. Що стверджує закон оптимуму? Правила екологічних ніш?
6. Виявіть можливі біотичні чинники в екосистемі вашої місцевості та схарактеризуйте їх.
7. Чим загрожує екосистемі порушення зв'язків між організмами?
8. Які типи взаємодії існують між організмами в екосистемах?
9. Розгляньте малюнки й визначте, які форми взаємодії організмів на них зображено.







## ПОДУМАЙТЕ Й ВІДПОВІДАЙТЕ

10. Наведіть приклади антропогенних чинників, які негативно впливають на екосистеми місцевості вашого проживання.
11. Схарактеризуйте позитивні антропогенні чинники. Використайте приклади, про які дізналися з додаткових джерел інформації.
12. Які заходи з охорони природи ви знаєте?
13. Складіть правила поведінки в природі.
14. Поясніть з огляду на вивчене твердження Б. Шоу: «Тепер, коли ми навчилися літати у повітрі, як птахи, плавати під водою, як риби, нам не вистачає тільки одного: навчитися жити на Землі, як люди».
15. Укладіть добірку висловлювань видатних людей, які б ілюстрували зміст цього блоку.



## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Визначення рис адаптованості рослин і тварин до середовища мешкання. Виявлення рівня антропогенного та техногенного впливу в екосистемах своєї місцевості.

### ЗАХИСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

- Стабільність екосистем та причини її порушення.
- Природні та штучні екосистеми. Моделювання взаємозв'язків у природних і штучних екосистемах.
- Біоіндикація стану навколишнього середовища.
- Виявлення місцезростань червонокнижних видів своєї місцевості.
- Заповідна справа в Україні.
- Спостереження за поведінкою тварин.
- Секрети поведінки домашніх тварин. Зміни біорізноманіття в просторі й часі.
- Роль ландшафту (природи) у становленні духовності народу України.