Валерій Соболь

БІОЛОГІЯ

9



Валерій Соболь

БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Кам'янець-Подільський
Видавництво АБЕТКА
2026

УДК 57(075.3)
С54

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(*наказ Міністерства освіти і науки України від 27.01.2026 № 110*)

Видано державним коштом. Продаж заборонено

Підручник розроблено за модельною навчальною програмою
«Біологія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти
(*автор Соболь В.І.*)

Соболь В. І.

С54 Біологія : підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти / Валерій Соболь. — Кам'янець-Подільський : Видавництво Абетка, 2026. — 280 с. : іл.

ISBN 978-617-8497-06-4.



Інтерактивний електронний додаток до підручника (е-додаток)
https://lms.e-school.net.ua/courses
/course-v1:Abetka+Bio9-2025+2025_09/course/

ISBN 978-617-8497-06-4

© Соболь В. І., 2026
© Видавництво Абетка, 2026



Будівля живої природи влаштована на двох стовпах: перший — це єдність світу, і другий — це його різноманіття.

Ервін Чаргафф (1905–2002) — американський біохімік, один із найяскравіших талантів світової науки



ЯК ПРАЦЮВАТИ З ПІДРУЧНИКОМ?

ЖИТТЯ! Яким багатогранним, різноманітним і складним є це поняття. У біосистемах дивовижним чином поєднуються складність і простота, перервність і неперервність, стабільність та мінливість, позитивне й негативне, краса й потворність, ... І все це — задля існування, виживання й безупинного руху вперед. Чи можна осягнути життя у всій його різнобарвності? Відповідь однозначна: його можна вивчати, крок за кроком пізнаючи цей унікальний природний феномен і навчаючись мудрості у самої природи.

Цей підручник містить матеріал для того, щоб зрозуміти й навчитись цінувати прояви життя, осягнути найзагальніші закономірності організації хімічного складу, будови, функцій, поведінки організмів і живих угруповань. Тому запропоновані навчальні теми ґрунтуються на таких **світоглядних природничо-наукових поняттях та ідеях** як-от: пізнаваність матеріального світу, матеріальна єдність світу, енергія, речовина, інформація, самоорганізація, системність, структурність матерії, розвиток і рух, необхідність і випадковість, загальний зв'язок явищ, простір і час, взаємодія в природі, причина та наслідок.

У ньому, як і в наших попередніх підручниках, зміст організований на засадах продуктивного вивчення біології. Підручник має на меті не лише надати нові сучасні знання, а й запропонувати завдання, що допоможуть сформувати *власні способи діяльності* та реалізувати одну з найвищих людських потреб — потребу творити.

Навчальний матеріал підручника структуровано за розділами, темами і параграфами. Кожна тема передбачає діяльність упродовж шести навчальних годин. Параграфи містять рубрики. Матеріал параграфа починає цитата, афоризм, віршований рядок або вислів видатних науковців, філософів, митців чи цікавих людей про природу, її красу та значення для людини. Далі йдуть рубрики «Цікаво», «Закарбовуємо», «Думаємо разом», «Новини науки», «Усвідомлюємо», «Аналізуємо», «Оцінюємо» тощо, які містять проблемні ситуації, ілюстративні завдання, ввідні вправи та класичні експерименти для зацікавлення та мотивації.

ЗМІСТ. У змісті параграфа, як правило, три розділи, кожний з яких починається запитанням. Значну увагу приділено ілюстративному апарату, який містить малюнки, рисунки, світлини, таблиці й схеми, що допоможуть у запам'ятовуванні та усвідомленні інформації. Розділ містить також інтегративні завдання «Біологія + Фізика», «Біологія + Хімія» «Біологія + Географія,» «Біологія + Логіка», «Біологія + Англійська мова», «Дитячі запитання», «Смішна біологія» тощо.

Найважливіше у змісті кожного параграфа виділено в розділі **«Коротко про головне».**

ДІЯЛЬНІСТЬ. Навчальна діяльність упродовж кожної теми організовується згідно з послідовністю процесів пізнання: 1-й етап — *«Запам'ятовуємо»;* 2-й етап — *«Усвідомлюємо»;* 3-й етап — *«Застосовуємо»;* 4-й етап — *«Аналізуємо»;* 5-й етап — *«Оцінюємо»;* 6-й етап — *«Створюємо»*. У змісті цього розділу пропонуються *навчальне, розвивальне та ціннісне завдання* з чітко сформульованим орієнтиром на досягнення результату (електронний додаток «Діяльність»). Зміст завдань організовано навколо основного поняття, основного способу діяльності та ціннісної категорії, які виділені жирним різноколірним шрифтом. Наприклад, **ЖИВА ПРИРОДА, ДОСЛІДЖЕННЯ, МАТЕРІЯ**. Для досягнення конкретних результатів розвитку умінь розроблено основні способи навчальної діяльності: *дослідження, інформування, обґрунтування* та *розв'язання проблем.*

РЕЗУЛЬТАТ. Очікувані результати навчання, які сформульовані у навчальній програмі в розділах «ЗНАННЯ», «УМІННЯ», «СТАВЛЕННЯ», згруповані у підручнику до кожного параграфа. Це уможливлює організацію формувального та підсумкового оцінювання (електронний додаток «Результат»).

САМОРОЗВИТОК. На початку теми в рубриці *«Самоорганізація»* подається перелік *проєктних завдань* для підготовки навчальних продуктів упродовж теми та їхньої презентації по завершенні цієї теми. У розділі *«Самонавчання»* підібрано *особистісні, регулятивні, пізнавальні, комунікативні* та *ціннісно-емоційні завдання* — по одному для кожного уроку. А в рубриці *«Самооцінювання»* зібрано завдання для формувального самооцінювання (*на розпізнавання, репродуктивні, продуктивно-конструктивні та продуктивно-творчі завдання*) та підсумкового самооцінювання (*тематично-діагностувальні завдання*). Для самоконтролю знань пропонуються нові види цікавих для учнів тестів: тести-конструювання, тести-увідповіднення, тести-застосування, тести-узагальнення тощо.

Підручник створювався з метою організації продуктивного навчання. У зв'язку з цим головною стала вимога щодо *спрямованості учнів на діяльність*, за якої засвоєні знання стають засобом розвитку умінь та навичок для того, щоб формувати особистісне ставлення до навколишнього світу. Учні за допомогою вчителя, у співпраці з іншими та самостійно організовують навчальну діяльність у вигляді особистісної освітньої траєкторії, формують *власні способи діяльності* та створюють *особистісні освітні продукти*.

Сподіваємося, що підручник допоможе вам стати особистістю і патріотом нашої України та сформувати багатий арсенал діяльнісних можливостей для пізнання нового. Успіхів у навчанні, розуміння важливих наукових ідей та здійснення власних інтелектуальних відкриттів.

Успіхів у навчанні та нових власних інтелектуальних відкриттів!

Розділ ІІІ. ЗАКОНОМІРНОСТІ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Тема 1. БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

Фактичне ціле демонструє властивості, які відсутні у його ізольованих частин.

Карл Людвіг фон Берталанфі (1901–1972) — австрійський біолог, засновник концепції «Загальна теорія систем»



§ 1.1. БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

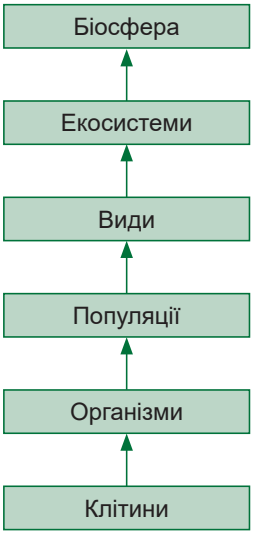




Метикуємо! Автомобіль (від грец. *autos* — сам та лат. *mobilis* — той, що рухається) — самохідна колісна машина, яка приводиться в рух встановленим на ній двигуном і призначена для перевезення людей або вантажів безрейковими дорогами. Порівняймо автомобіль як технічну систему з організмом коня, який є біосистемою. Що спільного та відмінного між ними?

ЗМІСТ

Що таке біологічні системи?



Біологічною системою є будь-який живий об'єкт чи система об'єктів живої природи різноманітної складності. Це множина рівнево організованих взаємозалежних елементів, що утворюють єдине ціле.

Основними типами біологічних систем є *клітина, організм, популяція, вид, екосистема* та *біосфера*. Наприклад, кінь — це живий організм, утворений з клітин, тканин, органів та систем органів.

Спільними ознаками усіх біосистем є їхня **біологічна організація**. Це *структурна та функціональна упорядкованість складових частин живого, їхніх функцій та зв'язків між собою та із зовнішнім середовищем*.

Структурна організація біосистеми визначається складовими елементами та їхнім просторовим розташуванням. Так, клітини організму мають три основні частини — поверхневий апарат, цитоплазму і ядро, кожна з яких утворена певними компонентами (наприклад, у цитоплазмі є органели). У кожній біосистемі є певні рівні організації, але про це — трішки нижче.

Функціональна організація — це узгоджена діяльність складових частин біосистеми, що мають певні функції. Саме їхнє функціонування й забезпечує життєдіяльність.

Біологія + Культура ✿ *Пам'ятна срібна монета «Кінь» присвячена тварині, зображення якої часто знаходимо на пам'ятках культури Київської Русі. Із запропонованих літер утворюю назву дикого коня, який є найімовірнішим пращуром одомашненого коня свійського.*





А А Н Р П Т

Які основні властивості біосистем?

Біосистеми мають ряд спільних особливостей, що відрізняють їх від неживих систем. Найзагальнішими особливостями біосистем є ***відкритість, упорядкованість*** та ***рівневість***, які здійснюються завдяки здатності живого до використання й перетворення речовини, енергії та інформації.

Біосистемам притаманна особлива ***цілісність***, яку забезпечують внутрішні та зовнішні взаємозв'язки. Ця єдність не зводиться до суми властивостей її складових елементів а є результатом фізичних, хімічних, фізіологічних, екологічних взаємодій. Таку особливість систем у науці називають ***емерджентністю*** (від англ. *emergence* — виникнення, поява нового). Властивостями, що ілюструють емерджентність біосистем, є, наприклад, міжклітинна комунікація, мембранне транспортування на клітинному рівні, наявність органів та процеси життєдіяльності — на організмовому, популяційні хвилі — на популяційно-видовому, ланцюги живлення — на екосистемному.

Біосистеми різної складності мають механізми ***саморегуляції*** для збереження динамічної сталості, ***самооновлення*** для утворення нових складників замість пошкоджених чи втрачених та ***самовідтворення*** для наступності існування в часі, що є їхніми фундаментальними властивостями.



Які рівні організації біосистем та основні принципи їхньої взаємодії?

Рівні організації біосистем — *це певний тип взаємодії структурних та функціональних складників біологічних систем*. Основними ієрархічними рівнями є: *молекулярний* (складниками є хімічні елементи та сполуки, біохімічні реакції), *клітинний* (поверхневий апарат, цитоплазма, ядро (нуклеоїд), життєві процеси клітин), *організмовий* (клітини, тканини, органи, системи органів та процеси життєдіяльності), *популяційно-видовий* (організми одного

виду та біотичні внутрішньовидові взаємовідносини), *екосистемний, або біогеоценотичний* (організми різних видів, міжвидові біотичні взаємозв'язки, процеси взаємодії з навколишнім середовищем) та *біосферний* (взаємопов'язані екосистеми, процеси кругообігу речовин та енергії). За необхідності виділяють ступені організації в межах кожного з рівнів. Наприклад, для організмового рівня — тканинний, органний, системний.

Рівні організації біосистем взаємодіють за ***принципами єдності*** та ***ієрархії*** (*розташування частин або елементів цілого в певному порядку від вищого до нижчого*). Основою єдності всіх рівнів організації біосистем є проникаючі крізь них потоки речовин, енергії та інформації. Принцип ієрархічної організації систем полягає у тому, що будь-яка система є компонентом системи більш високого рангу і, своєю чергою, складається з підпорядкованих їй біосистем систем нижчого рангу. Так, існування організмів забезпечується організацією будови й життєдіяльності на молекулярному і клітинному рівнях, а самі організми є компонентами популяційно-видового рівня. Відмінності біосистем пов'язані з ***принципом емерджентності,*** прояви якого спостерігаються у структурній, функціональній та етологічній організації на кожному з рівнів.

Коротко про головне

- **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ** — *це сукупність взаємопов'язаних структурних й функціональних компонентів, найзагальнішими особливостями яких є відкритість, упорядкованість та рівневість.*
- Сучасне розуміння біосистем ґрунтується на структурно-функціональному підході, згідно з яким у біосистемах виділяють структурні компоненти, виявляють їхні функції та взаємозв'язки. Іншими словами визначають особливості **біологічної організації**.
- Біологічні системи характеризуються ієрархією рівнів організації, що взаємопов'язані між собою завдяки триєдиному потоку речовин, енергії та інформації.

ДІЯЛЬНІСТЬ

Навчальне завдання. Опорна схема. **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ.**

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Порівняння біосистем (на вибір).

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **СИСТЕМА?**

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *формулює*: поняття **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**
• *усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ДОСЛІДЖЕННЯ** причин подібності біосистем
• *визначає сутність ціннісної категорії*: **СИСТЕМА**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 273*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку зорових відчуттів.

Завдання для прогнозування. Рівні організації організму людини.

Різноманітність форм життя настільки численна, що нам ще належить ідентифікувати більшість із них, і вона є найбільшим дивом цієї планети.

Едвард Осборн Вілсон (1929–2021) — американський біолог, еколог, письменник



§ 1.2. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Виявляється! «*Як мало ми знаємо про середовище існування організмів? Навіть кількість живих видів можна підрахувати лише приблизно. Загальновизнана оцінка вчених ставить їх приблизно в 10 мільйонів. Оскільки лише майже 20 % її видів відомі, а 80 % — ще не відкриті, справедливо назвати Землю маловідомою планетою*».

ЗМІСТ

Яке значення для Землі має її біорізноманіття?

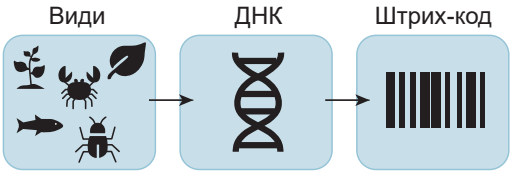
БІОРІЗНОМАНІТТЯ — це розмаїття організмів, видів та їхніх угруповань. Сам термін «біорізноманіття» почав набувати поширення з 1988 року, з моменту виходу у світ наукової праці «Біорізноманіття» під редагуванням відомого біолога Е. О. Вілсона. Проблемами оцінки, шляхів і механізмів формування та еволюції біорізноманіття займається ***диверсикологія***.

Біорізноманіття сучасного органічного світу — результат біологічної еволюції, яка здійснюється упродовж 4–4,5 млрд років. Причиною різноманіття живої природи є *природні умови*, а точніше — їхня різноманітність. Основними типами біорізноманіття, що проявляється на різних рівнях організації живої природи, є: ***генетичне*** (різноманітність генів усіх організмів), ***видове*** (різноманітність видів організмів) та ***екосистемне*** (різноманітність біоценозів у різних ділянках Землі). Усі типи біорізноманіття пов'язані між собою.

Яке ж значення біорізноманіття для Землі? Живі організми та їхні угруповання забезпечують: стійкість та розвиток біосфери в цілому, потік та кругообіг речовин, енергії та інформації, регуляцію кліматичних процесів на Землі, потреби людини в біологічних ресурсах (їжа, сировина, ліки) тощо. Біорізноманіття — це величезний генофонд планети, і чим він різноманітніший, тим легше наша Земля адаптується до нових умов.

Які основні принципи біологічної систематики?

Упорядкування біорізноманіття та створення системи живої природи — завдання надзвичайно складне. Тому наука ***систематика*** (термін походить від латинізованого грецького слова «*systema*», яке означає «разом») розвивається у тісному зв'язку з природничими науками та розділами біології (еволюційна морфологія, біохімія, молекулярна біологія,



Іл. 1. Схема штрих-кодування ДНК

генетика, біогеографія тощо). Наприклад, для ідентифікації біологічних видів у сучасній систематиці застосовується метод ***штрих-кодування ДНК***. Це молекулярно-генетичний метод визначення видів за допомогою короткої ділянки ДНК з певного гена (для тварин — це гени мітохондрій, для рослин — гени хлоропластів).

Біологічна класифікація (від лат. *classis* — клас, *facio* — роблю) — це багаторівневий, послідовний поділ живої природи з метою систематизації, поглиблення та отримання нових знань про біорізноманіття. Основними принципами біологічної класифікації організмів є:

- Основні таксономічні ранги обов'язково присутні в класифікації будь-якого виду і є такими: *домен, царство, тип* (*відділ*), *клас, ряд* (*порядок*), *родина, рід і вид*.
- Основною і найменшою одиницею класифікації є вид, а найбільшою — домен (категорія найвищого рангу, що включає декілька царств).
- Кожен вид слід обов'язково класифікувати — визначити ступінь його подібності й відмінності від інших.
- На основі окремих ознак подібності ґрунтується побудова штучних систем, у яких не враховується історична спорідненість різних таксонів.
- Природні (філогенетичні) системи — це системи організмів, у яких класифікація видів ґрунтується на їх ступені подібності та відображає філогенетичну спорідненість між систематичними групами організмів. Лише ретельне дослідження філогенетичних зв'язків дозволяє віднести вид до певного царства, типу, класу тощо.
- Для класифікації живих організмів використовується *подвійна* (*бінарна*) *номенклатура*. Це подвійна назва видів, перше слово якої вказує на родову належність, а друге — на видову. Наприклад: Пес свійський (*Canis familiaris*).
- Для зведення правил біологічної номенклатури існують спеціальні номенклатурні кодекси (наприклад, Міжнародний кодекс ботанічної номенклатури (ICBN), Міжнародний кодекс зоологічної номенклатури (ICZN)).

Біологія + Символіка *Воля — це українська національна ідея. Вона записана на українському гербі, символом якого є сокіл-сапсан* (*Falco peregrinus*). *Використовую основні систематичні категорії та визначаю місце цього виду в системі органічного світу.*



Що таке видове різноманіття?

Видове різноманіття — *це кількість різних видів у конкретній місцевості* (*видове багатство*) *та їхня відносна чисельність* (*видова вирівняність*). Кількість видів на Землі — один із найважливіших показників для характеристики біорізноманіття. Очевидно, що існує більше видів, ніж офіційно описано (це близько 1,5 млн). Нещодавні оцінки коливаються, але більшість науковців прогнозує близько

11 млн видів. І що цікаво, на відміну від попередніх оцінок у нових переліках переважає домен Бактерії (близько 70–90 % видів).

З видовим різноманіттям пов'язане як генетичне, так і екосистемне. Кожен вид є сховищем величезної кількості генетичної інформації. Кількість генів коливається від 1 000 у бактерій та 10 000 у деяких грибів до 400 000 і більше у багатьох квіткових рослин та деяких тварин.

Взаємозв'язок видового різноманіття з екосистемним ілюструють окремі *екологічні закономірності*. Наприклад, більш продуктивне середовище може забезпечити спільне існування великої кількості видів. Зміна видової різноманітності може впливати на процеси в екосистемах — продукцію і розкладання органічної речовини. Виявилося, що продукційний процес в екосистемах залежить від видової різноманітності більше, ніж процеси деструкції органічної речовини. При зменшенні числа видів удвічі продукція екосистем знижується в середньому на 13 %.

Дослідження видового різноманіття та еволюційних зв'язків між видами дають змогу виявляти та застосовувати *еволюційні закономірності*, що характеризують історичний розвиток живої природи. Наприклад, закон збільшення різноманітності живого, закон стрибкоподібного характеру еволюції, закон нерівномірності еволюційного розвитку тощо.

Коротко про головне

- **БІОРІЗНОМАНІТТЯ** — це розмаїття форм життя та біологічних явищ, що існували та існують на Землі, що зумовлене різноманітністю природних умов існування. **Біосистематика** — *наука про різноманітність організмів*. Основними завданнями цієї науки є опис і класифікація існуючих і вимерлих видів.
- **Видове біорізноманіття** — сукупність усіх видів, які населяють певну територію. Під час дослідження видового різноманіття вивчають усі види, які є в угрупованні.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **БІОРІЗНОМАНІТТЯ.**

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Основні таксономічні категорії, що характеризують місце виду в системі органічного світу.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Філогенетичне дерево органічного світу.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **БІОРІЗНОМАНІТТЯ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ДОСЛІДЖЕННЯ** систематичного положення видів та висновок про основну причину відмінностей видів
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* зв'язок системи еукаріотів та ціннісної категорії **СИСТЕМА**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Графічний організатор «Скелет риби».

Завдання для розпізнавання. БІОРІЗНОМАНІТТЯ.

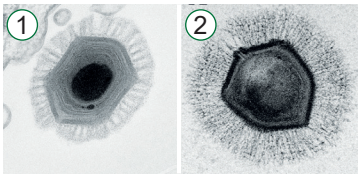
Багато інфекційних захворювань спричинені вірусами — дуже маленькими біологічними частинками.

Венделл Мередіт Стенлі (1904–1971) — американський біохімік, вірусолог і лауреат Нобелівської премії з хімії (1946)



§ 1.3. НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ. ВІРУСИ

Переконуємось! Відкриття останніх років докорінно змінюють розуміння природи Вірусів. Детальні дослідження велетенських ДНК-вірусів (*пітовірусів*, *мегаклотовірусів*, *пандоравірусів*), вірусів-сателітів доводять, що Віруси — це живі, можливо, найдревніші істоти на Землі, які утворюють четвертий домен живої природи (окрім доменів Археї, Бактерії та Еукаріоти).



Іл. 2. Велетенські віруси: 1 — мегавірус; 2 — мімівірус

ЗМІСТ

Чому віруси є біологічними системами?

НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ — *це автономні структури на молекулярному рівні організації життя, до яких відносять вироїди, пріони та віруси*. Спільними ознаками цих форм життя є: а) субмікроскопічні розміри; б) відсутність клітинної будови; в) внутрішньоклітинний паразитизм; г) здатність зберігати свої ознаки та змінюватися під впливом умов; д) здатність до самовідтворення.

ВІРУСИ — це біологічні системи, яким притаманна особлива структурно-функціональна організація.

Структурна організація. Загалом віруси складаються з важливих для живої природи органічних речовин — білків і нуклеїнових кислот. Білкові молекули (капсомери) утворюють багатофункціональну оболонку — *капсид*, а молекула РНК чи ДНК з генетичною інформацією — *серцевину*. Складні віруси можуть мати додаткові оболонки, молекули ліпідів, вуглеводів, ферменти тощо.

Унікальна особливість вірусів — різноманітність організації їхнього генетичного матеріалу. Відомо, що в усіх організмів є дволанцюгові ДНК, а ось вірусні нуклеїнові кислоти ілюструють усю еволюційну різноманітність цього класу речовин і можуть бути представлені одно- або дволанцюговими молекулами ДНК чи РНК.

Функціональна організація. Вірусні білки бувають кількох типів: *білки-гемаглютиніни* для розпізнавання клітин, *білки-нейромінідази* для руйнування рецепторів клітин, структурні білки для побудови капсиду, *білки-ферменти* для самовідтворення молекул нуклеїнових кислот тощо. У групі Віруси наявні білки, які цілковито відсутні у клітинних організмів, що підкреслює особливість їхньої еволюції.

Особливості вірусів
Неклітинна будова
Малі розміри (у нанометрах)
Простий хімічний склад
Різноманітність геному
Проста будова
Відсутність систем синтезу власних білків
Особливий життєвий цикл
Здатність до самозбирання

У життєвому циклі вірусів наявні дві фази — «нежива» позаклітинна (віріон) і «жива» внутрішньоклітинна. Саме на цій стадії у вірусів проявляються окремі ознаки живого, як-от: спадковість, мінливість, самовідтворення, еволюційний розвиток тощо. А деякі бактеріофаги мають власні імунні реакції та здатність до адаптації. Ще одна важлива відмінність вірусів полягає в їхньому унікальному способі утворювати віріони шляхом самозбирання.

Які особливості класифікації вірусів?

Класифікацією вірусів займається Міжнародний комітет з таксономії вірусів (англ. *International Committee on Taxonomy of Viruses*), що був заснований у 1966 році. Було вирішено тимчасово відмовитися від всеохоплюючої класифікації та створювати її поступово відповідно до нової наукової інформації. В основу сучасної класифікації вірусів покладено ряд критеріїв, серед яких: тип нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК) та її структура (один чи два ланцюги), наявність зовнішньої ліпопротеїнової оболонки, механізм реплікації, розмір і морфологія віріона, тип симетрії, а також тип захворювання, яке вони викликають.

Для класифікації вірусів застосовуються такі основні категорії: вид, рід, родина, порядок. Види вірусів не є біологічними видами. Вони визначаються як групи, що утворюють низку поколінь і займають певну екологічну нішу. Міжнародна назва виду вірусу не відповідає принципам бінарної номенклатури і не містить назви роду (перше слово — звичайно від хвороби, а друге повинно містити частину вірус (наприклад, *Influenzavirus* — вірус грипу, *human immunodeficiency virus* — вірус імунодефіциту людини). Назва виду може містити також літерні, цифрові або комбіновані позначення (наприклад, SARS-CoV-2).

Найвідомішими родами в групі Віруси є: *герпесвіруси* (віруси простого герпесу, вітряної віспи), *рабдовіруси* (вірус сказу), *ортоміксовіруси* (віруси грипу), *папіломавіруси* (віруси папілом), *ретровіруси* (вірус імунодефіциту людини), *коронавіруси* (коронавірус SARS-CoV-2) та ін. Дуже цікавим для науковців-вірусологів є група *нуклеоцитоплазматичних великих ДНК-вірусів* (або велетенських вірусів). Ці віруси називають нуклеоцитоплазматичними, оскільки вони часто здатні реплікуватися як у ядрі клітини хазяїна, так і в цитоплазмі. Однією з особливостей цієї групи є великий геном та наявність багатьох генів, що беруть участь у репарації ДНК, реплікації ДНК, транскрипції та трансляції.



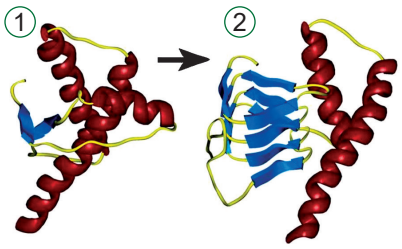
Біологія + Міфологія ✿ *Пандоравіруси є одними з найбільших ідентифікованих вірусів; мають довжину 2,5 млн нуклеотидних основ і кодує близько 2500 генів. Чому їх так назвали?*

Що спільного та відмінного між відкритими субвірусними частинками?

Окрім вірусів, до групи Неклітинні відносять й субвірусні частинки — віроїди та пріони.

Пріони (від англ. *proteinaceous infectious particles* — білкові заразні частинки) — *низькомолекулярні білкові частинки без нук-*

леїнової кислоти. Пріони складаються з особливого білка, який існує у вигляді двох форм: нормальний та аномальний (здатний перетворювати нормальний білок на подібний до себе). Особливостями пріонів є *відсутність власного геному, висока стійкість до температури, ультрафіолету, радіації*. Пріони не розпізнаються імунною системою як чужорідні білки та не провокують імунної відповіді. Відкрив пріони в 1982 році американський біохімік С. Прузінер. На теперішній час описано понад десять небезпечних пріонних захворювань тварин й людини (*коров'ячий сказ, скрейпі овець, губчаста енцефалопатія котячих* та ін.).



Іл. 3. Форма пріонів:
1 — нормальна форма білка;
2 — аномальна форма білка

Віроїди *— неклітинні форми життя у вигляді одноланцюгової кільцеподібної РНК, що не кодує білків*. Віроїди відкриті в 1971 році американським біологом Т. О. Дінером. Ці частинки не мають захисної білкової оболонки, а їхня РНК містить всього 250–375 нуклеотидів. У рослинні клітини віроїди потрапляють під час вегетативного розмноження, пошкодження чи за допомогою комах. Наслідком такого проникнення є віроїдні захворювання (*веретеноподібність бульб картоплі, карликовість хризантем, каданг-каданг кокосових пальм* та ін.).

Коротко про головне

- **ВІРУСИ** — *це біологічні системи на молекулярному рівні організації тому, що мають певну системну структурно-функціональну організацію.*
- Універсальна система класифікації вірусів використовує дещо змінену версію стандартної системи біологічної класифікації.
- Пріони й віроїди є заразними субвірусними частинками, що мають різну хімічну природу.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням ілюстрацій. **ВІРУСИ.**

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. Дослідження різноманітності вірусів.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Життєвий цикл вірусу грипу.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ВІРУСІВ**
• *Організовує*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** різноманітності вірусів
• *Виявляє ставлення на рівні реагування*: щодо ролі знань про біосистеми у боротьбі з вірусними захворюваннями

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Кроссенс. «Рівні організації».

Завдання для відтворення. ВІРУСИ.

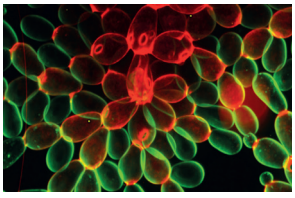
Організм є організованою істотою, здатною до самоорганізації.
Organism as «both an organized and a self-organizing being».

Іммануїл Кант (1724–1804) — німецький філософ і вчений



§ 1.4. КЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ. БАКТЕРІЇ. АРХЕЇ

Аналізуємо! Науковці створили перший синтетичний еукаріотичний організм, яким стали пекарські дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae*). Раніше такого успіху досягали і з прокаріотичними організмами (бактеріями *Mycoplasma laboratorium, Escherichia coli*). А які знання про організм необхідні для розв'язання цих завдань?



ЗМІСТ

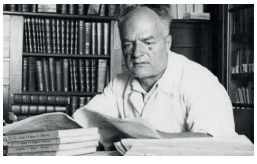
Які особливості відрізняють клітинні форми життя від неклітинних?

Загальноприйнятими критеріями, що відрізняють клітинні форми життя від неклітинних, є *обмін речовин, енергії та інформації, ріст, розвиток та розмноження*. Елементарною структурно-функціональною одиницею всіх живих організмів, здатною реалізовувати ці властивості, є клітина, тому всі організми мають клітинну будову. Клітини відділені від зовнішнього світу мембранами, а для підтримання сталості внутрішнього середовища мають механізми регуляції процесів. У кожної клітини є власна генетична інформація, що визначає всі її фізіологічні функції. Зберігаються ці «відомості» у молекулах ДНК з її унікальною властивістю до самоподвоєння. Завдяки цьому клітини передають генетичну інформацію наступному поколінню. Отже, основу самоорганізації організму складають клітинні процеси саморегуляції, самооновлення та самовідтворення.

За кількістю клітин усі організми поділяють на одно- та багатоклітинні. ***Одноклітинні організми*** складаються з однієї клітини, здатної здійснювати всі життєві функції. Це *бактерії, археї, одноклітинні еукаріоти* (амеба звичайна, хлорела звичайна, пекарські дріжджі). ***Багатоклітинні організми*** складаються із сукупності клітин, що спеціалізуються на виконанні певних функцій. У цій групі виділяють *справжні гриби, наземні рослини та тварини*.

Розрізняють два типи клітинної організації, що визначає поділ організмів на прокаріотів та еукаріотів. Одноклітинні організми, у яких клітини не мають оформленого ядра та більшості мембранних органел (бактерії, археї) називають ***прокаріотами***. Одноклітинні чи багатоклітинні організми, які мають клітинні ядра та різноманітні мембранні органели — це ***еукаріоти***.

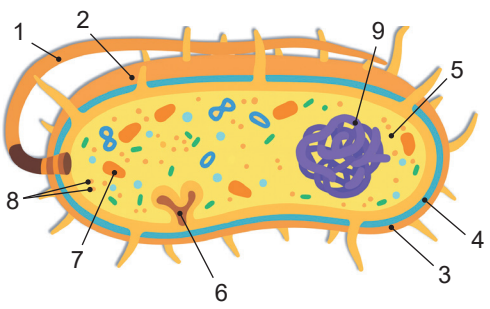
Біологія + Грецька мова *Терміни «прокаріоти» та «еукаріоти» вперше ввів у науковий вжиток французький біолог Едуард Шаттон (1883–1947). Що означають ці слова у перекладі з давньогрецької?*



Які визначальні ознаки, різноманітність та значення бактерій?

БАКТЕРІЇ — це прокаріотичні одноклітинні мікроорганізми з особливостями, що забезпечують їхнє повсюдне поширення. У бактерій розвинені особливі клітинні структури та багато унікальних біологічних властивостей.

Основна частка *спадкової інформації* зберігається в *нуклеоїді*, але у багатьох бактерій наявні *плазміди* з додатковою інформацією. Плазміди часто містять гени, що надають перевагу бактеріям у розмноженні, стійкості до антибіотиків тощо. *Клітинна оболонка* містить характерний лише для бактерій біополімер *пептидоглікан* (муреїн), що забезпечує її міцність, визначає форму клітини, захищає від несприятливих впливів середовища, бере участь в обміні речовин. У багатьох бактерій клітини мають *слизові капсули* для захисту та *ворсинки* (пілі) для прикріплення до поверхні та захисту від паразитів. Деякі бактерії для виживання в несприятливих умовах утворюють внутрішні *спори*.



Іл. 4. Структура бактеріальної клітини: 1 — джгутик; 2 — слизова капсула; 3 — клітинна стінка; 4 — плазматична мембрана; 5 — цитоплазма; 6 — плазміда; 7 — ендоспора; 8 — рибосоми; 9 — нуклеоїд

Для бактерій характерна надзвичайна різноманітність типів і способів живлення: *фотоавтотрофне* (ціанобактерії), *хемоавтотрофне* (залізо- та сіркобактерії), *фотогетеротрофне* (пурпурні несірчані бактерії), *хемогетеротрофне* (сапротрофні, паразитотрофні, симбіотрофні бактерії). Чимало бактерій *активно рухаються* за допомогою джгутиків або слизу.

Класифікація. Правила найменування таксонів бактерій та архей регулює *Міжнародний кодекс номенклатури прокаріотів* (редакція 2022 року). Найвідомішими групами бактерій є: *спірохети* (бліда спірохета), *актинобактерії* (стрептоміцети), *мікоплазми* (мікоплазма пневмонії), *протеобактерії* (кишкова паличка, сальмонела, холерний вібріон, чумна паличка, хелікобактер), *ціанобактерії* (спіруліна, носток, анабена, мікроцистіс).

Які особливості будови й життєдіяльності архей?

АРХЕЇ (від грец. *archaios* — старий) — прокаріотичні організми, відкриті у 1977 році К. Воузом і Дж. Фоксом. Археї та бактерії мають загалом подібну клітинну структуру, але склад та організація клітин відрізняються.

- *Клітинні покриви*. В утворенні *клітинної оболонки* архей беруть участь *псевдомуреїн* та *псевдопептидоглікан*, білки стійкого S-шару клітинної стінки та особливі жири-археоли плазматичної мембрани, що здатні міцно поєднуватися між собою. Така особливість забез-

печує надійний захист від руйнівного впливу екстремальних умов. Тому, цілком можливо, що археї не утворюють слизової капсули та ендоспор для перенесення несприятливих умов.

- *Генетичний матеріал*. Гени нуклеоїда архей містять унікальні ділянки-інтрони.
- *Обмін речовин*. Деяким археям (галобактеріям) притаманний особливий тип фотосинтезу, коли світло поглинається не хлорофілом, а бактеріородопсином. Іншим археям властивий енергетичний процес — метаногенез, в результаті якого утворюється метан.
- *Рух*. На поверхні клітин багатьох архей є органели руху — *архелуми*. За будовою вони подібні до джгутиків бактерій, а за складом скоротливих білків — відрізняються.

Класифікація. В домені Археї виділяють вже 13 типів, серед яких найбільш дослідженими є Кренархеоти і Евріархеоти. 2015 року виділено тип Локіархеоти з представниками, яких вважають перехідними формами між прокаріотами й еукаріотами. 2016 року описано ще один тип архей — Торархеоти. І, нарешті, 2017 року описані типи Геймдальархеоти й Одінархеоти.

Коротко про головне

- **ОРГАНІЗМ** — *відкрита біологічна система, яка завдяки системам регуляції, пристосувальним механізмам здатна зберігати свою цілісність й упорядкованість та може відносно самостійно існувати в певному середовищі життя.*
- **БАКТЕРІЇ** — *це прокаріотичні одноклітинні мікроорганізми зі спрощеною організацією будови, життєдіяльності та поведінки.*
- **АРХЕЇ** — *мікроскопічні одноклітинні прокаріотичні організми, які відрізняються від бактерій та еукаріот за складом та особливостями організації.*

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у таблицю. **ОРГАНІЗМ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Будова бактерій у взаємозв'язку з життєдіяльністю.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Аналіз статті «Marsarchaeota: Microbiologists Discover New Lineage of Archaea in Yellowstone».

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: відмінності **ОРГАНІЗМІВ** від неклітинних форм життя
• *Аналізує результати*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** взаємозв'язку будови та функцій клітин **БАКТЕРІЇ**
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* відкритість **СИСТЕМ** на прикладі **АРХЕЙ**

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку мислення. «Аналіз».
Продуктивно-конструктивне завдання. АРХЕЇ. БАКТЕРІЇ.

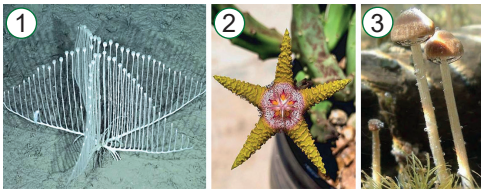
Основа для визначення таксонів поступово змістилася з організменного на клітинний та молекулярний рівні.

Карл Воуз (1928–2012) — американський мікробіолог, першовідкривач архей



§ 1.5. КЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ. ЕУКАРІОТИ

Оцінюємо! На ілюстраціях тварина, гриб і зелена рослина: *пстиріела водяна*, *губка-ліра* та *стапелія жовто-пурпурова*. Хто є хто? Чи можна за зовнішніми ознаками визначити їхню належність до основних груп багатоклітинних еукаріотів?



ЗМІСТ

Які визначальні особливості еукаріотів?

Основною відмінністю еукаріотичних організмів є наявність ***ядра*** в клітинах. Спадкова інформація кодується вже не в одній кільцевій молекулі ДНК, як у прокаріотів, а в декількох чи багатьох лінійних. І що дуже важливо, ці молекули ДНК утворюють комплекси з особливими білками-гістонами. За їхньою участю ДНК зручно упаковується в ядрі, отримує додатковий захист від ушкоджень та упорядковано взаємодіє з цитоплазмою. З ДНК-білкового матеріалу (або хроматину) перед поділом клітин формуються ***хромосоми***. Ці структури ядра є носіями генів і визначають спадкові властивості організмів.

Іншою важливою ознакою еукаріотів на клітинному рівні організації є ***мембранні органели***. За їхньою участю обмін речовин, енергії та інформації є більш ефективним. Мембранні органели еукаріотів можуть мати одну (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі) або дві (мітохондрії, пластиди) мембрани.

Згідно із сучасними уявленнями, у межах домену ЕУКАРІОТИ існують вісім супергруп, серед яких найбільшими за кількістю видів є ***Архепластиди*** (у складі Зелені рослини), ***Аморфеї*** (у складі Тварини та Гриби), ***TCAP*** (назва є абревіатурою чотирьох груп: телонемії, страменопіли, альвеоляти та різарії), ***Екскавати***.

Біологія + Міфологія *Нещодавно відкриті групи Локіархеоти, Торархеоти, Геймдальархеоти та інші об'єднали у надгрупу Асгард (Прометеархеати). Підставою для цього є наявність у представників «еукаріотичних сигнатурних білків», кодованих генами, які раніше вважалися унікальними лише для еукаріотів. А що таке «Асгард» у скандинавській міфології?*



Які ознаки зелених рослин?

ЗЕЛЕНІ РОСЛИНИ (*Viridiplantae*) відрізняються великою різноманітністю та відіграють важливу роль у наземних та водних екосистемах як продуценти (утворювачі первинної органічної речовини). Це екологічне різноманіття пов'язане з рядом нових ознак, які розширили адаптаційні можливості: багатоклітинність та розвиток кутикули, захищених зародків, продихів, провідних тканин, вегетативних (корені та пагони) та генеративних (насіння, квітів, плодів) органів. Основними відмінностями рослинних клітин є: *клітинна стінка з целюлози, пластиди, великі вакуолі та резервний вуглевод крохмаль*.

У системі зелених рослин розрізняють Зелені водорості (*Chlorophyta*) та Наземні рослини (*Embryophyta*). ***Зелені водорості*** — еукаріотичні організми, у яких фотосинтез пов'язаний із переважаючими зеленими пігментами хлорофілами *a* і *b*. Пластиди зелених водоростей великі, займають основний внутрішній об'єм клітини. Їх називають *хроматофорами*, і в різних водоростей вони відрізняються за формою. Представниками зелених водоростей є *ульва, спірогіра, ацетабулярія, улотрикс, хламідомонада, хлорела*.

Наземні рослини мають тканини та органи, захищений зародок, цикл відтворення із чергуванням поколінь, багатоклітинні статеві органи та внутрішнє запліднення. Основними групами є *Мохоподібні* (Печіночники, Антоцеротофіти, Мохи) та *Судинні* (Плауни, Папороті, Насінні рослини).

Які ознаки відрізняють грибів від тварин?

ГРИБИ — це *клітинні еукаріотичні організми, для яких, окрім необмеженого росту, осмогетеротрофного живлення та спороутворення, характерні міцелій, клітинна оболонка з хітину, глікоген як резервний вуглевод*. У грибів дуже добре розвинений везикулярний транспорт, що забезпечує виділення ферментів для позаклітинного розщеплення органіки. Прості поживні речовини надходять до клітини у процесі осмотрофного живлення без утворення травних вакуолей. Вегетативне тіло переважної більшості грибів є системою вкритих клітинними оболонками ниток (гіфів), яка називається грибницею (міцелієм).

Сучасна система грибів розділяє різноманіття описаних видів на дев'ять основних груп, які за особливостями будови вегетативного тіла та спор об'єднують у три великі основні групи: Джгутикові гриби, Нижчі безджгутикові гриби та Вищі безджгутикові гриби.

Найбільш чисельними за кількістю видів і найбільш поширеними у природі є Мукоромікоти (мукор — біла цвіль, різопус — чорна цвіль), Гломеромікоти (мікоризоутворюючі гриби наземних рослин), Аскомікоти (*дріжджі, аспергіл, пеніциліум, трюфелі, зморшки, ліхенізовані гриби*), Базидіомікоти (*боровики, лисички, мухомори, печериці, трутовики, дощовики*). Гриби є основними редуцентами (руйнівниками органічних решток) в екосистемах.

ТВАРИНИ — це багатоклітинні еукаріотичні організми, у яких симетрична будова тіла, наявні тканини, органи та системи органів.

Окрім того, у тварин: змінна форма тіла, обмежений ріст, подразливість у вигляді рефлексів, відсутність клітинної стінки і наявність глікокаліксу, запасання глікогену. Молекулярні дослідження визначили місце тварин в надгрупі Задньоджгутикові. Ця назва позначає розташування джгутика в рухомій клітині (як у сперматозоонів більшості тварин), тоді як інші еукаріоти здебільшого мають передній джгутик. Основними напрямками еволюції тварин є: виникнення багатоклітинності, поява різних органів та систем органів, розвиток рухливості та систем регуляції.

У системі Тварини розрізняють п'ять основних груп: Губки (*Porifera*), Ктенофори (*Ctenophora*), Плакозої (*Placozoa*), Жалкі (*Cnidaria*) та Двобічносиметричні (*Bilateria*). Більшість видів тварин є білатеріями (Плоскі черви. Молюски. Кільчасті черви. Круглі черви. Членистоногі. Хордові), тобто мають двобічну симетрію тіла. Тварини в екосистемах відіграють функцію консументів (споживачів), які забезпечують передавання та поширення органічних речовин.

Коротко про головне

- **ЕУКАРІОТИ** (від грец. *eu* — добре, *karyon* — ядро) — *одно- та багатоклітинні організми, в клітинах яких наявні сформоване ядро, хромосоми та мембранні органели.*
- **ЗЕЛЕНІ РОСЛИНИ** — це еукаріотичні автотрофні організми, у яких наявна *здатність до фотосинтезу, щільна клітинна оболонка з целюлози, а резервним вуглеводом у них є, як правило, крохмаль.*
- **ГРИБИ** — це еукаріотичні гетеротрофні організми, у яких є *осмотрофне живлення, необмежений ріст, спороутворення, вегетативне тіло — міцелій, клітинна оболонка з хітину, глікоген як резервний вуглевод.*
- **ТВАРИНИ** — це еукаріотичні гетеротрофні організми, у яких: *фаготрофне живлення, активний рух, обмежений ріст, тіло у переважної більшості має тканини, органи та системи органів, клітинна оболонка відсутня, а резервний вуглевод — глікоген.*

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань. ЗЕЛЕНІ РОСЛИНИ, ГРИБИ, ТВАРИНИ.

Розвивальне завдання. Лабораторна вправа. Дослідження ознак рослин, грибів і тварин.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Життєвий цикл малярійного плазмодія.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює*: особливості організації **ЕУКАРІОТІВ**
• *Оцінює результати:* **ДОСЛІДЖЕННЯ** ознак зелених рослин, грибів і тварин
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: значення знань про еукаріотів для медицини

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест. «Емоції дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 1. ЕУКАРІОТИ та...

СТОРІНКА КОМПЕТЕНТНОСТІ

КЛАСТЕР-компетикум. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Контекст. *Вивченням біорізноманіття займається диверсикологія, а наукові знання застосовуються у найрізноманітніших галузях діяльності людини.*

1. У Ліни Костенко є рядки: «*Прощай, ..., із Командорських островів. Чудовисько, релікт, створіння ластогруде...*». Називаю вимерлий вид та групу, до якої належить ця тварина. (*2 бали*)



А безкрила гагарка **Б** тарпан **В** морська корова
Г Членистоногі **Д** Ссавці **Е** Хордові

2. «*На мене скажено блискав очима звір такої краси, що я зойкнув. Хутро в нього було коротким, шовковистим, соковитого золотаво-коричневого кольору, немов дикий мед. Очі зелені, точно листя під льодом...*», — писав Д. Даррелл. До якого домену та класу належить описаний ***ягуар***? (*2 бали*)



А Бактерії **Б** Археї **В** Еукаріоти
Г Плазуни **Д** Ссавці

3. У книзі А. Д. Фостера «Філогенез» є рядки: «*Однак гігантські видри його не зрозуміли. Ікла у них були довжиною з палець, а щелепи достатньо сильні, щоб роздробити кістку середньої товщини. Чорні очі загрозливо блищали...*». Називаю вид, з яким у ***видри*** найближча еволюційна спорідненість, та ознаку, яка є спільною для них. (*2 бали*)

А ведмідь бурий **Б** морський котик **В** куниця лісова
Г всеїдність **Д** справжнє хижацтво **Е** паразитизм

4. Нобелівську премію з фізіології та медицини у 2020 році отримали Х. Олтер, М. Хоутон і Ч. Райс за відкриття вірусу HCV (*hepatitis C virus*), який є збудником гепатиту С. Називаю основний механізм передачі гепатиту С й орган, у клітинах якого вірус паразитує. (*2 бали*)

А через забруднені руки **Б** через повітря **В** через кров
Г шлунок **Д** головний мозок **Е** печінка

5. Ці заразні частинки спричинюють хворобу каданг-каданг кокосової пальми, карликовість хризантем та веретеноподібність бульб картоплі. Називаю ці частинки та вказую особливість їх складу. (*2 бали*)

А пріони **Б** вірої̈ди **В** віруси
Г білки **Д** ДНК **Е** РНК

6. *Mycobacterium tuberculosis* є причиною переважної більшості випадків туберкульозу. Ці організми були вперше описані Р. Кохом, який отримав за відкриття Нобелівську премію з фізіології та медицини 1905 року. До якої групи належить цей організм та яка форма його клітин? (*2 бали*)



А Віруси **Б** Бактерії **В** Археї
Г кулясті, або коки **Д** звивисті **Е** паличкоподібні

Фундаментальні дослідження є рушійною силою біомедичних знань.

Рікард Санберг (нар. 1977) — клітинний та молекулярний біолог



§ 1.6. БІОСИСТЕМИ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ





Цікавимось! Нобелівську премію з фізіології та медицини у 2024 році отримали американські молекулярні біологи Віктор Амброс та Гарі Рувкун за дивовижне відкриття нового типу інформаційних молекул, які називаються ***мікроРНК***. Ці крихітні провідники відіграють вирішальну роль у регуляції генів у багатоклітинних організмів. Цікаво, яка біологічна наука займається такими дослідженнями?

ЗМІСТ

Які особливості сучасних досліджень біосистем?

Головне завдання біологічних досліджень — побудова системи знань, що ґрунтуються на фактах, які можна перевірити, і підтвердити чи спростувати. Біологія, як і будь-яка інша наука, для накопичення й обробки знань використовує такі поняття, як *науковий факт, гіпотеза, теорія, закон*. Основними методами біологічних досліджень є *порівняльно-описовий, експериментальний та статистичний*. Для дослідження надорганізмових біосистем досить часто застосовуються *моделювання та моніторинг*. Основною особливістю сучасних біологічних досліджень є пізнання суті біологічних явищ на молекулярному та клітинному рівнях організації.

У **молекулярній біології** для дослідження структури й мінливості генетичного апарату, з яким пов'язані процеси збереження й реалізації спадкової інформації, застосовуються такі методи, як-от: *фізіологічні* (наприклад, електронна та світлова мікроскопія); *фізико-хімічні* (мас-спектрометрія, радіоавтографія, рентгеноструктурний аналіз); *біохімічні* (наприклад, хроматографія, електрофорез), *методи молекулярної генетики* (секвенування генів, полімеразна ланцюгова реакція, застосування генетичних маркерів); *методи генної* (наприклад, метод гібридизації ДНК) та *клітинної інженерії* (клітинні культури, метод культури тканин і органів). У становленні та розвитку молекулярної біології велику роль відіграв ***метод рентгеноструктурного аналізу***, заснований на взаємодії рентгенівського випромінювання з електронами та ядрами атомів. Завдяки йому відбулося відкриття просторової структури білків, молекулярної структури нуклеїнових кислот (Дж. Вотсон, Ф. Крік, М. Вілкінс, Нобелівська премія з фізіології та медицини, 1962).

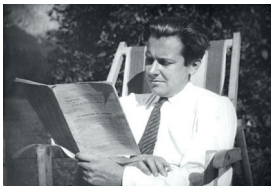
Нові методи виділення й вивчення клітинних компонентів, застосування радіоактивних ізотопів, упровадження методів електронної цитохімії, застосування мічених антитіл значно розширили межі

цитологічних досліджень. Розробка методів пересадження ядер в клітини (Б. Гердон, 1974), соматичної гібридизації клітин (Дж. Барскі, 1960), (Г. Гарріс, 1970) дала можливість вивчити закономірності регуляції генів, визначити розташування генів у хромосомах людини. Особливу роль у дослідженні ультраструктури клітин відіграв ***метод електронної мікроскопії***. Перший електронний мікроскоп збудовано 1931 року німецькими інженерами Ернстом Рускою і Максом Кнолем (Нобелівська премія з фізики, 1986).

Візуалізація внутрішніх органів людини за допомогою неінвазивних методів дуже важлива для медичної діагностики й лікування. Тому відкриття методу магнітно-резонансної томографії стало проривом у медичній діагностиці та дослідженнях (П. Лаутербур, П. Менсфілд; Нобелівська премія з фізіології та медицини, 2003).

Біологія + Англійська мова *Molecular biology, which spans biophysics and biochemistry, has made the most fundamental contributions to modern biology. Much is now known about the structure and action of nucleic acids and proteins, the key molecules of all living matter. The discovery of the mechanism of heredity was a major breakthrough in modern science. Another important advance was understanding how molecules conduct metabolism, that is, how they process the energy needed to sustain life.*

Які основні принципи організації біосистем?



Іл. 5. Людвіг фон Берталанфі

Загальна теорія систем — галузь наукового знання, що вивчає фундаментальні властивості систем, закономірності їхньої будови, поведінки, функціонування, становлення та розвитку. Першу теорію систем сформулював у 1940-х рр. австрійський біолог Л. фон Берталанфі (1901–1972), який досліджував загальні властивості, що притаманні будь-яким досить складним організаціям матерії (фізичної, біологічної, соціальної тощо). Які ж принципи загальної теорії систем необхідні для організації біологічних досліджень?

- Спільними ознаками біосистем є структурна і функціональна організація. Основними типами біологічних систем є клітина, організм, популяція, вид, екосистема та біосфера.
- Найзагальнішими особливостями біосистем є ***відкритість, упорядкованість*** та ***рівневість***, які здійснюються завдяки здатності живого до використання й перетворення речовини, енергії та інформації.
- Біосистеми різної складності володіють механізмами ***саморегуляції***, ***самооновлення*** та ***самовідтворення***, що є їхніми фундаментальними властивостями.
- Тип взаємодії структурних та функціональних складників біологічних систем визначає певний рівень організації. Виділяють: *молекулярний*, *клітинний*, *організмовий*, *популяційно-видовий*, *екосистемний* та *біосферний*.
- Рівні організації біосистем взаємодіють за ***принципами єдності*** та ***ієрархії*** (*розташування частин або елементів цілого в певному порядку від вищого до нижчого*).

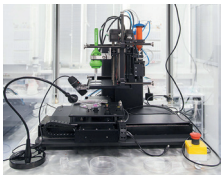
Біологія + Екологія ✿ *На ілюстрації орхідеї — прекрасні істоти з такими дивними квітками. Але краса цих рослин досить часто залежить від симбіотичних грибів. Цікаво, яким чином?*



Які основні напрямки використання біосистем у сучасних галузях науки і технологій?

Біологічні знання мають велике наукове й практичне значення для всіх галузей діяльності людини. Найширше їх використовують у *сільському господарстві, промисловості, для охорони здоров'я та природи*. Без знань про рослини і тварин не обходяться агрономи, зоотехніки, зооінженери, селекціонери, кінологи, ветеринари. Знання організму людини необхідні для медсестер, фельдшерів, лікарів, біоінженерів, психологів. Біологія потрібна працівникам фармацевтичної промисловості для розробки та виробництва ліків. Причиною багатьох захворювань є віруси й мікроорганізми, і щоб з ними боротися, вірусологи й мікробіологи повинні знати особливості їх життєдіяльності. У сучасних умовах практично на будь-якому виробництві потрібні екологи. Актуальними стають професії біокібернетиків, біоінформатиків, біоінженерів, нейробіологів, які застосовують принципи збереження й відтворення інформації живого для конструювання штучних біосистем. Якщо вас одночасно приваблюють біологія й хімія — обирайте професію біохіміка, біологія та архітектура — ландшафтного дизайнера.

Біологія + Регенеративна медицина ✿ *У 2022 році фахівці виконали реконструкцію людського вуха з використанням живої тканини, надрукованої на 3D-пристрої компанії 3DBio Therapeutics. Що таке 3D-біопринтинг на клітинній основі?*



Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. БІОСИСТЕМИ. БІОРІЗНОМАНІТТЯ.

Розвивальне завдання. Інфотаблиця. Біосистеми та наукові закономірності.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну з вибраних тем (*див. с. 273*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання*: про **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**
• *Застосовує навички* **ДОСЛІДЖЕННЯ** *та конструює* інфотаблицю про закономірності організації біосистем
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт щодо шанування науки як складника світової культури на основі ціннісних уявлень про **СИСТЕМУ**

Саморозвиток

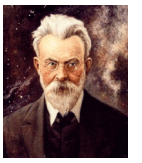
Самооцінювання та самонавчання. КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 1. БІОСИСТЕМИ та...



Тема 2. ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ БІОСИСТЕМ

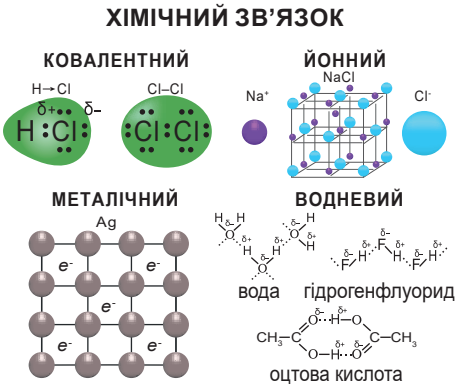
Роль живої речовини полягає в тому, що всі хімічні сполуки, пов'язані з життям, концентрують сонячну енергію.

В. Вернадський (1863–1945) — український науковець, засновник вчення про біосферу



§ 2.1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Запитання теми! Хімічний зв'язок — це взаємодія двох або кількох атомів, у результаті якої утворюється хімічно стійка система (молекула чи кристал). Однією з важливих характеристик є енергія хімічного зв'язку — тобто міра міцності зв'язку між атомами в молекулі. Чим більша енергія зв'язку, тим він міцніший. Цікаво, які зв'язки є найпоширенішими у молекулах речовин, що синтезують біосистеми?



ЗМІСТ

Які компоненти хімічного складу біосистем?

ХІМІЧНИЙ СКЛАД БІОСИСТЕМ — *це сукупність хімічних елементів та хімічних речовин, що містяться у клітинах і забезпечують їхню життєдіяльність чи організму в цілому*. Умовно хімічний склад клітини можна вивчати на елементному та молекулярному рівнях. Наука, що вивчає хімічний склад живого, значення й перетворення його компонентів, називається ***біохімією***.

Елементний склад визначається хімічними елементами, що беруть участь у життєдіяльності клітини. Їх називають **біоелементами**. Ці елементи присутні й у неживій природі, але у клітинах вони мають відносно стале співвідношення. Біоелементи залежно від кількісного складу поділяють на органогени, макроелементи та мікроелементи.

ХІМІЧНИЙ СКЛАД БІОСИСТЕМ	
Елементний склад	**Молекулярний склад**
Біоелементи: • органогени, • макроелементи, • мікроелементи	I. Неорганічні молекули (оксиди, кислоти, основи, мінеральні солі) II. Органічні молекули (білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти)

Молекулярний склад живого пов'язаний з наявністю в клітинах неорганічних та органічних сполук. З неорганічних речовин у клітині найбільший вміст припадає на воду й мінеральні солі. До органічних

речовин у клітинах належать білки, вуглеводи, ліпіди й нуклеїнові кислоти. Ці молекули будують складові частини клітин, забезпечують потреби клітин в енергії, захищають від чужорідних впливів середовища, беруть участь у регуляції життєдіяльності, здійснюють збереження й передачу спадкової інформації. Детальніше про будову, властивості та функції речовин клітини ми дізнаємось пізніше.

Які процеси здійснюють перетворення хімічного складу біосистем?

Кожна клітина є відкритою біологічною системою, здатною до саморегуляції, самооновлення та самовідтворення. І всі ці її фундаментальні властивості реалізуються за участю хімічних елементів і молекул, що беруть участь у найрізноманітніших перетвореннях речовин, енергії та інформації.

Серед цих процесів значне місце посідають фізичні процеси (*розчинення, кристалізація, дифузія, випромінювання* тощо) та хімічні реакції (*реакції сполучення, розкладання, обміну, заміщення*). Клітинні процеси відбуваються за участю енергії, тому виокремлюють *екзотермічні* (енергія виділяється під час перетворень) і *ендотермічні* (енергія поглинається для здійснення перетворень) реакції. Переважна більшість реакцій у клітинах відбувається за участю ферментів, і їх називають біокаталітичними. Ферменти забезпечують дуже швидке проходження реакцій, самі при цьому не витрачаються і, що дуже важливо для клітини, регулюють процеси залежно від потреб клітини у речовинах та енергії. Основними типами ферментативних реакцій є *реакції синтезу й реакції розпаду, реакції окиснення й реакції відновлення* та інші. Більшість ферментативних реакцій є специфічними для живої природи і не можуть відбуватися в неживій природі, що свідчить про єдність всього живого на Землі.

Яка функціональна роль біоелементів?

Найбільший відсотковий вміст припадає на Карбон, Оксиген, Гідроген і Нітроген, що є ***органогенами***. Вони відрізняються від інших малими розмірами і незначною відносною атомною масою (A_r). Саме ці особливості й зумовлюють їхню участь у побудові багатьох сполук живого, тобто *структурну функцію*. Так, Карбон входить до складу усіх органічних сполука, Нітроген бере участь у побудові амінокислот, білків, нуклеїнових кислот та вітамінів. До ***макроелементів*** відносять Калій, Кальцій, Натрій, Магній, Ферум, що є металами, та Фосфор, Хлор, Сульфур, що належать до неметалів. Ці елементи, окрім *структурної функції,* здійснюють ще й *регуляторну*. Наприклад, Натрій і Калій регулюють транспортування речовин до клітини і з клітини. ***Мікроелементами*** є Цинк, Йод, Флуор, Купрум, Манган, Кобальт та інші. Їхня біологічна роль пов'язана з включенням до складу біологічно активних речовин (гормонів, ферментів) та здійсненням *регуляторної* функції.

За функціями й біологічними властивостями біоелементи поділяють на:

1) **структурні —** беруть участь у побудові сполук та виконують роль будівельного матеріалу для клітин, тканин та органів. Так, Кар-

бон, Оксиген, Нітроген, Гідроген будують органічні речовини, Кальцій й Фосфор — кістки та черепашку молюсків, Силіцій — опорні структури діатомових водоростей, хвощів, радіолярій;

2) **метаболічні —** беруть участь в обміні речовин, енергії та інформації:
   - ***біокаталітичні елементи*** забезпечують високу біологічну активність ферментів і вітамінів. (Кобальт є в складі ціанкобаламіну, Купрум — утворює цитохроми);
   - ***регуляторні елементи*** у складі гормонів здійснюють ендокринну регуляцію (Йод у складі тироксину, Цинк — інсуліну), транспортують речовини через мембрани (Натрій та Калій);
   - ***кровотворні біоелементи*** беруть участь у процесах кровотворення (Ферум, Купрум).

Біологія + Медицина *Парацельс (справжнє ім'я Філіп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм) — відомий німецький алхімік та лікар епохи Відродження. Він навчав, що живі організми складаються з тих самих речовин, які утворюють усі інші тіла природи. Коли людина здорова, ці елементи й речовини перебувають у рівновазі, а хвороба виникає у зв'язку з їхнім надлишком чи нестачею в організмі. Що таке біоелементози?*



Коротко про головне

- Основними структурними компонентами хімічного складу біосистем є біоелементи, неорганічні й органічні речовини, що виконують певні функції й визначають прояви життєдіяльності.
- Функціональними компонентами хімічного складу клітини є фізичні й хімічні процеси, що забезпечують перетворення речовин, енергії та інформації.
- Основними функціями біоелементів у біосистемах є структурна та регуляційна.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ХІМІЧНИЙ СКЛАД БІОСИСТЕМ.**

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Біоелементи, особливості та значення.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **МАТЕРІЯ**? (з позицій фізики).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: поняття **ХІМІЧНИЙ СКЛАД БІОСИСТЕМ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ІНФОРМУВАННЯ** про біологічну роль біоелементів
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **МАТЕРІЯ**

Саморозвиток

Креативне завдання Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 273*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку предметності сприйняття.

Завдання для прогнозування. Хімічні речовини в складі організмів.

Неорганічна сполука — це зазвичай хімічна сполука, яка не має вуглець-водневих зв'язків, тобто, яка не є органічною сполукою.

Єнс Якоб Берцеліус (1779–1848) — шведський хімік



§ 2.2. БІОНЕОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ



Знайомимось! **Антуан де Сент-Екзюпері** (1900–1944) — французький письменник, найвидатнішим художнім твором якого (його *Magnum opus*) є «Маленький принц». «*У тебе немає ні смаку, ні кольору, ані запаху, тебе неможливо описати... Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти — саме життя*», — писав автор. Про яку неорганічну сполуку йдеться?

ЗМІСТ

Який склад та значення біонеорганічних сполук?

Серед неорганічних сполук виділяють прості (складаються з атомів одного елемента) і складні (побудовані атомами різних елементів). Серед складних сполук розрізняють оксиди, кислоти, основи й солі, що беруть участь у реакціях.

Оксиди виконують в організмі певні життєво важливі функції. Наприклад, оксид Гідрогену H_2O є універсальним розчинником, а пероксид Гідрогену H_2O_2 і чадний газ CO є токсичними речовинами. Основними особливостями, які зумовлюють біологічне значення ***мінеральних кислот***, є їхня здатність утворювати при дисоціації аніони NO_3^+, Cl^-, SO_4^{2-}, HNO_3, H_2CO_3 та катіони H^+, від концентрації яких залежить кислотність рідин організму. ***Основи*** мають здатність зв'язувати йони H^+ і брати участь у *регуляції кислотно-лужної рівноваги* рідин внутрішнього середовища. ***Нерозчинні солі*** беруть участь у побудові захисних та опорних утворів. Із ***розчинних солей*** найбільше значення мають ті, що утворюють катіони Натрію, Калію, Кальцію, Магнію, Феруму та залишки хлоридної, сульфатної й нітратної кислот.

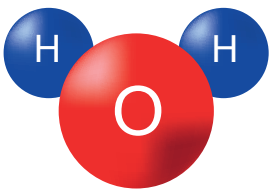
Таблиця. ДЕЯКІ НЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ ЖИВИХ ІСТОТ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ

Назва	Значення
HCl	У складі шлункового соку активує травні ферменти, захищає від мікроорганізмів
H_2SO_4	Надає розчинності продуктам обміну для видалення з клітин разом з водою
NH_3	Кінцевий продукт обміну білків, бере участь в утворенні нітритів та нітратів
H_3PO_4	Бере участь в утворенні АТФ, нуклеїнових кислот, складних білків та ліпідів
CO_2	Кінцевий продукт окиснення, регулює дихання, джерело Карбону у фотосинтезі
O_2	Є умовою клітинного дихання, кінцевим продуктом фотосинтезу
O_3	Утворює захисний екран від згубної для живого дії «жорсткого» ультрафіолету
$CaCO_3$	Є компонентом черепашок молюсків, скелетів коралів, зубів хребетних
SiO_2	Побудова черепашок радіолярій, клітин хвощів, панцирів діатомей, скелета губок

Біологія + Хімія ✿ *Неорганічна хімія — наука про хімічні елементи, їх прості та складні сполуки, а також закономірності перетворення цих речовин. На сьогодні у світі нараховується близько 400 000 неорганічних речовин. Про що свідчить наявність багатьох неорганічних речовин у складі живого?*

В яких функціях проявляється життєво важливе значення води?

Кількість води неоднакова у різних клітинах і різних організмів. Найбільше води містить тіло медуз (95–98 %), найменше її у комах (40–50 %) та лишайниках (5–7 %). Які ж біологічні функції виконує вода?

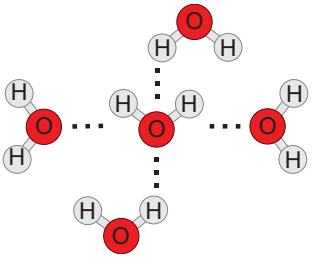


Іл. 6. Структура молекули води

- *Вода є універсальним розчинником*. За розчинністю всі сполуки поділяють на гідрофільні та гідрофобні. **Гідрофільні** (від грец. *hydro* — вода і *philia* — любов) **сполуки** — *це полярні речовини, які здатні добре розчинятися у воді* (розчинні солі, моносахариди, певні амінокислоти, нуклеїнові кислоти). **Гідрофобні** (від грец. *hydro* — вода і *phobos* — страх) **речовини** — *це неполярні речовини, які не розчиняються у воді* (нерозчинні мінеральні солі, ліпіди, полісахариди, певні білки).
- *Вода є реагентом*, за участю якого в клітинах відбуваються біохімічні реакції гідролізу.
- *Вода як теплорегулятор* забезпечує рівномірний розподіл тепла у клітинах та організмі.
- *Вода є осморегулятором* для підтримання концентрації розчинних сполук в організмі.
- *Вода є опорою,* що забезпечує пружність клітин, а також амортизує механічні впливи.
- *Вода — це засіб транспорту* для речовин у клітинах та організмі.

Які основні властивості води визначають її функції?

Вода — єдина речовина на Землі, яка трапляється у *трьох агрегатних станах*: рідкому, твердому та газоподібному. Найбільше значення має вода у рідкому стані. Розчинення речовин у воді знижує її температуру замерзання. Тому в клітинах рослин для перенесення низьких температур накопичуються вуглеводи й олії, в клітинах членистоногих — гліцерин, а в крові арктичних риб — особливі білки-кріопротектори. Перехід води з рідкого в газоподібний стан потребує затрат тепла, що використовується організмами для захисту від перегрівання (транспірація, потовиділення).


Іл. 7. Водневі зв'язки між молекулами води

Вода здатна поглинати велику кількість тепла з незначним підвищенням власної температури — у цьому полягає сутність її *високої теплоємності*. Вода має й високу *теплопровідність*, що забезпечує рівномірний і швидкий розподіл теплоти в клітинах і між клітинами в організмі.

Воді властивий винятково великий *поверхневий натяг*, що визначається силами зчеплення молекул води одна з одною з утворенням водневих зв'язків. Молекули води завдяки силам «прилипання» здатні переміщуватися через ядерні пори, пори клітинних стінок, капілярами кровоносної системи, судинами рослин тощо.

Воді властиві *висока пружність* і *нестискуваність*, що має значення для гідроскелету червів, стану напруження в клітинах рослин, високої швидкості проходження звукових хвиль всередині органів слуху ссавців. Не дивно, що саме ці звуки є основним засобом біокомунікації водних істот (наприклад, дельфінів, кашалотів).

Для клітин велике значення мають і хімічні властивості води. Її *амфотерні властивості* та *здатність до іонізації* ($H_2O = H^+ + OH^-$) визначають хімічну взаємодію та участь у реакціях для підтримання рівня pH. Вода як реагент бере участь у реакціях *гідролізу*, що є основою гомеостазу, обміну речовин та перетворення енергії.

Які особливості будови молекул води визначають її властивості? У молекулі води атоми Гідрогену утримуються біля атома Оксигену міцними *ковалентними зв'язками*, завдяки цьому вода є дуже стійкою сполукою. Молекула води — це постійний диполь з позитивним і негативним частковими зарядами на полюсах (*дипольність молекул*). Завдяки полярності сусідні молекули води можуть взаємодіяти між собою і з молекулами полярних речовин з утворенням *водневих зв'язків*, які виникають між частково негативним зарядом на атомі Оксигену однієї молекули та позитивним зарядом на атомі Гідрогену іншої.

Коротко про головне

- **БІОНЕОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ** — прості й складні хімічні речовини, що виконують у біосистемах низку життєво важливих функцій.
- **ВОДА** — неорганічна речовина, молекули якої складаються з двох атомів Гідрогену та одного атома Оксигену.
- Унікальні властивості води визначаються такими особливостями її молекул, як: 1) наявність ковалентних зв'язків між атомами; 2) наявність водневих зв'язків між молекулами; 3) дипольність молекул; 4) малі розміри молекул.

Діяльність

Навчальне завдання. Фрейм. **БІОНЕОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Біологічна роль води та її властивості.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Що таке речовина та фізичне поле?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання*: про **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ІНФОРМУВАННЯ** про взаємозв'язок особливостей молекул **ВОДИ**, її властивостей та функцій
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про взаємозв'язок видів **МАТЕРІЇ**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Мозковий штурм».

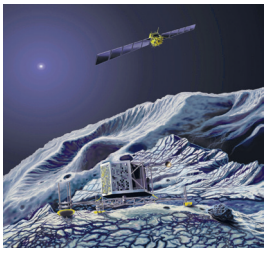
Завдання для розпізнавання. Біонеорганічні сполуки.

Комети — це «капсули часу», оскільки вони зберігають первинну речовину, що існувала під час народження Сонця та планет 4,6 млрд років тому.

Клим Чурюмов (1937–2016) — український астроном



§ 2.3. БІООРГАНІЧНІ СПОЛУКИ



Усвідомлюємо! У листопаді 2014 року на комету Чурюмова-Герасименко (відкрито у 1969 році у співпраці зі Світланою Герасименко) з космічного апарату «Розетта» вперше здійснив посадку модуль «Філи». Було взято зразки ґрунту, у яких виявлено шістнадцять органічних сполук, чотири з яких зафіксовано на кометах вперше. Це ацетамід — CH_3CONH_2, ацетон — $(CH_3)_2CO$, метилізоціанат — CH_3NCO і пропіональдегід — CH_3CH_2CHO. Ці сполуки, згідно з гіпотезою науковців, могли бути вихідними сполуками для виникнення біомолекул. Що таке біомолекули?

ЗМІСТ

Які основні особливості біомолекул?

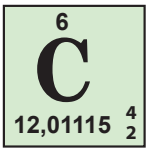
БІООРГАНІЧНІ СПОЛУКИ (біомолекули) — *це речовини, які мають скелети з ковалентно зв'язаних атомів Карбону і синтезуються клітинами організмів.* Їхній вміст у клітинах становить близько 30 %. Основною причиною різноманітності біомолекул є властивості Карбону, серед яких виділяють здатність атомів поєднуватись між собою з утворенням карбонових скелетів. Завдяки ковалентним зв'язкам вони одночасно міцні й рухливі. Тому біомолекули стійкі до нагрівання, дії світла, можуть бути відкритими (лінійна форма) і замикатися в кільця (циклічна форма).

Основні особливості біомолекул
1. Наявність міцних ковалентних зв'язків, що зумовлюють тривале існування молекул
2. Наявність слабких нековалентних зв'язків, що визначають структуру і взаємодію молекул
3. Висока енергоємність
4. Змінна активність

Біомолекулам властиві міцні *ковалентні* (наприклад, пептидний зв'язок білків) і слабкі *нековалентні* (наприклад, водневі, йонні) хімічні зв'язки. Ці зв'язки визначають: існування біомолекул, їхню взаємодію між собою, високу енергоємність і здатність до *окиснення* з виділенням великої кількості тепла. На хімічну активність молекул у клітинах впливають йони металів (наприклад, йони магнію, феруму), окремі неорганічні сполуки (наприклад, кисень, вуглекислий газ, вітаміни, ферменти, гормони).

Біомолекули мають відносно велику молекулярну масу, яка вимірюється в *дальтонах* (1 дальтон дорівнює 1/12 атомної маси Карбону). Так, у деяких нуклеїнових кислот вона досягає кількох мільярдів. За молекулярною масою біомолекули умовно поділяють на ***малі біомолекули*** (жирні кислоти, моносахариди, амінокислоти, нуклеотиди, АТФ)

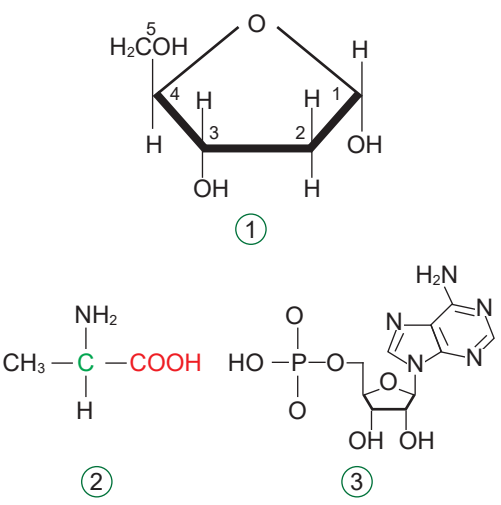
і ***макробіомолекули*** (ліпіди, білки, полісахариди, нуклеїнові кислоти).



Біологія + Хімія ✿ *Карбон є основою життя, визначаючи своїми властивостями всю різноманітність органічних сполук. Цікаво, які це властивості?*

Які особливості та значення малих біомолекул?

Малі біомолекули — *це молекули з відносно невеликою молекулярною масою від 100 до 1000 а.о.м., що містять до 30 атомів Карбону*. На частку малих молекул припадає до 5 % від маси клітини. У малих біомолекулах неодноразово повторюються функціональні групи (наприклад, COOH, OH, NH_2, CH_3), властивості яких і визначають їхню поведінку. Так, аміногрупа NH_2 визначає лужні властивості амінокислот, а карбоксильна група COOH — кислотні. До малих біомолекул належать *ліпіди, жирні кислоти, мономерні біомолекули* (моносахариди, амінокислоти й нуклеотиди), *біорегуляторні молекули* (гормони, нейромедіатори, вітаміни, алкалоїди), *енергетичні біомолекули* (АТФ, ГТФ) та інші.



Іл. 8. Приклади малих біомолекул, що є мономерами: 1 — моносахарид рибоза; 2 — амінокислота аланін; 3 — нуклеотид аденіновий

Малі біомолекули перебувають у вільному стані в цитоплазмі клітини і можуть швидко переміщуватися завдяки дифузії, що робить їх незамінними в процесах передачі інформації та саморегуляції клітин та організму. Так, гормони здійснюють гуморальну регуляцію процесів, а нейромедіатори — передають інформацію між нейронами.

Малі біомолекули досить часто виступають як прості сполуки, з яких утворюються складні, тобто є мономерами. Наприклад, з амінокислот будуються білки, з моносахаридів — полісахариди, а з нуклеотидів — нуклеїнові кислоти.

Малі біомолекули не лише беруть участь у побудові макромолекул, але й можуть розпадатися з вивільненням енергії. Так, при розщепленні 1 грама глюкози вивільняється 17,6 кДж, а молекули АТФ є «енергетичним акумулятором» в усіх клітинах.

Яке значення біополімерів?

До біополімерів належать білки, полісахариди та нуклеїнові кислоти. На їхню частку припадає близько 25 % від маси клітини. Унікальною властивістю макромолекул є те, що їхні мономери утворюють певну структуру, яка й визначає їхні властивості та функції.

БІОПОЛІМЕРИ (від грец. *bios* — життя, *poly* — численний, *meros* — частина) мають велику молекулярну масу (зазвичай, від 10 000 до 1 млн Да), тому перебувають в ядрі чи цитоплазмі у прикріпленому стані або переміщуються дуже повільно. З них будуються хромосоми ядра, клітинні стінки, рибосоми тощо (*структурна функція*). Розпад макромолекул здійснюється під час гідролітичного руйнування ковалентних зв'язків з виділенням великої кількості енергії. Так, під час гідролізу АТФ вивільняється близько 40 кДж енергії (*енергетична функція*). Поєднання макромолекул та їхня взаємодія відбуваються на основі відповідності поверхні просторової структури. Ця інформаційна особливість має назву *структурна комплементарність*, що є основою формування багатьох важливих комплексів. Наприклад, фермент / субстратні комплекси здійснюють *регуляційну функцію*, антиген / антитіло — є основою гуморального імунітету (*захисна функція*). Комплементарність нуклеотидів у побудові ДНК забезпечує самоподвоєння молекул та передавання спадкової інформації наступному поколінню (*інформаційна функція*). Розгалуженість структури, велика кількість мономерів та інертність молекул сприяють тому, що полісахаридні макромолекули відкладаються в клітинах про запас (крохмаль у рослин, глікоген — у тварин, грибів) (*резервна функція*).

Коротко про головне

- **БІОПОЛІМЕРИ** — *це високомолекулярні органічні сполуки, що складаються з великої кількості однакових чи різних за хімічною будовою мономерів й утворюються в клітинах.*
- Основними функціями малих молекул у клітинах є: *структурна* (участь мономерів у реакціях синтезу більш складних молекул), *енергетична* (розпад з вивільненням енергії), *регуляційна* (участь у регуляції процесів життєдіяльності клітин та організму) та *інформаційна* (міжклітинна передача інформації).
- Макромолекули мають низку особливостей, що зумовлюють виконання *структурної, енергетичної, регуляційної, захисної, резервної та інформаційної* функцій.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням фрейму. **ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ ЖИВОГО**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Порівняння малих молекул та макромолекул.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Теорія ковалентного зв'язку та Карбон.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЖИВОГО**
• *Організовує*: **ІНФОРМУВАННЯ** про причини різноманітності макромолекул
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює настанову*: про роль ковалентних зв'язків у функціонуванні органічних сполук в складі **МАТЕРІЇ**

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа. «Знайди зайве».

Завдання для відтворення. БІООРГАНІЧНІ СПОЛУКИ.

Цукор робить мене щасливим та надихає. Я називаю його «гранульованим щастям».

Девід Лінч (1946–2025) — американський кінорежисер, актор, музикант і художник



§ 2.4. ВУГЛЕВОДИ

Аналізуємо! Вуглеводи — найпоширеніший на Землі клас органічних сполук, які є невід'ємною хімічною складовою частиною усіх, без винятку, організмів планети Земля. Але особливо багато цих сполук в рослинних клітинах, у яких на їхній вміст припадає близько 80 %, в той час, як у тваринних клітинах — лише близько 2 %. Як ви думаєте, чому?



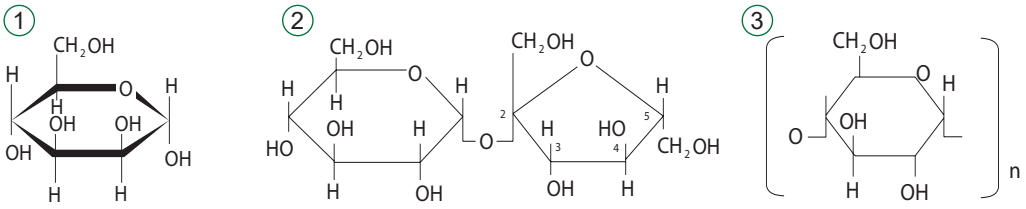
ЗМІСТ

Які властивості вуглеводів?

Перші досліджені вуглеводи мали солодкий смак, тому їх ще часто називають *сахаридами*, або *цукрами*.

У живій природі вуглеводи є найпоширенішими за масою органічними сполуками. Їхня загальна формула — $\mathbf{C_n(H_{2n}O)_n}$, звідки й вихідна назва вуглеводів (вуглець і вода). Деякі вуглеводи можуть також містити Нітроген (наприклад, хітин), Сульфур (наприклад, пектини), Фосфор тощо. Утворюються вуглеводи у клітинах автотрофних організмів з неорганічних сполук в процесі фотосинтезу і хемосинтезу. Гетеротрофні організми здійснюють утворення вуглеводів з готових органічних речовин, що надходять з їжею.

Всім відомі такі вуглеводи, як глюкоза й сахароза. Для них характерними є такі властивості як розчинність, здатність до кристалізації та солодкий смак. Але із збільшенням молекулярної маси вуглеводів ці властивості послаблюються і зникають, як-от крохмалю.



Іл. 9. Структура окремих вуглеводів: 1 — моносахарид глюкоза; 2 — дисахарид сахароза; 3 — полісахарид крохмаль

Вуглеводи здатні до безкисневого й кисневого розщеплення, що зумовлює їхню провідну роль у забезпеченні всіх клітин енергією. Понад 2/3 енергетичних потреб організму задовольняється використанням вуглеводів. Продуктами повного розщеплення вуглеводів є CO_2 і H_2O.

Біологія + Література ✿ *«Чи не можна попросити твою маму приготувати нам замість одного пирога з вісьмома свічками вісім пирогів з однією свічкою? — Повір, Карлсоне: не в пирогах щастя... — Та ти що, з глузду з'їхав?! А в чому ж іще?»* (*А. Ліндгрен. «Карлсон, що прилетів знову»*). *Цікаво, яких вуглеводів багато у пирогах?*



Як класифікують вуглеводи?

Найчастіше вуглеводи, залежно від здатності до гідролізу, поділяють на три класи: моносахариди, олігосахариди та полісахариди.

Моносахариди (від грец. *monos* — один) — *це група вуглеводів, молекули яких у своєму складі мають від трьох до десяти атомів Карбону.* Це найпростіші вуглеводи, вони не зазнають гідролізу. За фізичними властивостями — це білі кристалічні речовини, солодкі на смак, добре розчинні у воді.

Найпоширеніші вуглеводи живої природи
I. **Моносахариди**: А. Пентози: ***рибоза, дезоксирибоза*** Б. Гексози: ***глюкоза, фруктоза***
II. **Дисахариди**: ***сахароза, лактоза, мальтоза***
III. **Полісахариди**: ***крохмаль, целюлоза, хітин, глікоген***

Найважливіше значення в живій природі мають *пентози* (молекули мають 5 атомів Карбону) і *гексози* (6 атомів Карбону). Із пентоз відомі ***рибоза*** і ***дезоксирибоза***, що входять до складу рибонуклеїнових (РНК) і дезоксирибонуклеїнових (ДНК) кислот. У природі найпоширенішими гексозами є ***глюкоза*** (виноградний цукор) і ***фруктоза*** (фруктовий цукор), від вмісту яких залежить солодкий смак ягід, меду. Фруктоза у 5 разів солодша за глюкозу.

Олігосахариди (від грец. *oligos* — небагато) — *вуглеводи, в яких декілька залишків моносахаридів з'єднані ковалентними зв'язками.* Загальна хімічна формула дисахаридів — $C_{12}H_{22}O_{11}$. Під час нагрівання з водою чи під дією ферментів зазнають гідролізу і розкладаються на дві молекули моносахаридів. Найбільше значення в живій природі мають *дисахариди*, які утворюються завдяки сполученню двох молекул моносахаридів. Наприклад, буряковий цукор — ***сахароза***, молочний цукор — ***лактоза***, солодовий цукор — ***мальтоза***. Дисахариди, як і моносахариди, мають приємний солодкий смак, дещо слабше розчиняються у воді й кристалізуються.

Полісахариди (від грец. *poly* — численний) — *полімерні вуглеводи, побудовані з багатьох залишків моносахаридів.* Ці сполуки під каталітичним впливом кислот чи ферментів-амілаз піддаються гідролізу з утворенням багатьох моносахаридів. Молекулярна маса деяких полісахаридів може досягати кількох мільйонів. Вони утворюють лінійні (целюлоза) та розгалужені (глікоген) ланцюги. Полісахариди не кристалізуються, несолодкі на смак, серед них є нерозчинні у воді (наприклад, целюлоза, хітин, крохмаль), деякі здатні утворювати гелі (наприклад, агар, пектини), а окремі — гідрофільні речовини (наприклад, глікоген). Залежно від функцій полісахариди поділяють на *структурні, резервні* та *захисні*.

Які основні біологічні функції вуглеводів?

Структурна функція. Полісахариди утворюють покриви членистоногих, клітинні стінки грибів (***хітин***), рослин (***целюлоза***), бактерій (*муреїн*), мембран тваринних клітин (*гліколіпіди і глікопротеїни*). Молекули моносахаридів беруть участь у побудові нуклеотидів РНК і ДНК (*рибоза і дезоксирибоза*), олігосахаридів та полісахаридів (*глюкоза, галактоза*).

Енергетична функція. Вуглеводи є основним джерелом енергії для клітин. Під час окиснення 1 г вуглеводів виділяється 17,6 кДж енергії. Це дещо менше, аніж при розпаді жирів, але розщеплення вуглеводів відбувається швидше.

Резервна функція. Вуглеводи відкладаються про запас і поступово споживаються в процесі обміну: у тварин і грибів (***глікоген***), у рослин (***крохмаль***, ламінарин, інулін, агар-агар).

Захисна функція. Вуглеводи використовуються для загоювання і захисту ран у рослин (камеді та слиз), для склеювання частинок їжі в грудочки у складі слини (муцин), як інгібітори зсідання крові (гепарин), для зв'язування й видалення з організму радіонуклідів (пектини).

Рецепторна функція. Гліколіпіди і глікопротеїни беруть участь у побудові клітинних мембран і забезпеченні сприйняття клітиною подразнень, розпізнавання й міжклітинної взаємодії клітин тощо.

Регуляційна функція. За участю вуглеводів клітинного соку здійснюються осморегуляторні процеси, що підтримують напружений (тургорний) стан рослинних клітин.

Коротко про головне

- **ВУГЛЕВОДИ** (*цукри*) — *органічні сполуки, до складу яких входять Карбон, Гідроген та Оксиген.*
- Вуглеводи можуть класифікувати за хімічним складом, здатністю до гідролізу та функціями.
- Вуглеводи є складовою частиною усіх клітин і забезпечують життєво важливі функції усіх організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у фрейм. **ВУГЛЕВОДИ**.

Розвивальне завдання. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. Вивчення властивостей вуглеводів

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Синтез та розпад глюкози в клітинах організмів.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: властивості **ВУГЛЕВОДИ**
• *Аналізує результати*: **ІНФОРМУВАННЯ** про зв'язок властивостей вуглеводів з їхньою молекулярною масою
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* твердження про важливу роль вуглеводів у природі

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку уяви «Символізація».

Завдання для конструювання. Вуглеводи в природі.

Ліпіди мають низку бажаних властивостей для використання в нанотехнологіях.

Гійс'є Кундерінк (нар. 1974) — нідерландська біофізикиня



§ 2.5. ЛІПІДИ



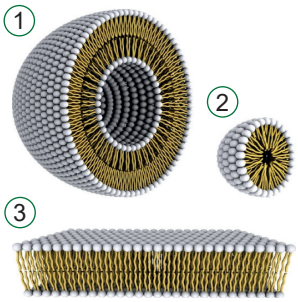
Оцінюємо! Останнім часом дуже зріс науковий інтерес до ліпідів: їх почали досліджувати не лише біохіміки, а й фізіологи, вірусологи, фармакологи, імунологи та інші. Це стало причиною виникнення ***ліпідоміки*** — науки, що вивчає ліпідний склад клітин. Яке ж біологічне значення ліпідів, що входять до переліку основних «молекул життя»?

ЗМІСТ

Які властивості ліпідів визначають їхнє значення?

ЛІПІДИ — це дуже різноманітна за хімічним складом група органічних речовин живого. Молекули ліпідів можуть містити залишки спиртів, жирних кислот, сульфатної кислоти, вуглеводів тощо. Ці сполуки беруть участь у хімічних реакціях утворення ліпідів як реагенти і не є мономерами, тому ліпіди — це неполімерні сполуки.

Згідно з сучасним визначенням, ліпіди — це гідрофобні або амфіфільні малі молекули. Гідрофобність — властивість речовин не змочуватися та відштовхувати воду. Біохімічні взаємодії ліпідів забезпечуються їхньою здатністю до розчинення у неполярних розчинниках: естері, ацетоні, хлороформі, бензені тощо. Амфіфільність — здатність сполук проявляти одночасно гідрофільні та гідрофобні властивості, завдяки наявності в молекулах полярної й неполярної частин.



Іл. 10. Ліпідні наноструктури: 1 — ліпосома; 2 — міцела; 3 — ліпідний бішар

Ліпіди можуть повністю або частково виникати в результаті конденсації. *Реакції конденсації* — це тип хімічних реакцій, у яких дві молекули об'єднуються в одну, зазвичай з втратою молекули води. Ці реакції є протилежними до реакцій гідролізу, під час яких сполуки розкладаються за участю води. Усі ліпіди в організмі зазнають гідролізу під дією специфічних ферментів — ліпаз.

Ліпіди з їхніми властивостями є учасниками багатьох нанотехнологій. Ліпіди можуть самоорганізуватися в наноплівки та інші наноструктури (міцели, зворотні міцели та ліпосоми). Хоча молекули ліпідів взаємодіють між собою, утворені наноструктури практично не зв'язуються з іншими біомолекулами, що дозволяє нанопристроям на основі ліпідів ефективно функціонувати в живому організмі.

Як класифікують ліпіди?

Міжнародний комітет з класифікації та номенклатури ліпідів розробив «Комплексну систему класифікації ліпідів» (опубліковану у

2005 році), у якій чітко визначені вісім груп: *жирні ацили, гліцероліпіди, гліцерофосфоліпіди, сфінголіпіди, стеролові ліпіди, пренольні ліпіди, сахароліпіди та полікетиди*.

Жирні ацили (*жирні кислоти*) — це десятки тисяч видів ліпідів. Їхня загальна формула — $CH_3(CH_2)_nCOOH$. Молекули жирних кислот мають дві різні частини: гідрофобний карбоновий ланцюг і гідрофільну карбоксильну групу. Ацили можуть бути насиченими (без подвійних зв'язків) і ненасиченими (з подвійними зв'язками). Найбільш відомими насиченими жирними кислотами є *пальмітинова* (компонент пальмової олії), *стеаринова* (в складі яловичого жиру, смальцю) та *арахінова* (компонент арахісової олії, масла какао). У групі ненасичених жирних ацилів є дві жирні кислоти, які незамінні для людини й багатьох тварин: *альфа-ліноленова* (омега-3 жирна кислота) та *лінолева* (омега-6 жирна кислота). Завдяки своїм особливостям жирні ацили беруть участь у біосинтезі інших ліпідів, формують клітинні мембрани, забезпечують засвоєння жиророзчинних вітамінів тощо.

Гліцероліпіди — це група ліпідів, в утворенні яких беруть участь жирні кислоти й триатомний спирт гліцерол. Найвідоміші представники цієї групи — ***тригліцериди***, або жири. За походженням жири поділяють на рослинні (соняшникова, трояндова олії, масло какао) й тваринні (китовий жир, свинячий жир, риб'ячий жир). Вони можуть бути рідкими (містять ненасичені жирні кислоти) й твердими (мають насичені жирні кислоти). Основна функція жирів — енергетична.

Гліцерофосфоліпіди (фосфоліпіди) — ключові компоненти біліпідного шару клітинних мембран. Типова молекула фосфоліпіду має гідрофільну полярну голову та два гідрофобних хвости. В утворенні цих ліпідів, окрім гліцеролу й жирних кислот, бере участь і ортофосфатна кислота.

Сфінголіпіди — це група ліпідів, до складу яких входить молекула спирту сфінгозину. До них належать сфінгомієліни, цереброзиди, гангліозиди. Сфінголіпіди широко представлені в мембранах клітин нервової системи.

Стеролові ліпіди (стероїди) — це група сполук, які містять у своїй циклічній структурі стероли з жирними кислотами. Основними функціями цих важливих речовин є *структурна* (наприклад, холестерин у складі клітинних мембран), *гормональна* (статеві гормони), *регуляційна* (вітамін D регулює обмін Кальцію, кортизон — стрес-реакції).

Ліпіди беруть участь і в утворенні інших органічних речовин. Наприклад, з алканами вони утворюють воски. Їх поділяють на тваринні воски (наприклад, спермацет, ланолін, бджолиний віск, китайський віск) та рослинні воски (наприклад, кутин, суберин).

Яка біологічна роль ліпідів?

Функції ліпідів в організмі тісно пов'язані з їхніми властивостями й особливостями будови. До основних функцій, що ілюструють значення ліпідів, належать такі:

- ***структурна*** (фосфоліпіди беруть участь у побудові біліпідного шару клітинних мембран);

- ***енергетична*** (під час розщеплення 1 г жирів вивільняється 38,9 кДж енергії);
- ***резервна*** (у рослин відкладаються про запас олії, у тварин — жири);
- ***теплоізоляційна*** (завдяки низькій теплопровідності жири запобігають втратам теплоти);
- ***водоутворювальна*** (під час окиснення 1 г жирів утворюється 1,1 г метаболічної води, яка дуже важлива для мешканців пустелі та тварин, які впадають у сплячку);
- ***регуляційна*** (статеві та кортикостероїдні гормони беруть участь у регуляції процесів);
- ***захисна*** (воски захищають від втрат води, жири — від холоду та механічних впливів);
- ***сигнальна*** (гліколіпіди у складі мембран здійснюють сприйняття подразнень);
- ***антиоксидантна*** (вітаміни А та Е захищають клітини від вільних радикалів);
- ***травна*** (жовчні кислоти беруть участь в емульгації жирів, жири є розчинниками для вітамінів А, D, Е, К).

Біологія + Фітотерапія *Лавандова, трояндова, евкаліптова, апельсинова ефірні олії — яке розмаїття! Що таке ефірні олії?*



Коротко про головне

- **ЛІПІДИ** (від грец. *lipos* — жир) — *це різноманітні за хімічним складом органічні сполуки живого, властивостями яких є гідрофобність, амфіфільність, неполімерність, розчинність в органічних розчинниках.*
- *У сучасній системі класифікації ліпідів розрізняють: жирні ацили, гліцероліпіди, гліцерофосфоліпіди, сфінголіпіди, стеролові ліпіди, пренольні ліпіди, сахароліпіди та полікетиди*
- *Біологічні функції ліпідів є такими ж різноманітними, як і самі ліпіди.*

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням фрейму. **ЛІПІДИ**.

Розвивальне завдання. Лабораторна вправа. Вивчення властивостей ліпідів.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Хімічний склад олій та жирів.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює*: властивості **ЛІПІДІВ**
• *Оцінює результати:* **ІНФОРМУВАННЯ** про зв'язок структури та властивостей ліпідів
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: залежність фізичного стану ліпідів від їхнього складу

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Розум дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 2. **ЛІПІДИ**.

Поряд з нуклеїновими кислотами, білками та ліпідами, глікани є одним із чотирьох фундаментальних класів молекул, що складають усі біосистеми.

Емануал Маверакіс — американський лікар-вчений та імунолог



§ 2.6. ХІМІЧНИЙ СКЛАД ЖИВОГО ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Цікаво! Основним завданням хімічної біології є пояснення фундаментальних ідей, пов'язаних з хімією життя та взаємодіями між біологічними макромолекулами (ендогенами) та малими молекулами (екзогенами). Це означає вихід за межі розуміння біологічних процесів на молекулярний рівень. Цікаво, що відрізняє хімічну біологію від біохімії?

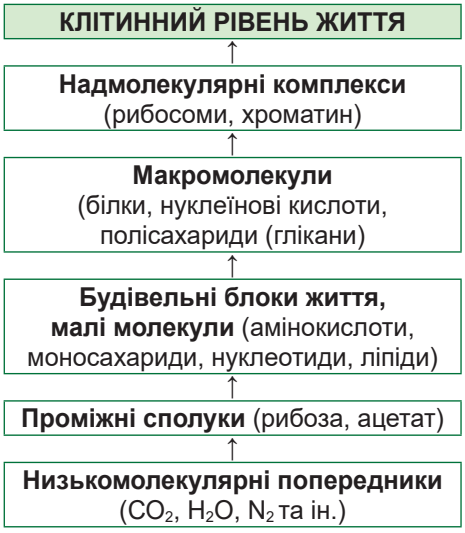
ЗМІСТ

У чому суть ієрархії молекулярної організації життя?

МОЛЕКУЛЯРНИЙ РІВЕНЬ ЖИТТЯ — *це рівень організації, існування й властивості якого визначаються хімічними елементами і молекулами та їхньою участю в процесах перетворення речовин, енергії та інформації*. Молекулярний рівень організації живої природи поєднує і величезну кількість різних хімічних реакцій, які визначають його впорядкованість у часі.

Ієрархія молекулярної організації життя — *це порядок підпорядкованості простіших хімічних структурних елементів і молекул складнішим*. Будучи частиною складнішого цілого, прості структури втрачають свою індивідуальність, зате нове ціле набуває нових властивостей.

Для молекулярного рівня організації життя характерна певна ієрархія елементів, що входять до його складу. Усі біомолекули походять від дуже простих *низькомолекулярних попередників*, що надходять у біосистеми із навколишнього середовища: CO_2, H_2O, N_2. У живому, взаємодіючи між собою, вони утворюють *проміжні сполуки* (наприклад, ацетат, кетокислоти), які й утворюють прості органічні речовини, або *малі біомолекули*. Це, перш за все, чотири класи молекул — ліпіди, моносахариди, амінокислоти та нуклеотиди. Їх називають *будівельними блоками життя*, оскільки з них формуються



макромолекули наступного ієрархічного підрівня. Прості біомолекули поєднуються між собою різноманітними ковалентними зв'язками, утворюючи макромолекули (білки, полісахариди й нуклеїнові кислоти).

Великі молекули можуть об'єднуватися між собою за допомогою нековалентних взаємодій у *надмолекулярні комплекси* (молекулярні ансамблі). Це рибосоми (комплекси рРНК і білків), хроматин (ДНК й білки), ферментні комплекси (білкова й небілкова частини складних ферментів) тощо. Надмолекулярні комплекси об'єднуються в клітинні структури: мембрани, ядро, мітохондрії тощо. А вже ці структурні компоненти визначають форму, розміри й функції клітин.

Які напрямки застосування знань про хімічний склад живого в практичній діяльності?

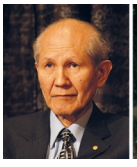
Молекулярний рівень життя досліджують найрізноманітніші науки, оскільки закономірності його організації дозволяють зрозуміти сутність усіх проявів життєдіяльності. Основну роль у координації досліджень відіграють біохімія та хімічна біологія.

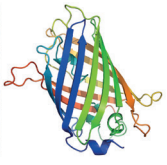
Біохімія *— це наука, яка вивчає хімічний склад організмів, будову, функції, властивості та значення виявлених у них хімічних сполук.* Сучасна біохімія разом із молекулярною біологією, біоорганічною хімією, біофізикою та мікробіологією складають єдиний комплекс взаємопов'язаних наук — фізико-хімічну біологію, яка вивчає фізичні та хімічні основи живої матерії. Одним із найзагальніших завдань біохімії є з'ясування механізмів функціонування біосистем та регуляції життєдіяльності клітин, які забезпечують обмін речовин, енергії та інформації в організмі.

Хімічна біологія *— наука, яка застосовує хімічні методи та синтезовані малі молекули для вивчення молекулярних механізмів біологічних процесів.* Основними галузями досліджень цієї науки є: глікобіологія, комбінаторна хімія, синтез пептидів та білків для досліджень геному (повний набір генів організму), протеому (білків), ліпідому (ліпідів), глікому (вуглеводів), відкриття біомолекул за допомогою метагеноміки (дослідження ДНК угруповань організмів у їхньому природному середовищі). Важливі відкриття в галузі хімічної біології відмічено Нобелівською премією з хімії: рекомбінантна ДНК (П. Берг, 1980), секвенування геному (В. Гілберт, Ф. Сенгер, 1980), полімеразна ланцюгова реакція (К. Малліс, 1993), «генетичні ножиці» CRISPR/Cas9 (Е. Шарпантьє, Д. Дудна, 2020) тощо.

Основними напрямками застосування досліджень хімічної біології є: вивчення дії лікарських засобів на молекулярному рівні, розробка нових методів лікування різних захворювань, розробка нових біосумісних матеріалів та біосенсорів, вивчення макромолекул та їхніх взаємодій тощо.

Біологія + Хімія ✿ *Хімічні біологи часто вивчають функції біомолекул за допомогою флуоресцентних методів, наприклад,*





з використанням зеленого білка. Цікаво, який зв'язок між біохіміком О. Сімомура, медузою «кристалічне желе» (Aequorea victoria) та зеленим білком (Green Fluorescent Protein, GFP)?

Які основні закономірності хімічного складу живої природи?

ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ — основна ознака живої природи на молекулярному рівні організації. До складу всіх форм життя входять ті самі хімічні елементи, що є й у неживій матерії. Однак їхнє співвідношення в живому й неживому різне. Так, у живих організмах набагато більша частина хімічного складу припадає на чотири елементи. До того ж, усе живе побудоване з унікальних біомолекул, що відсутні в неживій природі. Це вуглеводи, ліпіди, білки, нуклеїнові кислоти. Ця єдність відображена в **законі фізико-хімічної єдності живого**, сформульованого В. Вернадським: *усі живі організми на Землі мають однакову фізико-хімічну природу*.

Біологія + Хімія *Розділ хімії, що вивчає роль металів у біологічних системах, називається біонеорганічною хімією. Одним із важливих завдань цієї галузі є вивчення механізму дії металопротеїнів. Називаю найпоширеніші «метали життя».*



Коротко про головне

- Для молекулярного рівня життя характерна певна структурна ієрархія молекулярної організації: хімічні елементи — прості та складні неорганічні сполуки — проміжні сполуки — малі біомолекули — великі молекули — надмолекулярні комплекси — органели — клітина.
- На відміну від біохімії, яка досліджує хімічний склад та процеси, хімічна біологія займається встановленням молекулярних механізмів біологічних процесів.
- Єдність хімічного складу свідчить про взаємозв'язок живої та неживої природи.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. **ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЖИВОГО**.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Молекулярний рівень організації життя.

Ціннісне завдання. Презентація проєкту на одну з вибраних тем (*див. с. 273*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЖИВОГО**
• *Застосовує навички* **ІНФОРМУВАННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень організму людини
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності:* про значення закономірностей організації **МАТЕРІЇ** для успішного життя в соціоприродному середовищі

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 2. ХІМІЧНИЙ СКЛАД ЖИВОГО та ...



Тема 3. ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО — БІЛКИ Й НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

Генетичний код — це словник, який дає нам переклад абетки нуклеїнових кислот на абетку білків.

Гар Гобінд Корана (1922–2011) — видатний американський молекулярний біолог, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини (1968)



§ 3.1. ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО

Обґрунтовуємо! **Інформація** (від лат. *informatio* — пояснення, повідомлення) — це сукупність відомостей (даних), які системи сприймають із навколишнього середовища (вхідна інформація), видають у навколишнє середовище (вихідна інформація) або зберігають для внутрішнього застосування. Цікаво, як організовується потік інформації через біосистеми на молекулярному рівні?



ЗМІСТ

Які речовини виконують інформаційну функцію?

Для біологічних систем розрізняють зовнішню та внутрішню інформацію. Її використання в живій природі здійснюють три групи біополімерів: ДНК, РНК та білки, що мають інформаційні послідовності мономерів.

Зовнішня інформація — це інформація з навколишнього середовища, яка містить вхідні дані для біосистем. Завдяки зовнішній інформації здійснюється *подразливість* живого. Впливи фізичних (світло, звуки, гравітація, тепло) та хімічних (впливи речовин у складі повітря чи їжі) подразників сприймаються фото-, хемо-, термо-, механорецепторними молекулами чи клітинами. Ключову роль у сприйнятті зовнішньої інформації відіграють *рецепторні білки*. Ці молекули здатні сприймати сигнали навколишнього середовища, передавати інформацію всередину клітини та запускати певні процеси у відповідь на подразники.

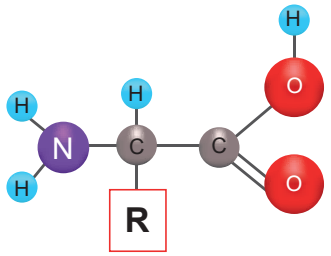
Внутрішня інформація — це «життєвий скарб» кожної живої істоти, який надійно охороняється, реалізується у вигляді ознак та властивостей та міститься у закодованому стані на молекулах ДНК (або РНК у вірусів). Ця внутрішня інформація називається *спадковою*, тому що забезпечує індивідуальний розвиток організму та зв'язок поколінь у часі. Її ще називають генетичною, оскільки відомості про розвиток, будову і властивості організмів зберігаються й передаються у спадок за допомогою генів. У збереженні та захисті генетичної інформації важливу роль відіграють *структурні білки* хроматину, у реалізації спадкової інформації — *регуляторні білки*.

Біологія + Інформатика ✿ *Найпростішою одиницею вимірювання інформації є біт* (від англ. *bit* — шматочок), *що дорівнює одному двійковому розряду. А що таке байт?*

БІТ І БАЙТ ЩО ЦЕ ТАКЕ?

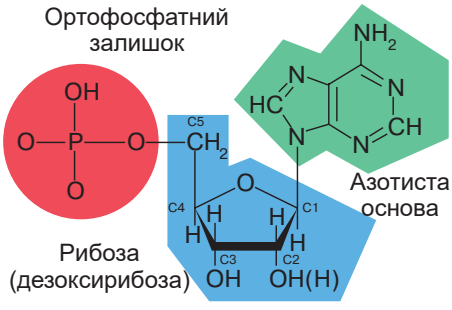
Які особливості будови інформаційних молекул?

Білки є біополімерами з 20 різних мономерів — природних *основних амінокислот*, поєднаних у макромолекулах у специфічній кількості й послідовності. Порядок розташування амінокислот у молекулі білка визначається геном. **Амінокислоти** — *це малі біомолекули, до складу яких входять аміногрупа і карбоксильна група.* У складі цих молекул є ще й *радикальна група* (**R**), яка в різних амінокислот є різною. R-групи амінокислот визначають структуру, форму та функцію білків, впливають на згортання білка та взаємодію з іншими молекулами. Під час взаємодії NH_2 однієї амінокислоти з COOH іншої утворюються ***пептидні зв'язки***, що визначають міцність білкових молекул. За біологічними особливостями амінокислоти поділяють на *замінні* (аланін, аспарагін) та *незамінні* (аргінін, валін). Перші синтезуються в організмі людини і тварин, а другі не синтезуються і потрапляють до них лише з харчовими продуктами.



Іл. 11. Загальна формула амінокислоти

Нуклеотиди — *малі молекули, що складаються з нітрогенвмісної основи, моносахариду і залишків ортофосфорної кислоти.* Вміст у клітині 0,4 % від загальної маси клітини. Отже, до складу молекул нуклеотидів входять: 1) нітрогенвмісна основа (**А** — аденін, або **Г** — гуанін, або **Т** — тимін, або **Ц** — цитозин, або **У** — урацил); 2) залишок пентози (**Р** — рибоза або **Д** — дезоксирибоза) та ортофосфорна кислота (або ортофосфатна, або фосфатна). Нуклеотиди добре розчинні у воді, проявляють властивості кислот, оскільки містять ортофосфатну кислоту, а завдяки нітрогеновмісним основам — властивості основ. І саме ці властивості, співвідношення і послідовність розташування нуклеотидів та просторова структура молекул визначають властивості й функції нуклеїнових кислот. Організми різних видів відрізняються один від одного, тому що молекули ДНК їхніх клітин мають різну послідовність нуклеотидів, і, відповідно, різну спадкову інформацію.

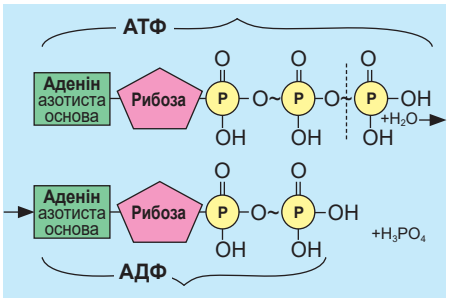


Іл. 12. Структура нуклеотиду

У чому зв'язок аденозинфосфатних кислот з інформаційними молекулами?

Молекули аденозинфосфатних кислот є нуклеотидами, що мають аденін, рибозу і один (АМФ), два (АДФ) чи три (АТФ) залишки ортофосфатної кислоти. Під час гідролітичного відщеплення фосфатної

групи від АТФ (аденозинтрифосфатна кислота) вивільняється близько 40 кДж енергії та утворюється АДФ (*аденозиндифосфатна кислота*). Коли ж від молекули АТФ відщеплюються два фосфати, утворюється АМФ (*аденозинмонофосфатна кислота*) і звільняється близько 80 кДж енергії. АТФ утворюється за рахунок енергії, що виділяється при окисненні речовин у цитоплазмі клітин, у мітохондріях, а під час фотосинтезу — ще й у хлоропластах.



Іл. 13. Схема гідролізу АТФ

Енергія АТФ використовується для синтезу нових органічних молекул, серед яких білки та нуклеїнові кислоти. Утворення АТФ — це каталітичний процес, що відбувається за участю ферментних білків з назвою АТФ-синтаза. Це приклад такого цікавого прояву живої природи як *біологічні молекулярні машини*.

У зворотному процесі, при утворенні АТФ з АДФ чи АМФ і неорганічного фосфату, відбувається акумуляція енергії у високоенергетичних макроергічних зв'язках, які виникають між залишками ортофосфатної кислоти. Молекули АТФ утворюються в кисневих і безкисневих умовах.

Коротко про головне

- **ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО** — це певні білки та нуклеїнові кислоти, що беруть участь в організації інформаційних процесів біологічних систем.
- Білки й нуклеїнові кислоти — це біополімери, мономерами яких є відповідно амінокислоти та нуклеотиди.
- **Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ)** — *органічна сполука, що належить до вільних нуклеотидів і є універсальним хімічним акумулятором енергії в клітині.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО**.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа. Порівняння нуклеотидів та амінокислот.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **ІНФОРМАЦІЯ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: поняття **ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ОБҐРУНТУВАННЯ** різноманітності інформаційних молекул
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **ІНФОРМАЦІЯ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 273*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку переключення уваги.

Завдання для прогнозування. Подразливість організмів.

Різноманітність життя свідчить про дивовижну здатність білків як хімічних інструментів, що контролюють та керують усіма хімічними реакціями життя.

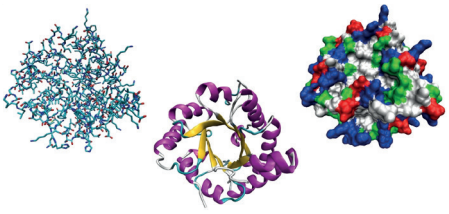
З прес-релізу до Нобелівської премії з хімії за 2024 рік «за прогнозування структури та комп'ютерний дизайн білків»



Д. Бейкер, Д. Гассабіс, Дж. Джампер

§ 3.2. БІЛКИ

Усвідомлюємо! У природі існує близько 10 трильйонів (10^{12}) різних білків, що забезпечують існування форм життя всіх ступенів складності — від вірусів до людини — та відрізняють між собою представників тих двох мільйонів видів організмів, відомих на сьогодні в біології. Від чого залежить така разюча різноманітність білків?



Іл. 14. Тривимірна структура білків

ЗМІСТ

Які особливості та основні групи білків?

БІЛКИ (від англ. *proteins* — білки) — *це високомолекулярні біополімерні органічні сполуки, мономерами яких є амінокислоти.* Білки було виділено в окремий клас біомолекул ще у XVIII ст. французьким хіміком А. де Фуркруа. Особливістю сучасних досліджень білків є визначення білкового складу організмів, чим займається окрема наука — ***протеоміка***.

Порядок розташування амінокислот у молекулі білка визначається послідовністю нуклеотидів у складі гена. Білкові молекули можуть існувати в клітинах протягом хвилин або років із середньою тривалістю життя 1–2 дні.

Новітні класифікації передбачають використання таких критеріїв як родина білків, наявність доменів, ознаки послідовності. Класифікація білків дозволяє зробити висновки про властивості нових білків та зрозуміти їхнє походження. Наприклад, глобіни — родина білків, які беруть участь у зв'язуванні та транспортуванні кисню та інших молекул. Вони мають кулясту форму і часто виступають як структурний компонент більш складних білкових комплексів. До родини належать *гемоглобін, міоглобін, нейроглобін, фітоглобіни*. Ці білки мають спільне еволюційне походження, що відображається у функціях та структурній подібності.

За структурою білки можуть бути ***глобулярними*** або ***фібрилярними***, за функцією — ферментативними, транспортними, структурними, захисними або гормональними. Класифікація білків за хімічним складом містить дві групи: ***прості*** та ***складні***. Прості білки побудовані лише з амінокислотних залишків. Це такі групи, як *альбуміни, глобу-*

ліни, гістони, склеропротеїни. Складні білки містять ще й небілкові компоненти. Основними групами є *нуклеопротеїни, хромопротеїни, металопротеїни, глікопротеїни, ліпопротеїни*.

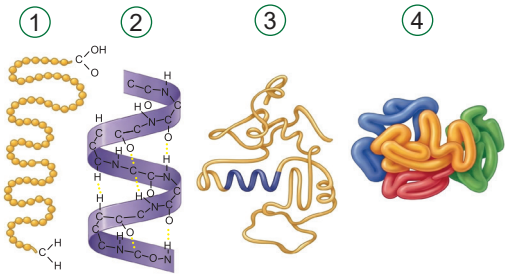
Біологія + Фізіологія *Які функції міоглобіну в організмі людини, ссавців та птахів?*

Якою є структурна організація білків?

Виділяють чотири рівні структури білків.

Первинна структура кодується відповідним геном, є специфічною для кожного окремого білка і найбільшою мірою визначає властивості сформованого білка.

Вторинна структура має форму спіралі або структуру складчастого листка і є найстійкішим станом білкового ланцюга. Така стійкість формується завдяки численним водневим зв'язкам. Прикладом білків з вторинною структурою є кератини і фіброїн.



Іл. 15. Структурна організація білків:
1 — первинна структура (ланцюг) ;
2 — вторинна структура (спіраль);
3 — третинна структура (глобула);
4 — четвертинна структура (мультимер)

Третинна структура виникає в результаті взаємодії амінокислотних залишків з молекулами води. Підтримання третинної структури забезпечують йонні, гідрофобні та електростатичні зв'язки. До білків з третинною структурою відносять міоглобін.

Четвертинна структура виникає внаслідок поєднання кількох субодиниць з утворенням білкового комплексу. Підтримання цієї структури також забезпечують йонні, гідрофобні та електростатичні зв'язки. Типовим білком четвертинної структури є гемоглобін.

Білки можуть тривалий час зберігати структуру й фізико-хімічні властивості. Але є ряд чинників (температура, кислоти, луги, важкі метали), впливи яких спричинюють втрату природної структури білка із збереженням первинної. Цей процес називається **денатурацією**. Якщо дія цих чинників припиняється, білок відновлює свій початковий стан. Це явище вже називають **ренатурацією**. У живих організмах ці властивості білків пов'язані з виконанням певних функцій: сприйняттям сигналів, забезпеченням рухів тощо. Незворотний процес руйнування первинної структури білка називають ***деструкцією***.

Яка роль білків у життєдіяльності організмів?

Основна характеристика білків, що дозволяє їм виконувати різноманітний набір функцій — здатність специфічно та щільно зв'язуватися з іншими молекулами. Функції білків у клітині різноманітніші, ніж функції інших макромолекул:

- ***структурна*** — білки є будівельним матеріалом (*колаген* є компонентом хрящів, *кератин* будує пір'я, нігті, волосся, роги, *еластин* — зв'язки);

- ***інформаційна*** — рецепторні білки сприймають інформаційні сигнали (*родопсин* — зоровий пігмент);
- ***каталітична*** — білки-ферменти прискорюють хімічні реакції (*пепсин*, *трипсин* каталізують розпад білків);
- ***рухова*** — скоротливі білки забезпечують рухи (*міозин* і *актин*, що утворюють міофібрили);
- ***транспортна*** — білки можуть транспортувати сполуки (*гемоглобін* переносить O_2 у крові хребетних, *міоглобін* переносить O_2 у м'язах);
- ***захисна*** — білки здійснюють захист від ушкоджень, антигенів тощо (*антитіла* зв'язують чужорідні білки, *фібриноген* є попередником фібрину при зсіданні крові);
- ***регуляційна*** — білки регулюють активність обміну речовин (гормони *інсулін, глюкагон* регулюють обмін глюкози, *соматотропін* є гормоном росту);
- ***енергетична*** — при розщепленні білків у клітинах вивільняється енергія (1 г = 17,2 кДж);
- ***резервна*** — білки можуть відкладатися про запас і слугувати джерелом важливих сполук (яєчний *альбумін* як джерело води);
- ***поживна*** — є білки, які споживаються організмами (*казеїн* — білок молока для живлення малят ссавців).

Існує багато білків, які розширюють перераховані вище функції. Білкову природу мають деякі антибіотики, отрути змій і павуків, бактеріальні токсини. У деяких арктичних риб у крові є білок, який має властивості антифризу.

Коротко про головне

- Нескінчена різноманітність білків визначається різноманітністю комбінацій амінокислот та їхньою здатністю зв'язуватись з іншими молекулами.
- На різноманітність білків впливає ще й їхня просторова структура, яка формується в процесі згортання білків (або фолдингу).
- Різноманітність білків визначає й різноманітність їхніх функцій для організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням опорної схеми. **Білки.**

Розвивальне завдання. Практична вправа. Розв'язування елементарних вправ з хімічної природи і структури білків.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Основні функції білків.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **БІЛКІВ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ОБҐРУНТУВАННЯ** відмінностей між білками
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про зв'язок структури білків та їхнім значенням в організації потоку **ІНФОРМАЦІЇ**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Золота рибка» (Метод фантастичних ідей).

Завдання для розпізнавання. БІЛКИ.

Історія біохімії — це значною мірою історія досліджень ферментів.

Альберт Ленінджер (1917–1986) — американський біохімік



§ 3.3. ФЕРМЕНТИ



Застосовуємо! Одного разу ***Александер Флемінг*** (1881–1955) випадково чхнув у чашку Петрі, в якій перебували бактерії, і через декілька днів виявив, що в місцях, куди впали краплі слини, бактерії було знищено. В результаті було відкрито захисний фермент лізоцим, що є найпоширенішим природним антибіотиком. А чому лізоцим називають ферментом?

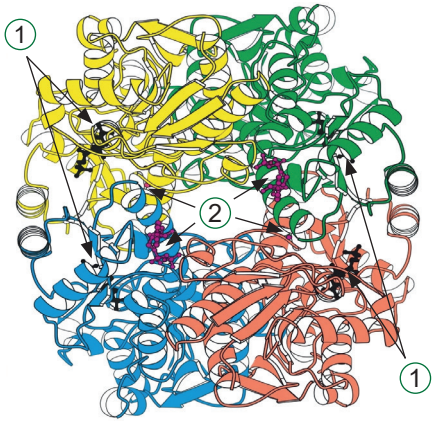
ЗМІСТ

Які особливості ферментів зумовлюють їхнє значення?

ФЕРМЕНТИ (від лат. *fermentum* — закваска), або **ензими** — *високоспецифічні білкові молекули або РНК-молекули, які є біологічними каталізаторами процесів обміну речовин і перетворення енергії в клітинах та організмі*. Наука про ферменти відокремилася в окрему галузь біохімічної науки — ***ферментологію* (*ензимологію*)**, яка інтенсивно розвивається в тісному зв'язку з хімією, фізіологією, мікробіологією, генетикою тощо.

Загальними особливостями ферментів є:

- *наявність* ***активних* (*каталітичних*) *центрів*** — ділянок, до яких приєднуються молекули субстрату. Ці ділянки у простих ферментів утворюють амінокислоти, а в складних — небілкові частини-кофактори (вітаміни, йони Купруму, Феруму, Магнію);
- *наявність* ***регуляторних центрів***, до яких можуть приєднуватися різні речовини й спричинювати збільшення або зменшення каталітичної активності. Через ці центри на активність ферментів впливають такі регуляторні чинники, як гормони, нейромедіатори та ін. Регуляторні чинники, що підвищують активність ферментів, називають *активаторами* (йони кислот, жовчні кислоти для ліпаз), а ті, що зменшують — *інгібіторами* (наприклад, катіони важких металів);
- *специфічність*, яка визначається здебільшого комплементарною відповідністю між ділянкою ферменту й молекулою субстрату;



Іл. 16. Каталітичні (1) та регуляторні (2) центри фермента

- *залежність активності* від певних умов (pH, температури, тиску, концентрації субстрату та ферментів);
- *невитратність* — прискорюють реакції, але самі при цьому не витрачаються тощо.

Як класифікують ферменти?

У сучасній ензимології відомо понад 3 000 ферментів, які класифікуються за різними критеріями.

За місцем утворення ферменти поділяють на ендо- й екзоферменти. Переважна більшість ферментів діє всередині клітин або організму, де вони утворилися, тобто є ***ендоферментами***. Зазвичай фермент іменують за типом реакції, яку він каталізує, додаючи суфікс *-аза* до назви субстрату (наприклад, лактаза — фермент, що бере участь у перетворенні лактози). Паразитичні бактерії та гриби-паразити використовують ***екзоферменти*** як фактори, які послаблюють організм хазяїна, руйнують його захисні системи, розщеплюють макромолекули. Травні ферменти хижих тварин (павуки, змії, личинки жуків-плавунців) секретуються для зовнішнього травлення, захисту від хижаків.

Класифікація ферментів за хімічним складом включає прості та складні ферменти. Прості ферменти (однокомпонентні) — містять лише білкову частину. Більшість ферментів цієї групи можуть кристалізуватися. Прикладом простих ферментів є рибонуклеаза, гідролази, уреаза та ін. Складні ферменти (двокомпонентні) — складаються з білкового (апофермента) й небілкового (кофактора) компонентів. Білковий компонент визначає *специфічність ферментів*, а небілковий — їхню *активність*. Кофактори можуть бути як неорганічними молекулами (наприклад, йони металів), так і органічними (наприклад, флавін). Прикладом складних ферментів є оксидоредуктази (наприклад, каталаза), лігази (наприклад, ДНК-полімераза, тРНК-синтетаза), ліази та ін.

Існує класифікація ферментів і за типом реакцій, згідно з якою їх поділяють на шість класів: *оксидоредуктази, трансферази, гідролази, ліази, ізомерази* та *лігази*.

Яка біологічна роль ферментів?

Метаболічні ферменти *— група ферментів, що каталізують анаболічні й катаболічні реакції в клітинах*. Вони можуть бути розташовані в гіалоплазмі (ферменти бродіння), у ядрі (РНК-полімераза, ДНК-полімераза), у мітохондріях (дегідрогенази й цитохроми дихального ланцюга), на рибосомах (синтетази білків), у хлоропластах (рибулозобіфосфаткарбоксилаза, або РуБісКо — фермент фіксації CO_2) тощо. У клітинах метаболічні перетворення субстратів здійснюються послідовно декількома ферментами, що утворюють мультиферментний комплекс. Метаболічні ферменти беруть участь у процесах дихання, росту, подразливості, скорочення м'язів тощо.

Травні ферменти *розщеплюють складні органічні сполуки та їх комплекси до простих*. Ці ферменти наявні в лізосомах, секреторних міхурцях грибів, травних секретах комахоїдних рослин, травній системі тварин. Травні ферменти належать до групи гідролаз, які

каталізують реакції гідролізу за участю води. Так, у травному тракті хребетних тварин і людини наявні протеази (каталізують розщеплення білків), ліпази (ферменти розщеплення ліпідів), амілази (ферменти розщеплення вуглеводів), нуклеази (розщеплюють нуклеїнові кислоти до нуклеотидів).

Серед ферментів є й такі, що захищають від токсичних речовин (наприклад, антиоксидантні ферменти пероксидаза, каталаза й супероксиддисмутаза), від втрат крові (наприклад, ферменти зсідання крові — тромбін, фібрин).

Основним ***захисним ферментом*** багатьох організмів є лізоцим, що міститься в лейкоцитах, яєчному білку, шкірі, слизових оболонках і рідинах організму (слині, слізній рідині). Лізоцим розщеплює речовини, що є основою клітинної оболонки бактерій, і захищає слизові оболонки ока, порожнини рота, кишечника і носоглотки від інфекцій.



Іл. 17. Непентес — комахоїдна рослина з травними ферментами у глечиках

Біологія + Екологія *Видозмінами яких вегетативних органів є глечики-пастки непентесів?*

Коротко про головне

- Здатність ферментів впливати на швидкість біохімічних реакцій є вирішальною умовою для процесів обміну речовин і перетворення енергії в клітинах та організмах.
- Ферменти класифікуються за місцем утворення, хімічним складом та типом каталітичних реакцій.
- Роль ферментів полягає в забезпеченні метаболізму клітин, перетравлюванні складних речовин до простіших та забезпеченні захисту від несприятливих чинників.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням схеми. **ФЕРМЕНТИ.**

Розвивальне завдання. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. Вивчення властивостей ферментів.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Полімерази і синтетази.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ФЕРМЕНТІВ**
• *Організовує*: **ОБҐРУНТУВАННЯ** взаємозв'язку властивостей з біологічним значенням ферментів
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює настанову*: про зв'язок ферментів та **ІНФОРМАЦІЇ** у біосистемах

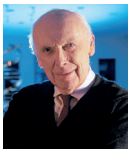
Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа. «Знайди спільне».

Завдання для відтворення. ФЕРМЕНТИ.

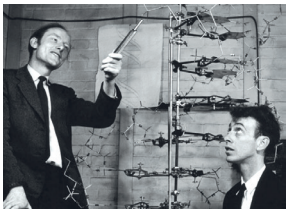
Життя може бути увічнене за допомогою книги інструкцій, записаної в секретному коді.

Джеймс Вотсон — американський молекулярний біолог



§ 3.4. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

Аналізуємо! 25 квітня 1953 року вважається днем народження *молекулярної біології*, оскільки в цей день у журналі «Nature» було опубліковано статтю Джеймса Вотсона і Френсіса Кріка з описом створеної моделі *просторової структури ДНК*. Це відкриття вважається у науковому світі одним із найважливіших. Цікаво, чому?

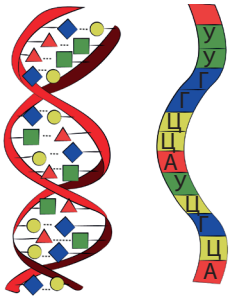


ЗМІСТ

Які особливості будови, структурної організації та функцій нуклеїнових кислот?

Нуклеїнові кислоти було виявлено швейцарським хіміком Ф. Мішером у складі ядер лейкоцитів 1869 року, звідки й походить їхня назва (від лат. *nucleus* — ядро). Це найбільш високомолекулярні речовини в клітині, їхня маса досягає декількох мільйонів. Пізніше хіміки встановили, що нуклеїнові кислоти мають вигляд нерозгалуженого ланцюга, утвореного з *нуклеотидів*, поєднаних між собою у полінуклеотидних ланцюгах ковалентними фосфодиефірними зв'язками.

У живому організмі є хімічні сполуки, що призначені лише для збереження спадкової інформації. Це ***дезоксирибонуклеїнові кислоти*** (ДНК) (англ. *Deoxyribonucleic acid, DNA*). Вони не лише зберігають інформацію всередині організму, але й передають її наступному поколінню. У живій природі є й нуклеїнові кислоти, які цю інформацію реалізують у молекули білків, регулюють процеси реалізації, зберігають інформацію у великої групи вірусів тощо. Це ***рибонуклеїнові кислоти*** (РНК) (англ. *Ribonucleic acid, RNA*).

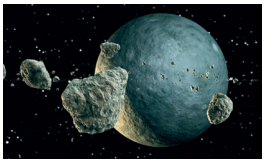


Іл. 18. Нуклеїнові кислоти — ДНК і РНК

Нуклеїновим кислотам притаманна первинна структура — певна послідовність розташування нуклеотидів, а також складніша вторинна і третинна структури, які формуються за допомогою водневих зв'язків, електростатичних та гідрофобних взаємодій. Молекули нуклеїнових кислот зазвичай нерозгалужені та можуть зустрічатися як лінійні, так і кільцеві. Наприклад, бактеріальні хромосоми, плазміди, мітохондріальна ДНК та хлоропластна ДНК зазвичай є кільцевими дволанцюговими молекулами ДНК, тоді як хромосоми еукаріотичного ядра зазвичай мають лінійні дволанцюгові молекули ДНК.

Біологія + Планетологія *У березні 2023 року в зразках з поверхні навколоземного астероїда Рюгу, які доставила на Землю японська*

міжпланетна станція Hayabusa-2, дослідники знайшли урацил, який входить до складу рибонуклеїнової кислоти (РНК), і нікотинову кислоту (вітамін B_3), що бере участь у метаболізмі. Цікаво, про що це може свідчити? Що таке астероїди?



Які основні властивості нуклеїнових кислот?

Нуклеїнові кислоти мають кислотні властивості, які виявив на початку 1880-х років німецький біохімік Альбрехт Кессель. До речі, це той самий науковець, який ідентифікував усі п'ять нітрогеновмісних основ у складі нуклеотидів і встановив, що ці властивості визначають їхні фосфатні групи.

Для підвищення стійкості нуклеїнові кислоти утворюють стійкі комплекси з білками, що тривалий час існують у клітині — *нуклеопротеїни*. Наприклад, вірусні нуклеокапсиди, рибосоми, хроматин.

Нуклеїнові кислоти здатні до *гідролізу* на простіші компоненти, нуклеотиди та нуклеозиди, за допомогою ферментів нуклеаз.

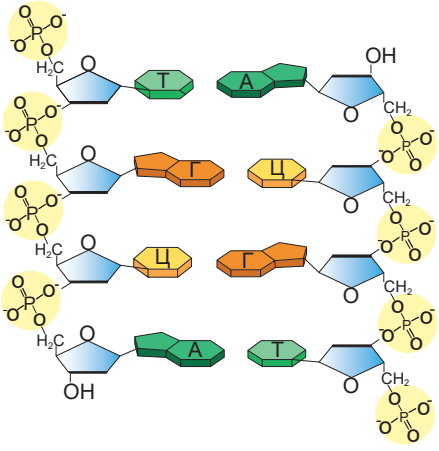
Завдяки *конденсації* нуклеїнові кислоти збираються в більш компактні структури, такі як хроматин (у еукаріотів) та нуклеоїд (у прокаріотів). Цей процес має важливе значення для реалізації та захисту спадкової інформації.

ДНК та РНК — єдині молекули живого організму, що є матрицями для біосинтезу. ДНК дає початок молекулам ДНК, різним формам РНК, а РНК (матрична РНК) є матрицею для синтезу молекул білків. *Реакції синтезу нових молекул у чіткій відповідності до плану, закладеного в структурі молекул, що вже існують, називаються* ***реакціями матричного синтезу***. Такий синтез є специфічною особливістю живої природи й забезпечує дуже швидке утворення життєво важливих сполук.

Нуклеїнові кислоти мають здатність до денатурації, яку можуть викликати кислоти, луги, спирти тощо. *Денатурація* нуклеїнових кислот — це процес зміни вторинної та третинної структури молекул, що призводить до розриву водневих зв'язків між нітратними основами в ланцюгу. Він може бути зворотним, тобто молекули можуть відновлювати свою природну форму під час *ренатурації*.

У чому сутність принципу комплементарності нуклеїнових кислот?

Комплементарність *— взаємна відповідність молекул біополімерів або їхніх фрагментів, що забезпечує утворення зв'язків між просторово взаємодоповнюючими фрагментами молекул або їхніх структурних фрагментів*. Ця властивість характерна й для дволанцюгових молекул ДНК та РНК. Нітрогеновмісні основи нуклеотидів їхніх ланцюгів здатні



Іл. 19. Принцип комплементарності ДНК

внаслідок утворення водневих зв'язків формувати парні комплекси: аденін — тимін (або урацил в РНК) і гуанін — цитозин. Комплемент основ **А = Т** (або **У**) має два спільні водневі зв'язки, тоді як пара основ **Г ≡ Ц** має три водневі зв'язки. Така взаємодія відіграє основну роль у процесах зберігання і передавання генетичної інформації.

Біологія + Логіка *Скільки водневих зв'язків між нуклеотидами у фрагменті ДНК, який побудований із 100 мономерів: 25 аденінових, 25 тимінових, 25 гуанінових та 25 цитозинових?*

А 25 **Б** 50 **В** 100 **Г** 125

Коротко про головне

- **НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ** — *унікальний клас органічних сполук, макромолекули яких зберігають та реалізують генетичну інформацію, а також визначають її передавання наступним поколінням клітин та організмів.*
- Завдяки інформаційній функції нуклеїнові кислоти мають унікальні особливості, не властиві іншим класам біополімерів.
- Комплементарність нуклеїнових кислот — це чітка відповідність нуклеотидів між молекулами ДНК.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у схему. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа. Структурна формула нуклеотиду.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Принцип комплементарності ДНК і реплікація.

Результат

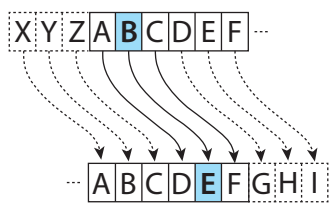
Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: особливості **НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ**
• *Аналізує результати*: **ОБҐРУНТУВАННЯ** взаємозв'язку між хімічним складом та властивостями нуклеїнових кислот
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* спадкоємність поколінь з використанням знань про спадкову **ІНФОРМАЦІЮ**

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку мислення «Як застосовувати метод індукції?».

Завдання для конструювання. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ.

Завдання для креативних *Подання інформації у вигляді графічних зображень (піктограм), запис хімічної реакції, шахової партії, слів із використанням азбуки Морзе — це приклади кодування повідомлень. Імператор Юлій Цезар використовував для приватного листування шифр зсуву з ключем 3 — замість літери А підставляв D, замість В — Е і так далі. Цей спосіб назвали «Кодом Цезаря». Застосовую українську абетку для розкодування запису, називаю швейцарського біохіміка, який відкрив ДНК:* **П К Ю З У**



Абетка	Аа	Бб	Вв	Гг	Ґґ	Дд	Ее	Єє
Жж	Зз	Ии	Іі	Її	Йй	Кк	Лл	Мм	Нн
Оо	Пп	Рр	Сс	Тт	Уу	Фф	Хх	Цц	Чч
Шш	Щщ	ь	Юю	Яя					

У молекулах ДНК міститься код усього живого.

Елісон Вуллард (нар. 1968) — британська біологиня, професорка



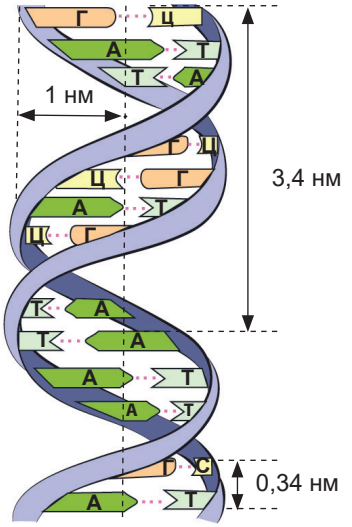
§ 3.5. ДНК ТА РНК

Оцінюємо! Поет Крістіан Бок закодував власні вірші в геном бактерії *Escherichia coli*. Для цього літератор спеціально вивчив молекулярну біологію та програмування. Які знання про ДНК були необхідними для цього кодування?

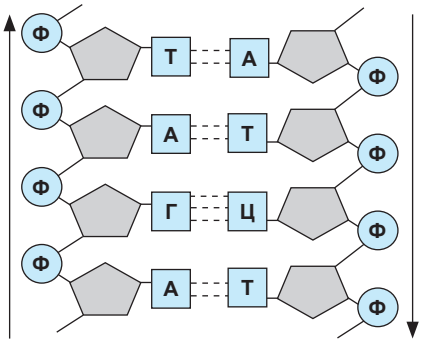
ЗМІСТ

Які особливості структури та властивості ДНК?

Яким чином довгий нерозгалужений ланцюг ДНК кодує усю спадкову інформацію організму? Як ця інформація передається від одного покоління наступному? А як ці довгі ланцюги розташовані в мікроскопічному ядрі? Відповідь на ці та інші подібні питання ховає в собі просторова структура ДНК, яку описали Дж. Вотсон і Ф. Крік. Отримані ними дані свідчать про те, що *молекула ДНК є подвійним ланцюгом, згорнутим у спіраль*. У природі ця спіраль зазвичай правозакручена. Відстань між сусідніми нуклеотидами в ланцюгу становить 0,34 нм, крок спіралі дорівнює 3,4 нм і містить 10 пар основ, а діаметр спіралі — 2 нм.



Іл. 20. Будова і розміри молекули ДНК



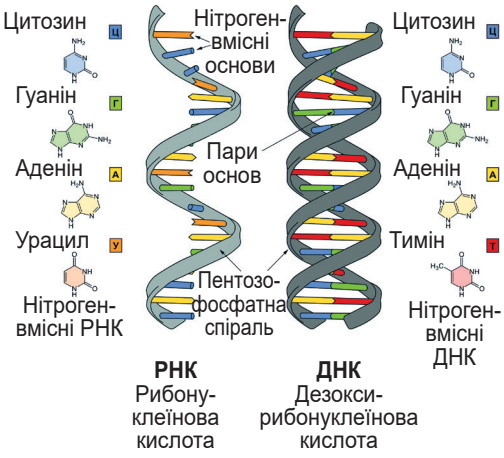
Іл. 21. Будова і зв'язки в молекулі ДНК (між аденіновими і тимінови-ми нуклеотидами утворюються два водневі зв'язки, а між гуаніновими і цитозиновими — три водневі зв'язки)

Спіраль ДНК складається з ***дезоксирибонуклеотидів***, в утворенні яких беруть участь: нітратні основи *аденін, тимін, гуанін і цитозин*, моносахарид *дезоксирибоза* і залишки *ортофосфатної кислоти*. Ці мономери ДНК поділяють на 4 типи: *аденінові, тимінові, гуанінові й цитозинові*. Нуклеотиди в одному ланцюзі поєднані міцними ковалентними (фосфодиефірними) зв'язками, а нуклеотиди з різних ланцюгів у молекулах ДНК з'єднуються між собою за допомогою водневих зв'язків на основі ***принципу комплементарності*** (А = Т, Г = Ц).

Чим і чому РНК відрізняється від ДНК?

Спадкова інформація зберігається в ДНК. Роль посередників у передачі цієї інформації від ДНК до рибосом для її реалізації відіграють РНК. Взаємовідносини ДНК, РНК і білків у молекулярній біології представляють у вигляді схеми: ДНК → РНК → білок.

Для синтезу білка певні ділянки ДНК, що називаються *генами*, копіюються у вигляді РНК. Ці нуклеїнові кислоти відрізняються від ДНК як за хімічним складом, так і за функціями. РНК побудована з ***рибонуклеотидів***, в утворенні яких беруть участь азотисті основи аденін, гуанін, цитозин і *урацил*, моносахарид *рибоза* та залишки ортофосфатної кислоти. Виділяють чотири типи рибонуклеотидів (аденінові, урацилові, гуанінові й цитозинові), що поєднуються в одинарний ланцюг за допомогою ковалентних зв'язків.



Іл. 22. Особливості будови і структури РНК і ДНК

Отже, молекули РНК відрізняються від ДНК низкою ознак: а) вуглеводом РНК є рибоза; б) РНК не містить тиміну, його місце займає урацил; в) РНК є одноланцюговою молекулою. До того ж, РНК завжди має меншу довжину й молекулярну масу, оскільки є копією окремих ділянок ДНК. Ці відмінності пов'язані з іншими функціями РНК.

На ДНК синтезуються декілька видів РНК: 1) інформаційні (мРНК); 2) транспортні (тРНК); 3) рибосомні (рРНК). Інформаційні РНК копіюють і переносять інформацію про первинну структуру певного білка до рибосом. Транспортні РНК приєднують і транспортують до рибосом амінокислоти, з яких цей білок буде утворюватися. Рибосомні РНК утворюють самі рибосоми.

Біологія + Біотехнології *мРНК-вакцини проти COVID-19 від Moderna та Pfizer-BioNTech мали короткострокову ефективність понад 90 % проти оригінального вірусу SARS-CoV-2. Що таке мРНК-вакцини?*

мРНК-вакцина Comirnaty / Pfizer-BioNTech, Moderna

МІСТИТЬ МОЛЕКУЛИ мРНК, яка кодує шилоподібний білок коронавірусу. Вона потрапляє в клітини організму людини й надає їм «інструкцію», як створити цей білок.

Імунна система розпізнає, що білок не належить людині, та виробляє антитіла до нього. Так організм вчиться, як захиститися від справжнього вірусу.



Яка роль реплікації й репарації ДНК для клітин?

Величезне значення відкриття Дж. Вотсона й Ф. Кріка полягає ще й у тому, що модель просторової структури ДНК дозволяє пояснити, як відбувається передача й захист спадкової інформації.

Ланцюги ДНК комплементарні між собою і можуть слугувати матрицею для утворення нових ланцюгів. *Процес самоподвоєння ДНК, який забезпечує точне копіювання спадкової інформації і передавання її з покоління в покоління, називається* ***реплікацією*** (від англ. *replication* — копіювання). Механізм реплікації відбувається з високою точністю, але деколи все ж таки трапляються помилки. Тому молекули ДНК здатні до виправлення порушень.

Репарація ДНК (від англ. *DNA repair* — «ремонт ДНК») — сукупність процесів, за допомогою яких виправляються пошкодження молекул ДНК. Передавання спадкової інформації в незмінному вигляді — найважливіша умова виживання як кожного організму, так і виду в цілому. Тому під час еволюції сформувалася система, яка дозволяє клітині виправляти ушкодження ДНК, що можуть виникати як помилки реплікації чи внаслідок впливу ушкоджувальних чинників середовища. Процеси репарації ґрунтуються на тому, що генетична інформація записана в обох ланцюгах подвійної спіралі, і якщо нуклеотидна послідовність одного ланцюга змінена, то інформацію можна відновити на основі другого (комплементарного) ланцюга.

Коротко про головне

- **ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕЇНОВА КИСЛОТА** (ДНК) — тип нуклеїнової кислоти, мономерами якої є дезоксирибонуклеотиди, структура — подвійна спіраль та основна функція — зберігання інформації про структуру РНК й білків.
- **РИБОНУКЛЕЇНОВА КИСЛОТА** — тип нуклеїнової кислоти, мономерами якої є рибонуклеотиди, структура — одинарний ланцюг та основна функція — реалізація спадкової інформації.
- Фундаментальними особливостями ДНК є реплікація та репарація.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням порівняння. Таблиця. Характеристика ДНК й РНК.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Розв'язування вправ на тему: «Нуклеїнові кислоти».

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. DNA replication.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ДНК** та **РНК**
• *Оцінює результати:* **ОБҐРУНТУВАННЯ** про особливості структурної та функціональної організації ДНК та РНК
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: зв'язок між особливостями ДНК й РНК та **ІНФОРМАЦІЄЮ**

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Як керувати своїми емоціями (за методикою STOPP)?

КРЕАТИВНА РОБОТА 3. ДНК та РНК.

Як фізика та хімія можуть пояснити події в просторі та часі, що відбуваються в межах просторових меж живого організму?



Ервін Шредінгер (1887–1961) — австрійський фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики (1933), автор книги «Що таке життя?»

§ 3.6. ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

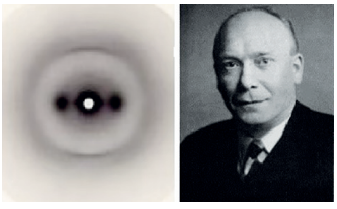


Оцінюємо! Щорічно 25 квітня в різних країнах світу відзначається незвичайне свято — Міжнародний день ДНК, який визнає важливість молекулярної біології та її наукових досягнень. Така дата була обрана в пам'ять про те, що 25 квітня 1953 року в журналі Nature вчені Дж. Вотсон і Ф. Крік спільно з М. Вілкінсом і Р. Франклін опублікували результати дослідження структури молекули ДНК. У чому ж важливість сучасних досягнень молекулярної біології?

ЗМІСТ

Які основні напрямки молекулярно-біологічних досліджень?

МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ вивчає біологічні процеси на молекулярному рівні, що здійснюються за участю біополімерів — нуклеїнових кислот, і білків та їх надмолекулярних структур. Об'єктами науки є також неклітинні форми життя, що перебувають на межі живої та неживої природи — віруси, пріони, віроїди. Предмет молекулярно-біологічних досліджень — це механізми таких біологічних явищ, як спадковість, мінливість, ріст, розвиток, біосинтез, біокаталіз, потік речовин, енергії та інформації, що відбуваються за участю інформаційних молекул, білків.

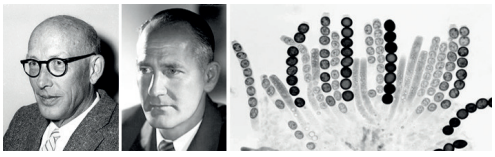


Іл. 23. Рентгенівський знімок ДНК, зроблений приблизно у 1937 році В. Астбері

Термін «молекулярна біологія» уперше запропонував 1946 англійський фізик Вільям Астбері (1898–1961), який провів новаторські дослідження біомолекул методом рентгенівської дифракції. Наука виникла на перетині біохімії, генетики та фізики у XX столітті, а справжній прорив стався після відкриття просторової структури ДНК. Серед найважливіших досягнень науки відкриття *запису генетичної інформації* (Р. В. Голлі, Г. Г. Корана, М. В. Ніренберг), *механізмів її збереження та реалізації* (С. Очоа, А. Корнберг), *механізмів контролю діяльності генів* (Ф. Жакоб, А. Львов, Ж. Моно), *переривчастої структури генів* (Р. Робертс, Ф. Шарп) тощо. Розшифрована структура геномів ряду організмів та реалізація міжнародного проекту «Геном людини» (1900–2003).

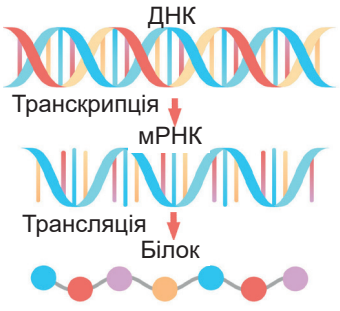
Досягнення молекулярної біології дозволяють створювати вакцини, лікувати спадкові захворювання, розробляти ГМО-продукти, створювати нові сорти рослин. Використання молекулярної біології та молекулярних підходів клітинної біології в медицині тепер називається *молекулярною медициною*. Передові молекулярні методи для модифікації генетичного матеріалу та зміни характеристик організмів використовує *генетична інженерія*. Концепції молекулярної біології застосовуються у *молекулярній нейронауці* для пізнання молекулярних основ функціонування мозку та діяльності нервової системи. Молекулярні методи використовуються для досліджень популяцій та видів у такій галузі еволюційної біології як *популяційна генетика*.

Біологія + Біорізноманіття ❁ *Нейроспора густа — модельний організм у молекулярногенетичних дослідженнях, який використовувся в експериментах лауреатів Нобелівської премії з фізіології та медицини (1958) Е. Тейтума і Дж. Бідла для вивчення генетичного контролю метаболізму. Це привело науковців до гіпотези «один ген — один фермент». Що вивчає молекулярна генетика?*



У чому сутність центральної догми молекулярної біології?

Центральна догма молекулярної біології — це основний принцип чи правило, що описує передавання інформації в живій природі: з ДНК копіюється РНК, а інформація з РНК реалізується у молекули білків. Ця закономірність сформульована Ф. Кріком в 1958 році та переформульована у відповідності до нових відкриттів у 1970 р. Згідно з цим принципом потік інформації в живих організмах може відбуватися між нуклеїновими кислотами (ДНК → ДНК, ДНК → РНК, РНК → ДНК, РНК → РНК) та від нуклеїнових кислот до білків (ДНК → РНК → білок), але не може проходити від білків до нуклеїнових кислот.



Іл. 24. Схема загального типу передавання інформації

Загальний спосіб передавання описують як потік біологічної інформації: ДНК реплікується в ДНК (реплікація), інформація з ДНК може копіюватися в матричну РНК (транскрипція), а білки синтезуються з використанням інформації мРНК (трансляція).

ДНК → ДНК → мРНК → Білок

Біологія + Лексикологія ❁ ***Догма*** (від грец. *dogma* — думка, вчення) — *це твердження, положення або вчення, що приймається за незаперечну, вічну істину, яка не підлягає критиці та перегляду, незалежно від нових обставин та доказів. Пропоную синоніми до слова «догма».*

Що вивчає протеоміка?

Протеоміка — *це наука, що вивчає протеом, тобто сукупність усіх білків, які синтезуються клітиною, органом або організмом у конкретний момент часу*. Це динамічна інформаційна система, що змінюється під впливом умов середовища, хвороб, медикаментів або стресу. Складність протеоміки полягає в динамічній природі експресії білків, а також у тому, що більшість білків піддається модифікації в процесах біосинтезу. За останні десятиліття протеоміка застосовується в медицині для *дослідження білків-маркерів*, які використовують для виявлення захворювань на ранніх стадіях; *оцінки динаміки лікування* та змін функцій білків під впливом ліків; *дослідження індивідуальних особливостей* протеому для організації персоналізованої терапії; ***розробки нових ліків*** та ідентифікації білків-мішеней.

Коротко про головне

- **МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ** — *це наука, що вивчає біологічні процеси на рівні біополімерів — нуклеїнових кислот і білків та їхніх надмолекулярних структур*.
- **Центральна догма молекулярної біології** стосується потоку генетичної інформації всередині біологічної системи. Її часто формулюють як «ДНК створює РНК, а РНК створює білок».

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ — БІЛКИ ТА НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ.

Розвивальне завдання. Графічне моделювання. Молекулярна біологія як сучасна наука.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. с. 273*).

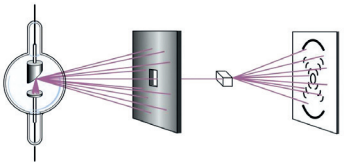
Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання*: про **ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО**
• *Застосовує навички* **ОБҐРУНТУВАННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт на основі ціннісних уявлень про **ІНФОРМАЦІЮ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 3. ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО та ...

Завдання для креативних *Рентгеноструктурний аналіз є одним з методів визначення структури речовини. Метод допоміг Дж. Вотсону та Ф. Кріку відкрити просторову структури ДНК. Дж. Кендрю і М. Перутцу — тривимірну структуру білків. В основі методу явище ... рентгенівського випромінювання на тривимірних кристалічних ґратках. Поєдную дві перших літери з назви «страшних ящерів», назву чоловічого вечірнього парадного костюму і останні три літери з назви процесу відновлення пошкоджень ДНК та отримую назву цього фізичного явища.*



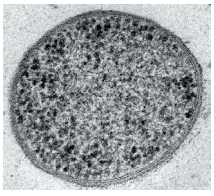
Тема 4. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ — ОСНОВА САМООРГАНІЗАЦІЇ БІОСИСТЕМ

Взаємодія між білками та нуклеїновими кислотами — це єдиний і універсально повторюваний основний механізм життя.

Гуго Теорелль (1903–1982) — шведський біохімік, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини (1955)



§ 4.1. ГЕНЕТИЧНА (СПАДКОВА) ІНФОРМАЦІЯ



Метикуємо! Термофільні наноархеї (*Nanoarchaeum equitans*) виявлені у 2002 році в гідротермальних виходах поблизу берегів Ісландії. Вони є найдрібнішими у світі вільноживучими клітинними організмами. Їхній розмір складає близько 400 нм. Цікаво, а де міститься генетична інформація цих істот?

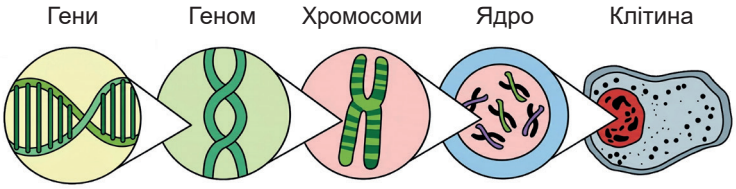
ЗМІСТ

Як організована генетична інформація в живій природі?

ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ — це сукупність відомостей про білки та спадкові властивості організму, що закодована в нуклеїнових кислотах за допомогою генетичного коду. У вірусів ця інформація зберігається в серцевині, утвореній молекулою РНК або ДНК, у прокаріотичних організмів (бактерій та архей) — у кільцевій молекулі ДНК, а в еукаріотів — у молекулах ДНК, розташованих в ядрі. Слід доповнити, що певна частка генетичного матеріалу прокаріотів може бути організована у плазмідах, а в еукаріотичних організмів — у двомембранних органелах (мітохондріях та хлоропластах). Які загальні положення можна сформулювати для організації генетичної інформації у живій природі?

1. Розрізняють декілька ступенів організації генетичної інформації на молекулярному рівні:

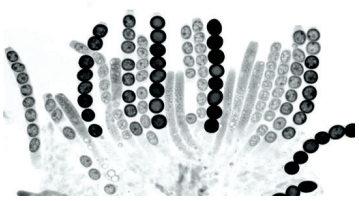
- ***генний*** (генетична інформація зберігається в молекулах ДНК у вигляді певної послідовності нуклеотидів, що утворюють гени);
- ***геномний*** (повний набір генетичної інформації у складі кодувальних та некодувальних генів ядра (нуклеоїда) та інших частин клітини (плазмід, мітохондрій, хлоропластів));



Іл. 25. Організація генетичної інформації

- ***хромосомний*** (носіями спадкової інформації, що забезпечують передачу генетичної інформації між поколіннями, є хромосоми).

2. Спадкова інформація є відомостями про молекули білків та РНК, які після свого синтезу беруть участь у регуляції та здійсненні процесів життєдіяльності й визначають спадкові ознаки організмів. У формуванні уявлень про ген як ділянку ДНК особливу роль відіграли дослідження гриба нейроспори (*Neurospora crassa*).



Іл. 26. Нейроспора густа (Neurospora crassa) — модельний організм генетичних досліджень

3. Набір білків загалом універсальний для певного біологічного виду, хоча близько 1–2 % білкових молекул у особин того самого виду різняться, що й визначає *біологічну індивідуальність* організмів.

4. Запис інформації у молекулі ДНК (чи РНК) є своєрідним шифром, що отримав назву *генетичний код*.

5. Основними генетичними процесами, що забезпечують збереження, передавання та реалізацію генетичної інформації, є *реплікація, транскрипція* й *трансляція*.

Біологія + Планетологія *Якщо розгорнути ДНК однієї людини, то довжина ланцюжка дорівнюватиме середній відстані від Землі до найвідомішої карликової планети Сонячної системи (близько 5,9 млрд км). Називаю цю планету.*



Яка роль генетичних процесів для живого організму?

Генетичні процеси — це будь-які зміни або явища, що відбуваються із генетичною інформацією на молекулярному рівні організації та пов'язані з взаємодіями між білками та нуклеїновими кислотами. Такі процеси як реплікація, транскрипція, зворотна транскрипція, трансляція, репарація, рекомбінація — це основа спадковості, мінливості, розмноження, індивідуального та історичного розвитку, адаптацій організмів.

- ***Реплікація*** забезпечує самоподвоєння ДНК для передавання спадкової інформації під час поділу клітин та розмноження. Саме реплікація визначає таку загальну властивість живого, як спадковість.
- ***Транскрипція*** — це процес перенесення генетичної інформації з ДНК на РНК, а ***трансляція*** — це перетворення інформації генетичного коду мРНК на амінокислотну послідовність білка. Ці процеси є етапами реалізації спадкової інформації в клітинах та біосинтезу білків, що особливо інтенсивно відбувається під час росту та індивідуального розвитку організмів. У РНК-вірусів наявний процес ***зворотної транскрипції***, під час якого генетична інформація з вірусної РНК переписується на молекулу ДНК в клітинах організму-хазяїна. Це визначає високу генетичну варіабельність вірусів і їхнє швидке пристосування до змін навколишніх умов.

- ***Репарація ДНК*** — це процес виявлення та виправлення пошкоджень в молекулах ДНК, що можуть виникати як природним шляхом (під час реплікації ДНК або рекомбінації), так і під впливом зовнішніх чинників-мутагенів. Є ключовим механізмом для збереження стабільності геному та запобігання мутаціям.
- ***Рекомбінація ДНК*** (або генетична рекомбінація) — це процес перерозподілу генетичної інформації ДНК, що призводить до появи нових комбінацій генів та спадкової мінливості, сприяє генному біорізноманіттю живої природи.

Коротко про головне

- **ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ** — *це сукупність відомостей про будову, функції і поведінку організмів, що передається у спадок за допомогою генів.*
- Розрізняють три основні ступені організації генетичної інформації: ***генний, геномний та хромосомний***.
- Потік інформації на молекулярному рівні організовують **генетичні процеси**, що є основою багатьох важливих властивостей організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Різноманітність генетичних процесів.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке САМООРГАНІЗАЦІЯ МАТЕРІЇ?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Визначає*: основне поняття **ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо причин різноманітності генетичних процесів
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **САМООРГАНІЗАЦІЯ МАТЕРІЇ**

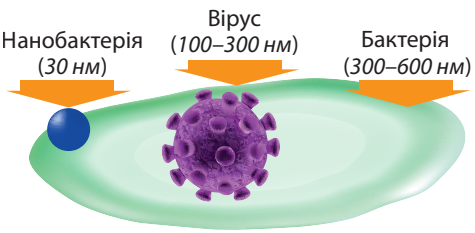
Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 274*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку продуктивності запам'ятовування (з використанням методики О. Лурії «Піктограми»).

Завдання для прогнозування. ДНК.

Завдання для креативних *Нанометр* (від лат. *nanos* — карлик та *metron* — міра; позначення: *нм*; міжнародне: *nm*) — *одиниця виміру довжини в Міжнародній системі одиниць* (*СІ*), *що дорівнює одній мільярдній частині метра* (10^{-9} *м*). *Нанометр часто асоціюється з областю нанотехнологій та з довжиною хвилі видимого світла. Це одна з найбільш використовуваних одиниць виміру малих довжин, розміри яких від 1 до 100 нм. Вимірюю свій зріст у нанометрах.*



Гени виявляють свою дію,
визначаючи синтез білків,
що є дуже потужним способом впливу
на навколишній світ.

Річард Докінз (нар. 1941) — англійський еволюційний біолог

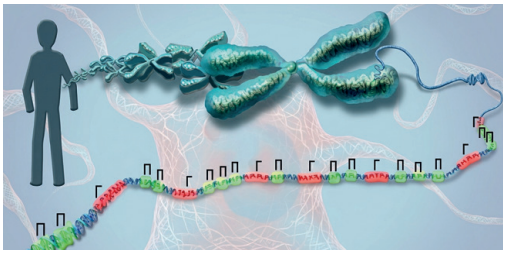


§ 4.2. ГЕН. ГЕНЕТИЧНИЙ КОД. ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ

Усвідомлюємо! Новини науки.

- Під час досліджень вченими були виявлені гени, які впливають на рівень інтелекту.
- Вчені знайшли групу генів, що дозволяють деяким людям виглядати на десять років молодшими за свій вік.
- Вчені виявили в організмі людини гени, що відповідають за регенерацію органів і тканин.

Що ж таке гени?



ЗМІСТ

Як організована спадкова інформація в клітинах?

Карі очі людини, блакитний колір крові кальмара, товстий стовбур баобаба, отруйність мухомора зеленого — все це визначається властивостями закодованих білків, що синтезуються в клітинах за участю РНК. Спадкова інформація записана на ДНК у вигляді генів, гени — в хромосомах, хромосоми організовані у ядрі (нуклеоїді), а ядро завдяки цій генетичній інформації організовує життєдіяльність клітини.

Ген як одиниця спадковості забезпечує такі функції:

1) зберігання спадкової інформації;
2) контроль і керування метаболізмом у клітині;
3) самоподвоєння інформації для передачі наступному поколінню (реплікація ДНК перед поділом клітин);
4) відновлення пошкоджень ДНК і РНК (репарація);
5) забезпечення спадкової мінливості організмів (рекомбінації й мутації);
6) контроль і керування індивідуальним розвитком організмів.

Функції генів визначаються низкою властивостей, серед яких:

- *специфічність* (кожен структурний ген має тільки йому властивий порядок розташування нуклеотидів і визначає синтез певного продукту);
- *цілісність* (ген — неподільна одиниця, зміна порядку або кількості нуклеотидів у ньому призводить до зміни молекули білка чи РНК);
- *дискретність* (визначається наявністю в ньому структурних та функціональних елементів; наприклад, функціональною одиницею є *кодон* — три пари нуклеотидів, що кодують одну амінокислоту).

За розташуванням у клітинах виділяють *ядерні й цитоплазматичні гени* (розташовані в мітохондріях і хлоропластах). За функціональним значенням гени поділяють на *структурні й регуляторні*. Розміри регуляторних генів, як правило, незначні — кілька десятків пар нуклеотидів, тоді як структурних — сотні й тисячі нуклеотидів. За характером кодувальної інформації виділяють *білок-кодувальні і РНК-кодувальні гени*. За активністю розрізняють *конститутивні й неконститутивні* гени. Конститутивні гени — це гени, що є постійно активними, тому що білки, які ними кодуються, необхідні для безперервної клітинної діяльності; ці гени не потребують спеціальної регуляції. Неконститутивні гени — це гени, які стають активними тільки тоді, коли білок, який вони кодують, потрібний клітині.

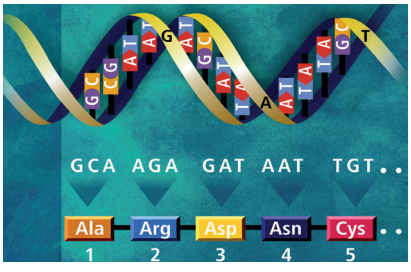
Які особливості генетичного коду?

ГЕНЕТИЧНИЙ КОД — *це система збереження спадкової інформації про амінокислотний склад білків у молекулах нуклеїнових кислот у вигляді послідовностей нуклеотидів*. Ця послідовність визначає порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюгові під час його синтезу.

Основними властивостями генетичного коду є:

- ***триплетність*** (амінокислота кодується послідовністю з трьох нуклеотидів — триплетом);
- ***однозначність***, або специфічність (триплет кодує лише одну певну амінокислоту);
- ***надмірність***, або виродженість (одну амінокислоту можуть кодувати кілька різних триплетів (наприклад, лейцин кодується шістьма триплетами), що підвищує надійність коду);
- ***безперервність*** (у генах триплети не відмежовані один від одного; водночас між генами існують ділянки, які не несуть генетичної інформації (спейсери) і лише відокремлюють одні гени від інших); окрім того, на початку гена розташовується старт-кодон (у ДНК — триплет ТАЦ, у РНК — АУГ), у кінці генів один із трьох стоп-кодонів (у ДНК — АТТ, АТЦ, АЦТ, у РНК — УАА, УАГ, УГА). **Старт-кодон** — *це триплет, що кодує амінокислоту метіонін* (*Мет**) *і розпочинає утворення білка в процесі трансляції*. **Стоп-кодони** (нонсенс-кодони) *сигналізують про завершення трансляції поліпептидного ланцюга*.
- ***колінеарність*** (лінійній послідовності нуклеотидів у гені відповідає лінійна послідовність амінокислот у молекулі білка);
- ***універсальність*** (генетичний код єдиний для всіх організмів, які існують на Землі).

Біологія + Наука *Генетичний код було розшифровано у 60-х роках XX ст. За це дослідження Г. Корана, Р. Голлі і М. Ніренберг отримали у 1968 році Нобелівську премію з фізіології та медицини. Оцінюю наукове значення цього відкриття.*



Які особливості відрізняють біологічну експресію генів?

ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ — *процеси використання спадкової інформації генів для синтезу функціональних продуктів: молекул РНК та білків*. Кожний ген має власну величину експресії, яка може змінюватися в різні періоди життя клітини. Процес експресії генів властивий усім неклітинним формам життя та клітинним організмам — про- та еукаріотів. Основою експресії генів є ***реакції матричного синтезу***, що потребують великих затрат енергії АТФ, активності багатьох ферментів та частин клітини. Експресія генів активно регулюється і є основою росту й розвитку клітин та їхньої адаптації до умов навколишнього середовища. На реалізацію спадкової інформації впливають як внутрішні (гормони, фактори росту, білки-індуктори), так і зовнішні (температура, випромінювання, антибіотики, токсини). Наприклад, гальмівну дію на синтез РНК чинить аманітин — отруйна речовина із блідої поганки, що діє на РНК-полімеразу і блокує синтез мРНК.

Процес експресії генів використовується живими організмами та вірусами. Основними процесами експресії генів, наприклад, в клітинах еукаріотів, є транскрипція, процесинг із сплайсингом, експорт мРНК, трансляція та післятрансляційна модифікація.

Коротко про головне

- **ГЕН** (від грец. *genos* — рід, походження) — *це ділянка ДНК, що містить інформацію про первинну структуру молекули білка або РНК і визначає можливість розвитку певної ознаки*.
- **ГЕНЕТИЧНИЙ КОД** — *це система збереження спадкової інформації про амінокислотний склад білків у молекулах нуклеїнових кислот у вигляді послідовностей нуклеотидів*.
- **ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ** — *це процес реалізації спадкової інформації клітин з утворенням РНК і білків. Вона відбувається з різною швидкістю в різних клітинах під впливом внутрішніх та зовнішніх умов середовища. Основними етапами й стадіями експресії є транскрипція й трансляція.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **ГЕН**.

Розвивальне завдання. Практична робота 4. Розв'язування задач «Властивості генетичного коду».

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Експресія генів та самоорганізація живого.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ГЕНА**
• *Формулює очікувані результати:* для **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо принципів запису інформації на ДНК різних клітин організму людини
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про зв'язок експресії генів із **САМООРГАНІЗАЦІЄЮ** у живій природі

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Гірлянда асоціацій».

Завдання для розпізнавання. ГЕН.

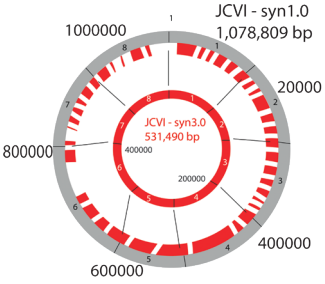
ДНК, що міститься в клітинах, — це не тільки гени: принаймні мають бути з'єднувальні міжгенні ділянки.

Андрій Сиволоб (нар. 1960) — молекулярний біолог, доктор біологічних наук



§ 4.3. ГЕНОМНИЙ СТУПІНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ГЕНЕТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Новини науки. Досліджуючи геном бактерії *Mycoplasma mycoides*, вчені виявили 901 ген, з яких корисними, на їхню думку, є лише 473. Така кількість є найменшою відомою необхідною кількістю для виконання клітиною всіх життєво важливих функцій. Сконструювавши геном і штучну бактерію JCVI-syn3.0, що не містили, на думку вчених, жодного зайвого гена, з'ясувалося, що без «надлишкової ДНК» клітина не спроможна жити. Як ви гадаєте, чому?



ЗМІСТ

Як організований геном організмів?

ГЕНОМ — це повний набір генетичної інформації, уся сукупність послідовностей ДНК в клітинах організму певного виду. Геном поєднує функціональні компоненти, якими є структурні й регуляторні гени та нефункціональні (некодувальні) послідовності ДНК. Геноми клітинних організмів побудовані з ДНК, і лише окрема група вірусів має геноми з РНК.

Спадкова інформація клітин міститься не лише в нуклеоїді та хромосомах ядра, але й у структурах цитоплазми. У прокаріотів — це плазміди, в клітинах еукаріотів — мітохондрії й хлоропласти, що мають власні ДНК.

ГЕНОМ	
Функціональний компонент	Нефункціональний компонент
Структурні гени Регуляторні гени	Повтори (псевдогени, тандемні повтори, мобільні елементи геному) Міжгенні послідовності (спейсери)

Завдяки науковим дослідженням різних клітин і організмів було показано, що *більшу частину геному становить надлишкова або нефункціональна ДНК*, яка не містить інформації про синтез білків. Так, у кишкової палички частка такої ДНК становить 15–20 %, у дрозофіли — 90–95 %, а у людини — аж 95–98 %. Яке ж значення цієї ДНК в геномі? Виявилось, що вона виконує важливу регуляторну функцію: має ділянки-промотори для організації початку синтезу РНК, утворює ділянки-теломери для захисту кінцевих ділянок хромосом, формує ділянки-центромери для правильного розподілу хромосом під час поділу клітин тощо.

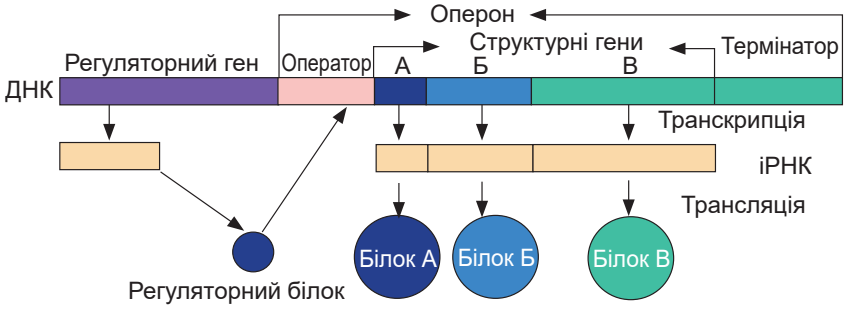
Також було доведено, що *розміри геному збільшуються в міру ускладнення організмів*. Так, геном кишкової палички налічує 4,6 млн пар нуклеотидів, геном дрозофіли — 130 млн, а геном людини —

3,2 млрд. Зростання розмірів геному супроводжується збільшенням кількості генів. Так, у кишкової палички структурних генів близько 1 тисячі, у дрозофіли — до 10 тисяч, в людини — 20–25 тисяч. Проте слід зазначити, що розмір геному не завжди відповідає еволюційній складності організму. Так, найбільший геном виявлено у рослини вороняче око (*Paris japonica*) (149 млрд пар нуклеотидів).

Які особливості геному прокаріотів?

Геном прокаріотів — це сукупність генетичного матеріалу в клітинах бактерій та архей.

Генний ступінь. Гени прокаріотичних клітин мають відносно просту структуру. Найчастіше кожен із цих генів містить інформацію тільки про одну молекулу білка або РНК. У прокаріотів генетичний матеріал має оперонну організацію. Концепція оперона була запропонована в 1961 році французькими вченими Франсуа Жакобом і Жаком Моно, за яку вони отримали Нобелівську премію у 1965 році. **Оперон** — *це послідовність регуляторних та структурних генів з регуляторними елементами, які кодують групу білків одного метаболічного ланцюга.* До складу оперона прокаріотів входять структурні гени і регуляторні елементи (не плутати з геном-регулятором). Так, лактозний оперон кишкової палички містить спадкову інформацію про три білки, що беруть участь у поглинанні та розщепленні лактози. Структурні гени прокаріотів не мають мозаїчної структури, тобто в їхньому складі немає розподілу на кодувальні (екзони) й некодувальні (інтрони) ділянки. Крім структурних генів оперони мають регуляторні ділянки (оператор, термінатор), що забезпечує активність оперона як цілісної системи. На роботу оперона впливає самостійний регуляторний ген, що синтезує відповідний регуляторний білок. З появою в навколишньому середовищі лактози її молекули зв'язують цей білок, перешкоджаючи його приєднанню до оператора. Структурні гени переходять до активного стану й продукують одну молекулу мРНК для синтезу трьох білків. Отже, оперонна організація геному прокаріотів забезпечує упорядковану й регульовану активність генів залежно від умов середовища та діяльності інших генів.



Іл. 27. Організація лактозного оперона в кишкової палички

Геномний ступінь. Геном складається з однієї або кількох кільцевих молекул ДНК, розташованих у ділянці цитоплазми, яка називається нуклеоїдом, а також може включати плазміди — невеликі, додаткові молекули ДНК, що можуть передаватися між клітинами.

Хромосомний ступінь. Прокаріотична клітина містить лише одну «хромосому», що складається з однієї кільцевої молекули ДНК, яка не упакована з гістоновими білками і не утворює хроматин, як у еукаріотів.

Які відмінності геному еукаріотів?

Гени еукаріотів мають складнішу будову. По-перше, в структурній частині генів є ділянки, що кодують спадкову інформацію, — **екзони**, і ділянки, що її не кодують, — **інтрони**. Кількість і розташування інтронів специфічні для кожного гена. Така будова структурних генів еукаріотів називається мозаїчною. Науковці вважають, що це може бути механізмом, який обмежує мутаційний процес. При цьому інтрони виконують функцію «пасток» мутацій.

По-друге, відбувається ускладнення й урізноманітнення регуляторних ділянок. Так, перед промотором можуть розташовуватися ділянки ДНК, що впливають на рівень транскрипції (*енхансери*).

І, по-третє, збільшуються розміри ділянок ДНК, що відокремлюють гени один від одного (*спейсерів*). У прокаріотів до складу спейсерів входить декілька пар нуклеотидів, а в еукаріотів ці ділянки значно більші, містять повторювані послідовності ДНК (сателітна ДНК, «стрибаючі гени» тощо) й займають значну частину геномної ДНК. Якщо елементи спейсерів опиняються в екзонах структурних генів або поруч з ними, то їхні функції змінюються.

Біологія + Людина *Проект «Геном людини»* (англ. *Human Genome Project*) *— міжнародний проєкт наукових досліджень для визначення послідовностей ДНК, розташування генів людини в хромосомах та їхніх функцій. Яке практичне й наукове значення проєкту «Геном людини»?*



Коротко про головне

- **ГЕНОМ** — *сукупність спадкової інформації в клітинах організму певного виду.*
- Для генів прокаріотів властива оперонна організація генів, відсутність мозаїчної будови.
- Геном еукаріотів відрізняються більшими розмірами, наявністю мозаїчної структури та ускладненням регуляторних генів та регуляторних елементів.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням опорної схеми. **ГЕНОМ**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Порівняльна характеристика геномів.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Організація лактозного оперона кишкової палички.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості організації **ГЕНОМУ**
• *Організовує*: **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про відмінності геномів різних груп організмів
• *Виявляє ставлення на рівні реагування, пояснює*: значення самоорганізації геномів

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа. «Розкодуй назву».
Завдання для відтворення. ГЕНОМ.

Вміст хромосом визначає характерні риси організму.

Теодор Бовері (1862–1915) — німецький анатом, один із співзасновників цитології



§ 4.4. ХРОМОСОМНИЙ СТУПІНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ





Знайомимося! Досить часто запорукою наукового відкриття є поєднання якостей науковця з вдалим вибором об'єкта дослідження. Перед вами автори відкриття, пов'язаного з роллю хромосом у спадковості.

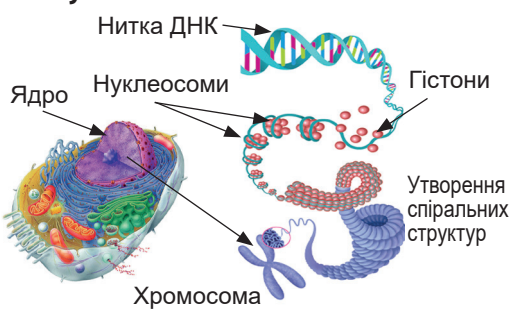
Томас Гант Морган (1866–1945) — американський біолог, один із засновників генетики, лауреат Нобелівської премії в галузі фізіології та медицини (1933).

Дрозофіла чорночерева (*Drosophila melanogaster*) (тривалість життя при +25 °С — близько 14 днів) — комаха ряду Двокрилі, яка є незамінним модельним об'єктом генетичних досліджень.

ЗМІСТ

Які особливості організації хроматину?

Хроматин — це комплекси ДНК, РНК та білків, розташованих у ядрі еукаріотичних клітин. Основні структурні компоненти хроматину — ДНК (30–45 %), гістони (30–50 %) та негістонові білки (4–33 %).



Іл. 28. Організація хроматину

Розрізняють два функціональні стани хроматину: гетеро- та еухроматин. Якщо хроматин упакований щільно, його називають конденсованим або *гетерохроматином*. Його видно під мікроскопом. Якщо хроматин упакований нещільно, його називають *еухроматином*. У цьому стані він більш доступний для різноманітних ферментів і зазвичай транскрипційно активний.

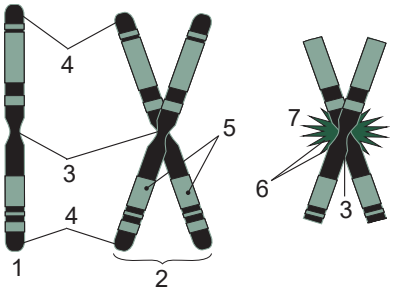
Основна функція хроматину — упакування довгих молекул ДНК у більш компактні, щільно організовані структури. Це запобігає сплутуванню ниток, а також відіграє важливу роль у зміцненні ДНК під час поділу клітин, у запобіганні пошкодженню ДНК, регулюванні експресії генів і реплікації ДНК.

Як властивості хромосом пов'язані з їхньою будовою?

ХРОМОСОМИ (від грец. *chroma* — забарвлений, *soma* — тільце) — це молекулярні структури клітинного ядра, які є носіями генів і визначають спадкові властивості клітин та організмів. Основу хромосоми

складає одна дволанцюгова молекула ДНК, зв'язана з білками в нуклеопротеїновий комплекс. Термін «хромосоми» в 1888 році ввів у науковий обіг *Генріх Вальдеєр* (1836–1921).

Перед поділом клітини однохроматидні хромосоми подвоюються, конденсуються і стають двохроматидними. Саме в такому вигляді і саме під час поділу клітини їх найкраще вивчати за допомогою мікроскопа.



Іл. 29. Будова хромосоми: 1 — однохроматидна хромосома; 2 — двохроматидна хромосома; 3 — центромера; 4 — теломери; 5 — сестринські хроматиди; 6 — нитки веретена поділу; 7 — кінетохори

Основними властивостями хромосом, що визначаються молекулами ДНК, є: 1) здатність до самоподвоєння; 2) здатність розділятися при поділі клітин; 3) здатність зберігатися в ряді поколінь клітин. Ці особливості пов'язані з наявністю в хромосомі трьох елементів: сайтів початку реплікації, центромер і теломер. *Сайти початку реплікації* — послідовність нуклеотидів, що визначає початок самоподвоєння молекули ДНК. *Центромера* — частина хромосоми, що поділяє її на два плеча. На ній розташовуються білки-кінетохори, до яких при розподілі генетичного матеріалу прикріплюються нитки веретена поділу. *Теломери* — ділянки на кінцях лінійних хромосом, що перешкоджають їх з'єднанню між собою та забезпечують відновлення за допомогою ферменту теломерази ділянок, втрачених після поділу.

Кількість хромосом у клітинах еукаріотів різних видів є різною і не залежить від рівня організації.

Біологія + Відкриття *Американські науковці Е. Блекберн, К. Грейдер і Д. Шостак з'ясували, яким чином хромосоми зберігають свою цілісність при поділі клітини. Причина цього — у кінцях хромосом, відомих як теломери. За ці дослідження вони стали лауреатами Нобелівської премії 2009 року у галузі фізіології та медицини. Цікаво, яке значення для людини мають знання організації хромосом?*

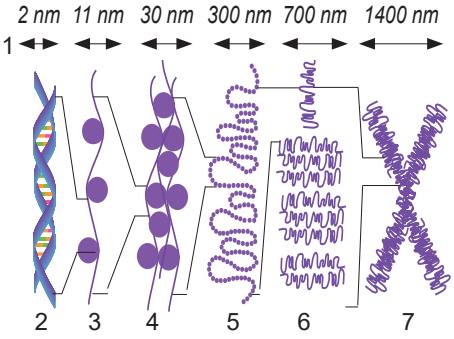


Як відбувається конденсація хромосом?

У кожній хромосомі міститься лише одна молекула ДНК, яка досягає декількох сантиметрів. Так, у людини довжина ДНК найбільшої хромосоми становить близько 7 см, а загальна довжина молекул ДНК всіх хромосом однієї клітини печінки людини — близько 2 м. Яким чином хромосоми поміщаються в мікроскопічному ядрі, розміром 5 мкм? Це досягається за рахунок **конденсації хромосом** (від лат. *condensatio* — ущільнення), що забезпечує багаторівневу організацію хроматину. Можливості такої організації вражають. Так, у людини, довжина розкрученої ДНК найменшої хромосоми становить близько 14 000 мкм,

а її довжина після ущільнення складає вже всього-на-всього 2 мкм. Які ж є рівні організації хромосом?

Нуклеосомний рівень (3). Подвійна спіраль молекули ДНК (1, 2) на цьому рівні організації накручується на ядерні частинки-нуклеосоми, що складаються з 8–10 білкових молекул. Хроматин набуває вигляду намиста з перлин (глобули білка діаметром 11 нм) на нитці (спіраль ДНК), а рівень ущільнення становить 6–7 разів. *Нуклеомерний рівень* (4) виникає завдяки спіралізації й формуванню нуклеомерної фібрили діаметром 30 нм з кроком спіралі в 6–8 нуклеосом. Рівень ущільнення нитки ДНК досягає 40 разів. *Хромомерний рівень* (5) пов'язаний вже не зі спіралізацією, а з утворенням поперечних петель вздовж хромосоми. Загальний рівень ущільнення досягає вже 1000 разів, а діаметр такої структури — близько 300 нм. *Хроматидний рівень* виникає у зв'язку з подальшим укладанням структури нижчого рівня ієрархії та утворенням хроматиди діаметром 700 нм. *Хромосомний рівень* характерний для метафазної хромосоми, що має діаметр 1400 нм.



Іл. 30. Рівні організації хромосом: 1, 2, 3 — нуклеосомний; 4 — нуклеомерний; 5 — хромомерний; 6 — хроматидний; 7 — хромосомний

Коротко про головне

- **Хроматин** — нуклеопротеїнові нитки, з яких складаються хромосоми клітин еукаріотів.
- **ХРОМОСОМИ** — *структури клітин еукаріотів, що забезпечують збереження, розподіл та передачу спадкової інформації.*
- Організація хромосом має багаторівневий ієрархічний порядок, завдяки якому рівень загального ущільнення досягає 7 000–10 000 разів.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у схему. **ХРОМОСОМИ**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Будова хромосом.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Процеси формування хромосом (конденсація).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: особливості організації **ХРОМОСОМ**
• *Аналізує результати*: **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про взаємозв'язок будови й функцій хромосом
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* твердження про **САМООРГАНІЗАЦІЮ** на хромосомному ступені організації генетичної інформації

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку творчої уяви «Гіперболізація».
Завдання для конструювання. ХРОМОСОМИ.

Визначене число і форма хромосом є первинною, тобто найбільш ранньою ознакою виду.

Сергій Навашин (1857–1930) — відомий ботанік, відкрив подвійне запліднення, створив основи каріосистематики



§ 4.5. КАРІОТИП



Оцінюємо! Вивченню наборів хромосом сприяло відкриття колхіцину — речовини з групи алкалоїдів, що впливає на поділ клітин. Найвідомішим джерелом цієї речовини є рослина *пізньоцвіт осінній* (*Colchicum autumnale*). Цікаво, яка роль цієї рослини у дослідженнях каріотипу?

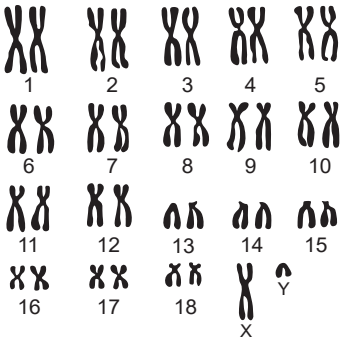
ЗМІСТ

Які особливості організації каріотипу?

КАРІОТИП — *сукупність ознак хромосомного набору* (*кількість хромосом, форма, розміри*). Термін «каріотип» запропонував у 1924 році український ботанік *Григорій Левитський* (*1878–1942*). Кожному видові організмів властивий певний каріотип.

Основними правилами, які характеризують каріотип, є:

- *правило специфічності* — особливості каріотипу особин виду залежать від кількості, розмірів та форми хромосом;
- *правило стабільності* — кожний вид еукаріотичних організмів має певну і постійну кількість хромосом (наприклад, у дрозофіли — 8 хромосом, у людини — 46);
- *правило парності* — в диплоїдному наборі кожна хромосома має собі пару, подібну за розмірами та формою. Такі хромосоми називаються ***гомологічними***;
- *правило індивідуальності* — кожна пара гомологічних хромосом має свої особливості. Так, при порівнянні хромосомних наборів чоловічих та жіночих особин одного виду спостерігається відмінність в одній парі хромосом. Ця пара отримала назву ***статевих хромосом***. Решта гомологічних пар хромосом, однакових в обох статей, мають загальну назву ***аутосоми***;
- *правило наступності* (*неперервності*) — завдяки здатності хромосом до подвоєння під час поділу клітини, у наступних поколіннях клітин одного виду зберігається не лише стале число хромосом, а й їхні індивідуальні особливості;



Іл. 31. Каріотип кішки домашньої (2n = 38, самець)

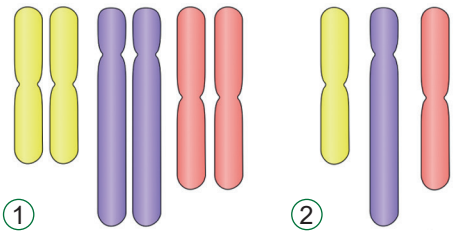
Закономірності організації каріотипу досліджувалися на препаратах клітин, розмноження яких призупинялося за допомогою колхіцину на стадії метафази. Це та стадія, на якій двохроматидні хромосоми добре помітні у світловий мікроскоп.

Біологія + Біорізноманіття ✿ **Шимпанзе карликовий**, *або бонобо* (*Pan paniscus*) — *вид людиноподібних мавп, поширений у тропічних лісах Центральної Африки на невеликій території між ріками Конго і Луалаба. Який набір хромосом мають особини цього виду?*



Чим відрізняються гаплоїдний і диплоїдний набори хромосом?

Набір хромосом може бути диплоїдний і гаплоїдний. В ядрах соматичних клітин міститься подвійний набір хромосом. У ньому кожна хромосома має свого гомологічного «партнера». Такий набір хромосом називають диплоїдним і позначають «2*n*». **Диплоїдний набір хромосом** — *це сукупність хромосом, притаманна соматичним клітинам, в якій всі характерні для даного біологічного виду хромосоми представлені попарно*. Так, у людини диплоїдний набір хромосом містить 46 хромосом — 44 аутосоми і 2 статеві хромосоми. Хромосоми однієї пари називаються гомологічними, різних пар — негомологічними. **Гомологічні хромосоми** — *це хромосоми однієї пари, однакові за будовою, формою, розмірами, набором генів*. Ці парні хромосоми здатні до кон'югації в мейозі. Одна гомологічна хромосома в наборі хромосом дочірнього організму походить від батьківського, а інша — від материнського організму. В ядрах статевих клітин, на відміну від соматичних, є лише по одній хромосомі з кожної пари. Всі вони негомологічні. Такий одинарний набір хромосом називають гаплоїдним, і він удвічі менший. Гаплоїдний набір хромосом позначають як «*n*». **Гаплоїдний набір хромосом** — *сукупність хромосом, притаманна статевим клітинам, в якій із кожної пари характерні для даного біологічного виду хромосом присутня лише одна*. Так, у людини гаплоїдний набір хромосом містить 23 хромосоми — 22 аутосоми і одну статеву хромосому.



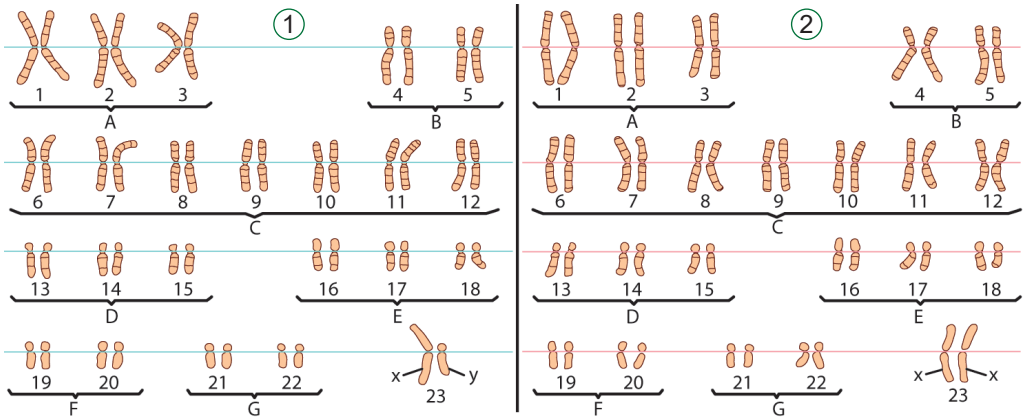
Іл. 32. Набори хромосом: 1 — диплоїдний; 2 — гаплоїдний

Яке значення досліджень каріотипу?

Для дослідження особливостей каріотипу організмів, їхні хромосоми розташовують у вигляді **ідіограми** (від грец. *idios* — своєрідний, *gramma* — запис). Складання ідіограми, як і сам термін, запропоновано українським цитологом С. Г. Навашиним.

Щоб створити ідіограму, спеціалісти використовують дані цитогенетичних досліджень і відтворюють зображення кожної пари хромосом, розташованих у певному порядку (наприклад, за розміром та розташуванням центромери).

Дослідження каріотипу людини має важливе значення у медичній генетиці для діагностики спадкових захворювань. Лікарі мають змогу діагностувати багато спадкових захворювань навіть на ранніх етапах розвитку (наприклад, синдром Дауна).



Іл. 33. Ідіограма людини: 1 — чоловіча стать; 2 — жіноча стать

Будову каріотипу застосовують у систематиці організмів для розпізнавання близьких за будовою видів (наприклад, видів-двійників). Це пов'язано з тим, що в близьких видів хромосомні набори завжди відрізняються за кількістю хромосом чи особливостями їхньої будови. До того ж, вивчення каріотипу дає змогу встановлювати ступінь історичної спорідненості між організмами. Адже чим подібніші каріотипи двох видів, тим ці організми ближчі за походженням.

Коротко про головне

- **КАРІОТИП —** *сукупність ознак хромосомного набору* (*кількість хромосом, форма, розміри*).
- **Плоїдність** — кількість одинарних (гаплоїдних) наборів хромосом, що містяться в ядрі клітини.
- **Ідіограма** — це графічне зображення хромосом у клітині, що надає інформацію про кількість, розташування та розміри хромосом у клітинах певного виду організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням схеми. КАРІОТИП.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Вивчення каріограми дрозофіли і людини.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Нобелівська премія з фізіології та медицини 2009 року.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює*: організацію **КАРІОТИП**
• *Оцінює результати:* **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо ознак подібності каріотипу різних організмів
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: значення досліджень каріотипу для розуміння самоорганізації організму

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Гумор дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 2. КАРІОТИП та ...

Глухих лісів німі аборигени,
людського духу навіть не ази,
вже як не є — спасибі вам за гени.
Хай грають далі в довгої лози.

Ліна Костенко (нар. 1930) — українська поетеса, письменниця



§ 4.6. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ ТА НАУКОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ



Метикуємо! Уперше штучний ген синтезував індійський молекулярний біолог Г. Ґ. Корана (1922–2011) у 1970 році Це був ген аланінової тРНК дріжджів, що складався із 77 нуклеотидів. У 1976 році науковцю вдалося синтезувати ген тирозинової тРНК кишкової палички, який після внесення в бактеріальну клітину функціонував як природний. Яке наукове значення цього та інших молекулярно-генетичних відкриттів?

ЗМІСТ

Які особливості та значення молекулярно-генетичних досліджень?

МОЛЕКУЛЯРНА ГЕНЕТИКА — *це наука, що вивчає молекулярні основи спадковості й мінливості живих організмів і вірусів*. Як самостійний напрям молекулярна генетика виділилась у 40-х роках XX ст. після впровадження нових методів дослідження генетичного апарату вірусів і клітин (наприклад, секвенування генів, полімеразна ланцюгова реакція).

Найголовнішими досягненнями молекулярної генетики є з'ясування хімічної природи гена, штучний синтез гена, з'ясування механізмів генетичних процесів (*реплікації, транскрипції, зворотної транскрипції, трансляції, репарації, експресії*). У центрі цієї науки лежить концепція *генетичного коду*, що зумовлює такі ознаки як спадковість і мінливість.

Молекулярна генетика стала основою для розвитку біохімії, біофізики, цитології, мікробіології, вірусології, біології розвитку, відкрила нові підходи до розуміння походження життя на Землі. Знання генетичної інформації відкривають нові шляхи для діагностування та лікування спадкових хвороб у *медицині*. На сьогодні вже описано гени, відповідальні за такі захворювання людини, як хвороба Альцгеймера, шизофренія. Відомим фактом є те, що ліки можуть зумовлювати різну реакцію у різних людей. Фармацевтичні компанії вже планують використовувати молекулярно-генетичні дослідження для розвитку *персоніфікованої медицини* й *фармакогенетики*. Аналіз подібності у послідовностях ДНК різних організмів відкриває нові можливості для філогенетичних досліджень у *систематиці* й *еволюційній біології*. Вивчення різноманіття людського генома у різних

видів людей, у різних етнічних груп виду Людина розумна дозволить отримати нові дані щодо закономірностей історичного розвитку в *антропології*. Варіабельність генома людини сприяла появі нового напрямку геноміки — *етногеноміки*, яка своїми дослідженнями сприяє розвитку етнографії, історії, археології, лінгвістики. Ще одним цікавим напрямком геноміки є *палеогеноміка*, що займається вивченням давніх ДНК, отриманих із викопних решток. Так, дослідження ДНК з кісток неандертальців виявили нездатність їхніх організмів перетравлювати лактозу.

Яке значення цитогенетичних досліджень?

Основний предмет цитогенетичних досліджень це хромосоми, їх структурна й функціональна організація, поведінка в клітинах, що діляться. Ця наука бере початок із 1956 року, коли було доведено, що в людських клітинах (крім статевих) міститься 46 хромосом.

Під час виготовлення мікропрепаратів хромосом до культури клітин додають алкалоїд колхіцин, який зупиняє поділ клітини на стадії метафази. Потім клітини обробляють гіпотонічним розчином KCl, який відділяє хромосоми одну від одної, після чого їх фіксують і фарбують. Завдяки такій обробці кожна хромосома видима у світловому мікроскопі. Хромосоми на цій стадії складаються з двох хроматид і мають Х-подібну форму. Останнім часом у хромосомному аналізі для виявлення хромосомних мутацій використовують *метод флуоресцентної гібридизації*, який полягає у фарбуванні хромосом флуоресцентними барвниками.

За допомогою хромосомного аналізу в *медичній генетиці* досліджують каріотип людини, у *філогенетиці* вивчають закономірності мутаційного процесу. Вимірювання довжини теломер на кінцевих ділянках хромосоми дозволяє спеціалістам-*геронтологам* оцінити швидкість процесу старіння людського організму, оскільки теломери зменшуються з кожним поділом клітин. У *судовій медицині* хромосомний аналіз застосовується для визначення статевої належності крові.

Які основні положення сучасної теорії гена?

Сучасна теорія гена формується на засадах нового напрямку, який Дж. Вотсон (1928) назвав *молекулярною біологією гена*. Наукові знання, що сформувалися після багаторічних досліджень основ спадковості, узагальнено у вигляді основних положень теорії гена:

1. Ген займає певну ділянку (локус) у хромосомі. Хромосоми є матеріальними носіями спадковості. Теломерні та центромерні ділянки хромосом не містять генів.
2. Ген — це частина молекули ДНК, яка має певну послідовність нуклеотидів і є функціональною одиницею спадкової інформації. Кількість нуклеотидів, які входять до складу різних генів, різна.
3. Всередині гена можуть відбуватися *рекомбінації* (перерозподіл генетичного матеріалу) і *мутації* (зміни генетичного матеріалу).

4. Існують *структурні й регуляторні гени*. **Структурні гени** кодують синтез білків. **Регуляторні гени** контролюють і спрямовують діяльність структурних генів.
5. Ген не бере безпосередньої участі в синтезі білка, він є матрицею для утворення посередників — різних молекул РНК, які безпосередньо беруть участь у синтезі.
6. Розташування триплетів із нуклеотидів у структурних генах відповідне (колінеарне) амінокислотам у поліпептидному ланцюгу, який кодується цим геном.
7. Молекули ДНК здатні до *репарації*, тому не всі пошкодження гена ведуть до мутації.
8. *Генотип* складається з окремих генів (дискретний), але функціонує як єдине ціле. На функцію генів впливають фактори як внутрішнього, так і зовнішнього середовища.



Біологія + Наука *Фредерік Сенгер (1918–2013) — британський біохімік, двічі лауреат Нобелівської премії з хімії (1958, 1980). У 1977 році запропонував метод секвенування генів. Оцінюю значення методу для становлення теорії гена.*

Коротко про головне

- **Молекулярна генетика** вивчає структури, що зберігають та формують генетичну інформацію та їхні функціональні властивості.
- **Цитогенетика** — наука, що вивчає будову і функціювання хромосом, які забезпечують процес спадковості.
- Поняття **ГЕН** є центральним для молекулярної біології, молекулярної генетики, цитогенетики — наук, що дозволяють зрозуміти сутність життя на молекулярному рівні його організації.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ.

Розвивальне завдання. Графічне моделювання. Основні положення теорії гена.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. с. 274*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ГЕНЕТИЧНУ ІНФОРМАЦІЮ**
• *Застосовує навички* **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень генетичної інформації
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт на основі знань про генетичну інформацію, проблемно-пошукових умінь та ціннісних уявлень про **САМООРГАНІЗАЦІЮ МАТЕРІЇ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 4. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ та ...

СТОРІНКА КОМПЕТЕНТНОСТІ

КЛАСТЕР-компетикум. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ



Контекст. *На ілюстрації один із найкрасивіших видів павуків –* ***павук-павич леопардовий*** **(***Maratus pardus***),** *відкритий у 2014 році в Австралії. Застосовую свої знання теми для ознайомлення з цим павуком.*

1. Частина клітини, де у павука зберігається спадкова інформація…
Р цитоплазма **С** ядро **Т** плазмалема

2. Називаю процес копіювання спадкової інформації павука.
Е реплікація **Є** регенерація

3. В якому наборі хромосом спадкова інформація самця павука передається наступному поколінню?
К гаплоїдному **Л** диплоїдному

4. Який процес забезпечує поєднання спадкової інформації самця і самки павука?
Б транскрипція **В** запліднення

5. Які структури визначають відмінність ознак самця від самки у павука?
Д аутосоми **Е** статеві хромосоми

6. Які клітини павука здійснюють передачу спадкової інформації наступному поколінню?
М нестатеві диплоїдні **Н** статеві гаплоїдні

7. Передні великі очі павуків містять фоторецептори з пігментами, що розрізняють червоний, синій, зелений і ультрафіолетовий кольори. Як називається процес утворення цих білків?
У трансляція **Ф** транскрипція

8. Павуки-павичі відомі своїми шлюбними танцями. Називаю період, коли спостерігаються ці прояви статевої поведінки.
А ембріогенез **Б** постембріогенез

9. Павутина павуків-павичів утворена з білка фіброїна й збагачена амінокислотами гліцином, аланіном й серином. Як інформація про ці сполуки закодована в павуків?
А послідовністю нуклеотидів ДНК
Б у вигляді послідовності амінокислот

10. Павуки-павичі ведуть мандрівний спосіб життя і постійно зазнають впливу негативних чинників середовища. Називаю процес виправлення пошкоджень їхньої ДНК.
Н репарація **О** рекомбінація

11. До родини павуків-павичів відносять близько 50 видів, які ззовні відрізняються забарвленням свого черевця. Називаю процес видозміни спадкової інформації.
Н рекомбінація **О** реплікація

12. Самці павуків досягають розмірів всього до 5 мм. А який процес забезпечує їхній ріст?
Ю мейоз **Я** мітоз

У таблиці відповідей отримую назву методу визначення послідовності нуклеотидів у ланцюгу ДНК.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



Тема 5. КЛІТИНА — ЕЛЕМЕНТАРНА БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Я назвав ці порожнини у пробці клітинами, оскільки вони нагадували бджолині соти.

Роберт Гук (1635–1703) — англійський натураліст, увів термін «клітина»

§ 5.1. КЛІТИНА



Знайомимся! У своїй книзі «Micrographia» (1665) ***Роберт Гук*** описав зріз кори дуба, побудованої з комірок, що нагадували йому келії монахів. Науковець назвав ці комірки клітинами (від англ. *cell* — келія, комірка). Ці дослідження Роберта Гука стали основою науки про клітину, яку назвали ***цитологією***.

ЗМІСТ

Які особливості біологічної організації клітин?

Клітина (від лат. *cellula* — комірка) є елементарною біологічною системою. Це найменша одиниця будови та життєдіяльності усіх організмів. Тому її називають основною структурною й функціональною одиницею живого. Клітини відрізняються одна від одної: *розміром* (наприклад, клітини бактерій мікоплазм 0,1–0,25 мкм, а яйцеклітини птахів до кількох см), *формою* (наприклад, дископодібні еритроцити, кулясті яйцеклітини, зірчасті нейрони), *функціями* (наприклад, еритроцити — транспорт газів, гамети — статеве розмноження). Основна причина цих відмінностей — *спеціалізація на виконанні функцій* в організмі.

Біологічна організація клітини	
Структурна упорядкованість	**Функціональна упорядкованість**
1. Поверхневий апарат 2. Цитоплазма 3. Ядро (нуклеоїд)	1. Процеси перетворення речовин 2. Процеси перетворення енергії 3. Процеси перетворення інформації
Основні властивості: *упорядкованість, відкритість, цілісність, саморегуляція, самооновлення, самовідтворення*	

Незважаючи на відмінності, організація клітин всіх живих організмів подібна, що зумовлено *єдністю їхнього походження*. Спільними ознаками клітин є: а) наявність основних структурних частин; б) подібність процесів обміну речовин, енергії та інформації; в) універсальна мембранна будова; г) єдність хімічного складу; д) подібність процесів поділу клітин.

Біологічна організація клітин пов'язана з наявністю та функціонуванням трьох основних частин: поверхневого апарату, цитоплазми, ядра або нуклеоїда. Особливості організації кожної з цих частин зумовлюють два типи організації клітин — прокаріотичний та еукаріотичний.

Біологія + Біорізноманіття ✿ *Розміри одноклітинної зеленої водорості валонії пузатої* (*Valonia ventricosa*) *досягають 10 см, окремі розміри одноклітинної форамініфери-****сарінгаміни*** (*Syringammina fragilissima*) *— до 20 см, у той час як розміри клітини усім відомої амеби-протей близько 0,3 мм. Чи мають великі клітини переваги порівняно з дрібними?*



Які особливості організації прокаріотичних клітин?

Поверхневий апарат прокаріотичних клітин має клітинну стінку з пептидоглікану (муреїну). Зовні стінки може утворюватися слизова капсула із полісахаридів, яка захищає клітину від висихання, ушкоджень, вірусів та бере участь у рухах, комунікації. Клітинна мембрана здатна утворювати внутрішньоклітинні впинання, що здійснюють фотосинтез (фотомембрани) та клітинне дихання (мезосоми). До поверхневих структур прокаріотичних клітин належать ворсинки і джгутики для прикріплення до субстрату та плаваючого руху. *Цитоплазма* прокаріотичних клітин позбавлена мембранних органел, має численні рибосоми та включення. Наявний також цитоскелет з особливих білків, що визначає форму клітини. Відносно просту організацію цитоплазми бактерій та архей пов'язують із відсутністю білків-моторів, що ковзають вздовж філаментів цитоскелету і забезпечують транспорт і локомоцію клітин. *Нуклеоїд* складається з однієї кільцеподібної молекули ДНК.

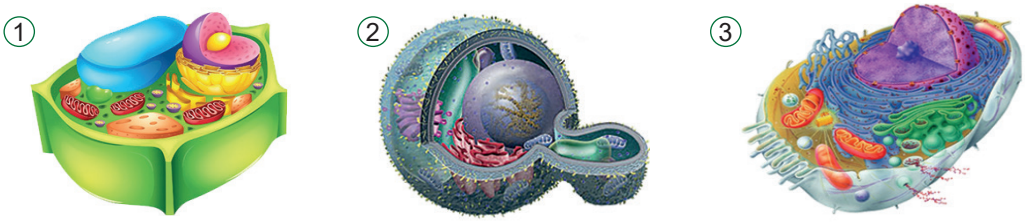
Прокаріотичний тип клітин		
Поверхневий апарат	**Цитоплазма**	**Нуклеоїд**
Клітинна оболонка Клітинна мембрана Поверхневі структури (ворсинки, слизова капсула, джгутики)	Рибосоми Включення Цитоскелет	Ділянка цитоплазми Кільцеподібна ДНК

Як організована еукаріотична клітина?

Еукаріотичні клітини мають ядро, різноманітні мембранні органели, більші розміри, а процеси життєдіяльності здійснюються всередині функціональних відсіків — компартментів, якими є різноманітні мембранні органели. *Поверхневий апарат* еукаріотичних клітин складно організований. *Цитоплазма* рухлива, у ній наявні мембранні органели, цитоскелет побудовано зі скоротливих білків — актину й міозину. Рибосоми еукаріотів більші, ніж рибосоми прокаріотів, а джгутики мають складнішу будову. З'являється складно організоване *ядро*, що містить хромосоми.

Основними особливостями ***рослинних клітин*** є: наявність пластид, резервний полісахарид — крохмаль, клітинна стінка із целюлози, цитоплазматичні містки та великі вакуолі. ***Тваринні клітини*** відрізняються відсутністю пластид, наявністю глікокалікса, дрібних вакуоль, численних лізосом та запасанням глікогену. Особливостями ***грибних клітин*** є: клітинна стінка з хітину, запасаючі вакуолі, лізосоми з багатим арсеналом травних ферментів, резервний полісахарид — глікоген.

Еукаріотичний тип клітин		
Поверхневий апарат	**Цитоплазма**	**Ядро**
1. Надмембранні структури (клітинна стінка, глікокалікс) 2. Клітинна мембрана 3. Підмембранні структури (мікронитки, мікротрубочки)	1. Цитозоль (гіалоплазма) 2. Органели: а) двомембранні (мітохондрії, пластиди); б) одномембранні (ЕПС, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі); в) немембранні (рибосоми, клітинний центр); г) органели руху (псевдоніжки, джгутики, війки) 3. Включення	Ядерна оболонка Ядерний сік Ядерце Хроматин



Іл. 34. Еукаріотичні клітини: 1 — рослинна; 2 — грибна; 3 — тваринна

Коротко про головне

- **КЛІТИНА** — *це елементарна біосистема, структурна й функціональна одиниця організмів, основними властивостями якої є саморегуляція, самовідтворення і самооновлення.*
- **Прокаріотичні клітини** (від грец. *pro* — до, *karion* — ядро) не мають чітко сформованого ядра та більшості органел.
- **Еукаріотичні клітини** (від грец. *eu* — повністю, *karion* — ядро) мають ядро і розвинену систему органел.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **КЛІТИНА**.

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Про- та еукаріотичний тип організації клітин.

Ціннісне завдання. «*Вправа для визначення.* Що таке **ПІЗНАВАНІСТЬ МАТЕРІАЛЬНОГО СВІТУ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: поняття **КЛІТИНА**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ДОСЛІДЖЕННЯ** відмінностей та подібності про- й еукаріотичних клітин
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **ПІЗНАВАНІСТЬ МАТЕРІАЛЬНОГО СВІТУ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 274*).

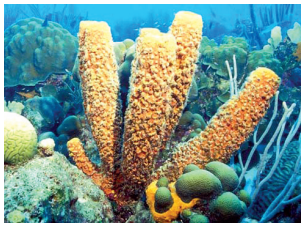
Особистісне завдання. Вправа для розвитку аналітичності мислення (з використанням методики Е. Крепеліна «Числові ряди»).

Завдання для прогнозування. КЛІТИНА.

Клітина — основа життя.
Карл Свенсон (1911–1996) — шведський цитогенетик



§ 5.2. СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ КЛІТИНИ. ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ



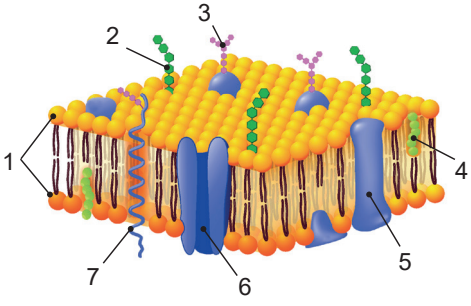
Усвідомлюємо! Губки — примітивні багатоклітинні тварини з дивними особливостями. Якщо пропустити губку через сито, то можна отримати фільтрат із живими відокремленими клітинами. Вони зберігають життєдіяльність декілька днів, а потім активно переміщуються, збираються в групи й перетворюються на маленьких губок. Як ці клітини розпізнають одна одну?

ЗМІСТ

Як функції клітинної мембрани пов'язані з її будовою?

ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ КЛІТИНИ — це сукупність структур, що оточують клітину, забезпечують її захист, обмін речовин, енергії та інформації з навколишнім середовищем, а також взаємодію з іншими клітинами. Він складається з надмембранного комплексу, цитоплазматичної мембрани та підмембранного комплексу.

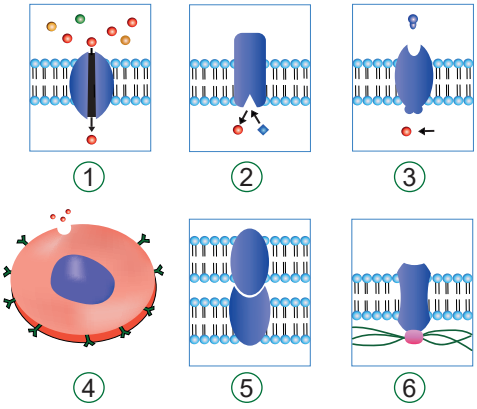
КЛІТИННА МЕМБРАНА (плазмалема, цитоплазматична мембрана) — частина поверхневого апарату живої клітини, що відокремлює цитоплазму від навколишнього середовища. Основу мембрани складають ***фосфоліпіди***, що утворюють подвійний біліпідний шар. Саме цей шар і визначає найзагальніші властивості мембран, тобто їхню *рухливість*, *здатність самовідновлюватися* та *вибіркову проникність для речовин*. В оточенні води гідрофільні ділянки фосфоліпідів спрямовані назовні та контактують з водою, а гідрофобні — орієнтовані всередину. Для зміцнення мембрани в її складі наявні молекули ***холестеролу***.



Іл. 35. Будова й хімічний склад клітинної мембрани: 1 — біліпідний шар; 2 — гліколіпід; 3 — глікопротеїд; 4 — молекули холестеролу; 5 — глобулярний білок; 6 — білковий канал; 7 — фібрилярний білок

Відповідно до *рідинно-мозаїчної моделі будови* клітинна мембрана містить вбудовані у біліпідний шар молекули ***білків***, що відповідають за транспорт речовин, обмін речовин та перетворення енергії, захист та опору для клітини. Частина білків і ліпідів клітинних мембран, особливо у тваринних клітинах, пов'язані з ***вуглеводами*** й утворюють гліколіпіди й глікопротеїни. Ці молекули беруть участь у розпізнаванні

впливів середовища, контактуванні клітин між собою та реакціях клітин на подразнення. Отже, основними функціями клітинної мембрани є (*див. іл. 36*): ***транспортна*** (обмін речовин, енергії й інформації з навколишнім середовищем); ***метаболічна*** (ферментні білки у реакціях біокаталізу); ***рецепторна*** (рецепторні білки в мембранах); ***захисна*** (білки-антигени в складі мембран); ***контактна*** (вуглеводи й фібрилярні білки для взаємодії між клітинами); ***опорна*** (до білків мембрани прикріплюються елементи цитоскелету).



Іл. 36. Функції мембрани в життєдіяльності клітини: 1 — транспортна; 2 — метаболічна; 3 — рецепторна; 4 — захисна; 5 — контактна; 6 — опорна

Мембрани різних клітин є предметом вивчення окремої наукової галузі — *мембранології*. Чимало Нобелівських премій присуджено саме за дослідження біомембран: відкриття електричного потенціалу під час збудження мембран (А. Годжкін, 1963), мембранних ліпідів (Ф. Лінен, 1964), мембран зорових клітин (Дж. Волд, 1967), синаптичних мембран та передачі хімічного сигналу (Дж. Аксельрод, 1970), мембранних рецепторів (Е. Сазерленд, 1971), створення хеміосмотичної теорії (П. Мітчелл, 1978), відкриття Na^+/K^+-АТФази (Є. Скоу, 1997).

Біологія + Фізика *Що таке диференціальне центрифугування? Чому цей метод отримав Нобелівську премію з фізіології та медицини (1974)?*

Як відбувається взаємодія клітин?

Міжклітинні контакти — *спеціалізовані ділянки поверхневого апарату, що забезпечують взаємодію клітин*. До основних функцій міжклітинних контактів належить поєднання клітин у тканинах, короткочасна взаємодія між клітинами і міжклітинний транспорт речовин. Найпоширенішими видами міжклітинних контактів є: плазмодесми рослин, септальні пори — у грибів та анкерні з'єднання, щільні у щілинні контакти — у тварин.

Плазмодесми — контакти у вигляді цитоплазматичних містків через клітинні стінки для забезпечення взаємодії і транспорту речовин. *Щілинні контакти* характеризуються наявністю білкових каналів-конексонів для передавання електричних імпульсів та поживних речовин. *Анкерні з'єднання* — це контакти за участю елементів цитоскелету та особливих білків-кадгеринів. Такі з'єднання ще називають адгезивними або «якірними». Вони беруть участь у формуванні тканин та органів, у клітинній сигналізації, формуванні біоплівок та колоній. *Щільні контакти* — це контакти, в яких мембрани клітин максимально зближуються і «зшиваються» спеціальними білками.

Яке значення надмембранних структур клітини?

Надмембранні структури можуть бути представлені в клітинах клітинною стінкою і глікокаліксом. У представників різних груп організмів ці структури влаштовані по-різному.

Клітинна стінка — надмембранна структура, що оточує клітини прокаріотів, грибів і зелених рослин. У прокаріотичних клітин стінка складається з пептидоглікану, у рослинних — із целюлози, а в грибів — із хітину. До складу стінки різних клітин можуть входити органічні (наприклад, лігнін) та неорганічні (наприклад, Силіцію двооксид, солі Кальцію) сполуки. Клітинні стінки виконують цілий ряд функцій: забезпечують транспорт речовин, надають форму клітині, визначають напрям її росту, протидіють внутрішньому тиску, захищають від несприятливих чинників середовища тощо.

Глікокалікс — *надмембранний комплекс тваринних клітин, утворений молекулами глікопротеїнів та гліколіпідів.* Основними функціями є зв'язок між клітинами, сприйняття подразників, а також участь у позаклітинному пристінковому травленні завдяки наявності в ньому ферментів. Оскільки шар дуже тоненький, він не виконує опорної функції, притаманної клітинним стінкам. Особливе значення глікокаліксу проявляється у фагоцитозі, до якого здатні тваринні клітини.

Коротко про головне

- **КЛІТИННА МЕМБРАНА** — *це частина поверхневого апарату, що складається з ліпідів, білків та вуглеводів, які й визначають її властивості та функції*
- Взаємодії між клітинами забезпечують різні типи міжклітинних контактів, що пристосовані до особливих функцій певних клітин.
- Надмембранні структури клітин здійснюють захист клітин від несприятливих умов довкілля, є опорою для протопласту та забезпечують зв'язок із середовищем.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням фрейму. **ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ КЛІТИНИ**.

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Функції цитоплазматичної мембрани.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Плазмодесми — міжклітинні з'єднання рослинних клітин.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ПОВЕРХНЕВОГО АПАРАТУ КЛІТИНИ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ДОСЛІДЖЕННЯ** взаємозв'язку будови та функцій клітинної мембрани
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт щодо шанування науки як складника світової культури на основі ціннісних уявлень про **СИСТЕМУ**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Снігова куля».

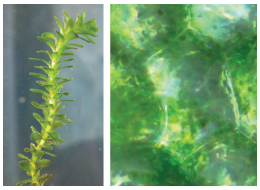
Завдання для розпізнавання. Клітинна мембрана.

Рух є сенсом життя,
а законом руху — ритм.
Хазрат Інаят Хан (1882–1927) — індійський філософ



§ 5.3. ЦИТОПЛАЗМА

Застосовуємо! Рух цитоплазми притаманний тією чи іншою мірою всім живим клітинам, проте виразно найпомітнішим є під світловим мікроскопом у клітинах *елодеї канадської* (*Elodea canadensis*). Реальна швидкість руху цитоплазми в клітинах її листків становить 0,1 мм/хв. Яке ж значення має рух цитоплазми для життєдіяльності клітин?

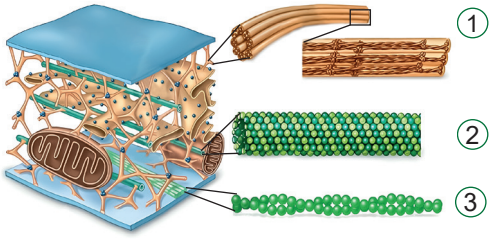


ЗМІСТ

Чому цитоплазма є структурною системою?

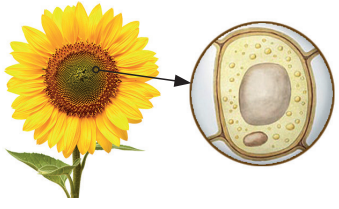
Під клітинною мембраною всередині живої клітини розташована складна динамічна структурна система — **ЦИТОПЛАЗМА**. Основними властивостями цитоплазми є здатність до руху (*циклоз*), росту і самоновлення. Цитоплазма є середовищем для органел, створює оптимальні умови для біохімічних реакцій, пов'язує всі частини клітини в єдине ціле. Під контролем ядра регулює реакції метаболізму, бере участь у самовідтворенні клітин. Основними компонентами цитоплазми є цитоскелет, гіалоплазма, включення й органели.

Цитоскелет — сукупність утворів із скоротливих білків, що разом із моторними білками утворюють цілі системи (актин-міозинову, кератинову, тубулін-динеїнову). Ці системи про- та еукаріотичних клітин постійно змінюються, до їхніх функцій входить підтримка і адаптація форми клітини, забезпечення рухів, транспорту, ріст й поділ клітини. ***Гіалоплазма***, або цитозоль — основа цитоплазми (матрикс), що є розчином органічних і неорганічних речовин. Фізичний гельний або зольний стан впливають на швидкість перебігу біохімічних процесів.



Іл. 37. Організація цитоскелету еукаріотичної клітини: 1 — проміжні філаменти; 2 — мікротрубочки; 3 — мікрофіламенти

Включення — це непостійні клітинні структури, що є запасними сполуками або продуктами обміну речовин. Мають вигляд зерен, кристаликів, краплин і забезпечують життєдіяльність клітини. За функціями їх поділяють на *секреторні, екскреторні, трофічні, пігментні*, а за хімічною природою — на *білкові, вуглеводні, ліпідні, кристалічні* тощо.



Іл. 38. Краплини олії в клітинах насіння соняшнику

Яке значення основних органел еукаріотичної клітини?

За особливостями будови органели клітин поділяють на: одномембранні (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі), двомембранні (мітохондрії, пластиди) та немембранні (рибосоми, клітинний центр).

Ендоплазматична сітка (ЕПС) — *це одномембранна органела у вигляді системи цистерн, трубочок, міхурців, що беруть участь у клітинному живленні й транспорті речовин*. Виділяють гладку (без рибосом) і шорстку (з рибосомами) ЕПС. Основними функціями є синтез білків, вуглеводів, жирів, транспорт речовин по клітині та утворення вакуолей.

Комплекс Гольджі (КГ) — *одномембранна органела у вигляді системи цистерн, трубочок, міхурців, що здійснює клітинні процеси секреції й екскреції*. Забезпечує перетворення сполук, що надходять із ЕПС, у функціональні продукти (гормони, ферменти тощо). Ці молекули упаковуються у міхурці й транспортуються по клітині або секретуються назовні. Ще однією важливою функцією є утворення лізосом.

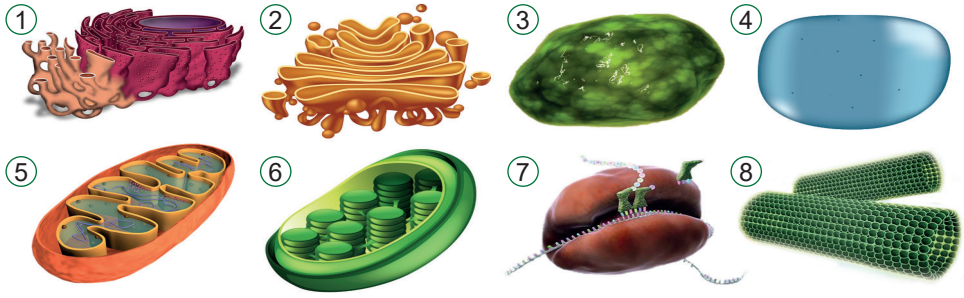
Лізосоми (від грец. *lysis* — розщеплення, *soma* — тільце) — *це одномембранні органели у вигляді округлих міхурців, що містять ферменти для клітинного травлення*. Ці органели, окрім розщеплення складних органічних речовин до простих (лізис), знищують чужорідні сполуки, відпрацьовані органели, заражені вірусами клітини (автофагія). Ферментний склад лізосом дуже різноманітний.

Вакуолі (від лат. *vacuus* — порожній) — *це одномембранні органели, що беруть участь в екскреції, секреції та запасанні сполук*. Розрізняють травні, скоротливі, осморегуляторні, запасаючі, газові вакуолі. Особливо добре розвинені вакуолі в клітинах рослин, де забезпечують тургор — стан напруженості клітинної оболонки.

Мітохондрії (від грец. *mitos* — нитка та *chondrion* — зернятко) — *це двомембранні еукаріотичні напівавтономні органели клітинного дихання*. Найхарактернішою особливістю будови є *кристи*, на яких виявлені дрібні тільця — *АТФ-соми* з ферментами для синтезу АТФ. Всередині між мембранами у матриксі розташовані ДНК, мРНК, рибосоми. *Енергетична функція* мітохондрій інтегрується з таких процесів, як: а) окиснення органічних сполук, завдяки чому мітохондрії називають *дихальним центром клітин*; б) синтез АТФ, що пояснює таку назву мітохондрій як *енергетичні станції клітин*.

Пластиди (від грец. *plastos* — виліплений) — *це двомембранні напівавтономні органели рослинних клітин, що здійснюють живлення й запасання речовин*. Цей вид органел поділяють на *хлоропласти* (здійснюють фотосинтез), *хромопласти* (забарвлюють пелюстки, плоди, листки) і *лейкопласти* (запасають крохмаль). Пластиди здатні до взаємоперетворень. Наприклад, у процесі позеленіння бульб лейкопласти перетворюються на хлоропласти.

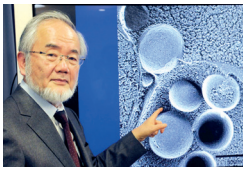
Рибосоми (від назви РНК і грец. *soma* — тільце) — *це немембранні універсальні органели, що складається з рРНК та білків і забезпечують синтез білків*. Вільно розташовані в цитоплазмі, прикріплені до мембран шорсткої ЕПС, на ядрі, в пластидах і мітохондріях. Складаються з двох субодиниць: великої та малої. Рибосоми синтезуються в ядерці й збираються лише для синтезу білків, що і є їхньою основною функцією.



Іл. 39. Органели клітин: 1 — ендоплазматична сітка; 2 — комплекс Гольджі; 3 — лізосома; 4 — вакуоля; 5 — мітохондрія; 6 — пластида; 7 — рибосома; 8 — клітинний центр

Клітинний центр (центросома) *— немембранна органела, що складається з центріолей.* У клітині ця органела знаходиться біля ядра. Стінки циліндра формують дев'ять триплетів мікротрубочок, розміщених по колу. Виконує дві основні функції: участь в поділі клітини та організацію цитоскелета.

Біологія + Відкриття *Нобелівську премію в галузі фізіології і медицини за 2016 рік присуджено японському вченому Йошинорі Осумі за дослідження механізмів аутофагії в клітині. Що таке аутофагія? Яке значення має це відкриття?*



Коротко про головне

- **ЦИТОПЛАЗМА** (від грец. *cytos* — клітина і *plasma* — виліплене, створене) — *це частина клітини, що міститься між поверхневим апаратом і ядром та володіє високим ступенем структурної й функціональної організації.*
- **Органели** (від грец. *organon* — знаряддя), *або органоїди — це постійні клітинні структури, які мають специфічну будову та виконують життєво важливі функції клітини.*

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням фрейму. **ЦИТОПЛАЗМА**.

Розвивальне завдання. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. Рух цитоплазми в клітинах елодеї.

Ціннісне завдання. Домашній практикум. Особливості будови та функції органел.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ЦИТОПЛАЗМИ**
• *Організовує*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** про рух цитоплазми
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює настанову*: про роль органел у забезпеченні цілісності клітини

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа. «Анаграма».

Завдання для відтворення. ЦИТОПЛАЗМА.

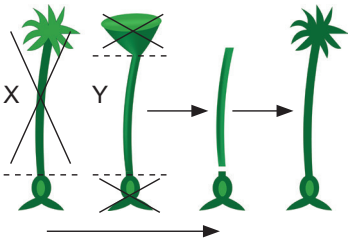
З усіх здібностей найважчою
і найрідкіснішою є уміння керувати.

Мадемуазель де Соммері
(фр. Mademoiselle de Sommeri) (1711–1790) —
французька письменниця



§ 5.4. ЯДРО КЛІТИНИ

Аналізуємо! Ацетабулярії — це одноклітинні зелені водорості, які завдяки велетенському ядру, розвиненій регенерації й великим розмірам (до 18 см) є класичним об'єктом цитологічних досліджень. Вперше ці водорості як модельний організм використав німецький ботанік Й. Геммерлінг (1901–1980). Різні види ацетабулярій відрізняються передусім формою «шапочки». У середземноморської ацетабулярії (*Acetabularia mediterranea*) вона кругла, а в ацетабулярії з Карибського моря (*Acetabularia crenulata*) — розсічена на лопаті. Під час досліду у водорості X видалили верхню та середню частини, у водорості Y — верхню та нижню частини. До нижньої частини водорості X пересадили середню частину водорості Y, у результаті чого створений організм набув вигляду водорості X. Про що свідчать результати досліду?

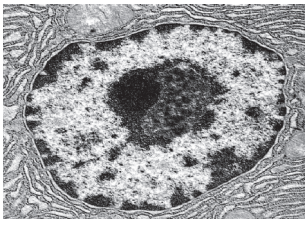


ЗМІСТ

Чому ядро відіграє провідну роль у життєдіяльності клітини?

1831 року англійський вчений Роберт Броун, розглядаючи клітини під світловим мікроскопом, побачив дещо цікаве: кожна рослинна клітина містила круглий і непрозорий елемент. Він назвав його ядром (від лат. *nucleus*). Дізнавшись про спостереження Броуна, німецький фізіолог Т. Шванн почав шукати подібні елементи в тваринних клітинах і знайшов їх. Це було важливим відкриттям, що свідчить про єдність будови усіх еукаріотичних клітин.

Пізніші дослідження, започатковані Й. Геммерлінгом у 1930-х роках, довели провідну роль ядра у передачі спадковості. Ядро містить основну частку генетичної інформації про те, якою має бути форма й будова клітини, як їй жити й розвиватися. Саме в ядрі містяться молекули ДНК, в яких закодована спадкова інформація про структуру білків. Ця інформація переписується на мРНК і за допомогою білків-переносників надходить у цитоплазму до рибосом. Повний цикл перенесення РНК з ядра в цитоплазму займає всього-на-всього близько 200 мілісекунд. І вже на цих найдрібніших, але дуже важливих немембранних органелах синтезуються речовини, від яких залежить формування ознак і властивостей клітини й організму. Ядро регулює й енергетичні перетво-



Іл. 40. Електронна мікрофотографія ядра клітини підшлункової залози (×16 000)

рення, оскільки в ньому записано інформацію про ферменти та органели енергетичного обміну. Більше того, наукові дослідження останніх років свідчать про наявність в ядрі власних механізмів синтезу АТФ.

Тому ядро є обов'язковою частиною клітин рослин, грибів і тварин. Лише у деяких типів клітин ядро може бути відсутнім. Це, зокрема, еритроцити ссавців та ситоподібні трубки насінних рослин. І такі клітини нездатні до тривалого життя, самооновлення й самовідтворення. Ядро певного об'єму може забезпечувати процеси біосинтезу білків лише у відповідному об'ємі цитоплазми. Тому для великих клітин або клітин з посиленим обміном речовин характерна багатоядерність (наприклад, у клітинах печінки, головного мозку).

Як відбувається збереження і передача генетичної інформації ядра?

Сама здатність клітин чи організмів передавати свої ознаки наступному поколінню називають ***спадковістю***. Більшість живих істот зберігають свою генетичну інформацію в *ядрі* клітин, ядро має особливі органели — *хромосоми*, а хромосоми побудовані з ДНК. І саме на ДНК генетична інформація клітин записана у вигляді певних послідовностей нуклеотидів і оберігається за участю різних механізмів від шкідливого впливу. ДНК містить відомості про будову всіх білків та РНК клітини, а також про регуляцію їхнього синтезу.

Передача генетичної інформації від материнської клітини наступному поколінню здійснюється під час її поділу. Поділ клітин — це процес, при якому відбувається розподіл хромосом з наявною в них ДНК між дочірніми клітинами. У клітин виділяють два основні типи поділу — мітоз і мейоз. При мітозі генетична інформація передається без змін, а при мейозі — видозмінюється для збільшення мінливості.

Біологія + Хімія *Флуоресцентна мікроскопія — високочутливий метод отримання збільшеного зображення з використанням люмінесценції збуджених атомів та молекул зразка. За розвиток цього методу дослідження Вільям Мернер разом разом із Штефаном Геллем та Еріком Бетциґом стали лауреатами Нобелівської премії з хімії (2014). Що таке люмінісценція?*

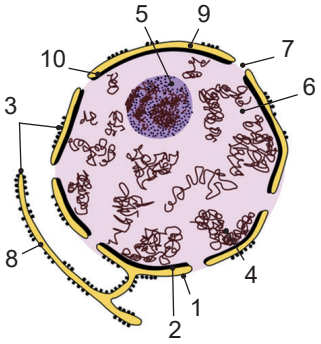


Які особливості будови ядра у зв'язку з функцією?

Основними функціями ядра, що визначають його форму й особливості будови, є: 1) *організація самовідтворення*, що пов'язана із збереженням та передаванням спадкової інформації під час поділу клітин; 2) *організація самооновлення* — в ядрі за участю ядерець синтезуються рРНК й субодиниці рибосом, на яких утворюються нові білки; 3) *організація саморегуляції* — в ядрі міститься інформація про регуляторні білки, що надходять у цитоплазму й регулюють перетворення сполук.

Здебільшого ядра мають кулясту форму, але одразу слід зауважити, що форма ядра залежить від форми й розмірів клітини та від функцій, які вона виконує. Розміри ядра можуть бути різними, зазвичай — від 8 до 25 мкм у діаметрі. В ядрі виділяють поверхневий апарат і внутрішнє середовище.

Поверхневий апарат складається з двох мембран, які формують *ядерну оболонку* з міжмембранним простором. У певних місцях внутрішня й зовнішня мембрани з'єднуються й утворюють *ядерні пори* для організації зв'язку між ядром і цитоплазмою. Зовнішня ядерна мембрана має зв'язок з шорсткою ЕПС, яка продовжує транспорт сполук в цитоплазмі. Зсередини ядерна оболонка вкрита *ядерною пластинкою*, що визначає форму ядра й прикріплює хроматин.



Іл. 41. Будова ядра: 1 — зовнішня ядерна мембрана; 2 — внутрішня ядерна мембрана; 3 — рибосоми; 4 — хроматин; 5 — ядерце; 6 — ядерний сік; 7 — ядерна пора; 8 — шорстка ЕПС з рибосомами; 9 — міжмембранний простір; 10 — ядерна пластинка

Внутрішнє середовище ядра містить хроматин, ядерний сік (каріоплазму), ядерця і ядерний сік. *Хроматин* — генетичний матеріал, основу якого складають ДНК і білки. *Ядерний сік* є внутрішнім вмістом ядра, що за складом та властивостями подібний до цитоплазми. *Ядерця* — це щільні структури, які складаються з РНК й білків, хроматину та гранул-попередників субодиниць рибосом. Ядерця формуються на певних ділянках окремих хромосом. В ядерцях утворюються велика та мала субодиниці рибосом, які виходять через пори в цитоплазму і поєднуються для біосинтезу білків. У ядрі може бути одне або декілька ядерець.

Коротко про головне

- **ЯДРО** — *це неодмінна частина клітини, що відіграє провідну роль у її життєдіяльності.*
- Збереження й передача генетичної інформації відбувається за участю ядра.
- Будова ядра пристосована до його функцій.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань з використанням фрейму. **ЯДРО**.

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Функції компонентів ядра.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Ацетабулярії та роль ядра у спадковості.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **ЯДРО КЛІТИН**
• *Аналізує результати*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** взаємозв'язку будови та функцій ядра
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* твердження про провідну роль ядра у спадковості

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку мислення. «Як застосовувати метод дедукції?».

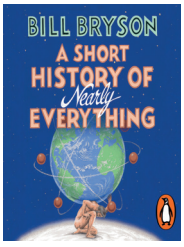
Завдання для конструювання. ЯДРО.

Кожна клітина за свою природою
є справжнісіньким дивом.

Вільям Макгвайр Брайсон (Білл Брайсон) (нар. 1951) — американо-британський журналіст і письменник



§ 5.5. ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ КЛІТИН



Оцінюємо! «*Кожна клітина має копію повного генетичного коду — настанови по догляду за вашим організмом, — тож вона знає не лише свою роботу, а й будь-яку іншу справу в організмі. Вам жодного разу в житті не доведеться нагадувати клітині про те, щоб вона слідкувала за вмістом АТФ чи відшукала місце для надлишку фолієвої кислоти. Клітина зробить за вас усе — і це, і мільйон інших справ.*» (Білл Брайсон, «Коротка історія майже всього на світі»). Чому кожна клітина є дивовижною?

ЗМІСТ

Які процеси визначають життєдіяльність клітин?

ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КЛІТИН — *це сукупність процесів, що організовують потік речовин, енергії та інформації й забезпечують існування клітини.* Потік речовин, енергії та інформації в клітину відбувається завдяки процесам ***мембранного транспортування*** й ***подразливості***. Ці процеси за участю поверхневого апарату забезпечують надходження в клітину поживних речовин, вуглекислого газу, води, кисню, світлової чи хімічної енергії, інформації про чинники середовища тощо. Усередині клітин відбувається другий етап загального обміну речовин, енергії та інформації — внутрішньоклітинний, або ***метаболізм***. Речовини, енергія та інформація, що надійшли в клітину, включаються у хімічні й фізичні перетворення. У клітині за участю всіх її структур синтезуються й розщеплюються, окиснюються й відновлюються, розчиняються й кристалізуються речовини. Світлова енергія перетворюється у хімічну, хімічна — у механічну, електрична — у хімічну, і всі ці метаморфози супроводжуються втратами теплової енергії. На третьому етапі з клітини видаляються кінцеві продукти обміну, теплова енергія, молекули чи енергія, що є інформацією для спілкування з іншими клітинами тощо. Основою цього етапу обміну речовин, енергії та інформації є такі функції, як ***екскреція, секреція, тепловіддача, поведінка клітин***.

Як відбувається надходження речовин, енергії та інформації в клітину?

Основну роль у надходженні речовин, енергії та інформації відіграє клітинна мембрана, однією з функцій якої є саме транспортна. **Мембранне транспортування** (від лат. *transporto* — переміщую) — *це перехід різноманітних речовин, енергії та інформації через клітинну мембрану*. Механізм транспортування речовин до клітини та з неї залежить від розмірів частинок, що транспортуються. Малі молекули та йони проходять крізь мембрани шляхом пасивного чи активного транспортування, а перенесення макромолекул здійснюється завдяки цитозу.

ТРАНСПОРТ РЕЧОВИН ЧЕРЕЗ МЕМБРАНИ	
Пасивний транспорт	**Активний транспорт**
Проста дифузія Полегшена дифузія Осмос	Крізь мембрану (йонні насоси) У мембранній упаковці: ендоцитоз (фагоцитоз і піноцитоз) і екзоцитоз

Пасивний транспорт відбувається без витрат енергії шляхом простої дифузії, осмосу та полегшеної дифузії. *Проста дифузія* — рух молекул або йонів за градієнтом концентрації, тобто з ділянок з високою концентрацією в ділянки з низькою концентрацією (наприклад, газообмін в легенях і тканинах). Шляхом простої дифузії через мембрани переміщуються речовини, добре розчинні в ліпідах. *Полегшена дифузія* — це дифузія, яка здійснюється за допомогою специфічних білків-переносників, як правило, в одному напрямку (наприклад, надходження глюкози в еритроцити). Дифузію води крізь напівпроникну мембрану називають *осмосом*. Вода переходить з ділянки з низькою концентрацією солей до ділянки, де їхня концентрація вища.

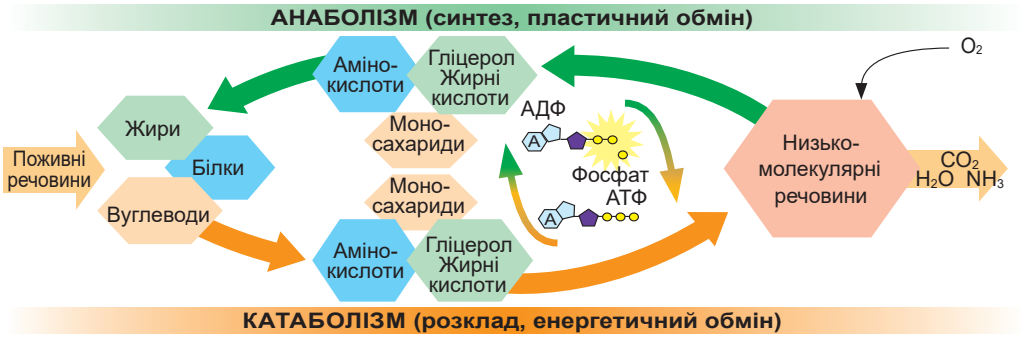
Активний транспорт речовин крізь мембрану здійснюється проти градієнта їхньої концентрації із витратами енергії АТФ через йонні канали або в мембранній упаковці. *Натрій-калієва помпа* — це процес переміщення низькомолекулярних сполук (амінокислот, глюкози) через мембрану за рахунок різної концентрації йонів Na^+ і K^+ всередині клітини та ззовні. *Цитоз* — це активні процеси, шляхом яких речовини транспортуються через мембрану або в клітину (ендоцитоз) або з клітини (екзоцитоз). Розрізняють два види ендоцитозу: фагоцитоз і піноцитоз. *Фагоцитоз* (від грец. *phagos* — пожирати, *cytos* — клітина) — це захоплення і поглинання клітиною великих часток або цілих клітин. Ендоцитоз рідини та розчинених в ній речовин називається *піноцитозом* (від грец. *рино* — пити, *cytos* — клітина). Шляхом ендоцитозу, наприклад, відбувається всмоктування жиру клітинами кишкового епітелію. Екзоцитоз — це процес виведення з клітини різноманітних речовин крізь мембрану. Шляхом екзоцитозу вивільнюються гормони, жирові краплини, медіатори в синапсах при збудженні тощо.

В чому сутність внутрішньоклітинних перетворень речовин, енергії та інформації?

МЕТАБОЛІЗМ (від грец. *metabole* – перетворення, зміна) — *сукупність фізичних й хімічних процесів, що забезпечують перетворення речовин, енергії й інформації в клітині й спрямовані на її саморегуляцію, самооновлення та самовідтворення.* Значення метаболізму полягає у забезпеченні клітини будівельним й енергетичним матеріалом.

Анаболізм — *це сукупність реакцій синтезу складних речовин із простіших, які забезпечують ріст клітин та оновлення їхнього хімічного складу.* Під час цих біохімічних реакцій енергія поглинається, тому процеси називають *ендергонічними* (від лат. *endon* — всередину і грец. *ergon* — енергія). Енергія забезпечує утворення хімічних зв'язків між простими молекулами й утворення органічних сполук. Анаболічними процесами клітини є фотосинтез, хемосинтез, біосинтез білків, ліпідів, полісахаридів та ін.

Катаболізм — *це сукупність реакцій розщеплення складних речовин на простіші, які забезпечують клітину енергією для життєдіяльності.* Процеси енергетичного обміну супроводжуються



Іл. 42. Схема метаболізму клітин

звільненням енергії під час розриву хімічних зв'язків, тому ці реакції будуть *екзергонічними* (від лат. *exo* — назовні). Катаболічними процесами клітин є гліколіз, бродіння, клітинне дихання.

У клітинах одночасно відбуваються анаболічні й катаболічні процеси, що пов'язані між собою потоком речовин та потоком енергії й здійснюються на основі спадкової інформації клітини. Для біохімічних реакцій метаболізму характерні певні особливості, що відрізняють їх від реакцій неживої природи. Це насамперед висока швидкість й упорядкованість перебігу реакцій завдяки участі ферментів.

Біологія + Природа *«Енергія не виникає ні з чого й нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного стану в інший». Про який фундаментальний закон природи йдеться?*



Коротко про головне

- **ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ** пов'язане з її життєвими функціями, які організовують потік речовин, енергії та інформації.
- Упорядкованість та регуляцію потоку речовин, енергії та інформації в клітину й з клітини забезпечує **мембранне транспортування**.
- **Метаболізм** — це внутрішньоклітинні перетворення речовин, енергії та інформації, що є сукупністю анаболічних й катаболічних процесів життєдіяльності клітини.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань за схемою. **ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КЛІТИН.**

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Мембранне транспортування.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Метаболізм клітини.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КЛІТИНИ**
• *Оцінює результати:* **ДОСЛІДЖЕННЯ** особливостей мембранного транспортування
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості, оцінює*: взаємозв'язок ана- та катаболізму

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Творчість дикої природи».

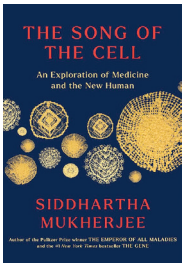
КРЕАТИВНА РОБОТА 5. ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КЛІТИН.

Незабаром ми будемо лікувати хвороби клітинами, а не таблетками.

Мукерджі Сіддхартха (нар. 1970) — індійсько-американський медик, науковець і письменник



§ 5.6. КЛІТИНА ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Знайомимося! Лауреат Пулітцерівської премії 2011 року в галузі загальної документальної літератури Мукерджі Сіддхартха у своїй новій книзі «Пісня клітини: дослідження медицини та нової людини» пише: «*Наші органи, наша фізіологія, наше «я» — серця, кров, мозок — побудовані з компартментів, які Роберт Гук назвав клітинами*». Автор аналізує, як дослідження клітин може призвести до нових медичних відкриттів та технологій. А які відкриття уже здійснені?

ЗМІСТ

Які основні напрямки досліджень клітинної біології?

БІОЛОГІЯ КЛІТИНИ — це комплексна наука про структуру та функції клітин. Дослідження науки найтісніше взаємопов'язані з хімією, фізикою, географією, математикою, молекулярною генетикою та молекулярною біологією. Основними напрямками досліджень клітинної біології є:

- генетика клітини та механізми контролю за реалізацією генетичної інформації (відкриття генетичної регуляції розвитку органів, «запрограмованої» загибелі клітини);
- структура та функції клітин (відкриття *просторових клітин мозку*, бактерії *Helicobacter pylori*, дослідження ролі біомолекулярних конденсатів);
- імунні захисні реакції (відкриття *дендритних клітин*);
- клітинна комунікація і сигналізація (відкриття механізмів регуляції доставки *везикул*);
- адаптація клітин (відкриття адаптації клітин до гіпоксії, *автофагія*, утворення *плюрипотентних стовбурових клітин*);
- клітинний цикл, чергування фаз, що починаються та закінчуються поділом клітини, ріст та розвиток клітин (відкриття *циклінів та циклін-залежних кіназ*).

За допомогою яких методів досліджують клітину?

З часу відкриття клітини мікроскопія залишається одним із найважливіших методів дослідження в цитології. Використовується *світлова* (*оптична*) *мікроскопія*, що дозволяє спостерігати за живими й мертвими клітинами. Завдяки серії лінз, через які проходить світло, світловий мікроскоп забезпечує оптичне збільшення об'єктів максимум у 1000 разів. Проте у світловий мікроскоп видно й менші об'єкти, якщо вони самі випромінюють світло. Цей факт використовують у *флуоресцентній мікроскопії*, для якої до клітинних структур приєднують спеціальні флуоресцентні білки або антитіла із флуоресцентни-

ми мітками. У XX ст. була винайдена *електронна мікроскопія* (1931, Е. Руска, М. Кноль), що дала можливість вивчати ультраструктуру клітин. *Скануюча електронна мікроскопія* (СЕМ) використовується для вивчення поверхні об'єкта. Зразки найчастіше покривають тонкою плівкою золота. *Трансмісійна електронна мікроскопія* (ТЕМ) використовується для вивчення внутрішньої будови клітини. Пучок електронів пропускається через об'єкт, що обробляється важкими металами для збільшення його густини.

Для вивчення функцій клітин використовують різноманітні біохімічні методи. *Центрифугування* — це метод вивчення окремих клітинних структур з використанням приладу, що розділяє клітину на окремі компоненти за рахунок швидких колових обертів. *Метод мічених атомів* (*авторадіографія*) — метод вивчення біохімічних процесів клітини за допомогою введення в клітину радіоактивних ізотопів хімічних елементів. Для експериментальних та практичних цілей використовують *методи клітинної інженерії* (методи конструювання клітин). Усі згадані методичні підходи можуть використовуватись у поєднанні з *методами культури клітин* (вивчення клітин та життєвих процесів при їх розмноженні на поживному середовищі).

Яке значення сучасної клітинної теорії?

Дослідження клітини були об'єднані в кінці 30-х років у клітинну теорію, яка стала основою цитології. **Клітинна теорія** — *це фундаментальне узагальнення біології, яке визначає взаємозв'язок усіх проявів життя на Землі з клітиною, характеризує клітину одночасно як цілісну самостійну живу систему та як складову частину багатоклітинних організмів рослин і тварин*. Клітинна теорія сформульована німецьким вченим Т. Шванном (1810–1882) у 1839 році в науковій праці «Мікроскопічні дослідження про відповідність у структурі і рості тварин і рослин». Важливу роль у створенні клітинної теорії відіграв німецький ботанік Матіас Шлейден (1804–1881), який стверджував, що всі рослини складаються з клітин.

Основні вихідні положення клітинної теорії були такими: а) всі організми складаються з клітин або різними способами утворені з них; б) клітини рослин і тварин подібні за головними рисами; в) ріст і розвиток організмів пов'язані з утворенням клітин. У розвитку цих уявлень брали участь К. М. Бер, Р. Вірхов та інші.

На сучасному етапі розвитку цитології клітинна теорія включає такі положення:

Основні положення клітинної теорії	Сучасний зміст доповнень до положень клітинної теорії
Клітина — елементарна одиниця будови всіх організмів	Винятком є віруси та деякі інші неклітинні форми життя. Існують 2 типи організації клітин — *прокаріотичний* та *еукаріотичний.*
Клітини всіх організмів подібні (гомологічні)	Клітини одно- і багатоклітинних організмів подібні за походженням, будовою, хімічним складом, основними процесами життєдіяльності, що зумовлено їхньою спорідненістю та схожістю функцій. Різноманітність клітин пов'язана з відмінністю прокаріот та еукаріот, різним способом життя одноклітинних і розподілом функцій між клітинами багатоклітинних організмів.

Основні положення клітинної теорії	Сучасний зміст доповнень до положень клітинної теорії
Кожна нова клітина утворюється тільки в результаті розмноження материнської клітини	Клітини розмножуються шляхом поділу. Основними типами поділу клітин прокаріотів є бінарний поділ, а еукаріотів — мітоз і мейоз.
Клітина — елементарна одиниця розвитку	У багатоклітинних організмів, які розвиваються з однієї клітини, яка містить спадкову інформацію для розвитку клітин всього організму (*тотипотентність*). Різні типи клітин формуються завдяки спеціалізації протягом онтогенезу і утворюють тканини.
Із клітин — тканини — органи — системи органів — багатоклітинні організми	У багатоклітинних організмів, які розвиваються з однієї клітини, різні типи клітин формуються завдяки їхній спеціалізації упродовж онтогенезу і утворюють тканини. Багатоклітинні організми — це складні комплекси клітин, об'єднаних у тканини й органи.

Біологія + Латина *Що означає латинський вислів «Omnis cellula ex cellula»?*

Коротко про головне

- **БІОЛОГІЯ КЛІТИНИ** — *це комплексна наука про будову, життєдіяльність та поведінку клітин.*
- Розвиток знань про клітину у XX ст. пов'язаний з удосконаленням методів дослідження клітин і використанням досягнень фізики, хімії, генетики, біохімії тощо.
- Клітинна теорія як узагальнення знань про клітину стала одним з вирішальних доказів єдності живої природи, дала основу для розуміння суті життєвих процесів.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. КЛІТИНА — ЕЛЕМЕНТАРНА БІОСИСТЕМА.

Розвивальне завдання. Схема. Сучасна клітинна теорія, її основні положення.

Ціннісне завдання. Презентація проєкту на одну з вибраних тем (*див. с. 274*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **КЛІТИНУ**
• *Застосовує навички* **ДОСЛІДЖЕННЯ** *та конструює:* інфографіку застосування наукових знань про клітини
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює: навчальний продукт* на основі ціннісних уявлень про **ПІЗНАВАНІСТЬ МАТЕРІАЛЬНОГО СВІТУ**

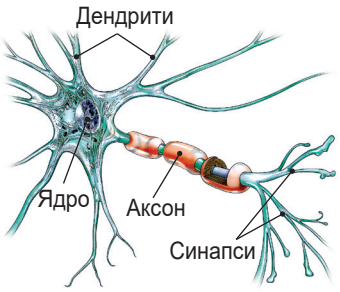
Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 5. КЛІТИНА та ...

СТОРІНКА КОМПЕТЕНТНОСТІ

КЛАСТЕР-компетикум. ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ НЕЙРОНА

Контекст. *У нейронів яскраво виявлені адаптивні ознаки для передавання електричних сигналів. Найпомітнішою особливістю структурної організації нейронів щодо цієї функції є інтенсивне розгалуження відростків, особливо дендритів. А які функціональні особливості нейронів?*



1. Який тип живлення у нейрона?
А автотрофне **Б** гетеротрофне

2. Які біомолекули є основним джерелом енергії для нейрона?
А глюкоза **Б** жирні кислоти

3. Називаю утвори нейронів для біокомунікації.
А плазмодесми **Б** синапси

4. Який основний шлях розщеплення органічних речовин у нейрона?
А бродіння **Б** аеробне розщеплення

5. Які структури транспортують сигнали від тіла нейрона до м'язів?
А аксони **Б** дендрити

6. У якій формі енергії передаються нервові сигнали по нейронних сітках?
А механічній **Б** електричній

7. Що є кінцевими продуктами окиснення глюкози у нейронів?
А CO_2, H_2O **Б** сечова кислота

8. Називаю процес виділення нейрогормонів клітинами гіпоталамуса.
А рецепція **Б** секреція

9. Які одномембранні органели організовують транспорт речовин у нейроні?
А ЕПС **Б** рибосоми

10. Де в нейронах відбуваються основні катаболічні процеси?
А в пластидах **Б** мітохондріях

11. Увідповіднюю процеси життєдіяльності нейронів (1–4) з клітинними структурами (А–Д).

1 аеробне розщеплення	**А** рибосоми
2 синтез білків	**Б** плазмалема
3 генерація нервових імпульсів	**В** гранулярна ЕПС
4 утворення нейросекретів	**Г** мітохондрії
	Д лізосоми

12. Вибираю два варіанти, що пояснюють на рівні нейронів потребу людини «з'їсти щось солоденьке» під час інтенсивної розумової діяльності?
А для відновлення енергетичних ресурсів
Б глюкоза є джерелом енергії для руху клітин
В молекули глюкози — мономери для синтезу білків
Г глюкоза каталізує реакції анаболізму
Д енергія вуглеводів перетворюється в енергію імпульсів

Тема 6. ОРГАНІЗМ ЯК БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Організм — це функціонально інтегроване та зв'язне метаболічне ціле, що складається із взаємозалежних та взаємопов'язаних частин.

Томас Прадеу (нар. 1976) — філософ біології



§ 6.1. ОРГАНІЗМ



Дуже цікаво! На початку 90-х років XX століття в лісах штату Мічиган (США), було зроблено дивовижне відкриття, яке виявило живий організм неймовірних розмірів — гриб-опеньок армілярію (*Armillaria bulbosa*). Цей організм змагається з Великим Бар'єрним Рифом за звання найбільшого живого організму на Землі. Його вік оцінюється вченими в 2 500 років, а приблизна вага — близько 400 т; він займає площу майже 3,9 км^2. Чому це організм, а не клітина чи екосистема?

ЗМІСТ

Які емерджентні властивості організмового рівня організації?

Для організмового рівня організації характерні унікальні характеристики, які визначаються сукупністю його складових частин (клітин, тканин, органів). Цей системний ефект у науці має назву ***закон емерджентності***. Внаслідок узгодженої взаємодії компонентів організму формується основна властивість будь-якого організму — його ЦІЛІСНІСТЬ.

Організми відрізняються високим ступенем самоорганізації, завдяки чому здатні самостійно підтримувати постійність своїх внутрішніх умов та функцій, незалежно від зовнішніх впливів. Клітини, органи або цілісний організм мають механізми регуляції для забезпечення життєдіяльності та виживання за мінливих умов середовища. Організми є біологічними системами, яким притаманна АВТОНОМНІСТЬ.

Живі організми відрізняються від об'єктів неживої природи та неклітинних форм життя сукупністю *структурних* (специфічний хімічний склад, клітинна будова, спеціалізовані на функціях клітинні органели, тканини, органи), *функціональних* (процеси життєдіяльності: живлення, травлення, дихання тощо) та *етологічних* (вроджені та набуті прояви поведінки) особливостей. Наслідком цих особливостей є спільні для усіх організмів властивості, як: *обмін речовин, енергії та інформації, спадковість, мінливість, гомеостаз, розмноження, ріст, розвиток, рух, подразливість, адаптивність*. В той же час, існують унікальні, неповторні особливості, які відрізняють одну живу істоту від іншої. В одному з досліджень науковці помістили 50 нематод

(*Caenorhabditis elegans*) в 50 окремих контейнерів. Виявилося, що усі особини починають пошук їжі приблизно в один і той самий час, але, незважаючи на наявність в геномі подібних генів і перебування в однакових умовах середовища, спостерігалися відмінності поведінки. У цьому прикладі виявляється ще одна емерджентна властивість організмового рівня — БІОЛОГІЧНА ІНДИВІДУАЛЬНІСТЬ.

Біологія + Модельні організми ✿ *Дріжджі, дрозофіли, кальмари, миші та жаби сприяли багатьом фундаментальним відкриттям сучасної біології й продовжують домінувати в дослідженнях сьогодні. А які відкриття було здійснено за участю Caenorhabditis elegans?*



Які причини видового різноманіття?

На організмовому рівні організації життя елементарною одиницею різноманіття є **біологічний вид** як *сукупність особин, що характеризуються подібністю видових ознак, вільно схрещуються між собою і займають певну територію-ареал*. Причинами розмаїття видів є різноманітність природних умов, генетична мінливість, здатність організмів до адаптації, симбіотичні взаємовідносини, але в загальному основою різноманіття організмів є еволюційний процес, під час якого відбувається відбір, накопичення та передавання у спадок певних змін у будові, функціях та поведінці організмів. Еволюція організмів від найдавніших бактерій та архей до одноклітинних еукаріотів тривала близько 2 млрд років, а від них до багатоклітинних еукаріотів ще 600–800 млн.

Станом на 2011 рік науковцями було описано 1 244 360 видів, але це лише одна шоста частка від їхнього реального різноманіття. Згідно з однією групою даних, приблизна кількість видів, які живуть на Землі сьогодні, становить 8,75 млн, згідно з іншою — близько 11 млн видів.

Видове різноманіття організмів

Група організмів	Кількість описаних видів
Археї	Понад 50
Бактерії	Близько 30 000
Одноклітинні еукаріоти	21 151
Зелені рослини	215 644
Справжні гриби	43 271
Тварини	953 434

Які особливості організації організмового рівня?

На організмовому рівні розрізняють одноклітинну, колоніальну та багатоклітинну організації життя.

Одноклітинна організація організмового рівня означає, що організм складається лише з однієї клітини, яка виконує всі необхідні для життя функції. Такі організми є найпростішими за рівнем складності та існують у всіх трьох доменах живої природи. *Колоніальна організація* пов'язана з об'єднанням особин одного виду в групи з утворенням колоній. У цій системі кожна особина зберігає свою індивідуальність, але між ними спостерігається певний розподіл життєвих функцій. *Багатоклітинна організація* на організмовому рівні означає, що живі істоти складаються з багатьох спеціалізованих клітин, життєдіяль-

ність яких визначає життєві процеси цілого організму. В межах багатоклітинного організму розрізняють тканинний, органний, системний підрівні. Формування цілісного багатоклітинного організму є складним явищем, що відбувається на основі процесів *диференціації* та *інтеграції*.

Диференціація (від лат. *differentia* — розділяю) — процес розділення, розшарування цілого на різні частини, форми та ступені. Початковим етапом цього процесу в багатоклітинному організмі є клітинна диференціація з утворенням структур, які виконують різні функції та відрізняються за будовою. Диференціація клітин є основою для формування тканин та органів у складі організму.

Інтеграція (від лат. *integratio* — поповнення) — об'єднання елементів в одне ціле, а також поєднання та координація дій різних частин цілісної системи. На організмовому рівні сутність інтеграції виявляється як упорядкування, узгодження і об'єднання клітин в тканини, тканин — в органи, органів — в системи органів для забезпечення цілісності організму.

Коротко про головне

- **ОРГАНІЗМ (жива істота, біологічний індивід)** — *це відкрита біологічна система, яка завдяки наявності досконалих механізмів саморегуляції, самооновлення та самовідтворення зберігає свою цілісність, індивідуальність та автономність для самостійного існування в певному середовищі життя.*
- **Видове біорізноманіття** — це *сукупність усіх видів організмів, які населяють певну територію.* Це може бути окрема екосистема, певна країна або континент чи вся планета.
- У межах організмового рівня наявні тканинний, органний та системний ступені організації. Формування цілісного багатоклітинного організму відбувається на основі процесів ***диференціації*** та ***інтеграції.***

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ОРГАНІЗМ**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Порівняльна характеристика одно- та багатоклітинних організмів.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **СТРУКТУРНІСТЬ МАТЕРІЇ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Визначає*: основне поняття **ОРГАНІЗМ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ІНФОРМУВАННЯ** про причини подібності одно- та багатоклітинних організмів
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **СТРУКТУРНІСТЬ МАТЕРІЇ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 274*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку вербального творчого мислення (на основі методики Д. Гілфорда).

Завдання для прогнозування. ОРГАНІЗМ.

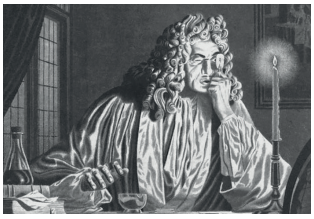
Вивчення живого організму… приводить до думки, що його найменші одиниці — клітини — також певною мірою ведуть самостійне життя та є справжніми осередками життєво важливих процесів.

Альбрехт Коссель (1853–1927) — німецький біохімік, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини



§ 6.2. ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ

Пригадуємо! 1674 року голландець за допомогою мікроскопа вперше побачив у краплині води «тваринок» — живі організми, які рухалися. Це були амеби й бактерії. Отже, вже на початку XVIII століття вчені знали, що існує світ істот, які пізніше отримали назву одноклітинних. Кому ж випала велика честь відкрити завісу в невідомий досі світ мікроорганізмів?

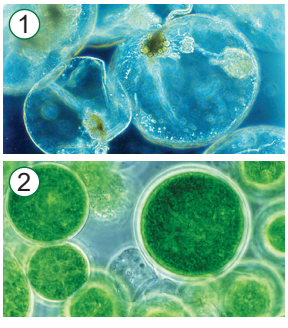


ЗМІСТ

Які особливості одноклітинних організмів?

ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ — це позасистемна група організмів, тіло яких складається з однієї клітини. Одноклітинні організми були відкриті Антоні ван Левенгуком. Зазвичай вони є мікроскопічними, проте деякі одноклітинні істоти видимі неозброєним оком (у рідкісних випадках сягаючи десятків сантиметрів). Одноклітинні організми — надзвичайно різноманітна група, представники якої заселяють усі можливі середовища існування, мають ефективні стратегії виживання в кисневих та безкисневих умовах, найрізноманітніші біотичні зв'язки з багатоклітинними організмами.

Структурна організація. Тіло одноклітинних — це про- чи еукаріотична клітина, якій притаманні усі життєві функції, тому її будова, функціонування й поведінка складніші, аніж у клітин багатоклітинних організмів. Клітини *одноклітинних еукаріотичних організмів* (наприклад, хлорели, ночесвітки) існують як самостійні організми і здійснюють усі життєво важливі функції. Розміри й форма клітин таких організмів залежать насамперед від типу живлення й середовища існування. Наприклад, у багатьох мешканців водного середовища клітини кулясті, Одноклітинні організми можуть мати округлу, зірчасту, видовжену, квадратну форму; клітини бувають без'ядерні, одноядерні та багатоядерні.



Іл. 43. Кулясті клітини ночесвітки (1), хлорели (2)

Функціональна організація. Процеси життєдіяльності одноклітинних відбуваються за участю тих чи інших частин клітини та її органел. Загальні особливості організмів цієї збірної групи визначаються переважно живленням та здатністю до активного переміщення. Частина одноклітинних живиться гетеротрофно, а інша — автотрофно.

Автотрофне живлення буває *фототрофне* (відбувається завдяки фотосинтезу у ціанобактерій, одноклітинних зелених, червоних, діатомових водоростей) та *хемотрофне* (основою є хемосинтез у залізобактерій, нітрифікуючих бактерій). У гетеротрофних одноклітинних розрізняють *фаготрофне* (слизовики, амеби) і *осмотрофне* (несправжні та справжні гриби), *симбіотрофне* (одноклітинні мутуалісти, коменсали й паразити) й *сапротрофне* (ґрунтові амеби й джгутикові) живлення. *Рух одноклітинних* пов'язаний з органелами руху та здатністю клітин до секреції. Майже половина усіх бактерій мають ворсинки (пілі) або джгутики. *Бактеріальне ковзання* забезпечує переміщення на твердих поверхнях і відбувається завдяки секреції слизу. Одноклітинні еукаріоти, які не мають сталої форми тіла, переміщуються за допомогою несправжніх ніжок-**псевдоподій** (*амебоїдний рух*). Постійна форму тіла зумовлює наявність війок та джгутиків, що організовують ***мерехтливий рух***. Рухи одноклітинних надають змогу переміщуватись у рідкому середовищі в пошуках більш сприятливих умов існування, рятуватися втечею від ворогів, здійснювати реакції на зовнішні подразнення.

Біологія + Систематика *Сирінгаміна — це ксенофіофор, знайдений біля узбережжя Ірландії. Це один з найбільших відомих одноклітинних організмів, його розмір сягає 20 сантиметрів. Ця істота є представником морських амеб-форамініфер у складі супергрупи ... Переставляю склади, отримую її назву.*



РІЇ ЗА РІ

Які основні групи одноклітинних організмів?

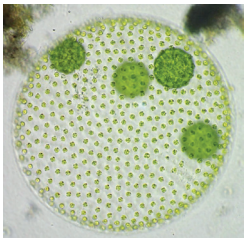
Серед одноклітинних організмів є представники всіх трьох доменів: Бактерій, Архей та Еукаріотів. Бактерії та археї здебільшого одноклітинні (за винятком деяких філаментарних ціанобактерій і актиноміцетів). Згідно із сучасними уявленнями, у межах домена Еукаріоти існують вісім супергруп, і всі вони містять представників одноклітинних: *одноклітинні зелені водорості* (***Архепластиди***), *голі амеби, черепашкові амеби, дріжджеві гриби* (***Аморфеї***), *динофітові водорості* (Альвеоляти в складі ***TCAP***), вільноживучі евгленові, паразитичні лейшманії, трипоносоми (***Екскавати***). Переважну частку різноманітності одноклітинних еукаріот складають чотири супергрупи (***Гаптісти, Кріптісти, КРуМс*** та ***Гемімастігофори***).

У чому переваги колоніальної організації одноклітинних?

Однією із стратегій виживання одноклітинних організмів є утворення колоній. Організми одного виду з подібним генотипом утворюють біосистеми, у яких кожна клітина може сама виконувати всі функції живого і є окремим самостійним колоніальним організмом.

Прикладом колоніальних біосистем є ***ценобій*** (від грец. *koinobios* — сумісне життя). Це колонія одноклітинних організмів з постійною кількістю клітин, які зберігають свою індивідуальність. Іншими словами, це скупчення організмів, які не мають міжклітинних зв'язків.

Типовими ценобіальними організмами є *вольвокс, евдорина, педіаструм*. Ще одним прикладом колоніальності одноклітинних є ***псевдоплазмодій*** (або грекс) клітинних слизовиків. Це особлива колоніальна форма об'єднання організмів одного виду, де окремі амебоподібні клітини збираються разом, утворюючи тимчасове угруповання. На відміну від плазмодію, де клітини зливаються в єдину багатоядерну масу, у псевдоплазмодії кожна клітина залишається окремою і об'єднується з іншими для руху та пошуку їжі.



Іл. 44. Ценобій вольвокса

Колонії можуть бути утворені й одноклітинними організмами різних видів. Наприклад, у світі прокаріотів поширеним є явище утворення *ниток* (ціанобактерії, актиноміцети) та *біоплівок*. **Біоплівка** — *спільний слизовий шар із зануреними у нього колоніями бактерій чи архей*. Такі агрегати захищають від несприятливих умов середовища, а також забезпечують умови для обміну між окремими клітинами поживними речовинами, ДНК, ферментами, продуктами життєдіяльності тощо. В угрупованнях клітини спілкуються і координують свою поведінку за рахунок секреції молекулярних сигналів. Це явище називається ***відчуттям кворуму***. Його вперше спостерігали у біолюмінесцентних вібробактерій (*Vibrio fischeri*), які живуть як симбіонти у світлових органах-фотофорах одного з видів гавайських кальмарів.

Коротко про головне

- **ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ** — це група організмів, тіло яких складається з однієї клітини.
- Серед одноклітинних організмів є представники всіх трьох доменів.
- **Колоніальні організми** — це сукупність одноклітинних організмів, об'єднаних у колонії для спільного виконання життєвих функцій.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням таблиці. **ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Порівняння одноклітинного організму та клітин багатоклітинного організму.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Будова вольвокса.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ОДНОКЛІТИННИХ ОРГАНІЗМІВ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ІНФОРМУВАННЯ** щодо відмінностей одноклітинних організмів від клітин багатоклітинних організмів
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про структурну організацію клітинного рівня живої природи

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Метод асоціацій».

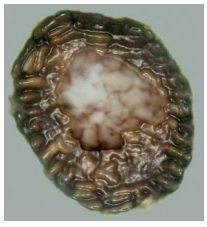
Завдання для розпізнавання. ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ.

Біологія охоплює багато рівнів організації, які також набувають емерджентних властивостей на кожному етапі.

Ніколас А. Лайонс — американський мікробіолог



§ 6.3. БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ

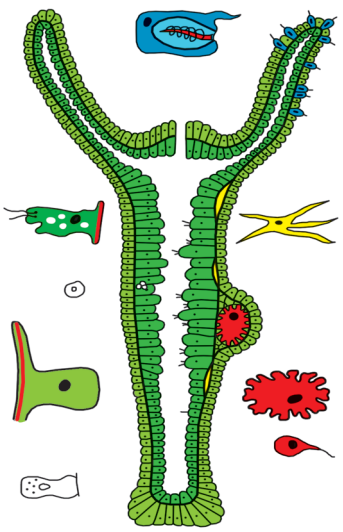


Застосовуємо! *Bicellum brasieri* — вимерлий вид, який існував 1 млрд років тому. Ця скам'янілість (або фосилія) є найдавнішим прикладом складної багатоклітинності. Викопні рештки виявлені у відкладеннях на заході Шотландії. Мікроорганізм мав форму кульки з кількох десятків клітин двох різних типів: внутрішні клітини були овальної форми, зовнішні — видовжені. Цікаво, яке значення мав такий розподіл клітин?

ЗМІСТ

Які особливості організації багатоклітинних організмів?

БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ — це позасистемна група організмів, тіло яких складається із сукупності різних типів еукаріотичних клітин, що спеціалізуються на виконанні функцій, від яких залежать їхні форма, розміри та структура. Наприклад, м'язові клітини видовжені, нервові клітини завдяки великій кількості відростків набули зірчастої форми, сперматозоони — дрібні й рухливі, яйцеклітини — округлої форми тощо. У більшості випадків завдяки такій спеціалізації окремі клітини не можуть існувати поза організмом. Виникають такі клітини з початково однорідних клітин у процесі диференціації. Наприклад, у прісноводної гідри різні типи клітин виникають з проміжних, у ссавців — із стовбурових, у вищих рослин — з ініціальних.



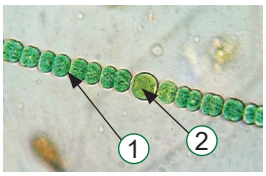
Іл. 45. Різноманітність клітин за функціями в організмі гідри

Структурна організація. Для переважної більшості багатоклітинних у межах організмового рівня організації виділяють *тканинний*, *органний* та *системний*. Оскільки у здійсненні процесів життєдіяльності беруть участь клітини, тканини, органи та системи органів, то життєві функції багатоклітинних мають складніший і досконаліший характер. Спеціалізація складників багатоклітинного організму робить їх залежними від інших частин.

Функціональна організація. Потік речовин, енергії та інформації в організм забезпечують ***живлення, дихання, подразливість, сприйняття інформації***. Усередині організму відбувається другий етап

обміну речовин, енергії та інформації — внутрішньоклітинний обмін, або ***метаболізм***. Речовини, енергія та інформація надходять у клітини, включаються в хімічні й фізичні перетворення катаболізму та анаболізму й визначають ***гомеостаз, ріст, розвиток*** і ***розмноження***. На третьому етапі з організму видаляються кінцеві продукти обміну, теплова енергія, молекули чи енергія, що є інформацією для спілкування з іншими клітинами тощо. Основою цього етапу є процеси ***виділення*** та ***комунікація організмів***.

Біологія + Біорізноманіття *Класичним прикладом багатоклітинності прокаріотів є нитчасті колонії ціанобактерії Anabaena, які можуть здійснювати як фотосинтез у вегетативних клітинах (1), так і азотфіксацію у клітинах-гетероцистах (2). Які переваги отримує анабена завдяки такому «розподілу праці»?*



Які основні групи та походження багатоклітинних організмів?

Багатоклітинними організмами є *червоні водорості, багатоклітинні зелені водорості та зелені рослини* (***Архепластиди***), *справжні гриби й тварини* (***Аморфеї***), *бурі та харові водорості* (таксон Страменопіли в супергрупі ***TCAP***).

Багатоклітинна організація може бути вигідною з кількох причин. Найголовнішою серед них є переваги спеціалізації клітин на виконанні певних життєвих функцій, що зумовлює: стійкість до фізичних та хімічних стресів, покращене отримання ресурсів, захист від хижаків, ефективніше заселення нових територій і підвищений шанс на виживання. До того ж, багатоклітинність визначає можливість збільшення розмірів організму, що призводить до кращого захисту чи переваг у захопленні більшої здобичі.

Перехід від одноклітинної до багатоклітинної організації вважається однією з найголовніших подій в еволюції організмів. Існує кілька гіпотез, які пояснюють цей перехід, зокрема, колоніальна гіпотеза та гіпотеза симбіогенезу.

Колоніальна гіпотеза стверджує, що багатоклітинні організми виникли з колоній одноклітинних організмів, у яких клітини почали спеціалізуватися на виконанні функцій та втратили здатність до самостійного існування. З часом ці клітини об'єдналися в єдиний організм, що призвело до виникнення тканин та органів.

Гіпотеза симбіогенезу обґрунтовує припущення про те, що багатоклітинні організми утворилися внаслідок об'єднання різних одноклітинних організмів, кожен з яких виконував певну функцію. Наприклад, мітохондрії та хлоропласти, можливо, колись були окремими бактеріями, що вступили в симбіотичні відносини з іншими клітинами.

Які процеси визначають багатоклітинність?

Виникнення багатоклітинності в процесі еволюції органічного світу є складною науковою проблемою, розв'язання якої вимагає досліджень на різних рівнях організації. Науковці визначили два

основні чинники, які необхідні для того, щоб істота називалася багатоклітинним організмом: міжклітинна адгезія та міжклітинна комунікація.

Клітинна адгезія (*або міжклітинна адгезія*) — це процес, за допомогою якого клітини взаємодіють та прикріплюються до сусідніх клітин за допомогою білкових *молекул клітинної адгезії* (англ. *cell adhesion molecules — CAM*). Це своєрідний «молекулярний клей», у складі якого можуть бути молекули спеціалізованих білків (наприклад, інтегрини, селектини, імуноглобуліни). Цей процес може відбуватися за участю адгезійних міжклітинних контактів (якірні, щільні контакти) або через взаємодію клітин з позаклітинним матриксом. Міжклітинна адгезія важлива для: формування тканин та органів, підтримання цілісності тканин, регуляції розвитку й міграції клітин, клітинної сигналізації та взаємодії.

Комунікація клітин (*або міжклітинна комунікація*) (від лат. *communicatio* — з'єдную) — *це сукупність процесів, що здійснюють перехід інформації з клітини для взаємодії з навколишнім середовищем чи іншими клітинами*. Інформація з клітини переходить у вигляді певних речовин (наприклад, гормонів чи феромонів) та енергії (наприклад, світлової енергії світних бактерій, електричної енергії нервових імпульсів, механічної енергії рухів війок). Цей процес забезпечують комунікаційні контакти (нексуси та синапси).

Коротко про головне

- **БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ** — це група організмів, тіло яких складається з багатьох різних типів клітин, що спеціалізуються на виконанні певних функцій.
- Основними групами багатоклітинних істот є зелені рослини, справжні гриби і тварини.
- Міжклітинні адгезія та комунікація — це два основні чинники, що визначають багатоклітинність організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення за таблицею. **БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 6. Особливості організації багатоклітинних організмів.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Диференціація клітин.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **БАГАТОКЛІТИННИХ ОРГАНІЗМІВ**
• *Організовує*: **ІНФОРМУВАННЯ** про особливості організації багатоклітинних організмів
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: причину різноманіття багатоклітинних

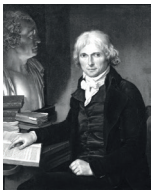
Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Анаграма «Назви організмів».

Завдання для відтворення. ЗЕЛЕНІ РОСЛИНИ, СПРАВЖНІ ГРИБИ, ТВАРИНИ.

Хімія має свої прості тіла, які шляхом різних комбінацій утворюють складні тіла. Так само анатомія має свої прості тканини, які, поєднуючись, складають органи.

Ксав'є Біша (1771–1802) — французький анатом, засновник науки про тканини



§ 6.4. ТКАНИНИ БАГАТОКЛІТИННИХ ОРГАНІЗМІВ



Аналізуємо! Слово «тканина» походить від старофранцузького «*tissu*», що означає тканий пояс. Його використання в науковій літературі приписують Ксав'є Біша, який опублікував свою працю «Загальна анатомія, застосування до фізіології та медицини» 1801 року. Тканий пояс (крайка, оправка, попружка) здавна слугував обов'язковим елементом і водночас прикрасою одягу. Чому біологічні тканини стали обов'язковим складником багатоклітинних організмів?

ЗМІСТ

Які особливості біологічних тканин?

ТКАНИНА — *це сукупність структурно та функціонально подібних клітин та їхнього міжклітинного матеріалу*. Це рівень організації більшості багатоклітинних організмів. Тканини відсутні у багатоклітинних водоростей, грибів та первинних багатоклітинних тварин (губки). Основними групами біологічних тканин є рослинні й тваринні. У грибів та водоростей розрізняють несправжні тканини (або плектенхіму). На відміну від справжніх тканин, плектенхіма утворюється не шляхом поділу клітин в усіх напрямках, а через переплетення ниток талому водоростей або гіфів міцелію. Основні відмінності між ними пов'язані з походженням та особливостями міжклітинної речовини.

Утворення тканин у багатоклітинному організмі забезпечується складними біологічними процесами, в результаті яких клітини диференціюються, набувають певних властивостей та об'єднуються для виконання конкретних функцій. У рослин усі постійні тканини організму виникають і утворюються упродовж життя з твірних тканин, а у тварин — формуються ще під час ембріонального розвитку із зародкових листків (екто-, мезо- й ентодерми) і поновлюються упродовж життя зі стовбурових клітин дорослого організму.

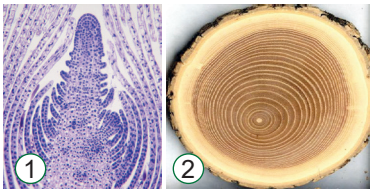
Які особливості рослинних тканин?

У процесі еволюції тканини з'явилися у наземних рослин. Їхня спеціалізація на функціях стала визначальним чинником пристосованості зелених рослин до різних умов наземно-повітряного середовища. Розрізняють два основних типи рослинних тканин: твірні та постійні. Твірні тканини складаються з неспеціалізованих клітин, які зберігають здатність до необмеженого поділу та можуть перетворюватися на будь-який тип клітин рослини. Постійні тканини утворюються диференційованими клітинами і поділяються на покривні, основні, провідні, механічні та видільні. Тканини рослин вивчає анатомія

рослин, засновниками якої є італійський натураліст *Марчелло Мальпігі* (1628–1694) та англійський анатом *Неємія Грю* (1641–1712).

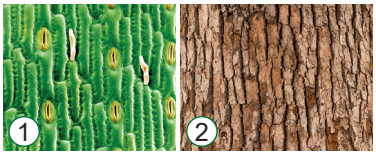
Твірні тканини (меристеми) утворені живими щільно зімкнутими клітинами з тонкою оболонкою, великим ядром і густою цитоплазмою. Меристематичні клітини здатні до швидкого поділу клітин, розташовуються в зонах росту і зберігаються упродовж всього життя рослини. Основними видами є *верхівкова* (*апікальна*), *бічна* (*латеральна*) *та вставна* (*інтеркалярна*) *меристеми*. Розрізняють ще *травматичну меристему*, що виникає в ділянках поранення рослини. Ці тканини забезпечують ріст рослини та її органів, дають початок постійним тканинам, забезпечують загоювання пошкоджених органів.

Покривні тканини утворені щільно зімкнутими живими або мертвими клітинами з кутикулою, яким властива багатофункціональність. Розташовуються тканини на межі з довкіллям і закономірно змінюють одна одну при вікових змінах. До основних різновидів належать *шкірка* (*епідерма, ризодерма*) та *корок*. Тканини здійснюють захист від несприятливих впливів та беруть участь у транспортуванні речовин із середовища.



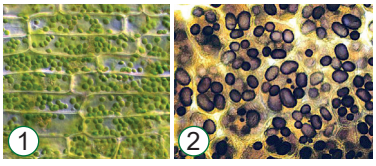
Іл. 46. Твірні тканини: 1 — верхівкова (у пагона); 2 — бічна (камбій у дерев'янистому стеблі)

Основні тканини (паренхіма) утворені живими паренхімними клітинами і добре розвиненими міжклітинниками. Для них властива незначна спеціалізація, ці клітини можуть набувати здатності до поділу. Тканини складають основну масу органів, розташовуються в різних ділянках між іншими тканинами, тому їх називають основними. За функціями розрізняють *фотосинтезуючу* (*хлоренхіма*), *повітроносну* (*аеренхіма*), *запасливу* та *водоносну* тканини.



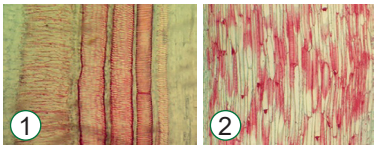
Іл. 47. Покривні тканини: 1 — шкірка листка; 2 — корок дерева

Провідні тканини складаються з видовжених живих або мертвих клітин, більшість з яких мають пори і перфорації для переміщення розчинів. Розташовані в стеблах, коренях, листках судинних рослин, в яких здійснюють транспорт речовин. Основними елементами *ксилеми* є судини, що здійснюють висхідну течію неорганічних речовин від коренів до листків, а ситоподібні трубки *флоеми* — низхідний плин органічних речовин від листків.



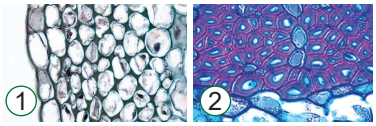
Іл. 48. Основні тканини: 1 — фотосинтезуюча; 2 — запасаюча

Механічні тканини складаються з товстостінних клітин з міцною і пружною оболонкою. Стінки клітин можуть дерев'яніти, просякатись лігніном і сполуками Кальцію. Розташовуються поодинокими



Іл. 49. Провідні тканини: 1 — ксилема; 2 — флоема

клітинами, цілими групами або комплексами. *Коленхіма* та *склеренхіма* (*луб'яні волокна, склереїди*) забезпечують рослині міцність.



Іл. 50. Механічні тканини: 1 — коленхіма; 2 — склеренхіма

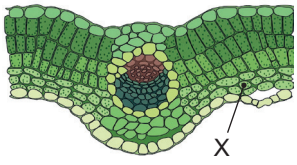
Видільні тканини ще називають секреторними, оскільки вони виділяють назовні або нагромаджують всередині в спеціалізованих утворах продукти обміну речовин. У зв'язку з цим розрізняють тканини зовнішньої та внутрішньої секреції. До видільних тканин зовнішньої секреції належать залозисті волоски, залозки (нектарники), сольові залозки, водяні продихи (гідатоди), осмофори, а до тканин внутрішньої секреції — вмістища, прикладом яких є молочники чистотілу.



Іл. 51. Видільні структури: 1 — гідатоди полуниці; 2 — залозисті волоски росянки

Біологія + ЗНО *На рисунку — поперечний розріз листка. Яка основна функція тканини, позначеної літерою X?*

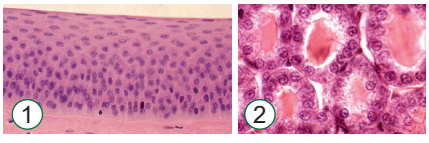
А транспорт речовин **Б** фотосинтез
В випаровування води **Г** захист



Які ознаки тваринних тканин?

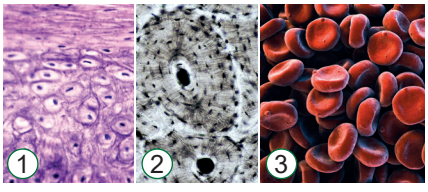
Наука, яка вивчає тваринні тканини, називається ***гістологією*** (від грец. *histos* — павутиння). Утворюються тканини у зародків із зародкових листків (ектодерми, мезодерми й ентодерми) на стадії гістогенезу й органогенезу. У тварин виділяють чотири типи тканин: епітеліальні, сполучні, м'язові та нервову.

Епітеліальні тканини розміщені на межі між зовнішнім та внутрішнім середовищем організму і здійснюють функції захисту, секреції й обміну речовин із середовищем. У зв'язку з межовим розташуванням ці тканини здатні до регенерації, побудовані з щільно поєднаних клітин та незначної кількості міжклітинної речовини. За особливостями будови, функцій та місцезнаходження розрізняють епітелій ***покривний*** (*одношаровий* і *багатошаровий*) та ***залозистий***.



Іл. 52. Епітелії: 1 — покривний; 2 — залозистий

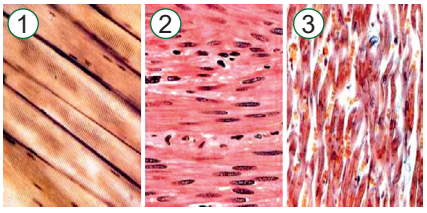
Сполучні тканини складаються з різних за формою клітин та розвиненої міжклітинної речовини. Ці тканини утворюють кістки, хрящі, входять до складу внутрішніх органів та з'єднують їх між собою. Тканини характеризуються розташуванням усередині організму, виконанням опорно-трофічних та захисних функцій. Цим тканинам належить виняткова роль у



Іл. 53. Сполучні тканини: 1 — хрящова тканина; 2 — кісткова тканина; 3 — кров

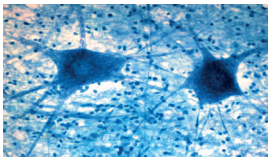
відновлювальних процесах завдяки найвищій здатності до регенерації. Сполучні тканини об'єднують ***тканини внутрішнього середовища*** (*кров, лімфа*), ***власне сполучні*** (*пухка волокниста, щільна волокниста*), ***сполучні тканини із спеціальними властивостями*** (*жирова, ретикулярна, пігментна, слизова*), ***скелетні сполучні*** (*кісткова, хрящова*).

М'язові тканини побудовано з видовжених клітин із скоротливими волоконцями — міофібрилами. Розрізняють ***непосмуговану*** й ***посмуговану*** м'язові тканини. Непосмугована (гладка) — утворює стінки судин, внутрішніх органів, забезпечує рухи кишківника, сечовиділення тощо. Посмугована — поділяється на *скелетну* та *серцеву*. Скелетна посмугована тканина утворює скелетні м'язи, діафрагму, язик, а серцева — основу серцевого м'яза.



Іл. 54. М'язові тканини:
1 — посмугована скелетна;
2 — гладенька (непосмугована);
3 — посмугована серцева

Нервова тканина складається з нейронів та клітин, що їх оточують і утворюють нейроглію. Нервова тканина формує нерви, нервові вузли, головний та спинний мозок. Вона забезпечує сприйняття подразнень, їхнє перетворення в імпульси, аналіз інформації та формування рефлексів. У нервовій тканині формуються процеси, що здійснюють нервову регуляцію функцій організму людини.



Іл. 55. Нервова тканина з нейронами й нейроглією

Коротко про головне

- **ТКАНИНА** — *це сукупність подібних клітин та їхнього міжклітинного матеріалу, що мають спільне походження та функції.*
- **Тканини рослин** — *це сукупність клітин, подібних за структурою і об'єднаних спільністю походження, розташування та фізіологічних функцій.*
- **Тканини тварин** — *це сукупність клітин з міжклітинною речовиною, які подібні за будовою та спеціалізуються на виконанні певних функцій.*

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у схему. **ТКАНИНА**.

Розвивальне завдання. Лабораторна вправа. Вивчення будови тканин.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Різноманітність клітин бодяги ставкової.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: особливості **ТКАНИН**
• *Аналізує результати*: **ІНФОРМУВАННЯ** про відмінності рослинних і тваринних тканин
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* біологічне значення диференціації клітин

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку уяви «Аглютинація».

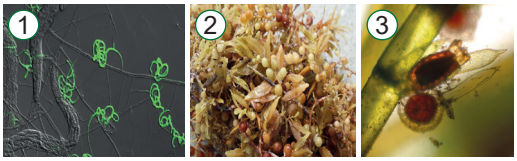
Завдання для конструювання. ТКАНИНИ.

Органи тіла є інструментами, за допомогою яких можна робити певні дії.

Арістотель (384–322 до н. е.) — давньогрецький філософ, науковець-енциклопедист



§ 6.5. ОРГАНИ ТА СИСТЕМИ ОРГАНІВ БАГАТОКЛІТИННИХ ОРГАНІЗМІВ



Оцінюємо! У світі грибів та водоростей є багато цікавих анатомічних структур, що виконують важливі функції. Наприклад, у хижих грибів наявні світлові пастки хижих грибів, чоловічі антеридії та жіночі архегонії для статевого розмноження харових водоростей, повітряні міхурці-пневматофори саргасових водоростей. Чому це лише аналоги органів?

ЗМІСТ

Які особливості організації органів?

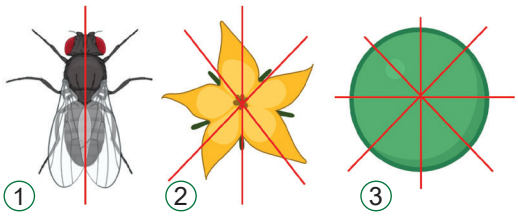
ОРГАН (від лат. *organum* — орган, грец. *organon* — інструмент, знаряддя) — це частина організму, що є його інструментом для здійснення дій у відповідь на впливи середовища. У багатоклітинному організмі орган є сукупністю тканин, об'єднаних для виконання певної життєвої функції. В ієрархічній системі рівнів живої природи органи розглядаються як ступінь організації в межах організмового рівня та займають проміжне місце між тканинами та системами органів.

Структурно-функціональна організація. Органи формуються з тканин декількох типів, серед яких один тип визначає функції органа (функціональні тканини), а інші виконують опорну, виповнюючу, захисну роль (допоміжні тканини). Наприклад, у серці м'язова тканина є функціональною, а сполучні чи нервова — допоміжними. У рослин органи часто менш спеціалізовані, ніж у тварин, і виконують не одну, а декілька важливих функцій. Наприклад, листок є органом фотосинтезу, газообміну й транспірації, а серце у тварин — спеціалізується на конкретній функції — забезпечує рух крові в організмі. Тому органи тварин зазвичай мають чітко виражену структуру та функції, що забезпечує складніше організовану життєдіяльність.

Походження. Утворення органів під час розвитку називається ***органогенезом***. У зелених рослин цей процес відбувається безперервно і припиняється лише тоді, коли рослина гине. А органи тварин формуються під час ембріонального розвитку із зародкових листків. І коли тварина народжується (або вилуплюється з яйця), у неї вже наявні всі органи тіла, і з цього моменту вони будуть збільшуватися та змінювати свою форму.

Розташування. Основними закономірностями організації органів та прояву їх емерджентних властивостей є принципи симетричності та полярності.

Симетричність — закономірне розташування частин тіла щодо центру або осі симетрії. Формування різних видів симетрії організму пов'язане із певним типом живлення, характером руху та середовищем існування.



Іл. 56. Типи симетрії: 1 — білатеральна; 2 — радіальна; 3 — сферична

Полярність — специфічна орієнтація процесів та структур у просторі, що спричинює морфофізіологічні відмінності на протилежних частинах. Виникає як наслідок нерівномірного впливу зовнішніх чинників середовища.

Біологія + Біорізноманіття *Морські їжаки — дивовижні мешканці океанів, які викликають захоплення та подив. Ці істоти мають важливий орган, який називається «ліхтарем Арістотеля». Цікаво, яке його зна чення?*



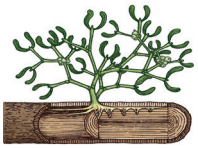
Які основні групи органів багатоклітинних організмів?

Органи наявні у справжніх багатоклітинних тварин та наземних рослин. У водоростей, грибів подібні утвори є не органами, а їх функціональними аналогами, оскільки не мають справжніх тканин (наприклад, плодові тіла шапинкових грибів).

У рослин за функціями розрізняють ***репродуктивні*** (спорангії, гаметангії, шишки, насінини, квіти, плоди) та ***вегетативні*** (корінь і пагін, у якому розрізняють стебло, бруньки та листки) органи. У рослин вегетативні органи утворюють різноманітні видозміни (метаморфози). Наприклад, колючки, вуса, вусики, коренеплоди, коренебульби та ін. У тваринному організмі органи об'єднують у групи: за розташуванням — ***зовнішні*** (очі, кігті, щупальця) та ***внутрішні*** (трахеї, печінка, нирки); за функціями — *органи дихання, травлення, виділення* тощо; за симетричністю — *парні* (грудні й черевні плавці риб) та *непарні* (головний корінь рослин). Такі органи, як головний мозок чи корені дерев, можуть існувати в організмі упродовж всього життя. А є органи, що формуються в організмі на нетривалий час, а потім зникають чи замінюються (листки рослин чи плацента тварин). За цією ознакою розрізняють *постійні* (*дефінітивні*) та *тимчасові* (*провізорні*) органи.

Прогресивні органи в процесі еволюції організмів стають досконалішими (м'язи кисті, головний мозок), а *регресивні* — поступово редукуються або зовсім зникають, якщо не набувають нових функцій (зяброві дуги, зуби мудрості, вушні м'язи).

Біологія + Екологія *Омела біла* (*Viscum album*) — *квіткова рослина-напівпаразит. Фотосинтезує рослина самостійно, а воду та мінеральні сполуки одержує від дерев-хазяїв через кореневидні вирости... Називаю ці органи.*



ТО ГА РІЇ УС

Які ознаки має системний ступінь організації багатоклітинних організмів?

Усі органи організму взаємопов'язані між собою й функціонують у складі систем. Це визначає системний ступінь організації багатоклітинного організму.

Зелені рослини мають дві системи органів: систему пагонів та кореневу систему. Система пагонів складається зі стебел, листків, бруньок та пагонів, на яких формуються репродуктивні органи. Система пагонів зазвичай є надземною, адаптованою для використання світла, кисню й вуглекислого газу, вологи повітря тощо. Коренева система підтримує рослину та поглинає з ґрунту воду, мінеральні й органічні речовини; вона зазвичай розташована під землею.

В організмі тварин та людини для виконання життєвих функцій організовані ***системи органів***. Це постійне поєднання багатьох органів, які анатомічно взаємопов'язані між собою. Розрізняють *опорно-рухову, кровоносну, імунну, дихальну, травну, видільну, ендокринну, нервову, статеву та інші системи*.

Коротко про головне

- **ОРГАН** — *це частина багатоклітинного організму, що має певну будову, походження, розташування і виконує одну чи декілька функцій.*
- Органи рослин і тварин класифікують за дуже різними критеріями.
- **СИСТЕМА ОРГАНІВ** — це постійне, організоване та взаємодіюче поєднання органів для виконання в організмі життєвих функцій.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням схеми. **ОРГАН**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Опис органів у взаємозв'язку з функціями.

Ціннісне завдання. Вправа для формування. Спеціалізовані органи тварин.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ОРГАНИ**
• *Оцінює результати:* **ІНФОРМУВАННЯ** про взаємозв'язок будови та функцій органів
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт щодо шанування науки як складника світової культури на основі ціннісних уявлень про **СИСТЕМУ**

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Краса дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 6. ОРГАНИ та ...

Наука має просту віру, яка виходить за рамки корисності. Це віра в те, що навчитися розуміти — це привілей людини, і що це її місія.

Ванневар Буш (1890–1974) — американський інженер, винахідник в галузі обчислювальної техніки



§ 6.6. ОРГАНІЗМ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Вже маємо думку! Гіпертекст у біології дозволяє об'єднати різні рівні біологічної організації — від молекулярного до біосферного, що є важливим для комплексного та глибшого розуміння біологічних систем. У чому складність досліджень організмового рівня організації?

ЗМІСТ

Які науки вивчають організмовий рівень організації?

Організмовий рівень відрізняється різноманітністю проявів своєї організації, які є предметом досліджень багатьох різних біологічних наук: від давніх — *вірусології, мікробіології, ботаніки, мікології та зоології,* до сучасних — *молекулярної біології, імунології, біоінформатики, біокібернетики* тощо.

З метою поглибленого розуміння окремих груп організмів формуються самостійні дисципліни: у ботаніці — *альгологія* (наука про водорості), *бріологія* (мохи), *птеридологія* (плауни, папороті), в зоології — *малакологія* (молюски), *карцинологія* (ракоподібні), *акарологія* (кліщі), *ентомологія* (комахи), *іхтіологія* (риби), *батрахологія* (амфібії), *герпетологія* (рептилії), *орнітологія* (птахи), *теріологія* (ссавці) та інші.

Оскільки різні типи організмів мають певні особливості, тому багато дисциплін стають самостійними науками: *біохімія тварин, біохімія рослин, біохімія мікроорганізмів* — для вивчення біохімічних процесів; *фізіологія людини, фізіологія тварин, фізіологія рослин* — для дослідження процесів життєдіяльності тощо. Практичне значення мають дослідження впливу чинників середовища на організми, тому відокремлюються: *фотобіологія*, що вивчає впливи світла, *радіобіологія* — іонізуюче випромінювання, *кріобіологія* — низькі від'ємні температури, *морська та космічна біологія* — чинники морського середовища та космічних польотів.

Для узагальнення досліджень та теоретичних закономірностей щодо організмового рівня у навчальних програмах вищих навчальних закладів розробляються курси «Організмова біологія». Виникає й розвивається комплексна наука — **БІОЛОГІЯ ОРГАНІЗМІВ**, що вивчає структуру, функції, поведінку, екологію та еволюцію окремих організмів, розглядаючи їх як цілісні біологічні системи. Її значущість прирівнюється до таких розділів, як біологія клітини, біологія людини, біологія розвитку та інші, і полягає у вивченні наукових закономірностей біологічних явищ.

Які наукові закономірності організмового рівня живої природи?

ТЕОРІЯ ОРГАНІЗМУ — це біологічна концепція, узагальнена система знань про живий організм як біологічну систему. Її основою є наукові закономірності, що пояснюють: організацію живих істот; взаємодію та взаємозалежність складових частин та компонентів організму — від молекул, клітин, органів та систем; особливості нових емерджентних якостей, що пов'язані з підвищенням ступеня організації. Засадничими поняттями концепції є теорія систем та принципи системного підходу, серед яких: *принципи взаємозв'язку, ієрархічності, емерджентності, самоорганізації, еволюційності.*

Основні узагальнюючі закономірності організмового рівня:

- організм — це відкрита біологічна система, умовою існування якої є потік речовин, енергії та інформації (***принцип єдності організму та середовища***);
- організм є цілісною системою, де кожна частина взаємодіє з іншими та впливає на загальний стан організму (***принцип цілісності***);
- організм є складною структурою з рівнями організації, між якими встановлюються певні зв'язки; в межах організму виділяють молекулярний, клітинний, тканинний, органний, системний рівні й ступені організації (***принцип ієрархічності***);
- основними характеристиками організмів як біологічних систем є особливості будови (структурна організація), життєдіяльності (функціональна організація) та поведінки (етологічна організація) (***принцип багатомірності***);
- структура організму визначає його функції, а функції — впливають на структуру (***принцип взаємозв'язку будови та функцій***);
- основними структурними властивостями організмового рівня організації є клітинна будова, функціональними — процеси життєдіяльності та етологічними — поведінка як сукупність дій у відповідь на впливи чинників середовища (***принцип емерджентності***);
- організми здатні підтримувати внутрішню стабільність (гомеостаз) за допомогою складних механізмів саморегуляції, самооновлення та самовідтворення (***принцип самоорганізації***);
- організми в процесі еволюції розвиваються, змінюються, адаптуються до умов навколишнього середовища; будь-які зміни організмів в процесі історичного розвитку відбуваються поступово (***принцип еволюційності***).

Які основні напрямки сучасних досліджень організмів?

Для досліджень різноманітності організмів та аналізу розуміння біологічних явищ, пов'язаних з ними, в науці існують різноманітні підходи: біохімічний, морфологічний, фізіологічний, екологічний, історичний та інші. Серед сучасних способів дослідження організмів найбільш актуальними є: *молекулярно-генетичний* (вивчення генетичної інформації та можливостей використання в медицині, генетичній інженерії, біотехнологіях, нейронауці), *молекулярно-біологічний* (дослідження процесів за участю білків та нуклеїнових кислот), *біоінформаційний* (дослідження моделей поведінки, можливостей

штрих-кодування ДНК для видового визначення організмів), *цитологічний* (вивчення особливостей будови клітин для створення сучасної системи органічного світу), *екологічний* (вивчення адаптацій організмів до змінних умов середовища), *імунологічний* (дослідження імунних реакцій) і т. ін.

Наукові знання про організми застосовуються у найрізноманітніших галузях людської діяльності, від персоніфікованої медицини до біологічних основ психології людини, від розробки нових біонічних матеріалів та пристроїв до генної й клітинної інженерії, генетично модифікованих організмів і штучного запліднення.

Біологія + Відкриття *Увідповіднюю відкриття, що були здійснені на основі знань про організми, (1–5) з поясненням їхнього значення (К–У) та отримую назву винахідника аквалангa.*

1 біочип	**О** прилад для вимірювання вологості
2 гідрофон	**К** електронний пристрій на основі біомолекул
3 барометр	**С** прилад для вимірювання тиску
4 сейсмограф	**Т** прилад для запису коливань земної поверхні
5 гігрометр	**У** прилад для сприйняття звуків під водою

1	2	3	4	5

Коротко про головне

- **БІОЛОГІЯ ОРГАНІЗМІВ** — *це комплекс наук, що вивчають закономірності структурно-функціональної організації організмів як біологічних систем.*
- Теоретичні узагальнення про живий організм як біологічну систему формують **ТЕОРІЮ ОРГАНІЗМУ**.
- Пріоритетними сучасними підходами в організації досліджень організмового рівня є *молекулярно-генетичний, молекулярно-біологічний, цитологічний, імунологічний* та *екологічний*.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ОРГАНІЗМ — БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань про організми.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту одну із тем (*див. с. 274*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ**
• *Застосовує навички* **ДОСЛІДЖЕННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень організму людини
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт на основі ціннісних уявлень про **САМООРГАНІЗАЦІЮ МАТЕРІЇ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 6. ОРГАНІЗМ та ... технологія «орган — на — чіпі».



Тема 7. ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН ТА ІНФОРМАЦІЇ — ФУНДАМЕНТАЛЬНА ВЛАСТИВІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Організм складається з клітин, а клітина складається з молекул, які повинні працювати в гармонії.

Андре Львофф (1902–1994) — французький мікробіолог, лауреат Нобелівської премії з фізіології й медицини (1965)

§ 7.1. ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН ТА ІНФОРМАЦІЇ



Метикуємо! «*Розглядаючи живий світ на клітинному рівні організації, ми помічаємо його єдність:* ***єдність складу*** *— основні макромолекули у всіх живих істот побудовані з одних і тих самих малих молекул,* ***єдність будови*** *— кожна клітина містить ядро, занурене у протоплазму,* ***єдність функцій*** *— обмін речовин подібний в загальних рисах у всіх клітинах*», — повчав науковець. Чи спостерігається така подібність обміну енергії, речовин та інформації на організмовому рівні?

ЗМІСТ

Чому обмін є основою функціонування організму?

Організм, як і клітина, є відкритою біологічною системою і може існувати лише за умови постійного зовнішнього обміну енергією, речовиною й інформацією з навколишнім середовищем (далі — просто обмін).

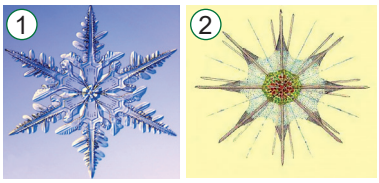
У загальному обміні, що відбувається на рівні організму, можна виокремити три етапи: 1) *надходження речовин, енергії та інформації* (завдяки процесам фото- та хемосинтезу, дихання, живлення, травлення, транспорту речовин, подразливості); 2) *внутрішньоклітинні перетворення, або метаболізм* (уся сукупність біохімічних ана- та катаболічних реакцій у клітинах за участю ферментів); 3) *відтік речовин, енергії та інформації з організму* (завдяки процесам виділення, тепловіддачі, секреції, біокомунікації).

Усі процеси загального обміну взаємопов'язані, проте для кращого розуміння особливостей можна абстрагуватися і розглядати відокремлено обмін речовин (***пластичний обмін***), енергії (***енергетичний обмін***) та інформації (***інформаційний обмін***). У зв'язку з таким підходом стають більш зрозумілими основні функції біологічного обміну, якими є *енергетична* (забезпечення організму енергією), *пластична* (утворення необхідних для життєдіяльності речовин) та *інформаційна* (використання зовнішньої та внутрішньої інформації для функціонування).

Обмін відбувається і в неживій природі, однак цей процес значно відрізняється від обміну в живих системах. Ця відмінність зумовле-

на насамперед тим, що процеси обміну живих організмів забезпечують постійне *самооновлення, саморегуляцію* та *самовідтворення* їхніх складових частин і здійснюються 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 є етапність перебігу, біокаталітичний характер, а також регульованість і взаємозв'язок процесів синтезу й розпаду.

Біологія + Системи *У чому ж головна відмінність неживої* (*сніжинки*) (1) *й живої* (*радіолярії Acanthometra tetracora*) (2) *систем?*



Які особливості обміну автотрофних організмів?

АВТОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ (від грец. *autos* — сам та *trophe* — їжа) — *це надходження в організм неорганічних речовин, необхідних для синтезу власних органічних сполук*. Залежно від джерел енергії розрізняють ***фотоавтотрофне живлення*** (ціанобактерії та зелені рослини) та ***хемоавтотрофне живлення*** (деякі групи бактерій).

На I етапі обміну автотрофні організми використовують неорганічні речовини (воду, вуглекислий газ), з яких синтезують власні органічні речовини. Для цього їм потрібна світлова або хімічна енергія. Визначальними процесами обміну на II етапі є різні види анаболізму — *фотосинтез* (археї, фотосинтезуючі бактерії, водорості, зелені рослини) й *хемосинтез* (залізо-, сірко-, нітрофікуючі бактерії). Ще однією особливістю автотрофів на етапі метаболізму є їхня здатність перетворювати продукти фотосинтезу на амінокислоти, жирні кислоти, нуклеотиди, з яких далі утворюються складні біомолекули. Такий автотрофний анаболізм, пов'язаний із фото- й хемосинтезом, має назву *первинного синтезу органічних речовин*. Особливостями обміну автотрофних організмів на III етапі є те, що вони є первинними продуцентами і синтезують в необхідній кількості усі потрібні органічні речовини. Спеціалізованих органів виділення в автотрофів немає, однак продукти метаболізму можуть накопичуватися та видалятися в середовище зі структурами, що відмирають (наприклад, під час листопаду).

Які особливості обміну гетеротрофних організмів?

ГЕТЕРОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ (від грец. *heteros* — різний, *trophe* — їжа) — *це процес надходження в організм готових органічних речовин, які використовуються як джерело Карбону*. Залежно від джерел енергії розрізняють ***фотогетеротрофне живлення*** (пурпурні та зелені несірчані бактерії, солелюбні галоархеї, геліобактерії, що мають пігменти, які поглинають світлову енергію) та ***хемогетеротрофне живлення*** (археї, більшість бактерій, тварини, гриби, які використовують хімічну енергію органічних сполук).

На І етапі обміну гетеротрофні організми використовують готові органічні речовини їжі, яку розщеплюють в процесі травлення до простих поживних сполук. Під час дихання отримують кисень, необхідний для біологічного окиснення й вивільнення енергії. Визначальними процесами ІІ етапу в гетеротрофів є катаболічні реакції. Завдяки їм відбувається вивільнення хімічної енергії та перетворення її на АТФ. Вивільнена енергія й малі молекули беруть участь в анаболічних процесах утворення власних органічних речовин (*вторинний синтез органічних речовин*). На ІІІ етапі обміну видалення може здійснюватись шляхом дифузії (у грибів, твариноподібних організмів, бактерій) або через спеціальні видільні органи (*протонефридії, метанефридії, зелені залози, видільні трубочки, нирки*).

Коротко про головне

- **ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН ТА ІНФОРМАЦІЇ** — *це сукупність процесів, що забезпечують надходження речовин, енергії із середовища до організму, їхнє перетворення та видалення продуктів життєдіяльності, теплової енергії й певної інформації у середовище.*
- **АВТОТРОФНИЙ ТИП ОБМІНУ** — *це обмін, що характеризується надходженням неорганічних речовин, використанням світлової чи хімічної енергії, переважанням у клітинах анаболічних реакцій синтезу, первинним синтезом власних органічних сполук та повторним використанням кінцевих продуктів обміну.*
- **ГЕТЕРОТРОФНИЙ ТИП ОБМІНУ** — *це обмін, що характеризується надходженням готових органічних речовин, які є джерелом вільної хімічної енергії, переважанням в клітинах катаболічних реакцій розщеплення, вторинним синтезом власних органічних сполук та видаленням з клітин кінцевих продуктів обміну, серед яких — амоніак.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН, ІНФОРМАЦІЇ ОРГАНІЗМУ.**

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа. Порівняння загального обміну авто- та гетеротрофів (на конкретних прикладах).

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **ЕНЕРГІЯ?**

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Визначає*: основне поняття **ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН та ІНФОРМАЦІЇ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ОБҐРУНТУВАННЯ** особливостей загального обміну авто- та гетеротрофних організмів
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **ЕНЕРГІЯ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 274*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку концентрації уваги (за методикою Е. Торндайка).

Завдання для прогнозування. ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН ТА ІНФОРМАЦІЇ.

Енергія — це вічне захоплення.

Вільям Блейк (1757–1827) — англійський поет, художник



§ 7.2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН ОРГАНІЗМІВ



Усвідомлюємо! **Енергія** (від грец. *energeia* — діяльний) — це фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Поняття енергії поєднує всі явища природи в одне ціле та є загальною характеристикою стану фізичних тіл і фізичних полів. Поняття енергії пов'язане зі здатністю системи виконувати роботу, під час якої енергія частково втрачається. Як відбувається обмін енергії в організмі?

ЗМІСТ

Які особливості енергетичного обміну?

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН — *це сукупність хімічних, фізичних та фізіологічних процесів, що забезпечують надходження, перетворення та видалення енергії в організмі*. Як зауважують науковці: «*Хоча енергія існує у багатьох формах, для живих істот придатними є лише дві із них — світлова й хімічна енергія*». Основним джерелом світлової енергії є Сонце, а хімічної енергії — хімічні зв'язки готових органічних речовин.

Розділ біохімії, що вивчає перетворення і використання енергії в живих клітинах, називається *біоенергетикою*. Енергетичні перетворення світлової чи хімічної енергії в організмі відрізняються від енергетичних процесів неживої природи.

- Каталітичні процеси здійснюються в клітинах за участю високоспеціалізованих структур — фотомембран, мезосом, мітохондрій та хлоропластів.
- Реакції катаболізму відбуваються за участю ферментів, якими є *оксидоредуктази* і *гідролази*. Завдяки їхньому впорядкованому розташуванню на клітинних мембранах чи у відсіках, відокремлених мембранами, реакції окиснення й гідролізу відбуваються з високою ефективністю. Тому перетворення хімічної енергії на інші форми здійснюється без значних теплових втрат. Так, коефіцієнт корисної дії (ККД) звичайного двигуна становить 20–25 %, а мітохондрій — 60–70 %.
- Вивільнення енергії в реакціях розщеплення відбувається поступово, малими порціями, до кінцевих продуктів окиснення — води й вуглекислого газу. Наприклад, при повному розщепленні 1 моля глюкози виділяється близько 2800 кДж енергії. Вивільнення всієї цієї кількості енергії одразу для клітини означало б миттєву загибель.
- Хімічна енергія, що вивільняється при руйнуванні хімічних зв'язків молекул вуглеводів, ліпідів, білків, акумулюється в молекулах особливої речовини живого — аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ).

Акумульована енергія цієї універсальної сполуки є доступною для різних процесів життєдіяльності клітини.



Біологія + Фізика *Електричні скати — ряд скатів, здатних виробляти електрику. Найвідомішими з цієї групи є представники роду Torpedo. Атлантичний торпедо (Torpedo nobiliana) може давати розряди в 220 В, але для більшості видів цей показник менший і становить 5–40 В. Сильні розряди використовуються для оглушення жертв, тоді як слабкі — для електроехолокації, виявлення об'єктів полювання, для комунікації. А як саме виникає електрична енергія в електроцитах цих тварин?*

Які основні етапи енергетичного обміну?

Більшість клітин для вивільнення енергії в процесах дихання насамперед використовують глюкозу. Цікаво, що є клітини (наприклад, клітини мозку, скелетних м'язів, зрілі еритроцити), які отримують енергію для життя лише з молекул цього моносахариду.

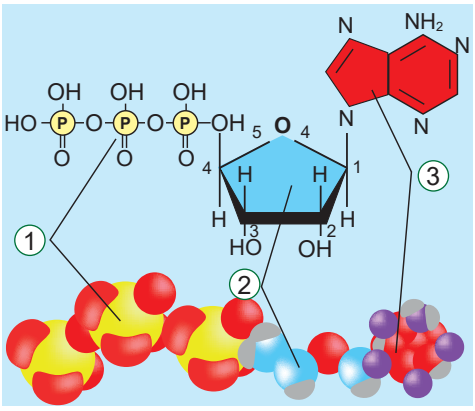
Чому ж глюкоза є основним джерелом енергії для клітин? Полярні молекули глюкози добре взаємодіють із водою, тому легко й швидко переміщуються в клітині; їхнє транспортування в клітину здійснюється шляхом полегшеної дифузії, що не потребує затрат енергії. Окрім того, глюкоза може перетворюватися клітинами на резервні вуглеводи: у рослинній клітині — на крохмаль, у клітинах тварин і грибів — на глікоген.

Таблиця. ЕТАПИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБМІНУ

Назва етапу	Характеристика
I. Підготовчий етап (у травних вакуолях, лізосомах чи травному каналі; виділяється всього 0,2–0,8 % енергії)	Під впливом травних ферментів складні органічні сполуки розщеплюються до простих сполук, які може засвоїти організм. Енергетичний ефект цього етапу незначний, і вся енергія розсіюється у вигляді тепла.
II. Безкисневий (анаеробний) етап (в гіалоплазмі клітин; вивільняється лише 5–7 % енергії)	Відбувається розщеплення простих органічних сполук без участі кисню: розщеплення глюкози — **гліколіз**, жирних кислот — ліполіз, амінокислот — протеоліз. Енергетичний ефект гліколізу — **200 кДж** (116 кДж — на тепло, 84 кДж — на АТФ): $C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2H_2O + 2АТФ$
III. **Кисневий (аеробний) етап** (в матриксі і на кристах мітохондрій за участю кисню; звільнюється основна маса енергії (понад 90 %)	На цьому етапі аеробне перетворення вуглеводів продовжується за рахунок розщеплення молочної кислоти до води і вуглекислого газу. Енергетичний ефект — **2600 кДж** (1088 кДж — на тепло, 1512 кДж — на АТФ): $2C_3H_6O_3 + 6O_2 + 36H_3PO_4 + 36АДФ \rightarrow 6CO_2 + 42H_2O + 36АТФ$
Сумарним енергетичним результатом розщеплення одного моля глюкози є 2800 кДж енергії (200 кДж + 2600 кДж), з якої в 38 молекулах АТФ акумулюється 55 % (38 · 42 кДж = 1596 кДж), а 45 % (1204 кДж) — розсіюється у вигляді теплоти. *Рівняння повного розщеплення глюкози:* $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38АДФ + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 44H_2O + 38АТФ$	

Яка роль АТФ у забезпеченні процесів метаболізму?

Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ) — *органічна сполука, що належить до вільних нуклеотидів і є універсальним хімічним акумулятором енергії в клітині.* Пригадаємо, що молекула АТФ є нуклеотидом, який складається з аденіну, рибози та трьох залишків ортофосфатної кислоти. При відщепленні фосфатної групи від АТФ вивільняється близько 40 кДж енергії та утворюється АДФ (аденозиндифосфатна кислота). Коли ж від молекули АТФ відщеплюються два фосфати, утворюється АМФ (аденозинмонофосфатна кислота) і звільняється близько 80 кДж енергії. Енергія макроергічних зв'язків АТФ вивільняється в *реакціях гідролізу*, а синтез АТФ відбувається завдяки реакціям фосфорилювання, що можуть здійснюватися в цитоплазмі (субстратне фосфорилювання), у мітохондріях (окиснювальне фосфорилювання) чи в хлоропластах (фотофосфорилювання).



Іл. 57. АТФ та її будова: 1 — залишки ортофосфатної кислоти; 2 — моносахарид рибоза; 3 — нітратна основа аденін

Коротко про головне

- Перетворення енергії в організмі відбуваються під час енергетичного обміну, а сукупність його процесів, що протікають безпосередньо в клітинах, — це катаболізм.
- Основними етапами енергетичного обміну в організмі є: підготовчий (відбувається в травних вакуолях чи травній системі), безкисневий та кисневий (проходить в клітинах під час катаболізму).
- Основна функція АТФ — енергетична, оскільки бере участь в енергетичному обміні організму, запасаючи у своїх макроергічних зв'язках значну кількість енергії.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **КАТАБОЛІЗМ**.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа. Етапи енергетичного обміну організму людини.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. АТФ і перетворення енергії.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБМІНУ ОРГАНІЗМІВ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ОБҐРУНТУВАННЯ** етапності енергетичного обміну
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про зв'язок катаболізму та **ЕНЕРГІЇ**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Метод аналогій».

Завдання для розпізнавання. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН.

Дослідження того, як основні речовини життя — нуклеїнові кислоти та білки — передаються з покоління в покоління, наближають нас до розуміння найхарактерніших рис життя.

Северо Очоа (1905–1993) — іспано-американський біохімік



§ 7.3. ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН. БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ

Застосовуємо! Найбільшу швидкість росту має один з родичів бамбука — *листоколосник їстівний* (*Phyllostachys edulis*), який у дикому вигляді зустрічається на півдні Китаю. Щодобовий приріст паростків цієї рослини досягає 40 см, тобто 1,7 см на годину. Усього за кілька місяців листоколосник виростає на 30-метрову висоту, досягаючи 50 см у діаметрі. Як пояснити такий швидкий ріст, застосовуючи знання про обмін речовин та енергії в клітинах?



ЗМІСТ

Яке біологічне значення та особливості пластичного обміну?

ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН — *це сукупність хімічних, фізичних та фізіологічних процесів, що забезпечують надходження, перетворення та видалення речовин в організмі*. Надходження поживних речовин до організму забезпечують біохімічні та біофізичні процеси мембранного транспорту (в одноклітинних) або фізіологічні процеси живлення, травлення, кровообігу (у багатоклітинних організмів). Перетворення поживних речовин відбуваються в клітинах під час анаболізму з допомогою ферментів-*синтетаз*. Анаболічні процеси виконують пластичну функцію, що полягає в утворенні власних органічних речовин: білків, ліпідів, вуглеводів та нуклеїнових кислот.

Для процесів анаболізму потрібна енергія, тобто спостерігається його *енергозалежність*. Автотрофні організми здійснюють біосинтез із неорганічних речовин (води й CO_2), використовуючи енергію світла (фотоавтотрофи) або енергію окисно-відновних хімічних реакцій (хемоавтотрофи). Гетеротрофні організми синтезують власні органічні речовин, використовуючи готові поживні речовини як джерело простих органічних сполук та енергії. Але в будь-якому разі енергія, що затрачається для процесів пластичного обміну, є хімічною енергією АТФ.

Усі живі організми потребують певних речовин та енергії АТФ для *синтезу власних органічних речовин*. Цей принцип є життєво важливим для клітини, оскільки власні органічні молекули не спричинюють імунних реакцій відторгнення.

Для процесів анаболізму характерна *етапність проходження*, що пояснюється ускладненням продуктів і використанням безпечних порцій енергії. Так, процеси фотосинтезу здійснюються у світловій та темновій фазах.

Основними шляхами синтезу органічних сполук у клітинах є: біосинтез макромолекул з малих біомолекул (біосинтез білків, полісахаридів, нуклеїнових кислот), біосинтез малих біомолекул з неорганічних сполук (фотосинтез, хемосинтез) і т. ін.

Яке значення біосинтезу білків та його першого етапу?

БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ — *сукупність процесів утворення молекул білків з амінокислот на основі інформації генів ДНК*. Біосинтез білків є основним анаболічним і дуже складним процесом, що повною мірою ілюструє зв'язок енергетичного, пластичного та інформаційного обміну в організмі. Білковий синтез потребує вихідних продуктів — амінокислот, значних затрат енергії, генетичної інформації про амінокислотний склад майбутніх білків.

Основними етапами біосинтезу білків є транскрипція, процесинг РНК, активація амінокислот, трансляція й післятрансляційна модифікація.

Транскрипція (від лат. *transcriptio* — переписування) — *переписування інформації про первинну структуру білка з молекули ДНК на мРНК, що відбувається в цитоплазмі або ядрі.* Транскрипція каталізується ферментами РНК-полімеразами.

Рівень транскрипції більшості генів чітко регулюється за допомогою специфічних білків — *чинників транскрипції*. Важливим механізмом транскрипції є нещодавно відкрите явище *РНК-інтерференції*. Ця система регуляції активності генів еукаріотичних клітин здійснюється за допомогою коротких (20–25 нуклеотидів) молекул *малих інтерферуючих РНК* (міРНК) та *мікроРНК*.

Під час утворення про-РНК одночасно відбувається її дозрівання (***процесинг мРНК***). В еукаріотів цей процес супроводжується «вирізанням» **інтронів** (неінформативних ділянок) і «зшиванням» **екзонів** (інформативних ділянок) (сплайсинг). У результаті про-РНК перетворюється на зрілу мРНК, яка надходить з ядра до цитоплазми (***експорт мРНК***).

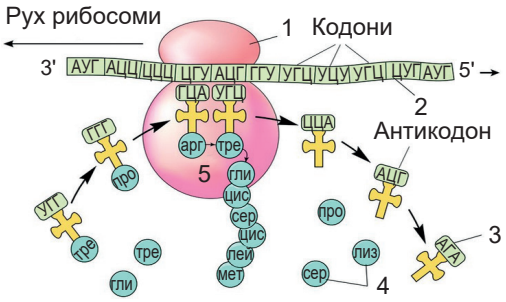
Як відбувається трансляція?

Трансляція (від лат. *translatio* — перенесення) — *це сукупність процесів, які здійснюють перетворення спадкової інформації мРНК у білок первинної структури*. Трансляція відбувається на рибосомах. З однією молекулою мРНК можуть водночас зв'язуватися кілька рибосом, утворюючи полірибосоми (полісоми). Необхідні для біосинтезу амінокислоти доставляються до рибосом молекулами тРНК. Процес поєднання цих молекул з амінокислотами називається ***активацією амінокислот***.

Трансляція починається із взаємодії рибосом з мРНК та першою тРНК, антикодон якої (УАЦ) відповідає старт-кодону мРНК — АУГ. Коли метіонінова тРНК зв'язується з мРНК, рибосома робить крок, і в її функціональному центрі опиняються два триплети. На одному з них відбувається розпізнавання наступної тРНК, а на іншому — звільнення амінокислоти від попередньої тРНК та її поєднання у ланцюг молекули білка. Далі рибосома пересувається по мРНК рівно на один

триплет, що забезпечує нарощування поліпептидного ланцюга. Це переміщення відбувається доти, доки рибосома не наблизиться до стоп-кодонів мРНК.

Після відділення від рибосом починається ***післятрансляційна модифікація*** синтезованих білків. До них приєднуються різні хімічні групи, відщеплюються невеликі фрагменти, вони набувають вторинної та третинної структур тощо. Післятрансляційна модифікація регулюється за участю білків-шаперонів.



Іл. 58. Схема трансляції молекули білка: 1 — рибосома; 2 — мРНК; 3 — тРНК; 4 — амінокислоти

Біологія + Відкриття *За відкриття механізму біосинтезу РНК і ДНК іспанський біохімік С. Очоа (1905–1993) разом із А. Корнбергом отримали Нобелівську премію (1959). Чому ці процеси є анаболічними?*



Коротко про головне

- Перетворення речовин в організмі відбуваються під час пластичного обміну, а та його сукупність процесів, що відбувається в клітинах, — це анаболізм.
- **БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ** — *це сукупність процесів утворення молекул білків з амінокислот на основі інформації генів ДНК.*
- Основними етапами біосинтезу білків є транскрипція та трансляція.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням схеми. **ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 7. Розв'язування елементарних вправ на тему: «Етапи біосинтезу білків».

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. АТФ та біосинтез білків.

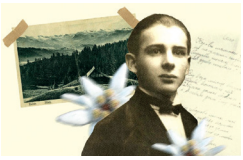
Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **БІОСИНТЕЗУ БІЛКІВ**
• *Організовує*: **ОБҐРУНТУВАННЯ** взаємозв'язку процесів біосинтезу білків
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює настанову*: про зв'язок речовин, інформації та **ЕНЕРГІЇ**

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Кросворд. БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ.
Завдання для відтворення. ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН.

Звірята й зорі, люди і рослини —
у всіх одна праматір,
природа вічна, невичерпна і невтомна,
хоч час крилатий з вітром лине...
Антонич Б.-І. (1909–1937) — український поет



§ 7.4. ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН. ФОТО- ТА ХЕМОСИНТЕЗ



Аналізуємо! Зелений колір досить часто фігурує у віршах поетів. Так, у того самого Антонича є рядки: «*...поезії кипучої і мудрої, мов зелень*», «*...завія зелені, пожежа зелені*», «*...рослинних рік підноситься зелена повінь*». Зелений колір — це колір оновлення, символ молодості, спокою, колір природи. А чому організми можуть бути зеленими?

ЗМІСТ

Які особливості фотосинтезу?

Фотосинтез — це надзвичайно складна й різноманітна сукупність процесів анаболізму. У різних організмів розрізняють три типи фотосинтезу: кисневий (з виділенням молекулярного кисню у рослин й ціанобактерій), безкисневий (за участю бактеріохлорофілів в анаеробних умовах без виділення кисню у фотобактерій) та безхлорофільний (за участю бактеріородопсинів у архей). Найпоширенішим у живій природі є кисневий фотосинтез, для якого потрібні енергія світла, вуглекислий газ, вода, ферменти та хлорофіл. Світло для фотосинтезу поглинається хлорофілом, вода надходить у клітини через пори клітинної оболонки, вуглекислий газ потрапляє до них шляхом дифузії.

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2\uparrow$$

Основними фотосинтезуючими пігментами є хлорофіли. **Хлорофіли** (від грец. *хлорос* — зелений і *філон* — листок) — *зелені пігменти рослин, за участю яких відбувається фотосинтез*. Хлорофіл поглинає сині та, частково, червоні промені видимого спектра, перетворюючи їхню світлову енергію в хімічну енергію глюкози. Зелені ж промені відбиваються від тіла рослин, потрапляють на сітківку ока людини, подразнюють колбочки і спричинюють кольорові зорові відчуття. Ось чому ми сприймаємо «зелень природи»! Окрім хлорофілів у рослин є допоміжні *каротиноїди* (поглинають сині й фіолетові промені), у ціанобактерій та червоних водоростей — *фікобіліни* (поглинають зелені й жовті промені). Зелені й пурпурні бактерії містять *бактеріохлорофіли* (поглинають сині, фіолетові, навіть інфрачервоні промені).

Фотосинтез відбувається у зелених рослин, усіх водоростей, зелених бактерій та ціанобактерій, деяких архей. Ці організми називають фотоавтотрофами. У зелених рослин фотосинтез здійснюється в хлоропластах, у ціанобактерій та фотобактерій — на внутрішніх впинаннях цитоплазматичної мембрани.

Які основні стадії та планетарне значення фотосинтезу?

У процесі фотосинтезу виділяють дві стадії — світлову і темнову фази. *Світлова стадія* фотосинтезу відбувається на внутрішніх мембранах хлоропластів за участю світла. Ця стадія розпочинається з моменту поглинання квантів світла молекулою хлорофілу. При цьому електрони атома Магнію у молекулі хлорофілу переходять на більш високий енергетичний рівень і нагромаджують потенціальну енергію. Значна частина збуджених електронів передає її іншим хімічним сполукам для утворення АТФ (***фотофосфорилювання***) та приєднання до НАДФ атома Гідрогену (***відновлення НАДФ***). Під безпосереднім впливом світла відбувається процес розкладу води — фотоліз. Під час цього процесу утворюються електрони (e^-), протони (H^+) і, як побічний продукт, молекулярний кисень. Отже, основними процесами світлової фази є: 1) ***фотоліз води***; 2) ***відновлення НАДФ***; 3) ***фотофосфорилювання***. **Світлова фаза** — *це сукупність процесів, що забезпечують утворення молекулярного кисню, атомарного водню та АТФ за рахунок світлової енергії.*

Темнова стадія фотосинтезу відбувається в міжмембранному середовищі хлоропластів. Процеси на цій стадії не залежать від світла і можуть протікати як на світлі, так і в темряві, залежно від потреб клітини в глюкозі. Основою темнової фази є циклічні реакції під назвою *цикл фіксації вуглекислого газу* (або цикл Кальвіна). У темновій фазі з вуглекислого газу, Гідрогену від НАДФ та енергії АТФ синтезується глюкоза. Реакції фіксації CO_2 каталізує *рибулозобісфосфаткарбоксилаза* (Rubisco), що є найпоширенішим ферментом на Землі. Отже, **темнова фаза** — *сукупність циклічних реакцій, які завдяки хімічній енергії АТФ забезпечують утворення глюкози з використанням вуглекислого газу як джерела Карбону та води як джерела Гідрогену.*

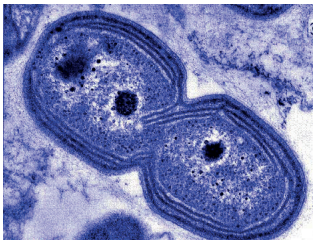
У чому полягає планетарна роль фотосинтезу? Завдяки цьому процесу світлова енергія Сонця перетворюється фотоавтотрофами на хімічну енергію вуглеводів, які синтезують первинну органічну речовину. З неї починаються ланцюги живлення, якими енергія передається гетеротрофним організмам. Тільки незначна частина енергії Сонця (1–2%) вловлюється рослинами й використовується для фотосинтезу. Весь кисень сучасної атмосфери є продуктом фотосинтезу. Формування атмосфери повністю змінило стан земної поверхні, зробило можливим появу аеробного дихання. Надалі в процесі еволюції, після утворення *озонового шару*, живі організми здійснили вихід на суходіл. Крім того, фотосинтез перешкоджає нагромадженню CO_2, захищає планету від перегріву.

Які особливості хемосинтезу?

ХЕМОСИНТЕЗ здійснюють хемоатотрофні бактерії: *нітрифікуючі* (окиснюють амоніак до нітритної, а потім до нітратної кислот), *залізобактерії* (перетворюють сполуки двовалентного Феруму на сполуки тривалентного Феруму) та *сіркобактерії* (окиснюють сірководень до сульфатів). Процеси хемосинтезу протікають аналогічно темновій фазі фотосинтезу, проте мають такі особливості як: а) здійснюються без

участі світла; б) відбуваються з використанням кисню. Джерелом активного водню для відновлення $НАДФ^+$, як і у фототрофів, є вода.

У планетарному масштабі хемосинтез становить не більше 1 % фотосинтезу, проте він має велике значення для біологічного колообігу та геохімічних перетворень. Наприклад, нітрифікуючі бактерії, які окиснюють амоніак до нітритів і нітратів, беруть участь в утворенні гірських порід, сіркобактерії утворюють вільну сірку, залізобактерії спричинюють корозію металів.



Іл. 59. Нітрифікуюча бактерія нітрозомонас (Nitrosomonas europaea)

Біологія + Хімія ❁ ***Сергій Миколайович Виноградський*** *(1856–1953) — український мікробіолог, який уперше довів, що клітини здатні створювати органічні речовини не лише за рахунок світлової енергії, а й за допомогою хімічної енергії окиснювально-відновних реакцій. Відкритий ним процес отримав назву хемосинтезу. Що таке окисно-відновні реакції?*



Коротко про головне

- **ФОТОСИНТЕЗ** — *це процес утворення в клітинах фотоавтотрофних організмів органічних сполук із неорганічних з використанням світлової енергії та участю фотосинтезуючих пігментів.*
- Основними стадіями фотосинтезу є світлова й темнова фази.
- **ХЕМОСИНТЕЗ** — *процес утворення органічних речовин із неорганічних завдяки енергії, яка вивільняється під час перетворення неорганічних речовин.*

Діяльність

Навчальне завдання. Порівняльна таблиця. **ФОТОСИНТЕЗ** та **ХЕМОСИНТЕЗ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Адаптації зелених рослин до кисневого фотосинтезу (на конкретному прикладі рослин).

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Сергій Виноградський та сіркобактерії Beggiatoa.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **ФОТО-** та **ХЕМОСИНТЕЗ**
• *Аналізує результати*: **ІНФОРМУВАННЯ** про кисневий фотосинтез зелених рослин
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* можливість отримання **ЕНЕРГІЇ** за рахунок окиснення неорганічних сполук

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Ребус «ХЕМОСИНТЕЗ».

Завдання для конструювання. ФОТОСИНТЕЗ.

Хто володіє інформацією, той володіє світом.

Вінстон Черчіль (1874–1965) — британський політик



§ 7.5. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН





Оцінюємо! **Танок бджіл** — це один із унікальних способів комунікації бджіл. За його допомогою комахи, які виявили нектар, повідомляють іншим особинам інформацію про розташування їжі, відстані до неї, кількості пилку, нектару тощо. Наукове вивчення цієї поведінки розпочав австрійський етолог Карл фон Фріш. Цікаво, як саме організовується цей потік інформації в їхньому організмі?

ЗМІСТ

Які особливості інформаційного обміну організмів?

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН — *це сукупність хімічних, фізичних та фізіологічних процесів, що забезпечують надходження, перетворення та відтік інформації в організмі*. Для організму життєво важливе значення мають як зовнішня, так і внутрішня інформація. Основними інформаційними процесами організму є *рецепція, клітинна сигналізація* та *біокомунікація*.

Перший етап інформаційного обміну в організмі пов'язаний із **рецепцією**. Це сприймання впливів найрізноманітніших подразників за участю молекулярних чи клітинних рецепторів. ***Рецептори*** **(*білки*)** — *це великі молекули, що специфічно реагують зміною просторової структури на приєднання молекули хімічної речовини* (*ліганд*) *або на фізичний стимул* (*механічний, тепловий, електричний тощо*). Такі білки розташовані на поверхні клітинної мембрани, клітинної органели, в цитоплазмі чи ядрі клітини. Внаслідок впливу чинників у клітині виникає складний процес збудження, що призводить до зміни її життєдіяльності. Здатність організмів реагувати на дію подразника називається ***подразливістю***.

На організмовому рівні сприйняття інформації відбувається за участю спеціалізованих органів (наприклад, у тварин є органи зору, слуху, бічна лінія та інші) та систем (зорова, слухова, гравітаційна сенсорні системи і та інші). У складі цих органів та систем є особливі чутливі анатомічні утвори. ***Рецептори*** **(*структури*)** — *це нервове закінчення або спеціалізована клітина, які у відповідь на подразнення створюють сигнал та відправляють його до нервових центрів для аналізу*. За розташуванням такі рецептори поділяють на зовнішні (екстерорецептори) та внутрішні (інтерорецептори). Бактерії, археї, рослини та гриби як інформаційні сигнали найчастіше використовують світло, а функцію його сприйняття виконують різноманітні фоторецепторні білки (бактеріородопсин, фітохроми). Мають ці організми

й сенсорні молекули для сприйняття тепла, холоду, вологості, гравітації, ультрафіолетових променів (наприклад, осмосенсори чи білки теплового шоку).

Біологія + Світлова інформація ❁ *До вашої уваги дуже каверзне питання. Де в ропухи зеленої (Bufo viridis) розташовані колбочки, що сприймають зелені промені видимого світла?*

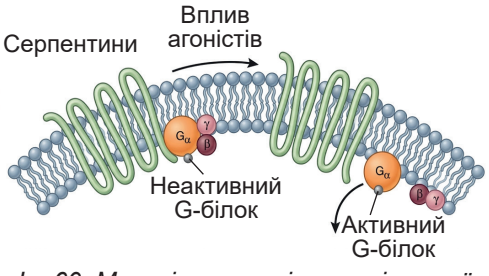


А у зелених плямах шкіри
Б на її довгому язиці
В у барабанних перетинках
Г у сітківці обох очей

Яке значення клітинної сигналізації?

Клітинна сигналізація (англ. *cell signalling*) — *це сукупність процесів, що здійснюють перехід інформації в клітинах, між клітинами та клітинами й навколишнім середовищем*. Цей прояв інформаційного обміну є фундаментальною властивістю всіх організмів. Сигналізація має значення для сприйняття інформації, подразливості, міжклітинної комунікації про- та еукаріотичних клітин.

Фізіологічні зміни внутрішнього середовища навколо клітин (зміни pH, температури, концентрації солей тощо) діють як внутрішні сигнали, що активують білки цитоплазматичних мембран — так звані «молекулярні перемикачі». Ці молекули зумовлюють перехід клітин зі стану спокою в активний стан. Першими відомими молекулярними перемикачами стали G-білки (білки, які зв'язують гуанілові нуклеотиди), відкриті 1980 року. За відкриття «G-білків та ролі цих білків у передачі сигналів у клітинах» А. Гілман та М. Родбелл отримали Нобелівську премію з фізіології та медицини (1994 рік). У 2012 році американські науковці Р. Лефковіц і Б. Кобилка стали лауреатами Нобелівської премії з хімії «за дослідження рецепторів, зв'язаних з G-білком» (англ. *G-protein-coupled receptors, GPCRs*). Це велика родина мембранних рецепторів еукаріотичних клітин, що вигинаються як змії і сім разів перетинають клітинну мембрану. Тому їх ще називають серпентинами. Ці рецептори передають впливи сигнальних молекул (гормони, нейромедіатори) всередину клітин. Їхній вплив змінює активність G-білків, що спричинює синтез вторинних посередників (наприклад, циклічний АМФ, монооксид NO) та зміну активності клітин. Таким чином регулюються сенсорні сприйняття зору, смаку, нюху, виникнення запалення, імунні реакції, регуляція поведінки організмів і т. ін.



Іл. 60. Механізм внутрішньоклітинної сигналізації

Як відбувається відтік інформації з організму?

Біокомунікація — *це спілкування між організмами одного або різних видів шляхом передачі інформації за допомогою різних сигналів*.

Передача інформації здійснюється спеціальними органами (голосовий апарат, пахучі залози) чи всім тілом (форма тіла, поза тощо), а сприйняття відбувається за допомогою органів чуття та рецепторів.

У тваринному світі найпоширенішими мовами для спілкування є *мова звуків, запахів та рухів*. За допомогою звуків тварини сповіщають про знайдену поживу, відлякують ворогів або висловлюють прості почуття. Голос дозволяє їм комунікувати у темряві або на відстані. Широко поширена серед тварин і «мова» запахів. Представники родин Котові, Куницеві, Псові «мітять» межі території, де вони мешкають. Запахи дають тварині інформацію про статеву зрілість особин, здобич, ворогів чи небезпечні місця — пастки і капкани. Багато комах обмінюються інформацією, виділяючи у повітря хімічні сполуки — феромони. Важливу роль відіграє і мова рухів. Наприклад, погрозливі чи примирливі пози собак, танці бджіл, міміка приматів суттєво впливають на поведінку особин. Існують також системи спілкування з використанням світлових (світлячки, глибоководні кальмари), електричних (електричні соми), ультразвукових (летючі миші) та інфразвукових (слони) сигналів.

Комунікація рослин охоплює передавання інформації за допомогою летких органічних сполук (наприклад, терпеноїдів), електричної сигналізації та спільних мікоризних мереж між зеленими рослинами та іншими організмами (бактеріями, тваринами, грибами).

Коротко про головне

- **ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН** — *це сукупність хімічних, фізичних та фізіологічних процесів, що забезпечують надходження, перетворення та відтік інформації в організмі.*
- **Клітинна сигналізація** є однією з найважливіших функцій, що забезпечує життєвоважливі контакти та взаємодії із середовищем.
- **Біокомунікація** як спілкування й обмін інформацією є основою будь-яких проявів поведінки організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань за схемою. **ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН**.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа. Вивчення особливостей обміну інформації тварин (на конкретному прикладі).

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Навіщо світлячки світяться?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН**
• *Оцінює результати:* **ОБҐРУНТУВАННЯ** взаємозв'язку інформаційних процесів
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: значення комунікації та зв'язок з категорією **ЕНЕРГІЯ**

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Символи дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 7. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН та...

Мета фізіології — прагнути розпізнати в життєво важливих процесах добре відомі фізичні та хімічні процеси.

З промови на церемонії нагородження Нобелівською премією (1922)

§ 7.6. ОБМІН РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ, ІНФОРМАЦІЇ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Цікаво! Першу Нобелівську премію з фізіології та медицини в галузі досліджень обміну було присуджено у 1922 році. Її розділили порівну між англійським біофізиком Арчібальдом Гіллом (1886–1977) «*за відкриття, що стосується вироблення тепла в м'язах*» та німецьким біохіміком Отто Мейєргофом (1884–1951) «*за відкриття постійного зв'язку між споживанням кисню та метаболізмом молочної кислоти в м'язах*». Цікаво, які науки займаються вивченням обміну речовин, енергії та інформації?

ЗМІСТ

Які науки займаються дослідженням обміну речовин, енергії та інформації?

Обмін речовин, енергії та інформації вивчають такі науки, як біохімія, молекулярна біологія, молекулярна генетика, фізіологія, екологія, а також відповідні розділи фізики та хімії.

Біоенергетика — це наука, що вивчає шляхи та способи перетворення енергії в біологічних системах. До найважливішими досягнень цього розділу належать: встановлення механізмів перетворення різних форм енергії (світлової, хімічної, електричної), вивчення біологічного окиснення в клітинах, а також доведення подібності енергетичних процесів у живих істот, подібності речовин (АТФ, глюкоза, молочна кислота), у яких накопичується енергія. Основою сучасної біоенергетики є біохімія, біофізика, молекулярна біологія, біологія клітини і т. ін. Особливу роль у її становленні та розвитку відіграє ***термодинаміка*** — це розділ класичної фізики, що вивчає найбільш загальні властивості систем та способи перетворення енергії згідно з основними законами фізики.

Біоінформатика — це галузь науки, яка застосовує можливості біології, інформатики та математики для дослідження біологічної інформації та її перетворень у біологічних системах. Датою виділення біоінформатики в окрему наукову галузь вважають 1980 рік. Першим чинником, що стимулював її розвиток, стала необхідність ефективного опрацювання величезних масивів даних, отриманих експериментальними методами молекулярної біології. Нині розрізняють кілька основних напрямків біоінформатики: *аналіз послідовностей інформаційних макромолекул* (вивчення нуклеотидного складу РНК і ДНК, амінокислотних послідовностей білків); *структурна біоінформатика* (передбачення вторинної і третинної структур макромолекул, дослідження міжмолекулярних взаємодій); *метаболічна біоінформатика* (дослідження метаболічних

мереж та шляхів, вивчення геномів, протеомів, метаболомів); *мережева біоінформатика* (дослідження біологічних мереж, клітинної сигналізації та міжклитинних взаємодій); *еволюційна біоінформатика* (побудова філогенетичних дерев, вивчення генного біорізноманіття).

Функціональна біохімія — це розділ біохімії, що вивчає взаємозв'язок між хімічними процесами в органах і тканинах та їхніми фізіологічними функціями. Вона досліджує, як біохімічні реакції та метаболічні шляхи впливають на роботу органів та систем організму, а також як ці процеси змінюються під впливом різних чинників.

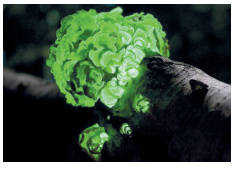
Які наукові закономірності пояснюють перетворення речовин, енергії та інформації?

Найбільш загальними законами природи є закони збереження, які стверджують, що значення певних фізичних величин не змінюється в замкненій системі з її розвитком. У фізиці та хімії ***закон збереження маси*** вказує на те, що *для будь-якої закритої системи, яка ізольована від усіх вхідних та вихідних перенесень матерії, маса системи повинна залишатися постійною з часом*. А найбільш поширене формулювання ***закону збереження енергії*** вказує на те, що *енергія може переходити з однієї форми в іншу, але не може бути ні створена, ні знищена*.

Проте біологічні системи є відкритими. Оскільки вони можуть отримувати енергію та речовини ззовні або втрачати їх, загальна кількість енергії та речовини всередині системи може змінюватися. Тому закони збереження не є прямим наслідком, але їх можна застосувати до замкнутої частини відкритої системи.

Закони збереження маси та збереження енергії були узагальнені й об'єднані в ***принцип еквівалентності маси та енергії***. Він був описаний А. Ейнштейном. Принцип передбачає, що коли маса втрачається внаслідок хімічних чи ядерних реакцій, то вивільняється відповідна кількість енергії. Енергія може вивільнятися в навколишнє середовище як світло чи як теплова енергія, а речовини — як продукти метаболізму.

Біологія + Екологія *Для біологічного світіння, наприклад у гриба панелюса (Panellus stipticus), потрібні кисень для окиснення пігменту люциферину за участю ферменту люциферази. Цікаво, чи відбуваються втрати маси чи енергії у цьому прикладі?*



Яке значення мають дослідження обміну речовин, енергії та інформації?

У *промисловості* застосовуються досягнення метаболічної інженерії, яка вивчає клітинні процеси обміну для збільшення виробництва клітиною певної речовини. Наприклад, будуються біопереробні заводи для виробництва біопалива та хімічних речовин з відновлюваної біомаси. Однією з перспективних біотехнологій є отримання енергії з водоростей, які можуть виробляти біопаливо на основі фотосинтезу.

Важливим аспектом досліджень обміну є застосування знань у галузі *охорони здоров'я*. Підтвердженням цьому є відкриття, відзначені Нобелівською премією з фізіології та медицини: ролі вітамінів в обміні

речовин (1929); регуляції обміну холестеролу, який у надлишку в організмі людини призводить до утворення жовчних каменів, відкладень (бляшок) на стінках судин й розвитку атеросклерозу (1985); щодо ролі оксиду азоту як сигнальної молекули в регуляції серцево-судинної системи (1998). Вирішальним для розробки методів лікування діабету стали дослідження обміну вуглеводів, а точніше — фізіологічних механізмів оборотного перетворення глюкози в глікоген, проведені Герті та Карлом Корі й Бернардом Усеєм (Нобелівська премія з фізіології та медицини, 1947).

У *спорті* науковим підґрунтям підготовки спортсменів, їхнього відновлення після змагань стали дослідження окиснювальних ферментів, впливу спортивних добавок (протеїни, креатин) та фармакологічних препаратів на біохімічні процеси в організмі, обміну жирних кислот тощо. Результати досліджень інформаційного обміну та процесів перетворення інформації застосовуються для діагностування захворювань за допомогою біомаркерів, у персоналізованій медицині — для визначення індивідуальних протоколів лікування.

В *екології* аналіз інформації глобального екологічного моніторингу про клімат є важливим для вивчення впливу навколишнього середовища на біорізноманіття та екосистеми.

Коротко про головне

- Обмін речовин, енергії та інформації вивчають найрізноманітніші науки, серед яких — біоенергетика, біоінформатика та функціональна біохімія.
- Дослідження обміну речовин, енергії та інформації здійснюються з урахуванням фундаментальних законів збереження, дія яких має особливості у відкритих системах.
- Дослідження обміну речовин мають найширше застосування у промисловості, екології, спорті, охороні здоров'я тощо.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. **ОБМІН РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЇ**.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань про обмін у практичній діяльності.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту одну із тем (*див. с. 274*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ОБМІН РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ, ІНФОРМАЦІЇ**
• *Застосовує навички* **ОБҐРУНТУВАННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень обміну речовин, енергії, інформації
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **ЕНЕРГІЮ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 7. ОБМІН РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ, ІНФОРМАЦІЇ та ...



Тема 8. ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК І РОЗМНОЖЕННЯ — ПРОЯВИ САМОВІДТВОРЕННЯ ОРГАНІЗМІВ

Життя — це нескінченне вдосконалення.
Георг Гегель (1770–1831) — німецький філософ



§ 8.1. ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК ОРГАНІЗМІВ





Цікаво! Маса яйцеклітини людини близько 1×10^{-6} г, а маса сперматозоона, що її запліднює, — лише 5×10^{-9} г. А ось середня маса новонародженого становить уже 3200 г. Маса дорослої людини ще більша — в середньому 64 000 г. Чому ж відбувається збільшення маси новонародженого й дорослої людини під час онтогенезу людини?

ЗМІСТ

Які процеси є основою онтогенезу організмів?

ОНТОГЕНЕЗ, або індивідуальний розвиток, є однією із найдивовижніших емерджентних властивостей організмового рівня життя. В одноклітинних організмів після їхньої появи формуються органели, відбуваються якісні зміни цитоплазми і ядра; у багатоклітинних — виникають тканини, органи, проявляються вікові зміни, статеве дозрівання, старіння, акселерація тощо. Іншими словами, упродовж розвитку будь-якого організму відбуваються спрямовані кількісні та якісні зміни, рух від нижчого до вищого, мінливість від простого до складного, що призводить до вдосконалення та появи нового. Основою цих перетворень є такі основні процеси клітинного рівня, як ріст, диференціація та інтеграція клітин.

Ріст клітин *— це процес, що забезпечує збільшення маси, розмірів, об'єму клітин завдяки переважанню процесів анаболізму.* Інтенсивність росту вища на початку онтогенезу, а потім поступово знижується і в різні періоди індивідуального розвитку вона неоднакова.

Диференціація клітин *— процес виникнення структурних і функціональних відмінностей між клітинами, в результаті чого ці клітини стають спеціалізованими для різних процесів життєдіяльності живих організмів.* Іншими словами — це утворення різних клітин із початково однорідних. Генетична інформація у клітинах залишається незмінною.

Інтеграція клітин *— це процес поєднання клітин у постійні чи тимчасові клітинні комплекси для виконання певних функцій.* У такій системі першочергову роль відіграють міжклітинні контакти. Цей процес забезпечує упорядкованість онтогенетичних змін та їхню узгодженість з подібними процесами інших клітин.

В індивідуальному розвитку організмів мають місце й інші важливі процеси, як-от ***метаболізм*** для обміну речовин та енергії, ***клітинна сигналізація*** для обміну інформації, ***клітинна адгезія*** для взаємодій

з іншими клітинами, ***комунікація клітин*** для спілкування, запрограмована загибель (апоптоз) для регуляції кількості клітин тощо.

Які закономірності онтогенезу?

Особливості онтогенезу різних організмів залежать від рівня організації, особливостей життєдіяльності, походження тощо. Так, у тварин у процесі утворення зародка виникають зародкові листки (ектодерма, ентодерма та мезодерма), з яких формуються тканини й органи. А в наземних рослин зародок має зародкові органи (зародковий корінець, стебельце й брунечка), що формуються із зародкової твірної тканини. Незважаючи на суттєві відмінності, онтогенез різних організмів має й загальні спільні закономірності.

Запрограмованість. Програма індивідуального розвитку — це закодована в генах спадкова інформація, що реалізується у взаємодії із чинниками середовища.

Детермінованість. Розрізняють три групи чинників, які визначають (детермінують) онтогенетичні зміни: *генетичні фактори, взаємодія частин зародка* (*ембріональна індукція*), *вплив зовнішніх чинників*

Нерівномірність. Основні клітинні (*диференціація, інтеграція*) й організмові (*ріст, статеве дозрівання, розмноження, регенерація, старіння*) онтогенетичні процеси здійснюються з різною інтенсивністю у різні періоди й стадії розвитку особин. Наприклад, швидкість росту організмів вища на початку онтогенезу.

Незворотність. При реалізації генетичної програми повернення до попередніх стадій онтогенезу неможливе. Хоча науковці описали вид медуз турітопсіс (*Turritopsis dohrnii*), які унікальні тим, що здатні після досягнення статевої зрілості повністю повертатися до статевонезрілої колоніальної стадії розвитку.

Періодичність. Основними періодами онтогенезу організмів є *ембріональний* (зародковий) та *постембріональний* (післязародковий).

Цікавими є й окремі еволюційні закономірності онтогенезу.

Ембріонізація. Сутність явища у перенесенні частини стадій розвитку під захист материнського тіла або спеціальних захисних оболонок (яйця чи насінини). У наземних рослин (*Embryophyta*) ембріонізація полягає у формуванні зародка в насінині, яка має захисну насінну шкірку та запас поживних речовин для розвитку зародка. У тварин за особливостями ембріонізації розрізняють три типи онтогенезу: личинковий, яйцекладний та внутрішньоутробний. *Личинковий онтогенез* характерний для тварин, які відкладають дрібні яйця з невеликою кількістю жовтка (губки, жалкі, ракоподібні, променепері риби, амфібії). Після переходу до утворення яєць з більшим вмістом жовтка виникає *яйцекладний онтогенез* (головоногі молюски, акули, рептилії, птахи). Зародки цих тварин упродовж тривалого часу перебувають під захистом яйцевих оболонок і використовують запаси їжі з яйця. *Внутрішньоутробний онтогенез* характерний для тварин, у яких зародок розвивається під захистом тіла іншого організму. Це явище супроводжується подрібненням яєць, формуванням адаптацій, які забезпечують розвиток зародка за рахунок іншого організму. Наприклад, живородні скати чи акули мають пальцеподібні відростки стінок матки (трофонеми); у жаб є приклади,

коли пуголовки розвиваються в роті батька, у шлунку матері або на шкірі спини; в плацентарних ссавців розвивається плацента.

Автономізація. Процес скорочення детермінуючого значення чинників зовнішнього середовища, який веде до виникнення відносної стійкості розвитку, називається *автономізацією онтогенезу*. Організми зі складнішою організацією є менш чутливими до зовнішніх впливів, оскільки мають ефективні внутрішні механізми регуляції функцій.

Біологія + Екологія ✿ *У **жаби-повитухи** (Alytes obstetricans) (1) самці носять ікру на задніх лапках; у **шлунково-виводкової жаби** (Rheobatrachus silus) (2) ікра розвивається у шлунку самиці, а у самців **жаби-носорога** (Rhinoderma darwinii) (3) ікра розвивається у горловому мішку ротової порожнини. Самиці **піпи суринамської** (Pipa pipa) (4) виношують яйця на шкірі своєї спини. Цікаво, чому в амфібій такі різні прояви ембріонізації?*









Коротко про головне

- **ОНТОГЕНЕЗ** (від грец. *ontos* — те, що існує, *genesis* — походження) — *це індивідуальний розвиток окремої особини від її зародження і до завершення життя*.
- Найзагальнішими закономірностями онтогенезу різних організмів є: *запрограмованість, детермінованість, нерівномірність, незворотність, періодичність, ембріонізація та автономізація*. У тварин за особливостями ембріонізації розрізняють три типи онтогенезу: личинковий, яйцекладний та внутрішньоутробний.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ОНТОГЕНЕЗ**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Типи онтогенезу тварин.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **РОЗВИТОК**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Визначає*: основне поняття **ОНТОГЕНЕЗ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо відмінностей типів індивідуального розвитку тварин
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **РОЗВИТОК**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 275*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку особистісної схильності до творчості (на основі опитувальника Г. Девіса).

Завдання для прогнозування. Розвиток організмів.

Розвиток починається одразу після запліднення з досить тривалого періоду поділу клітин.

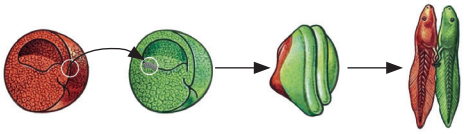
Ганс Шпеман (1869–1941) — німецький ембріолог, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини



§ 8.2. ЕМБРІОГЕНЕЗ

Усвідомлюємо! Для своєї докторської дисертації Хільде Мангольд (1898–1924) в одній з численних серій експериментів взяла із зиготи тритона звичайного (*Lissotriton vulgaris*) крихітний фрагмент тканини та пересадила його на ембріон тритона іншого виду — гребінчастого (*Triton cristatus*). І результат був разючим: із пересадженого шматочка розвинулася нова вісь тіла з усіма допоміжними структурами, і виникли два зародки, що зрослися між собою в ділянці черевця. Так було відкрито групу клітин на стадії гаструли, яку назвали «організатором Шпемана-Мангольд». Цікаво, як такий маленький шматочок тканини може програмувати розвиток зародків?





ЗМІСТ

Як відбувається розвиток зародків?

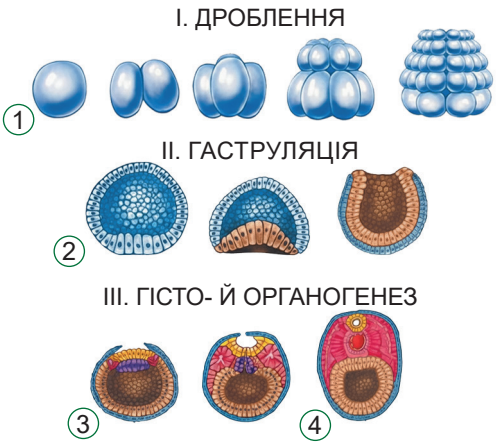
Загальними процесами зародкового розвитку, або **ЕМБРІОГЕНЕЗУ** рослин і тварин є: 1) мітотичні поділи зиготи; 2) диференціація клітин; 3) утворення тканин (гістогенез) й органів (органогенез); 4) утворення зародка, або ембріона. Центральною гіпотезою, що пояснює цю послідовність подій, є ***гіпотеза диференціальної активності генів***. Усі клітини мають певний набір генів, властивий організму, але експресія цих генів регулюється так, що різні клітини синтезують різні білки, які й визначають особливості клітин.

На різних етапах ембріогенезу активність генів залежить як від внутрішніх, так і від зовнішніх чинників (зміни температури, їжа тощо). На початкових етапах розвитку між клітинами, що утворюються із зиготи, виникають відмінності в складі цитоплазми (*цитоплазматичний розподіл*). На пізніших етапах ембріогенезу вступає в дію *ембріональна індукція* — явище взаємодії між частинами зародка, завдяки чому одна із них визначає напрямок розвитку сусідньої. За відкриття організуючих ефектів ембріонального розвитку німецький ембріолог Г. Шпеман і отримав Нобелівську премію. На всіх етапах розвитку організмів велике значення має регуляція процесів за допомогою *гормонів*. Так, значна кількість змін під час непрямого розвитку амфібій відбувається під впливом тироксину.

Які основні стадії зародкового розвитку рослин і тварин?

Ембріогенез рослин (на прикладі насінних) має такі стадії, як: 1) утворення із зиготи клітин зародкової твірної тканини; 2) утворення

зародкових органів — корінця й пагінця; 3) формування насінини. Початкові етапи відбуваються в насінних зачатках жіночих шишок або маточці квітки, а підсумковим результатом є насінина, що містить зародок та запас поживних речовин. Утворення постійних тканин, вегетативних і генеративних органів насінних рослин буде відбуватися вже після проростання насінин.



Іл. 61. Схема ембріогенезу ланцетника: 1 — зигота; 2 — бластула; 3 — гаструла; 4 — нейрула

Ембріогенез тварин (на прикладі хордових) об'єднує стадії дроблення, гаструляції та органогенезу. ***Дроблення*** *— це ряд послідовних мітотичних поділів зиготи з утворенням одношарової стадії —* ***бластули***. Основним клітинним механізмом розвитку на цьому етапі є *поділ клітин*, що відбувається дуже швидко. Кількість клітин-бластомерів збільшується внаслідок мітозу, але ріст відсутній. ***Гаструляція*** *— це процес формування двошарового або тришарового зародка —* ***гаструли***. Ріст клітин під час гаструляції не відбувається. Основною особливістю стадії є *міграція клітин*, завдяки чому утворюються *зародкові листки*: зовнішній — *екто*дерма, внутрішній — *ентодерма* та середній — *мезодерма*.

Гістогенез і органогенез *— це утворення тканин та органів*. Здійснюються ці процеси завдяки *диференціації клітин*. У зародка тварин із зародкових листків формуються епітеліальні, сполучні, м'язові та нервова тканини, які утворюють органи. Одним із важливих ембріональних процесів хордових на цій стадії є нейруляція — утворення зародка (нейрули), який має хорду й нервову трубку.

Таблиця. ЗАРОДКОВІ ЛИСТКИ І ЗАКЛАДАННЯ ОРГАНІВ

Назва	Структури зародка, що виникають
Ектодерма	Нервова тканина, органи чуттів, епідерміс шкіри, передня та задня кишка
Ентодерма	Хорда, плавальний міхур, травні залози, легені, внутрішні зябра тощо
Мезодерма	Скелет, м'язи, кровоносна система, статева і видільна системи, дерма шкіри

Велику роль при органогенезі відіграють міжклітинні взаємодії та вплив гормонів, що «вмикають» чи «вимикають» певні гени. По завершенні органогенезу зародок містить органи, притаманні дорослому організмові.

Біологія + Біорізноманіття ✿ *Ланцетник — важливий модельний організм для розуміння еволюції хребетних. До якого типу тварин належать ці організми?*



Яке значення стовбурових клітин в ембріональному розвитку?

Стовбурові клітини зустрічаються в усіх багатоклітинних організмів. Існують дві категорії стовбурових клітин: ембріональні стовбурові клітини, що походять безпосередньо від бластомерів, та стовбурові клітини дорослого організму, які є у зрілих тканинах. У зародків *ембріональні стовбурові клітини* диференціюються в зародкові листки (екто-, ento- та мезодерму). *Стовбурові клітини дорослого організму* діють як репараційна система, підтримуючи потрібну кількість спеціалізованих клітин. Стовбурові клітини подібні до бригади швидкої медичної допомоги, яка може долати великі відстані до ушкодженого місця. Вони мають здатність не лише переміщуватися, а й знаходити та усувати пошкодження різних органів і тканин. За здатністю до диференціації стовбурові клітини поділяють на тоти-, плюри-, мульти- та уніпотентні. ***Тотипотентні клітини*** здатні давати початок усім тканинам тіла і цілому організму (наприклад, зигота та клітини морули), ***плюрипотентні*** — можуть диференціюватись у будь-який із типів клітин, але новий організм із них утворитися вже не може (наприклад, ембріональні стовбурові клітини), ***мультипотентні*** — мають потенціал активації генів для диференціації в окремі типи клітин (наприклад, гемопоетичні стовбурові клітини), а ***уніпотентні*** здатні розвиватися в клітини лише одного типу.

Коротко про головне

- **ЕМБРІОГЕНЕЗ,** або зародковий розвиток — *це період онтогенезу від зиготи до народження, що визначається спадковою інформацією у взаємодії з чинниками зовнішнього середовища.*
- Основними стадіями ембріонального розвитку тварин дроблення, гаструляція та гісто- й органогенез
- **Стовбурові клітини** — *неспеціалізовані клітини, здатні до необмеженого поділу, що дають початок новим клітинам.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **ЕМБРІОГЕНЕЗ.**

Розвивальне завдання. Практична вправа. Вивчення ембріогенезу хордових (на прикладі ланцетника).

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Стовбурові клітини та ембріогенез.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ЕМБРІОГЕНЕЗУ**
• *Формулює очікувані результати:* для **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про відмінності ембріогенезу тварин
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про співвідношення таких понять як «стовбурові клітини», «ембріогенез» та **РОЗВИТОК**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Метод емпатії».

Завдання для розпізнавання. Ембріональний розвиток.

Дрозофіла відкрила нам деякі зі своїх найпотаємніших секретів і хитрощів розвитку від одноклітинної яйцеклітини до складної живої істоти надзвичайної краси та гармонії.



Крістіане Нюсслайн-Фольхард (1942) — німецька біологиня розвитку, лауреатка Нобелівської премії з фізіології та медицини (1995)

§ 8.3. ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ





Усвідомлюємо! «*На початку життя щойно запліднена яйцеклітина ділиться і стає двома клітинами, потім чотирма, вісьмома тощо. Спочатку всі клітини однакові. Однак пізніше вони спеціалізуються, і те, що стане відповідно головою та хвостом, а також передньою та задньою частинами, незабаром стає очевидним. Ця поступова спеціалізація регулюється генами!*» (З презентаційної промови на церемонії нагородження Нобелівською премією 1995 року).

ЗМІСТ

Які закономірності післязародкового розвитку організмів?

Найзагальніші закономірності онтогенезу мають місце і в постембріогенезі.

Запрограмованість. Ключову роль у здійсненні та організації післязародкового розвитку відіграють гени та генні регуляторні мережі. Їхні «програмні інструкції» здійснюють функціонально важливі білки, серед яких: *інтегрини* (клітинна адгезія та взаємодія між клітинами), *чинники росту* (ріст та диференціація клітин), *серпентини* (міжклітинна сигналізація), *каспази* (ферменти апоптозу клітин) та ін.

Детермінованість. Із трьох груп детермінуючих чинників більшого значення для постембріогенезу набувають впливи зовнішніх чинників, оскільки організми після народження чи проростання починають самостійний спосіб життя, у них формується здатність до розмноження, вони частіше опиняються у різних умовах середовища.

Нерівномірність. Визначальними процесами постембріональних змін є: диференціація та інтеграція клітин, мітотичний та мейотичний клітинні поділи, ріст клітин та його регуляція, незапрограмована (некроз) та запрограмована загибель (апоптоз) клітин, формування тканин та органів. Усі ці процеси здійснюються з різною інтенсивністю у різні періоди розвитку та зазнають впливу чинників середовища. Наприклад, нестача поживних речовин сповільнює ріст клітин, а висока температура викликає некроз клітин.

Періодичність постембріональних змін проявляється наявністю певних етапів і послідовністю певних подій. Наприклад, у квіткових рослин розрізняють етапи *проростка*, *молодості*, *зрілості*, *старіння*. Утворення тканин та органів відбувається після проростання насінини. Постембріогенез хордових тварин має *нестатевозрілий етап*, *етап статевого дозрівання*, *статевозрілий етап* та *етап старіння*.

Тканини й органи організму закладаються ще в ембріогенезі, а в постембріогенезі — ростуть і поновлюються.

Незворотність. Організми не можуть «повернутися» до пройдених етапів постембріогенезу через незворотні зміни, які відбуваються під час старіння. Ці зміни проявляються через накопичення пошкоджень важливих інформаційних молекул, порушень клітинних процесів метаболізму, зменшення здатності до регенерації тощо.

Які типи постембріогенезу у тварин?

За особливостями змін розрізняють прямий і непрямий типи постембріогенезу.

Прямий постембріогенез — *розвиток, коли щойно народжена тварина загалом нагадує дорослу.* Характерний для деяких жалких (гідри), ракоподібних, павуків, хрящових риб, рептилій, птахів, ссавців. Біологічне значення полягає в тому, що зменшується вразливість народженої тварини у середовищі життя.

Непрямий постембріогенез — *розвиток з утворенням личинки.* Відомий у багатьох жалких, плоских червів, нематод, крилатих комах, більшості молюсків, променеперих риб, амфібій. Біологічне значення непрямого розвитку полягає у: а) зменшенні конкуренції за їжу; б) раціональному використанні місць проживання; в) розселюванні; г) забезпеченні зараження організмів-хазяїв. Розрізняють два види непрямого постембріогенезу:



Іл. 62. Непрямий постембріогенез: 1 — з повним перетворенням (кропив'янка); 2 — з неповним перетворенням (клоп-москалик)

- *непрямий розвиток з повним перетворенням* — це розвиток личинки, який супроводжується перебудовою всіх її органів і систем (ряди комах: твердокрилі, лускокрилі, променепері риби, амфібії); у комах цей розвиток має стадії: яйце — личинка — лялечка — доросла стадія (імаго);
- *непрямий розвиток з неповним перетворенням* — це розвиток личинки, яка має спільні риси будови з дорослими особинами і перетворення зачіпає окремі органи (ряди комах: прямокрилі, напівтвердокрилі); у комах має стадії: яйце — личинка — імаго.

Біологія + Сільське господарство ❁ ***Бронзівка волохата,*** *або оленка волохата* (*Tropinota hirta*) — *це комаха, яка є шкідником багатьох рослин. Називаю особливості постембріонального розвитку цієї комахи.*



Що таке біологічне старіння?

Біологічне старіння — це універсальне біологічне явище, що проявляється процесами поступової втрати життєво важливих функцій організму. З'являються біологічні ознаки старіння на всіх рівнях орга-

нізації живих істот: *молекулярному* (наприклад, порушення репарації й реплікації ДНК, зміни експресії генів); *клітинному* (наприклад, зменшення вмісту води, мітохондріальна дисфункція); *тканинному* (наприклад, втрата колагену); *на рівні органів* (наприклад, порушення функцій органів); *організмовому* (наприклад, дисбактеріоз та порушення складу мікробіоти). Наслідком старіння є втрата здатності до розмноження та регенерації, зменшення плідності, збільшення смертності, зниження адаптаційних можливостей, підвищення ризику захворювань.

Ознаки старіння людини	
1	геномна нестабільність
2	виснаження теломер
3	епігенетичні зміни
4	втрата протеостазу
5	порушення макроаутофагії
6	порушення у засвоєнні поживних речовин
7	мітохондріальна дисфункція
8	клітинне старіння
9	виснаження стовбурових клітин
10	змінена міжклітинна комунікація
11	хронічне запалення
12	дисбактеріоз

Цікаво, що науці відомі організми, що за природніх умов майже не старіють. Наприклад, гідра звичайна, медуза *Turritopsis dohrnii*, молюск *Arctica islandica*, акула гренландська, голий землекоп, черепахи, лобстери та інші.

Існує багато різних гіпотез, що пояснюють старіння організмів: *молекулярно-генетичні, теломерна, вільних радикалів, апоптозу, накопичення мутацій, старіння стовбурових клітин* тощо.

Коротко про головне

- **ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ** (від лат. *post* — після і грецького *embrio* — зародок) — *це післязародковий період, який триває від народження до загибелі.*
- За особливостями змін розрізняють прямий і непрямий типи постембріогенезу.
- **Біологічне старіння** — це поступове погіршення функціональних характеристик організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 8. Вивчення постембріогенезу комах.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Причини та ознаки старіння людини.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗУ**
• *Організовує*: **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про особливості непрямого постембріогенезу комах
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: закономірність старіння та зв'язок цього явища з категорією **РОЗВИТОК**

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа «Словесна тріада».

Завдання для відтворення. ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ.

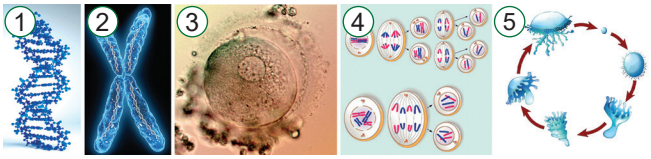
Прагнення змішувати гени для створення найсильнішого, найшвидшого чи найефективнішого представника виду спонукало всі живі істоти еволюціонувати, адаптуватися та виживати.

Олівія П. Джадсон (нар. 1970) — британська біологиня та наукова журналістка



§ 8.4. РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ

Аналізуємо! Розглядаємо ілюстрації та формулюємо аналітичний висновок щодо організації процесів розмноження.

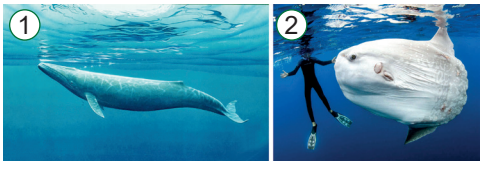


ЗМІСТ

Які особливості розмноження організмів?

Здатність організмів до розмноження є проявом такої універсальної властивості живого як самовідтворення. Її фундаментальний характер пояснюється подібністю процесів на кожному з рівнів організації живої істоти.

Спадкова інформація відтворюється завдяки процесу реплікації ДНК, транскрипція й трансляція є етапами утворення необхідних для розмноження білків (*молекулярний рівень*). Розмноження організовується завдяки поділу клітин. Після мітозу чи мейозу виникають нестатеві диплоїдні або статеві гаплоїдні клітини, які й передають нащадкам генетичну інформацію (*клітинний рівень*). Розмноження живих істот пов'язане з участю спеціалізованих органів, виникненням репродуктивних систем, формуванням статі (*організмовий рівень*). *На популяційно-видовому рівні* відтворення видів пов'язане із стратегіями розмноження. Ці дві головні стратегії відомі як, відповідно, *K*-стратегія (відтворення незначної кількості нащадків) і *R*-стратегія (репродукція великої кількості нащадків). Прикладом *K*-стратегів у тваринному світі є, наприклад, синій кит (*Balaenoptera musculus*) — найбільша тварина на Землі, самки яких народжують одне маля в два роки упродовж 40–45 років життя. «Найвидатнішим R-стратегом» тваринного світу є риба-місяць (*Mola mola*) — найбільший за масою із відомих променеперих риб і найплодовитіша риба у світі (одна самиця може відкладати до 300 млн ікринок).



Іл. 63. Синій кит (1) та риба-місяць (2)

Які особливості форм розмноження?

Нестатеве розмноження — *це відтворення собі подібних за участю нестатевих клітин*. Перевагою такого розмноження у тварин є те, що

воно відбувається без затрат енергії на пошуки партнера протилежної статі. Але нестатеве розмноження має й великий недолік — подібність нащадків. Якщо середовище існування організмів з нестатевим розмноженням зміниться, то подібним організмам одного виду з однаковими пристосуваннями загрожує загибель. Тому нестатева форма розмноження відбувається за сприятливих умов існування для швидкого збільшення кількості подібних нащадків за короткий проміжок часу. Основними способами нестатевого розмноження є *поділ навпіл* (бактерії, археї), множинний поділ (малярійний плазмодій, форамініфери), *спороутворення* (зелені водорості, наземні спорові рослини), *фрагментація* (нитчасті зелені водорості, багатощетинкові черви, морські зірки) та *брунькування* (дріжджеві гриби, губки, гідра, коралові поліпи).

Статеве розмноження — *це відтворення собі подібних за участю статевих клітин*. Ці клітини містять гаплоїдний набір інформації, оскільки у статевому розмноженні, зазвичай, беруть участь дві батьківські особини. Обов'язковою умовою статевого розмноження є зустріч гамет та їхнє злиття — запліднення, що супроводжується утворенням повного й необхідного для розвитку нового організму набору спадкової інформації. Гамети, що утворюються чоловічою особиною, називаються сперматозоонами (сперміями — у наземних спорових та насінних), а жіночі гамети — яйцеклітинами. Статеве розмноження має свої переваги, оскільки нові особини успадковують ознаки обох батьківських особин і тому мають можливості краще пристосовуватися до навколишнього середовища.

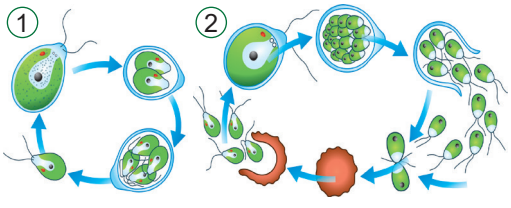
Основними способами статевого розмноження є *поліембріонія* — розвиток кількох зародків з однієї зиготи (їздці, броненосці, тюльпани), *партеногенез* — розвиток організмів із незапліднених яйцеклітин (бджоли, мурахи, попелиці, банани, цитрусові), *гермафродитизм* — чоловічі та жіночі гамети розвиваються в одному організмі (плоскі та малощетинкові черви, п'явки), *роздільностатевість* — чоловічі особини утворюють сперматозоони, жіночі — яйцеклітини (хребетні, одно- й дводомні рослини).

Біологія + Біорізноманіття *Dasypus novemcinctus — це вид ссавців, представники якого проживають в Південній Америці, мають панцир з дев'яти твердих смуг, довгий липкий язик для споживання мурах й термітів. Називаю його.*



Що таке життєві цикли?

Життєвий цикл (*цикл відтворення*) об'єднує стадії розвитку організмів, які з послідовною закономірністю змінюють одна одну. Обов'язковою подією життєвого циклу будь-якого виду організмів є розмноження. Розрізняють прості та складні життєві цикли.

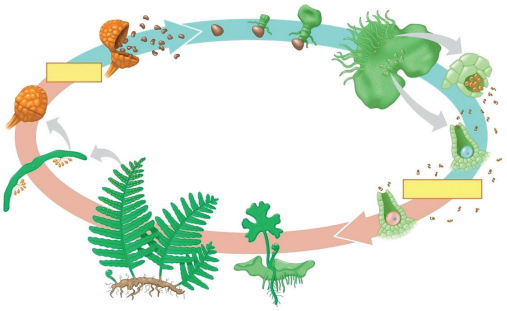


Іл. 64. Простий життєвий цикл хламідомонади

Простий життєвий цикл — це цикл, за якого усі стадії роз-

витку не відрізняються одна від одної. За простого життєвого циклу всі покоління не відрізняються одне від одного (гідра, малощетинкові кільчаки, хрящові риби, плазуни, птахи, ссавці).

Складний життєвий цикл — цикл розвитку, за якого всі покоління відрізняються одне від одного або відбуваються складні перетворення організму. *Чергування поколінь* — закономірна зміна статевого і одного або кількох нестатевих поколінь. Характерною особливістю розвитку багатьох рослин є чергування нестатевого (спорофіт) та статевого (гаметофіт) поколінь. **Гаметофіт** — *це статеве гаплоїдне покоління, яке має органи статевого розмноження — гаметангії та утворює статеві клітини — гамети*. Гаметангії бувають двох видів: архегонії (жіночі) та антеридії (чоловічі). **Спорофіт** — *диплоїдне нестатеве покоління, яке має органи нестатевого розмноження – спорангії, в яких утворюються спори*.



Іл. 65. Складний життєвий цикл папороті

Коротко про головне

- **РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ**, або **РЕПРОДУКЦІЯ** — *сукупність рівнево організованих процесів, що забезпечують відтворення організмів та спадкоємність поколінь для безперервності існування біологічного виду.*
- Розрізняють дві форми розмноження організмів: нестатеве та статеве.
- **Життєвий цикл** — *сукупність стадій розвитку, які з послідовною закономірністю змінюють одна одну.*

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань за схемою. **РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Порівняльна характеристика нестатевого та статевого розмноження.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Розмноження і розвиток квіткової рослини.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ**
• *Аналізує результати*: **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо відмінностей форм розмноження
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* взаємозв'язок між розмноженням організмів та категорією **РОЗВИТОК**

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку творчої уяви «Зменшення».
Завдання для конструювання. РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ.

Omnis cellula e cellula.

Рудольф Вірхов (1821–1902) — німецький вчений, один із основоположників клітинної теорії



§ 8.5. ПОДІЛ КЛІТИН ЯК ОСНОВА РОЗМНОЖЕННЯ





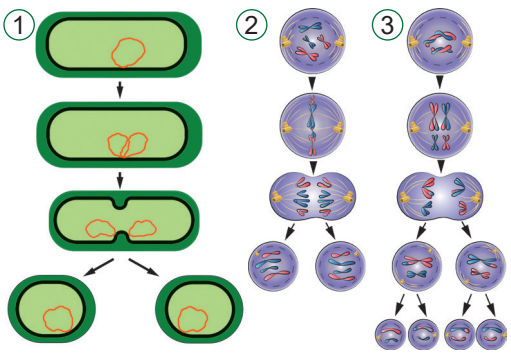
Оцінюємо! «*Кожну секунду в нашому тілі сотні мільйонів маленьких балерин сходяться й розходяться, розташовуються в ряд й розбігаються в різні сторони, немовби танцюристи на балі, які виконують складні па старовинного танцю. Цей танець — найдавніший на Землі. Це танець життя*», — так описував це явище американський генетик Г. Д. Меллер (1890–1967). Про який танець йдеться та яке його значення для організмів?

ЗМІСТ

Яке значення поділу клітин?

Генетична інформація від одного покоління клітин до наступного передається під час поділу клітин за допомогою молекул ДНК, які подвоюються й розподіляються між новими клітинами. Цей упорядкований розподіл і є «танцем життя». Самовідтворення клітин шляхом поділу є основою для росту, регенерації, нестатевого й статевого розмноження, індивідуального розвитку організмів.

Поділ прокаріотичних клітин відносно простий, оскільки нуклеоїд — це одна кільцева молекула ДНК. Ця «бактеріальна хромосома» перед поділом самоподвоюється, обидві молекули ДНК прикріплюються до плазматичної мембрани і розподіляються. Таке самовідтворення клітин називається ***бінарним поділом***, що відбувається за сприятливих умов дуже швидко (через кожні 20–30 хвилин). Поділ навпіл забезпечує нестатеве розмноження бактерій та архей.



Іл. 66. Основні типи поділу клітин: 1 — бінарний поділ; 2 — мітоз; 3 — мейоз

Поділ еукаріотичних клітин ускладнений наявністю ядра, більшою кількістю молекул ДНК, диплоїдним набором хромосом та складнішими процесами рекомбінації генетичного матеріалу. Для того, щоб спадкова інформація упорядковано розподілилася між дочірніми клітинами, потрібна злагоджена діяльність багатьох ферментів, клітинних структур й процесів. Основними типами поділу еукаріотичних клітин є ***мітоз*** та ***мейоз***.

Як відбувається мітотичний поділ клітин?

Клітинний цикл — *це період існування еукаріотичної клітини від одного поділу до іншого або до загибелі клітини*. Тривалість цього періоду відрізняється у різних клітин. Є клітини, що не здатні до поділу, і їхній клітинний цикл збігається з тривалістю їхнього життя. Для більшості клітин кількість клітинних циклів обмежена. Вони запрограмовані на певну кількість поділів, після яких гинуть. Клітинний цикл складається з інтерфази і мітозу.

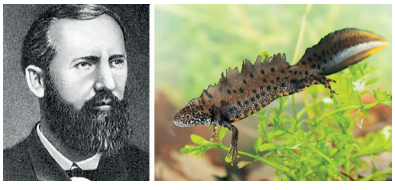
Інтерфаза — *це період між поділами клітини або від поділу клітини до її загибелі*. Тривалість інтерфази, зазвичай, становить до 90 % часу всього клітинного циклу. Саме в цьому проміжку відбувається ріст клітин, реплікація ДНК, синтез органічних сполук, розмноження мітохондрій, накопичення енергії. Основною ознакою інтерфазних клітин є неущільнений (деконденсований) стан хроматину. Інтерфаза складається з трьох етапів: передсинтетичного (G_1-фаза), синтетичного (S-фаза) і постсинтетичного (G_2-фаза). Після інтерфази відбувається **МІТОЗ**, під час якого з однієї материнської клітини утворюється дві дочірні клітини з таким самим набором хромосом. Мітоз умовно поділяють на 4 фази.

Таблиця. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ МІТОЗУ

Назва фази	Основні процеси
Профаза	Фаза конденсації (ущільнення) двохроматидних хромосом
Метафаза	Фаза розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини в один ряд
Анафаза	Фаза розходження однохроматидних хромосом до полюсів
Телофаза	Фаза деконденсації однохроматидних хромосом («профаза навпаки»)

Біологічне значення мітозу: 1) забезпечує точний розподіл спадкового матеріалу між двома дочірніми клітинами; 2) забезпечує сталість каріотипу при нестатевому розмноженні; 3) лежить в основі нестатевого розмноження, регенерації та росту організмів.

Біологія + Наука *Петро Іванович Перемежко — український гістолог, який під час досліджень росту хвоста цієї тварини відкрив та описав мітоз незалежно від В. Флеммінга. Називаю тварину-«співавтора» відкриття мітозу тваринних клітин.*



Яке біологічне значення та які особливості мейозу?

МЕЙОЗ (від грец. *meyosis* — зменшення) — *це поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються дочірні клітини з удвічі меншим набором хромосом*. Мейоз є одним із найважливіших біологічних явищ, що: 1) забезпечує рекомбінацію спадкового матеріалу; 2) підтримує сталість каріотипу під час статевого розмноження; 3) утворює гамети для статевого розмноження; 4) формує мейоспори для нестатевого розмноження наземних рослин; 5) забезпечує відновлення пошкоджень ДНК. Мейоз має ряд принципових відмінностей:

- відбувається у 2 послідовних етапи — Мейоз I та Мейоз II, кожний з яких складається з 4 фаз: профази, метафази, анафази і телофази;
- стан спадкової інформації після Мейоз I видозмінений завдяки *рекомбінації ДНК*;
- загальним результатом мейозу є утворення з однієї материнської клітини чотирьох дочірніх клітин з гаплоїдним набором однохроматидних хромосом.

Таблиця. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ МЕЙОЗУ

Назва фази	Основні процеси
I ЕТАП — редукційний поділ, або МЕЙОЗ I	
Профаза I	Фаза конденсації двохроматидних хромосом. Особливістю є *кон'югація* і *кросинговер*, що забезпечують ***рекомбінацію ДНК***
Метафаза I	Фаза розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини в два ряди
Анафаза I	Фаза розходження двохроматидних хромосом до полюсів клітин
Телофаза I	Фаза деконденсації двохроматидних хромосом і формування 2 гаплоїдних клітин
II ЕТАП — екваційний поділ, або МЕЙОЗ II	
Профаза II	Фаза конденсації двохроматидних хромосом
Метафаза II	фаза розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини
Анафаза II	фаза розходження однохроматидних хромосом до полюсів клітин
Телофаза II	фаза деконденсації однохроматидних хромосом

Коротко про головне

- **ПОДІЛ КЛІТИН** — *це сукупність процесів, завдяки яким генетична інформація батьківської клітини передається наступному поколінню дочірніх клітин.*
- **МІТОЗ** (від грец. *mitos* — нитка) — *це поділ еукаріотичних клітин з утворенням двох дочірніх клітин з таким самим набором хромосом, що й материнської клітини.*
- **МЕЙОЗ** (від грец. *meyosis* — зменшення) — *це поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються дочірні клітини з удвічі меншим набором хромосом.*

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням схеми. **ПОДІЛ КЛІТИН**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Порівняння мітозу та мейозу.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Життєвий цикл жаби.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ПОДІЛ КЛІТИН**
• *Оцінює результати:* **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про подібність та відмінності мітозу і мейозу
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: зв'язок поділу клітин з **РОЗВИТКОМ**

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Герої дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 8. ПОДІЛ КЛІТИН та ...

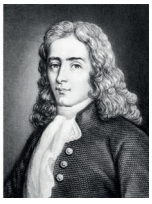
Щаслива та людина, яка здатна розпізнати причини явищ…

Вергілій (70 до н. е. – 19 до н. е.) — найвидатніший давньоримський поет, автор епосу «Енеїда»



§ 8.6. ОНТОГЕНЕЗ, РОЗМНОЖЕННЯ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ





Цікаво! «*Гідра є «суперзіркою регенерації» вже понад 200 років. У минулому швейцарський вчений Абрахам Трамбле виявив, що прісноводні поліпи можуть регенерувати нижній та верхній полюси тіла, і, якщо їх розрізати на кілька частин, — усі вони регенерують з утворенням нових особин. Чому гідра так добре регенерує? І чому одні тварини мають надзвичайну здатність до саморегенерації, а інші ні?*» (З наукової статті). Цікаво, яка наука займається дослідженнями закономірностей онтогенезу?

ЗМІСТ

Які основні завдання біології розвитку?

Закономірності індивідуального розвитку організмів вивчає **БІОЛОГІЯ РОЗВИТКУ** (англ. *Developmental biology*). Предметом досліджень цієї науки є гаметогенез, ембріогенез, постембріогенез, життєві цикли, статеве дозрівання, ріст, старіння, акселерація тощо. Серед основних завдань біології розвитку виокремлюють дослідження таких процесів, як: реалізація генетичної інформації, диференціація клітин, міжклітинна комунікація й сигналізація, клітинна адгезія та регенерація. Біологія розвитку — це комплексна наука, що інтенсивно використовує сучасні методи молекулярної генетики, біохімії, біофізики, біоінформатики.

Багато фундаментальних закономірностей біології розвитку відкрито зовсім нещодавно — наприкінці XX століття. Серед них — відкриття, відзначені Нобелівськими преміями з фізіології та медицини: *організуючі ефекти ембріогенезу* (Г. Шпеман, 1935), *генетичний контроль на ранніх стадіях ембріогенезу* (Е. Льюїс, К. Нюсляйн-Фольгард та Е. Вішаус, 1995), *регуляція клітинного циклу* (Л. Гартвелл, Т. Гант, П. Нерс, 2001), *генетична регуляція розвитку людських органів і «запрограмованої» загибелі клітини* (С. Бренер, Р. Горвіц, Дж. Салстон, 2002), *отримання індукованих стовбурових клітин* (Д. Гердон, С. Яманака, 2012).

Досягнення біології розвитку тісно пов’язані з модельними організмами, серед яких: гідра звичайна (*Hydra vulgaris*), планарія (*Schmidtea mediterranea*), морський їжак, шпоркова жаба гладенька (*Xenopus laevis*), тритон гребінчастий (*Triturus cristatus*), курячі ембріони різних стадій розвитку, миша хатня (*Mus musculus*), нематода (*Caenorhabditis elegans*), променепері риби даніо-реріо (*Danio rerio*) тощо.

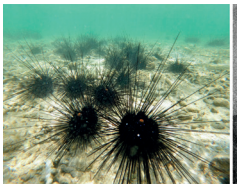
Які основні закономірності розмноження організмів?

Закономірності розмноження організмів на різних рівнях організації вивчає **РЕПРОДУКТИВНА БІОЛОГІЯ**. Наука досліджує нестатеве й статеве розмноження, утворення й дозрівання гамет, запліднення, вплив гормонів та інших чинників на репродуктивні функції тощо. Чимало досліджень пов'язано з вивченням партеногенезу, що відбувається природним чином у водоростей, рослин, безхребетних (нематоди, дафнії, попелиці, бджоли, паразитичні оси) та хребетних (деякі риби, амфібії, рептилії та птахи). Ще одним цікавим аспектом для досліджень репродуктивної біології є механізми визначення та зміни статі під впливом умов середовища. Наприклад, у таких променеперих, як риба-клоун, риба-наполеон, губани, мурени, зміна статі є нормальним природним процесом.

Найзагальніші закономірності розмноження організмів можна сформулювати у вигляді аксіом — основних теоретичних положень, що приймаються без доведень.

- Розмноження — фундаментальна особливість усіх відомих життєвих форм. Відомі дві основні форми розмноження: статеве і нестатеве (***універсальність***).
- Молекулярною основою розмноження є генетична програма, а основним молекулярно-інформаційним процесом — самоподвоєння ДНК (***запрограмованість***).
- Основою розмноження є поділ клітин: мітоз — для нестатевого розмноження, мейоз — для статевого.
- Основним джерелом відмінностей нащадків під час нестатевого розмноження є мутаційна мінливість соматичних клітин, а під час статевого — комбінаційна мінливість гамет.
- На молекулярні, клітинні, організмові, популяційно-видові процеси розмноження впливають внутрішні та зовнішні чинники (***детермінованість***).
- Біологічне значення розмноження на популяційно-видовому рівні полягає в забезпеченні безперервності життя, збереженні виду та його адаптації до мінливих умов середовища.

Біологія + Біорізноманіття *1875 року німецький ембріолог Оскар Гертвіг (1849–1922) опублікував наукову працю про запліднення яєць морських їжаків, в якій він описав злиття чоловічого і жіночого ядер (синкаріогамія). Це було важливе відкриття, яке сприяло розумінню статевого розмноження на клітинному рівні. До якого типу еукаріотів належать ці тварини?*





Яке практичне значення знань про розвиток та розмноження організмів?

Знання про розвиток та розмноження організмів має значення насамперед для освіти, охорони здоров'я, сільського господарства, біотехнології та збереження довкілля. Актуальність досліджень біології розвитку та репродуктивної біології полягає в наступному:

- розуміння процесів ембріогенезу допомагає виявляти та лікувати вроджені вади розвитку, а також захворювання репродуктивних систем людини;
- дослідження процесів старіння організмів дозволяє розробляти методи уповільнення старіння та лікування вікових захворювань людини;
- застосування біотехнологій у сільському господарстві (клонування, мікроклональне розмноження, отримання партенокарпічних безнасінних сортів) та медицині (технологія штучного запліднення) потребує прогнозування наслідків їх застосування;
- знання життєвого циклу паразитичних організмів та комах-шкідників дозволяє розробляти ефективні методи боротьби з ними;
- дослідження особливостей розвитку та розмноження допомагає розробляти заходи щодо збереження рідкісних та зникаючих видів рослин, грибів і тварин;
- розуміння розвитку та репродукції мікроорганізмів застосовується у біотехнологічному виробництві ліків (антибіотики, вакцини), харчових продуктів (сири, біойогурти) та сировини (лимонна кислота, біопаливо). Провідним науково-дослідним центром в Україні, який проводить дослідження в галузі класичної мікробіології, вірусології та мікробної біотехнології, є Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, де зберігається найбільша колекція непатогенних мікроорганізмів — Українська колекція мікроорганізмів (УКМ, UCM).

Коротко про головне

- **БІОЛОГІЯ РОЗВИТКУ** — комплексна наука про закономірності онтогенезу організмів, їхній ембріональний та постембріональний розвиток.
- **Репродуктивна біологія** — біологічна дисципліна про закономірності нестатевого й статевого розмноження організмів на різних рівнях організації.
- Знання онтогенезу та розмноження є актуальними для різних галузей діяльності людини.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ОНТОГЕНЕЗ та РОЗМНОЖЕННЯ.

Розвивальне завдання. Таблична модель. Застосування знань про розвиток та розмноження.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (*див. с. 275*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ОНТОГЕНЕЗ та РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ**
• *Застосовує навички* **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМ** *та моделює:* застосування наукових досліджень онтогенезу та розмноження організмів у практичній діяльності людини
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* навчальний продукт на основі ціннісних уявлень про **РОЗВИТОК**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 8. Онтогенез, розмноження та ...

Тема 9. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ ТА МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ

Успадковуються не самі ознаки, а спадкові фактори, які визначають розвиток цих ознак.

Грегор Мендель (1822–1884) — австрійський натураліст, один із засновників генетики



§ 9.1. СПАДКОВІСТЬ ОРГАНІЗМІВ



Знайомимось! Грегор Йоганн Мендель — католицький священник, який у вільний час у звичайному садку проводив досліди з горохом посівним (*Pisum sativum*). Результати дослідів були узагальнені у науковій роботі «Експерименти з рослинними гібридами» (1866) у формі законів спадковості, що пояснюють успадкування ознак не лише у рослин, а й у тварин та грибів. Цікаво, чому ці закони «працюють» лише у світі еукаріотів?

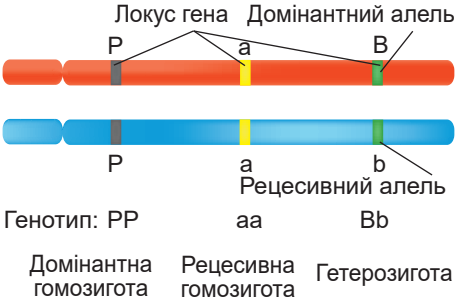
ЗМІСТ

У чому сутність такої властивості живого як спадковість?

СПАДКОВІСТЬ — *здатність живих організмів передавати свої ознаки і особливості індивідуального розвитку нащадкам.* Ця властивість має особливості, що проявляються на кожному з рівнів організації живих істот.

Молекулярний рівень. Елементарною та основною одиницею спадковості є гени, які Мендель називав спадковими чинниками. Згідно із сучасними уявленнями ген — це *ділянка молекули нуклеїнової кислоти, що кодує інформацію про білок чи РНК та визначає ознаки організмів.* Кожний ген розташований у певній хромосомі, де займає визначене місце — локус.

Клітинний рівень. Кожна соматична клітина містить диплоїдний набір гомологічних хромосом, що мають у своїх локусах різні форми одного гена. Алелі — *стани гена, що визначають прояви ознаки і розташовані в однакових ділянках гомологічних хромосом.* Алелі одного гена визначають різні прояви ознаки (наприклад, жовте й зелене забарвлення гороху). Одна з гомологічних хромосом несе алель від материнського організму, а друга — від батьківського. Алелі можуть бути ***домінантними*** (позначаються великими літерами латинської абетки: ***A, B, C, ...***) і ***рецесивними*** (малими літерами абетки: ***a, b, c, ...***). В обох гомологічних хромосомах можуть перебувати як однакові, так різні алелі.



Іл. 67. Окремі символи генетики

Організмовий рівень. Особина, *гомологічні хромосоми якої несуть*

однакові алелі певного гена, в генетиці називається ***гомозиготою***. Гомозиготна особина в потомстві не дає розщеплення, утворює один сорт гамет, позначається ***АА*** або ***аа***. Гетерозигота — *це диплоїдна або поліплоїдна клітина* (*особина*), *гомологічні хромосоми якої несуть різні алелі певного гена*. Гетерозиготна особина в потомстві дає розщеплення, утворює різні сорти гамет, позначається ***Аа***.

Алельні гени у гомозиготному чи гетерозиготному стані утворюють генотип. ***Генотип*** — *сукупність усіх генів організму, одержаних від батьків*. Генотип у взаємодії із середовищем визначає ***фенотип*** — *сукупність ознак і властивостей організму, які є результатом взаємодії генотипу в певних умовах зовнішнього середовища*.

Aa Bb Cc Dd Ee Ff Gg Hh

Ii Jj Kk Ll Mm Nn Oo Pp

Qq Rr Ss Tt Uu Vv Ww

Xx Yy Zz

Біологія + Латина *Скільки літер має латинська абетка?*

Які основні типи успадкування ознак?

Ознака в біології — *це будь-яка характерна особливість будови, життєдіяльності чи поведінки організму*. Частина ознак визначається дією одного гена (*моногенні ознаки*), а інші виникають як результат взаємодії двох або кількох генів (*полігенні ознаки*). Ознаки організмів існують у своїх проявах. Наприклад, забарвлення насінин гороху посівного є ознакою, а жовтий й зелений колір насінин — це прояви ознаки забарвлення. Домінантні прояви ознаки (або *домінантні ознаки*) є результатом наявності в гомологічних хромосомах особини одного або двох домінантних алелів, а рецесивні прояви ознаки (*рецесивні ознаки*) проявляються лише за наявності двох рецесивних алелів.

УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК — *це передавання генетичної інформації від батьків до нащадків*. За характером прояву ознак виділяють домінантне та рецесивне успадкування. За ***домінантного успадкування*** спостерігається пригнічення одного алеля іншим, внаслідок чого домінантний стан ознаки проявляється у кожному поколінні. Успадкування, за якого один із алельних генів повністю пригнічує прояв іншого у фенотипі нащадків називається *повним домінуванням* (наприклад, темне волосся у людини). Якщо ж домінантні алелі лише частково переважають над рецесивними, наслідком чого є поява проміжного прояву ознаки, то спостерігається *неповне домінування* (наприклад, успадкування форми волосся у людини: кучеряве — домінантний прояв, пряме — рецесивний, хвилясте — проміжний). За ***рецесивного успадкування*** стан ознаки передається по спадковості, але пригнічується і не проявляється у гетерозиготних нащадків (наприклад, світле волосся, блакитні очі). Гени розташовані в хромосомах, які поділяють на аутосоми та статеві хромосоми (гоносоми). Залежно від цього критерію розрізняють ***аутосомне*** й ***зчеплене зі статтю успадкування***. Наприклад, колір очей як ознака визначається генами аутосом, а кольоровий зір — генами статевих хромосом.

Поєднання видів успадкування за характером прояву ознак та розташуванням генів в хромосомах, зумовлює чотири основних типи успадкування ознак: *аутосомно-домінантний, аутосомно-рецесивний, зчеплений зі статтю домінантний, зчеплений зі статтю рецесивний*.

Як відбувається успадкування ознак?

СХРЕЩУВАННЯ (в генетиці) — це *поєднання генетичного матеріалу спадково різних клітин чи організмів з різними генотипами*. Нащадків, що виникли від схрещування двох батьківських особин (позначають латинською літерою ***P***, від лат. *parentes* — батьки), називають дочірніми особинами, або гібридами (позначають латинською літерою ***F***, від лат. *filii* — діти, нащадки). У схемах схрещування на першому місці записують особину жіночої статі, позначають її знаком ♀ (дзеркало Венери), чоловічу стать позначають ♂ (щит і спис Марса). Схрещування між ними позначають знаком множення (×).

Для полегшення досліджень успадкування ознак усі схрещування класифікують на ***моно-, ди-*** й ***полігібридні***. Під час моногібридного схрещування вивчають успадкування однієї ознаки, дигібридного — двох, полігібридного — трьох і більше. Краще розуміння закономірностей успадкування дають схрещування особин, у яких спостерігаються чіткі контрастні (альтернативні) прояви ознак. Наприклад, насіння гороху має жовте (домінантний прояв) або зелене (рецесивний прояв) забарвлення.

Коротко про головне

- **СПАДКОВІСТЬ** — *це властивість організмів передавати наступним поколінням свої ознаки будови, життєдіяльності та поведінки.*
- **УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК** — *це сукупність процесів, що здійснюють передавання генетичної інформації на рівні клітин чи цілісного організму від батьків до нащадків.*
- **СХРЕЩУВАННЯ** — *поєднання генетичної інформації спадково різних клітин чи організмів з різними генотипами.*

Діяльність

Навчальне завдання. Фрейм. **СПАДКОВІСТЬ**.

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Основні символи генетики.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **НЕОБХІДНІСТЬ** та **ВИПАДКОВІСТЬ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: особливості **СПАДКОВОСТІ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ДОСЛІДЖЕННЯ** символів генетики
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **НЕОБХІДНІСТЬ ТА ВИПАДКОВІСТЬ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 275*).

Особистісне завдання. Вправа «Установки на спосіб розв'язання задач».

Завдання для прогнозування. СПАДКОВА ІНФОРМАЦІЯ.

Кожен має залишити щось після себе…

Рей Бредбері (1920–2012) — американський письменник-фантаст



§ 9.2. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК



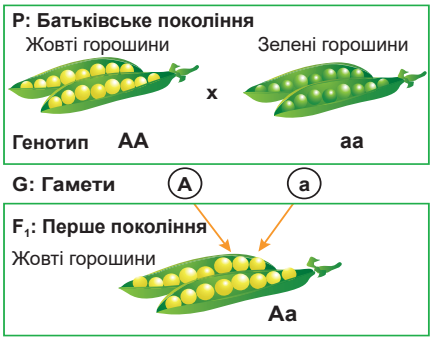
Усвідомлюємо! *«Чому одні квіти — червоні, а інші — білі? А волошки завжди сині? Звідки насіннячко знає, що воно має дати синю, а не жовту квітку? А кошенята в кішки не завжди схожі на неї за кольором шерсті. Чому? А якщо у одного з батьків очі блакитні, а в іншого — карі, яким буде колір очей у їхньої дитини?»* (З казки М. Горькавого про монаха Менделя). Цікаво, чи є якісь закономірності успадкування ознак?

ЗМІСТ

Чому відбувається домінування проявів ознак?

Свої дослідження Г. Мендель розпочав з ***моногібридного схрещування***, за якого *батьківські особини відрізняються проявами однієї ознаки*. Для дослідів взяли рослини чистих ліній із жовтим і зеленим забарвленням насіння. Схрещування рослин відбувалося шляхом перенесення пилку від квітів рослин, що виросли із жовтих насінин до квітів рослин, що виросли із зелених насінин, і навпаки. У першому поколінні нащадків усі горошини завжди були лише жовтого кольору. *Явище переважання в гібридів першого покоління проявів ознаки одного з батьків* Мендель назвав **домінуванням ознак** (від лат. *dominantia* — панування). Прояв ознаки в гібридів першого покоління називають ***домінантним***, а той, що не проявився — ***рецесивним*** (від лат. *recessus* — відступ).

Одноманітність першого гібридного покоління та виявлення у гібридів лише домінантного прояву ознаки називається ***законом домінування*** (*І закон Менделя*, або *закон одноманітності гібридів першого покоління*), що формулюється так: *під час моногібридного схрещування батьківських особин, що відрізняються проявами однієї ознаки, серед нащадків спостерігаються лише домінантні прояви ознаки, і усі нащадки будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом.*

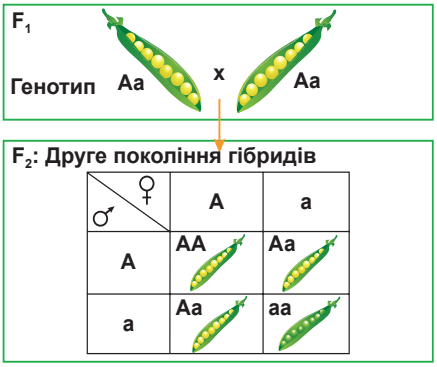


Іл. 68. Цитологічні основи закону домінування

Чому серед нащадків спостерігається розщеплення?

Під час схрещування гетерозиготних гібридів першого покоління (F_1) між собою у другому поколінні з'являються особини як з домінантними, так і з рецесивними станами ознак, тобто виникає *розщеплення* у певних відношеннях. **Розщеплення ознак** — *явище появи обох проявів ознаки у гібридів другого покоління* (F_2), *отриманих від схрещування*

гетерозиготних особин. Так, у дослідах Менделя із 8023 насінин гороху, отриманих у другому поколінні, було 6022 жовтих і 2001 зелена (75 % : 25 %). Ця закономірність отримала назву ***закону розщеплення*** (*II закон Менделя*): *під час моногібридного схрещування двох гібридів першого покоління, які є гетерозиготами, серед нащадків спостерігається розщеплення за фенотипом 3:1 і за генотипом 1:2:1.*



Іл. 69. Цитологічні основи закону розщеплення

Чому ж відбувається розщеплення? Гібриди першого покоління є гетерозиготами (*Aa*) і за статевого розмноження утворюють два типи гамет: половина з домінантним алелем (*A*), половина — з рецесивним (*a*). Під час запліднення вірогідними є чотири можливі комбінації — *AA, Aa, Aa, aa*, що дають розщеплення за генотипом *1AA:2Aa:1aa*. За зовнішнім проявом особини *AA* і *Aa* не відрізняються, тому розщеплення за фенотипом буде у співвідношенні 3:1.

Біологія + Математика ✿ *Г. Мендель досяг успіхів у своїх дослідженнях тому, що застосував гібридологічний метод, здійснював ретельний підбір матеріалу і використав статистичну обробку результатів. Що таке статистика і яким чином вона допомогла Менделю у його дослідженнях?*



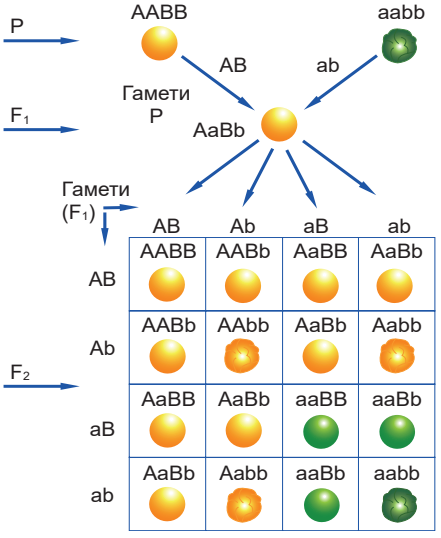
Як відбувається успадкування двох та більше ознак?

Для вивчення того, як успадковуються дві ознаки, Г. Мендель вибрав забарвлення насінин гороху та форму горошин. Колір насіння гороху має два прояви — домінантний жовтий і рецесивний зелений. Форма насінин буває гладенькою (домінантний прояв) та зморшкуватою (рецесивний прояв).

Далі Мендель схрестив між собою чисті лінії, представники яких формували жовте насіння з гладенькою поверхнею та зелене — зі зморшкуватою. Гібриди першого покоління утворювали лише насіння жовтого кольору з гладенькою поверхнею. А якими будуть нащадки гібридів першого покоління? Після серії дослідів виявилося, що серед гібридів другого покоління (F_2) спостерігаються чотири групи в співвідношенні 9:3:3:1 — 9 частин насіння було жовтого кольору з гладенькою поверхнею (315 насінин), 3 — жовтого кольору зі зморшкуватою поверхнею (101 насінина), ще 3 — зеленого кольору з гладенькою поверхнею (108 насінин), а 1 частина — зеленого кольору зі зморшкуватою поверхнею (32 насінини). Крім насіння, яке мало комбінації станів ознак, притаманних батьківським формам (жовтий колір — гладенька поверхня та зелений колір — зморшкувата поверхня), з'явилися ще дві групи з новими комбінаціями (жовтий колір — зморшкувата поверхня та зелений колір — гладенька поверхня). **Рекомбінація ознак** — *процес, що веде до виникнення нових поєднань проявів ознак і збільшення генетичної різноманітності*. Важливо зрозуміти,

що хромосоми кожної пари здійснюють цей процес незалежно від інших пар. У результаті хромосоми, одержані від батька і матері, перерозподіляються по гаметах цілком випадково.

Щоб пояснити ці результати, Г. Мендель простежив успадкування різних станів кожної ознаки окремо. Співвідношення насіння різного кольору гібридів другого покоління було таким: 12 частин насіння мало жовтий колір, а 4 — зелений, тобто розщеплення за ознакою кольору, як і при моногібридному схрещуванні становило 3 : 1. Подібне спостерігали і при розщепленні за ознакою структури поверхні насіння: 12 частин насіння мало гладеньку поверхню, а 4 — зморшкувату. Тобто розщеплення за ознакою структури поверхні насіння також було 3 : 1.



Іл. 70. Цитологічні основи закону незалежного успадкування

Ця закономірність отримала назву ***закону незалежного успадкування*** (III закон Менделя): *Кожна пара ознак успадковується незалежно від інших ознак.*

Коротко про головне

- **Домінування проявів ознак** відбувається через те, що домінантний алель гена переважає над рецесивним, приховуючи його вплив на фенотип.
- **Розщеплення ознак** у потомстві спостерігається під час схрещування гетерозиготних особин, які утворюють різні типи гамет.
- **Незалежне успадкування ознак** відбувається за умови, коли *гени, що визначають неалельні ознаки, розташовані у різних парах хромосом.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. ЗАКОНИ МЕНДЕЛЯ.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 9. *Складання схем успадкування ознак.*

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Г. Мендель, досліди з горохом та «спадкові задатки».

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* сутність **ЗАКОНІВ МЕНДЕЛЯ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ДОСЛІДЖЕННЯ** цитологічних основ успадкування ознак
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про зв'язок законів Менделя з категоріями **НЕОБХІДНІСТЬ** та **ВИПАДКОВІСТЬ**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Метод фокальних об'єктів».

Прогнозувальне завдання. Тест-прогнозування. Спадкова інформація.

Хромосоми, які спостерігаються у всіх клітинах, що діляться, і передаються від одного покоління до наступного, є основою всієї генетичної спадковості.

Волтер Саттон (1877–1916) — американський генетик, один з авторів хромосомної теорії успадкування, або теорії Саттона-Бовері



§ 9.3. ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ. ЗЧЕПЛЕНЕ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

Застосовуємо! У людини очі новонароджених мають блакитний колір, який згодом темніє. Приблизно до 3–4 років очі дитини набувають свого постійного синього, карого, бурштинового, сірого, зеленого чи навіть фіалкового. Цікаво, як успадковується колір очей у людини?



ЗМІСТ

Як гени взаємодіють між собою?

Успадкування ознак не завжди є такими простими й зрозумілими, як їх пояснюють закономірності Менделя. У дійсності все набагато складніше. Наприклад, в успадкуванні кольору очей у людини беруть участь мінімум шість пар алельних генів (*полігенне успадкування*). Одні з них визначають наявність меланіну (*домінантний прояв*), та відсутність меланіну (*рецесивний прояв*). Інші — кількість та щільність розподілу форм меланіну (чорного феомеланіну та жовтого еумеланіну) в клітинах райдужної оболонки очного яблука, що разом і визначає її колір.

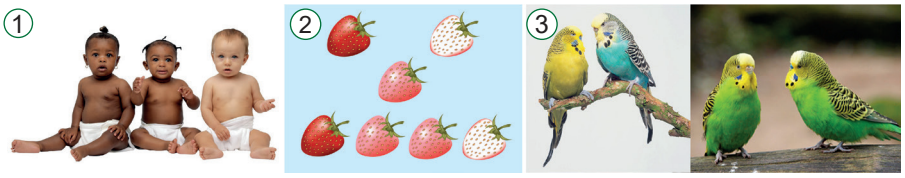
Під взаємодією генів розуміють їхню спільну участь у формуванні певних ознак. Сутність цього явища полягає у складних взаємодіях між функціональними продуктами діяльності генів — білками та РНК. Виокремлюють різні види взаємодії генів.

ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ	
Взаємодія алельних генів	Взаємодія неалельних генів
Повне домінування	*Комплементарність*
Неповне домінування	*Епістаз*
Множинний алелізм	*Полімерія*
	Множинна дія генів

Повне домінування *— це форма взаємодії алельних генів, за якої у гетерозиготного організму домінантний алель повністю пригнічує дію рецесивного.* Наприклад, успадкування забарвлення насіння гороху або зросту людини (низький зріст — домінантний прояв, високий — рецесивний). ***Неповне домінування*** *— це форма взаємодії алельних генів, за якої у гетерозиготного організму (*$A\bar{a}$*) домінантний алель (*$\bar{A}$*) не повністю пригнічує рецесивний алель (*a*), внаслідок чого проявляється проміжний стан ознаки.* Наприклад, успадкування форми волосся людини (кучеряве, хвилясте і пряме), забарвлення пір'я курей (чорне, зозулясте і біле) чи кольору ягід суниць (червоне, рожеве і біле). ***Множинний алелізм*** *— це явище, за якого ознака в популяції визначається не двома, а декількома алелями.* Наприклад, успадкування груп крові людини за системою АВ0, забарвлення очей у дрозофіли.

Комплементарність *— це форма взаємодії декількох домінантних неалельних генів, які разом визначають розвиток нового прояву ознаки.* Наприклад, у хвилястих папуг взаємодія домінантних генів жовтого (*A*) і синього (*B*) забарвлення визначає зелене забарвлення (*AB*). ***Епістаз*** *— це форма взаємодії неалельних генів, при якій алель одного гена пригнічує прояв алелі іншого.* Наприклад, забарвлення плодів у гарбуза або пір'я у курей. ***Полімерія*** *— це форма взаємодії неалельних генів, за якої декілька домінантних неалельних генів впливають на ступінь розвитку ознаки.* Наприклад, колір шкіри у людини визначається шістьма полімерними генами. ***Множинна дія генів*** (плейотропія) *— це явище впливу одного гена на прояв різних ознак.* Наприклад, у людини один ген визначає руде забарвлення волосся, світлий колір шкіри і наявність ластовиння.

Біологія + Вправляння *Визначаю особливості успадкування запропонованих ознак.*

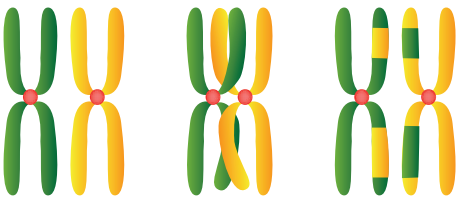


Чому відбувається зчеплене успадкування ознак?

Вчені вже давно звернули увагу на те, що кількість спадкових ознак організмів значно перевищує кількість їх хромосом у гаплоїдному наборі. Отже, в кожній хромосомі є не один, а багато генів. Ці групи генів успадковуються зчеплено одна з одною й утворюють групи зчеплення. Кількість груп зчеплення в організмів певного виду дорівнює кількості хромосом у гаплоїдному наборі (наприклад, у людини 23 групи зчеплення).

Експериментальне доведення явища зчеплення генів здійснив американський генетик ***Томас Хант Морган*** (1866–1945) зі своїми учнями (К. Бріджес, Дж. Мюллер, А. Стертевант), провівши серію дослідів на багатьох поколіннях дрозофіли чорночеревої (*Drosophila melanogaster*). Ці дослідження стали основою для формулювання **закону зчепленого успадкування** (або закону Моргана): *зчеплені гени, які локалізовані в одній хромосомі, успадковуються разом і не виявляють незалежного розподілу.*

Під час досліджень зчепленого успадкування було відкрито явище, завдяки якому відбувається зміна спадкової інформації. ***Кросинговер*** *— процес, під час якого гомологічні хромосоми обмінюються певними ділянками.* Це явище відбувається в профазі мейозу I після злиття гомологічних хромосом (*кон'югації*). Хоча частота кросинговера є величиною постійною, на неї можуть впливати стать, вік, температура, рентгенівські промені та інші чинники.



Іл. 71. Кросинговер — один із механізмів рекомбінації спадкової інформації

Які особливості зчепленого зі статтю успадкування ознак?

Успадкування, зчеплене зі статтю, відкрив Т. Морган у 1910 році під час досліджень успадкування кольору очей у дрозофіли. Існують три групи генів статевих хромосом, які успадковуються по-різному: гени розташовані тільки в Х-хромосомі, гени розташовані тільки в Y-хромосомі, і гени, наявні в обидвох статевих хромосомах. Ознаками, які успадковуються через Х-хромосому, є: гемо*філія, дальтонізм, колір емалі зубів у людини та колір шерсті у кішок*. Ознаками, що успадковуються через Y-хромосому, є: оволосіння вушних раковин (гіпертрихоз), рогові луски на шкірі (іхтіоз).

Успадкування ознак, зчеплених зі статтю, має свої певні особливості. Наприклад:

- ознаки, гени яких локалізовані у Х-хромосомі можуть успадковуватися представниками як жіночої, так і чоловічої статі;
- ознаки, зчеплені з Y-хромосомою, успадковуються лише представниками чоловічої статі.



Іл. 72. Успадкування забарвлення шерсті у кішок є зчепленим зі статтю

Коротко про головне

- **ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ** — *це взаємовпливи генів за участю їхніх функціональних продуктів, що визначають формування ознак.*
- ***Зчеплення генів*** **—** *це явище спільного розташування й успадкування генів, локалізованих в одній хромосомі.*
- **Успадкування, зчеплене зі статтю —** *це успадкування ознак, гени яких розташовані в статевих хромосомах.*

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням схеми. **ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Складання схем дигібридного зчепленого успадкування у дрозофіли.

Ціннісне завдання. Практична вправа. Успадкування забарвлення шерсті у кішок.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ВЗАЄМОДІЇ ГЕНІВ**
• *Організовує*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** зчепленого успадкування ознак
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: **НЕОБХІДНІСТЬ** та **ВИПАДКОВІСТЬ** у зчепленому зі статтю успадкуванні ознак

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа «Незвичайне використання».

Завдання для відтворення. Особливості дрозофіли як об'єкта генетичних досліджень.

Середнє значення відображає постійну причину.

Адольф Кетле (1796–1874) — бельгійський математик, засновник антропометрії



§ 9.4. МІНЛИВІСТЬ. НЕСПАДКОВА МІНЛИВІСТЬ



Аналізуємо! *«Зима була вже на носі, і Японець Малі виставив клітку кішки в двір та захистив її лише від дощу та вітру. Далі він почав годувати її макухою та риб'ячими головами. Клітка утримувалася у чистоті, і оскільки природа, відгукуючись на холодну погоду і маслянисту їжу, робила котячу шубку з кожним днем все розкішнішою і блискучішою...»* (Е. Сетон-Томпсон, «Королівська Аналостанка»). Про яку властивість живого йдеться?

ЗМІСТ

Які є форми мінливості?

МІНЛИВІСТЬ — це універсальна здатність організмів набувати нових ознак. Причинами мінливості є зміни структури чи діяльності генетичного апарату та вплив умов середовища. Залежно від природи мінливості розрізняють дві основні її форми: неспадкову і спадкову.

Ознаки	НЕСПАДКОВА МІНЛИВІСТЬ	СПАДКОВА МІНЛИВІСТЬ
Основа змін	Фенотип	Генотип
Чи успадковуються зміни?	Ні	Так
Причини змін	Умови середовища існування. Диференційоване функціонування генів	Рекомбінація генів. Мутації
Значення для особин	Індивідуальність прояву онтогенетичних та видових адаптацій	Формування нових онтогенетичних та філогенетичних адаптацій
Різновиди	Модифікаційна Онтогенетична	Комбінаційна Мутаційна

Спадкова і неспадкова мінливість забезпечують усю різноманітність індивідуальних змін організмів упродовж онтогенезу. В еволюції роль спадкової мінливості пов'язана з біорізноманіттям, з появою нових ознак та їх комбінуванням, а неспадкова — забезпечує формування пристосованості організмів до умов середовища, що змінюється.

Які властивості модифікаційної мінливості?

Модифікаційна мінливість трапляється в усіх організмів незалежно від видової належності. Порівняння квіткових рослин одного виду, які зростають в різних умовах (у затінку, на сонячних місцях, за підвищеної вологості, в горах чи на рівнинах), дає змогу помітити відмінності у розмірах і формі листків, кількості квіток, масі плодів тощо (*див. іл. 73*). У тварин модифікації проявляються зміною забарвлення, розмірів, маси тіла тощо. Модифікаційні зміни ознак не успадковуються, але їхній діапазон мінливості є спадковим і визначається генотипом. Виникнення модифікацій є результатом зміни діяльності

генів у різних умовах середовища. Цим, зокрема, пояснюється покращення шерсті й розподілу пігментів у шерсті королівської аналостанки.



Іл. 73. Стрілиця звичайна з надводними, плаваючими й підводними листками

Загальні властивості модифікаційної мінливості:

- **тимчасовість** (наприклад, засмага людини повністю зникає взимку);
- **масовість** (наприклад, устриці, які живуть в тихій воді, мають широку й округлу черепашку, а в устриць із зони припливу черепашки вузькі й довгі);
- **спрямованість** (наприклад, заміна шерсті ссавців на густішу виникає як реакція на вплив низьких температур, а не на дію освітлення);
- **визначеність** (один і той самий вплив чинника спричинює подібні зміни в усіх особин виду; наприклад, у зайців зимове хутро світлішає);
- **пристосувальний характер** (наприклад, зі збільшенням висоти над рівнем моря кількість еритроцитів у крові людини зростає).

Біологія + Медицина *Засмага* (*засмаглість*) — *це потемніння кольору шкіри під впливом ультрафіолетового випромінювання, внаслідок якого в нижніх шарах епідермісу шкіри відкладається пігмент меланін. Доводжу модифікаційну природу мінливості цієї ознаки.*



Як досліджують модифікаційну мінливість?

Для дослідження закономірностей модифікаційної мінливості формують ***вибірку*** *— певну сукупність об'єктів чи ознак для спостережень*. Для достовірності результатів вибірка повинна мати не менше 25 спостережень. На підставі даних вибірки будують ***варіаційний ряд*** *— послідовність чисельних показників проявів певної ознаки, розташованих у порядку зростання чи спадання*. Особливості варіаційного ряду можна зобразити у вигляді варіаційної кривої — *це графічне вираження кількісних показників мінливості певної ознаки*. Для характеристики мінливості ознаки вираховують її ***середню величину*** (*M*) за формулою: $M = \Sigma(v \cdot p)/n$, де M – середня величина ознаки, v – варіанта ознаки, p – частота зустрічальності варіанти, n – загальна кількість варіант.

Під час дослідження ознак найчастіше проявляються такі статистичні закономірності:

- *Різні ознаки мають різні межі модифікаційної мінливості, тобто різну* ***норму реакції***. Межі норми реакції зумовлені генотипом, але прояв ознаки в межах норми реакції змінюється під впливом умов середовища.
- *Будь-яка ознака може змінюватись лише у певних межах*. Гени визначають не готові прояви ознак, а норму реакції ознаки.
- *Більшість організмів мають варіанти, близькі до середньої величини*. Це пояснюється тим, що поєднання лише сприятливих чи лише несприятливих умов трапляється рідко.
- *На розмах модифікаційної мінливості впливають зовнішні та внутрішні умови*. Чим однорідніші умови розвитку особин, тим менше проявляється модифікаційна мінливість.

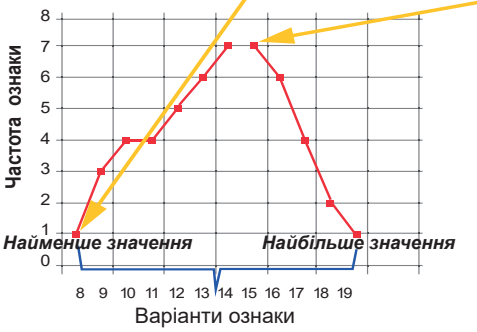


Варіанта — кожний розмір насіння в ряду

Розмір насіння, мм

12	11	10	9	14	16	9	11	14	13
13	14	8	15	16	15	10	15	16	17
12	11	9	13	14	17	13	16	12	16
10	15	12	17	15	14	10	15	13	17
14	15	13	18	14	12	16	19	18	11

Розмір насіння, мм	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Частота ознаки	1	3	4	4	5	6	7	7	6	4	2	1



Варіаційна крива – графічне вираження характеру мінливості ознаки, яка відображає розмах варіацій і частоту зустрічальності варіант

Іл. 74. Варіаційний ряд і варіаційна крива за ознакою величини насіння гарбуза

Коротко про головне

- **МІНЛИВІСТЬ** — *це здатність організмів набувати нових ознак, які призводять до відмінностей між особинами в межах виду.*
- **МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ** — *це форма неспадкової мінливості, яка пов'язана із змінами фенотипу внаслідок впливу умов існування і не пов'язана зі змінами генотипу.*
- Основною закономірністю модифікаційної мінливості є ***статистична закономірність варіаційного ряду***.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань за схемою. **МІНЛИВІСТЬ**.

Розвивальне завдання. Лабораторна вправа. Вивчення модифікаційної мінливості ознак.

Ціннісне завдання. Домашній практикум. Визначення середнього значення зросту людини.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: особливості **МІНЛИВОСТІ**
• *Аналізує результати*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** модифікаційної мінливості окремих ознак
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* роль **НЕОБХІДНОСТІ** та **ВИПАДКОВОСТІ** у мінливості антропометричних ознак

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку мислення «Узагальнення».
Завдання для конструювання. МІНЛИВІСТЬ.

Все має змінюватися для того, щоб все залишилося по-старому.

Джузеппе Лампедуза (1896–1957) — італійський письменник, автор роману «Гепард»



§ 9.5. СПАДКОВА МІНЛИВІСТЬ





Оцінюємо! «*Коли відкрили гробницю Тутанхамона, то присутніх найбільше схвилювали не коштовності, а китичка польових квітів, яку поклала чиясь любляча рука. Серед них можна було впізнати волошки, які синіють на полях так, як і тисячоліття тому. Зберігаючи сталість форм та ознак, жодна жива система не повторює свою попередницю: отак досконало поєднала природа спадковість і мінливість*». Яке значення цих властивостей живого?

ЗМІСТ

Яке значення комбінаційної мінливості?

СПАДКОВА МІНЛИВІСТЬ зумовлена виникненням різних типів мутацій і їх комбінацій, які передаються у спадок і згодом проявляються у нащадків. Чарльз Дарвін називав таку форму мінливості *невизначеною*, оскільки ці зміни організмів непередбачувані, індивідуальні та не мають певної спрямованості щодо дії чинників.

Комбінаційна мінливість — *це форма спадкової мінливості, яка виникає завдяки перерозподілу генетичного матеріалу в нащадків.* За комбінаційної мінливості успадковуються нові поєднання генів, а самі гени не змінюються. Причиною виникнення проявів комбінаційної мінливості є ***рекомбінації***, що відбуваються в еукаріотів під час статевого розмноження, у прокаріотів — завдяки статевим процесам і процесам горизонтального перенесення генів. Джерелами комбінаційної мінливості є:

- кросинговер — обмін ділянками гомологічних хромосом, що відбувається під час мейозу;
- незалежне розходження гомологічних хромосом під час мейозу;
- випадкове злиття гамет під час запліднення.

Завдяки незалежному та одночасному здійсненню цих процесів виникає велика різноманітність генотипів. Комбінаційна мінливість сприяє спадковій різноманітності організмів, що є основою для виведення нових порід і сортів у селекції та історичного розвитку живої природи.

Біологія + Мовознавство ❁ «*Біла ворона*» — *цей вираз вживається для характеристики людини, яка вирізняється серед інших своєю поведінкою чи зовнішнім виглядом. Фразеологізму майже дві тисячі років, і він увійшов у багато мов. Його автор — давньоримський поет Ювенал, який писав: «Доля наділяє царство різним людям, тільки щасливців таких менше, ніж білих ворон». Яка причина альбінізму, який трапляється не лише серед ворон?*



Які властивості та значення мутаційної мінливості?

Мутаційна мінливість зумовлена змінами генотипу особин на рівні генів, хромосом та кількості хромосом, тому її відносять до генотипної.

Загальними властивостями мутаційної мінливості є:

- ***стійкість*** (мутації не зникають упродовж життя особини);
- ***індивідуальність*** (мутаційні зміни проявляються в окремих особин);
- ***неспрямованість*** (один і той самий чинник може сприяти появі різних мутаційних змін);
- ***невизначеність*** (не можна передбачити появу мутації під дією того чи іншого чинника);
- ***незалежність*** (прояв мутацій у фенотипі не залежить від сили чи тривалості дії чинника);
- ***відсутність пристосувального характеру*** (мутаційні зміни у більшості випадків є шкідливими, нейтральними і навіть летальними, тобто смертельними для організмів).

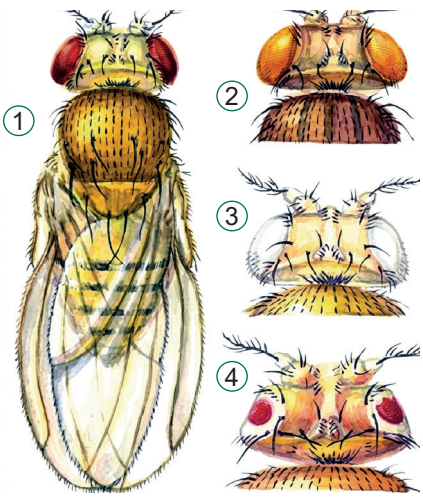
Мутаційні зміни генотипу призводять до появи ознак, які можуть мати різне значення. Більшість мутацій, що проявляються в організмів, мають шкідливий характер, оскільки знижують пристосованість до умов середовища. Серед проявів мутаційної мінливості є й нейтральні прояви ознак, що не впливають на пристосованість, але за певних змін середовища існування можуть виявитися корисними. Прикладом таких змін можна назвати появу трьох чи п'яти пелюсток у бузку або різне забарвлення очей у дрозофіли. Мутаційні зміни можуть мати й адаптивне значення, забезпечуючи пристосування до умов середовища. Загалом в живій природі мутації є джерелом появи нових ознак, джерелом генетичної різноманітності, що є необхідною умовою розвитку життя.

Які види та наслідки мутацій?

Поняття «мутація» ввів у науку нідерландський ботанік Гуго де Фріз. За характером спадкових змін генетичного апарату виділяють генні, хромосомні та геномні мутації.

Генні мутації — *це стійкі зміни окремих генів, спричинені порушенням послідовності нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот.* Такі мутації стосуються, як правило, лише однієї ознаки. Генні мутації можуть бути домінантними (наприклад, меланізм у леопардів, укорочений хвіст у кішок, полідактилія у людини) і рецесивними (наприклад, альбінізм у хребетних тварин, фенілкетонурія та гемофілія у людини).

Хромосомні мутації — *це мутації, які виникають у результаті*



Іл. 75. Генні мутації забарвлення очей у дрозофіли: 1 — червоні очі дикого типу; 2 — мутація рожевих очей; 3 — мутація білих очей; 4 — мутація червоно-крапкових очей

перебудови хромосом. Хромосомні перебудови, як правило, призводять до порушень багатьох ознак і спричинюють відхилення, що скорочують тривалість життя або є несумісними з ним (наприклад, синдром «крику кішки» у людини (46,5–), за якої спостерігається втрата фрагмента п'ятої пари хромосом).

Геномні мутації *— це мутації, які пов'язані зі зміною кількості наборів хромосом.* Основними видами геномних мутацій є: збільшення кількості (***поліплоїдія***), зменшення кількості хромосомних наборів (***гаплоїдія***), зміна числа хромосом окремих пар (***анеуплоїдія***). Геномні мутації у природі є одним із механізмів видоутворення. Їх застосовують для створення поліплоїдних сортів рослин, які відрізняються збільшеними розмірами клітин і організмів, більшою врожайністю. Геномні мутації часто порушують мейоз, призводять до безплідності, знижують життєздатність організмів і зумовлюють спадкові хвороби. Прикладами геномних мутацій є синдром Дауна (47, 21+) у людини.



Іл. 76. Триплоїдний сорт безнасінних кавунів

Коротко про головне

- **Комбінаційна мінливість —** *це форма спадкової мінливості, яка виникає завдяки перерозподілу генетичного матеріалу в нащадків.*
- **Мутаційна мінливість** *— це форма спадкової мінливості, яка пов'язана із змінами генотипу внаслідок мутацій.*
- **Мутації** (від лат. *mutatio* — зміна) *— це стійкі зміни генетичного апарату, які виникають раптово і призводять до змін тих чи інших спадкових ознак організму.*

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням схеми. **СПАДКОВА МІНЛИВІСТЬ**.

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Порівняння мутаційної та модифікаційної мінливості.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Різноманітність мутацій дрозофіли.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **СПАДКОВУ МІНЛИВІСТЬ**
• *Оцінює результати:* **ДОСЛІДЖЕННЯ** про причини особливостей мутаційної та модифікаційної мінливості
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: роль **НЕОБХІДНОСТІ** та **ВИПАДКОВОСТІ** у різноманітності мутацій

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Сприйняття в дикій природі»

Завдання для конструювання. КРЕАТИВНА РОБОТА 9. МІНЛИВІСТЬ та ...

Гени зберігаються в хромосомах всередині ядер клітин.

Томас Гант Морган (1866–1945) — американський біолог, один із основоположників генетики, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини (1933)



§ 9.6. СПАДКОВІСТЬ, МІНЛИВІСТЬ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Метикуємо! ***Дрозофіла чорночерева*** (*Drosophila melanogaster*) має швидку зміну поколінь, високу плодючість, чотири пари хромосом, догляд вимагає мінімум оснащення та небагато місця. Все це робить дрозофілу ідеальним модельним організмом для багатьох досліджень. Яке ж значення мають відкриття, здійснені за участю плодових мушок?

ЗМІСТ

Які завдання та розділи сучасної генетики?

Датою народження **ГЕНЕТИКИ** як науки вважається 1900 рік, коли ботаніки: нідерландський — Гуго де Фріз (1845–1935), німецький — Карл Корренс (1864–1933) та австрійський — Еріх Чермак (1871–1962) підтвердили закономірності спадковості Г. Менделя. Сам термін «генетика» запропонував відомий англійський біолог В. Бетсон. У 1909 році генетичні дослідження з використанням *Drosophila melanogaster* розпочав Т. Г. Морган.

Теоретичну базу різних розділів генетики складають *теорія успадкування та закони Г. Менделя, хромосомна теорія спадковості, мутаційна теорія, закон гомологічних рядів спадковості та закон генетичної рівноваги популяцій*.

Завдання сучасної генетики пов'язані з її основними розділами:

- вивченням генетичних основ селекції (*селекційна генетика*);
- вивчення спадкових захворювань людини і тварин (*медична генетика*);
- вивчення впливу радіації на спадковість і мінливість організмів (*радіаційна генетика*);
- вивчення генетичної структури популяцій для з'ясування закономірностей еволюції (*популяційна генетика*);
- вивчення молекулярних основ спадковості (*молекулярна генетика*);
- вивчення особливостей спадковості та мінливості у популяціях людей (*генетика людини*).

Окрім названих розділів, виникли й розвиваються *імуногенетика, онтогенетика, психогенетика, фармакогенетика, екогенетика, цитогенетика* та інші. Генетичні дослідження організовуються з використанням найрізноманітніших методів. Найдавнішим із методів генетики є гібридологічний метод, запропонований Г. Менделем. *Гібридологічний метод* — це схрещування організмів і вивчення гібридів та успадкування ознак. З найдавніших часів для вивчення

родоводів застосовується *генеалогічний метод*, а дослідження спадковості на клітинному рівні забезпечують *цитогенетичні методи*. *Біохімічні методи* використовують для вивчення спадкових захворювань, пов'язаних з обміном речовин. *Близнюковий метод* застосовують для вивчення ролі середовища й генотипу у формуванні фенотипу особин. *Популяційно-статистичний метод* науковці залучають для вивчення закономірностей спадковості й мінливості на рівні популяцій. Особливу групу методів для досліджень можливостей зміни генетичної інформації складають *методи генетичної інженерії* (метод штучного синтезу генів, метод гібридизації соматичних клітин) та інші.

У переліку найважливіших наукових досягнень, відзначених Нобелівською премією з фізіології та медицини, називають відкриття: ролі хромосом у спадковості (Т. Г. Морган, 1933), появи мутацій під впливом рентгенівського випромінювання (Г. Меллер, 1946), значення генів у біохімічних процесах (Дж. Бідл, Е. Тейтем, Дж. Ледерберг, 1958), рестрикційних ферментів (В. Арбер, Д. Натанс, Г. Сміт, 1978), генерації різновиду антитіл (Т. Сусуму, 1987), ретровірусних онкогенів (Дж. Бішоп, Г. Вармус, 1989).

Яке значення хромосомної теорії спадковості?

Хромосомна теорія спадковості виникла на основі клітинної теорії на початку XX століття. Вперше вона обґрунтована Т. Бовері і В. Сеттоном, детально розроблена Т. Х. Морганом і його співробітниками (Г. Меллером, А. Стертевантом). Реальність кросинговеру доведена в 1933 році К. Штерном у дослідах з дрозофілою та американськими науковцями Г. Крейтоном і Б. Мак-Клінток — у дослідах з кукурудзою. Основними положеннями сучасної хромосомної теорії спадковості є:

- Гени розташовані в хромосомах. Різні хромосоми містять неоднакову кількість генів.
- Кожний ген займає певне місце в хромосомі — локус. Алельні гени займають однакові локуси гомологічних хромосом.
- Гени розташовані вздовж хромосом у лінійному порядку.
- Усі гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення. Кількість груп зчеплення дорівнює гаплоїдному набору хромосом.
- Зчеплення між генами в одній хромосомі порушуються внаслідок кросинговеру, завдяки чому відбувається обмін алельними генами.
- Сила зчеплення між двома генами обернено пропорційна відстані між ними.

Значення хромосомної теорії спадковості для розвитку біології полягає у з'ясуванні матеріальної основи закономірностей спадковості та мінливості.

Яке значення мутаційної теорії?

Засновником теорії є нідерландський ботанік Гуго де Фріз (1848–1935). У розробці положень сучасної мутаційної теорії брали участь багато відомих науковців, а саме С. Коржинський, Г. Меллер, В. Сахаров, С. Гершензон та інші.

Основними положеннями сучасної мутаційної теорії є:

- Здатність утворювати мутації є універсальною властивістю всіх живих організмів.
- Мутації виникають раптово, стрибкоподібно і проявляються у вигляді ознак.
- Мутації є спадковими і передаються наступному поколінню, якщо не спричинюють стерильність чи загибель організмів.
- Ті самі мутації можуть виникати повторно і неодноразово.
- Мутації проявляються по-різному і можуть бути генними, хромосомними та геномними, домінантними та рецесивними, соматичними та генеративними.
- Мутації можуть бути спонтанними та індукованими. Індуковані мутації виникають під впливом на організм мутагенних чинників.

Біологія + Мистецтво ✿ *Картина Рафаеля Санті (1483–1520) під назвою «Сікстинська Мадонна» (1514) в історії мистецтва є образом досконалої краси. На цій картині зображено чудо явлення Небесної Цариці, поряд із якою художник розташував папу Сікста IV із шістьма пальцями правої руки. Цікаво, яка наукова назва цієї ознаки, що є однією з найдавніших мутацій людини.*



Коротко про головне

- **ГЕНЕТИКА** (від грец. *geneticos* — походження) — *наука про закономірності спадковості та мінливості організмів.*
- **ХРОМОСОМНА ТЕОРІЯ СПАДКОВОСТІ** — *це узагальнення наукових знань, згідно з якими хромосоми є матеріальною основою спадковості.*
- **Мутаційна теорія** — *це узагальнення знань про виникнення, проявлення та значення мутацій для організмів.*

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ ТА МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань про спадковість та мінливість у практичній діяльності.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (*див. с. 275*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання*: про **СПАДКОВІСТЬ та МІНЛИВІСТЬ ОРГАНІЗМІВ**
• *Застосовує навички* **ДОСЛІДЖЕННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування генетичних досліджень організмів
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **НЕОБХІДНІСТЬ ТА ВИПАДКОВІСТЬ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 9. СПАДКОВІСТЬ, МІНЛИВІСТЬ та ...

Тема 10. СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ТА АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ

Побудова живої природи ґрунтується на двох опорах: по-перше, це єдність світу, по-друге — його різноманітність.

Ервін Чаргафф (1905–2002) — американський біохімік, автор відкриття парності нітрогенвмісних основ ДНК



§ 10.1. СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ОРГАНІЗМІВ

Пригадуємо! **Тихохідки** (*Tardigrada*), або водяні ведмедики — тип мікроскопічних (до 1,5 мм) безхребетних тварин із надзвичайною витривалістю. Тихохідки поширені повсюдно і переносять температури від −273 до +150 °С, витримують дози радіації в 570 тисяч рентген. Науковці пояснюють таку витривалість тим, що тихохідки «напозичали» близько 18 % ДНК у організмів-екстремофілів — архей, бактерій, мохів й грибів. Де живуть ці організми?



ЗМІСТ

Які ознаки характеризують середовище існування?

СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ є частиною природи, що безпосередньо оточує організми, утворене певними екологічними чинниками, що здійснюють прямий чи опосередкований вплив. Температура, солоність води, світло, вітер, вологість є екологічними чинниками, що створюють ***умови існування організмів***. А такі чинники як їжа, вода, гумус, кисень, що їх організми використовують для життєдіяльності, є ***ресурсами середовища існування***.

Середовище існування є джерелом необхідних для життя речовин, змінює живе, зумовлює формування адаптацій, виникнення нових популяцій й видів. З іншого боку, організми змінюють середовище існування і роль їх у цьому надзвичайно велика. Ґрунтоутворення, біофільтрація, азотфіксація, утворення осадових порід, мінералізація решток — це лише незначний перелік тих процесів, які впливають на ресурси та умови середовища існування.

Середовище існування може бути зовнішнім та внутрішнім, природним й штучним, абіотичним й біотичним. Основними типами середовищ існування для організмів нашої Землі у природі є *наземно-повітряне, водне, ґрунтове* та *гостальне*. Організми можуть мешкати в одному або декількох середовищах.

Впливи чинників середовища існування формують в організмів певні морфологічні, фізіологічні та етологічні адаптації. У подібних умовах середовища існування у різних видів виробляються подібні адаптаційні комплекси, що є основою для виділення життєвих форм організмів. **Життєва форма** — *це тип морфофізіологічних адаптацій організмів*

до умов середовища існування і певного способу життя. Так, у вищих рослин розрізняють такі життєві форми, як дерева, кущі, трави, а у тварин наземні, підземні, деревні, повітряні та водяні.

Біологія + Екологія ❁ *Тихохідки демонструють разюче різні адаптивні реакції на несприятливі умови навколишнього середовища, як-от посуха, холод або дефіцит кисню, згруповані під загальною назвою... Розв'язую анаграму та отримую назву цього стану.*

ОЗ АНА БІ

Які впливи середовища називають екологічними чинниками?

ЕКОЛОГІЧНИМИ ЧИННИКАМИ є усі компоненти навколишнього середовища, які впливають на живі організми та їх угруповання. Чинники середовища називають екологічними лише у тому випадку, якщо вони для живих систем мають певне значення. Яке ж біологічне значення екологічних чинників?

Під впливом чинників середовища формуються пристосування на різних рівнях організації життя (*адаптаційне значення*) та зміни пристосувань у відповідь на зміни середовища (*модифікаційне значення*), світлові чи звукові впливи є джерелом інформації про стан середовища (*сигнальне значення*), магнітні впливи забезпечують визначення місцеперебування чи напрямків переміщення у просторі (*біонавігаційне значення*). Надмірні чи недостатні впливи чинників зумовлюють стресові реакції й адаптації, що є важливим для виживання в нових чи незвичних умовах (*захисне значення*).

В екології існують різні класифікації екологічних чинників: за походженням (космічні, техногенні), за середовищем виникнення (атмосферні, гідрологічні, едафічні), за характером впливу (фізичні, хімічні, біологічні), за об'єктом впливу (індивідуальні, групові, видові, соціальні), за ступенем впливу (летальні, екстремальні, обмежуючі) та інші. Проте найпоширенішою є класифікація за природою впливів: *абіотичні* (впливи чинників неживої природи), *біотичні* (впливи чинників живої природи) та *антропічні* (прямі й опосередковані впливи діяльності людини).

ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ		
Абіотичні	**Антропічні**	**Біотичні**
Кліматичні (вплив світла, температури, вологості) *Атмосферні* (вплив повітря) *Едафічні* (вплив ґрунту) *Гідрологічні* (вплив води) *Топографічні* (вплив рельєфу)	*Техногенні* (впливи галузей промисловості) *Антропогенні* (безпосередній вплив людини)	*Симбіотичні* (мутуалізм, коменсалізм, паразитизм) *Нейтральні* *Антагоністичні* (хижацтво, виїдання, конкуренція)

Які закономірності впливу екологічних чинників на організми?

Незважаючи на різноманітність екологічних чинників, науковці відмічають певні загальні закономірності їхнього впливу на організми й угруповання:

- ***Закон оптимуму:*** кожен чинник позитивно впливає на життєдіяльність організмів лише у певних межах.
- ***Правило взаємодії екологічних чинників:*** пристосованість живого до певного чинника залежить від інтенсивності дії інших чинників. Наприклад, підвищення температури повітря сприяє випаровуванню води, зниження освітленості зменшує потреби рослин у цинку.
- ***Закон обмежувального чинника:*** життєдіяльність виду обмежується тим чинником, дія якого є найбільш віддаленою від оптимальної. **Обмежувальний (лімітуючий) чинник** — *це чинник середовища, який найбільше відхиляється від оптимуму дії серед всіх інших факторів і виходить за межі витривалості*. Найчастіше лімітуючими факторами є вода, температура, їжа. Так, життєдіяльність форелі струмкової (*Salmo trutta*) обмежується вмістом кисню у воді, життя оленя північного (*Rangifer tarandus*) залежить від глибини снігового покриву.



Іл. 77. Діжка Лібіха, що ілюструє обмежувальний чинник

Коротко про головне

- **СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ** — *це частина простору, у якій мешкають особини, популяції та угруповання організмів різних видів.*
- **ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ** — *це всі компоненти навколишнього середовища, які впливають на живі організми та мають для них певне біологічне значення.*
- Існування організмів у певному середовищі існування зумовлено взаємодією з цілим комплексом екологічних чинників, що діють з певними закономірностями.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Схема дії екологічного чинника.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **ДОЦІЛЬНІСТЬ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Визначає*: основне поняття **СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ІНФОРМУВАННЯ** щодо впливу екологічного чинника на організм
• *Визначає сутність ціннісної категорії: ДОЦІЛЬНІСТЬ*

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 275*).

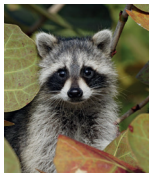
Особистісне завдання. Тест «Креативність».

Завдання для прогнозування. ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ.

Біологічна адаптивність і є життя.
Ганс Сельє (1936–1989) — канадський фізіолог, автор вчення про стрес



§ 10.2. АДАПТАЦІЯ ОРГАНІЗМІВ



Усвідомлюємо! Зоологи не даремно називають єнотів «геніями адаптації». Ця тварина має цілий ряд дивних й цікавих пристосувань. Йдеться про ракуна звичайного, або єнота-полоскуна (*Procyon lotor*). Назва «полоскун» пов'язана з цікавою біологічною особливістю звіра, який часто «полоще» свою їжу у воді. Якими є адаптації цієї тварини?

ЗМІСТ

Які основні групи та властивості адаптацій організмів?

У найпростішому розумінні під адаптацією розуміють *здатність організмів пристосуватися до умов зовнішнього середовища*. Адаптація реалізується на кожному з рівнів організму. Наприклад, *клітинними адаптаціями* є збільшення кількості мітохондрій на нестачу кисню, *популяційними* — спільне добування їжі зграєю вовків чи прайдом левів, *видовими* — шлюбні танці журавлів чи турнірні бої оленів, *екосистемними* — бактеріориза бульбочкових бактерій роду *Rhizobium* із бобовими рослинами. Але найрізноманітнішими та найбільш вивченими є організмові адаптації, які класифікують на три групи:

- *структурні* — це пристосувальні ознаки будови й форми тіла (великі вуха слонів для терморегуляції, обтічна форма тіла дельфінів чи риб для швидкого плавання);
- *фізіологічні* — це особливості життєвих функцій (потовиділення у ссавців для терморегуляції, секреція отрути у змій чи павуків для нападу чи захисту);
- *етологічні* — це поведінкові реакції організму (нічний спосіб життя у мешканців пустель, загрозливі пози тіла для оборони від хижаків).

Які найзагальніші властивості цих адаптацій організмів?

Індивідуальність. Процес адаптації завжди індивідуальний, оскільки залежить від особливостей генотипу конкретних організмів та регуляції експресії генів.

Відносна доцільність. Будь-яка адаптація допомагає організмам вижити лише в тих умовах, у яких вона формувалася. Доказами відносного характеру пристосованості є наступні факти: захисні пристосування від одних ворогів є неефективними проти інших (наприклад, отруйних змій поїдають мангусти), прояви інстинктів у тварин не завжди є доцільними (нічні метелики летять на вогонь), корисний в одних умовах орган стає непотрібним в іншому середовищі (перетинки на лапах у гірських гусей).

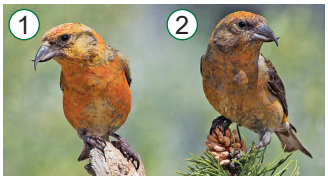
Непостійність. Адаптації змінюються в процесі індивідуального та історичного розвитку залежно від умов існування. Так, зі зменшенням впливу сонячного світла змінюється засмага людини, харчова спеціалізація породжує зміну форми дзьоба у в'юрків.

Які закономірності формування адаптацій організмів?

Закономірності формування адаптацій є предметом досліджень екології, еволюційної біології, біогеографії, порівняльної анатомії, фізіології, цитології, біохімії, молекулярної біології, генетики популяцій, етології, що свідчить про складність цього прояву життя. На сьогодні сформульовано низку правил і законів, серед яких в якості основних можна виділити такі:

Правило адаптивності: *у відповідь на вплив умов середовища в усіх організмі в на всіх рівнях організації живої матерії формуються пристосування*. Згідно з цим правилом усе живе здатне пристосовуватися до умов існування (адаптивність), наслідком чого є певна сукупність пристосувань (адаптованість).

Закон екологічної індивідуальності: *кожен вид організмів за екологічними можливостями адаптації є унікальним, двох ідентичних видів не існує*. Кожен вид організмів у мінливому середовищі життя адаптований по-своєму. Навіть види-двійники (*див. іл. 78*) мають свої індивідуальні пристосування.



Іл. 78. Види-двійники – шишкар ялиновий (1) і шишкар сосновий (2)

Правило відносної незалежності адаптацій: *висока адаптивність до одного з екологічних чинників не гарантує такої пристосовуваності до інших умов життя*. Навпаки, вона може обмежувати ці можливості через певні особливості будови чи функцій організмів.

Згідно із ***законом оптимуму*** (закон толерантності Шелфорда), *існування організмів виду визначається не тільки чинником, що перебуває в мінімумі, а й чинником, рівень якого наближається до максимуму*. Такі чинники називають *екстремальними*: їхні впливи значно перевищують звичайні межі та спричиняють стрес для організму.

Біологія + Сільське господарство ❁ *Внаслідок підвищеної температури повітря, різкої зміни погоди яблуні переходять у стан стресу. З фізіологічної точки зору в їхньому організмі підвищується рівень стресових фітогормонів (абсцизової та амінокапронової кислоти), що визначають стрес: порушується засвоєння речовин, старіють листки, опадають незрілі плоди. Чи є ці прояви ознаками адаптації яблунь?*



Які основні стратегії формування адаптацій?

За тривалістю розрізняють три стратегічних напрямки адаптивних процесів.

1. ***Стратегія еволюційних адаптацій*** характеризується найбільш тривалим характером формування пристосувань, потребує зміни багатьох поколінь і пов'язана зі змінами генетичної інформації. Прикладом цього типу адаптивних стратегій є формування білків-антифризів у полярних риб, а також поява різних видів хлорофілу в рослин.

2. ***Стратегія акліматизації*** здійснюється упродовж життя особини і має характер неспадкових модифікацій. Наприклад, сезонні зміни будови чи поведінки організмів.

3. ***Стратегія негайної адаптації*** здійснюється завдяки змінам активності ферментів. Прикладом негайних адаптацій можуть бути позитивні чи негативні таксиси рослин.

За характером формування пристосувань розрізняють три стратегії адаптацій. ***Активний шлях адаптацій*** передбачає формування адаптивних механізмів підтримки гомеостазу внутрішнього середовища незалежно від змін середовища життя. Наприклад, підтримування постійної температури тіла у ссавців, активна протидія втратам води в рослин. ***Пасивний шлях адаптацій*** вимагає підпорядкування життєвих функцій організмів змінам умов навколишнього середовища. Такий тип пристосувань виявляється зниженням метаболізму, сповільненням поділу, росту й розвитку клітин тощо. Прикладом є *гіпобіоз*, або спокій вимушений (наприклад, заціпеніння риб, амфібій), *криптобіоз*, або спокій фізіологічний (наприклад, сплячка ссавців, глибокий спокій рослин), *анабіоз* (повна тимчасова зупинка життя, наприклад, у тихоходок, коловерток). ***Уникнення несприятливих впливів*** — це стратегія формування в організмів життєвих циклів й проявів поведінки, які дозволяють уникнути несприятливих змін чинників середовища. Наприклад, сезонні міграції тварин, швидке цвітіння рослин у сприятливий короткочасний сезонний період.

Коротко про головне

- **АДАПТАЦІЯ** (від лат. *adaptatio* — пристосування) в біології — *загальна властивість усіх біосистем до формування й розвитку нових ознак відповідно до змін умов існування.*
- **Адаптаціогенез** — *процес формування нових пристосувань або удосконалення існуючих відповідно до певних умов існування.*
- **Стратегія адаптацій організмів** (адаптивна стратегія) — *це певний загальний напрям формування пристосувань організмів різних видів, що забезпечує їхнє існування в часі.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **АДАПТАЦІЯ ОРГАНІЗМІВ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Різноманітність структурних адаптацій.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Вивчення адаптивних стратегій птахів до польоту.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Визначає:* особливості **АДАПТАЦІЙ ОРГАНІЗМУ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ІНФОРМУВАННЯ** про причини різноманіття адаптацій
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про **ДОЦІЛЬНІСТЬ** адаптацій

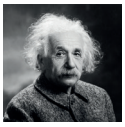
Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Метод прихованих властивостей об'єктів».

Завдання для розпізнавання. РІЗНОМАНІТНІСТЬ АДАПТАЦІЙ.

Що може знати риба про воду,
в якій плаває все своє життя?

Альберт Ейнштейн (1879–1955) —
американський, німецький та швейцарський фізик-теоретик



§ 10.3. АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ

Застосовуємо! Риби — хребетні тварини, які в процесі еволюції сформувалися у водному середовищі. У світовій іхтіофауні налічують близько 21 000 видів, поширених у морських та прісних водоймах: від океанічних западин до гірських струмків. Цікаво, чому риби є найчисленнішою й найрізноманітнішою групою хребетних, хоча водне середовище — найбільш однорідне і найстабільніше?



ЗМІСТ

Які особливості водного середовища існування?

ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ — *це абіотичне середовище існування, основним ресурсом якої є вода*. Це те середовище, в якому, найбільш ймовірно, виникло й еволюціонувало життя. Умови існування в межах водного середовища визначається властивостями води, а лімітуючими ресурсами є кисень, світло і мінеральні речовини.

Вода як середовище існування має *високу щільність*; у морської води вона (близько 1,03 г/см^3 при +20 ˚С) трохи вища, ніж у прісної (близько 1 г/см^3). Щільність води залежить від температури, вмісту солей та змінюється з глибиною (зростає на 1 атм на кожні 10 м).

Висока теплоємність й низька теплопровідність води визначають *стабільний температурний режим*, але у різних водоймах існує досить значна різноманітність температурних умов. Так, у полярних водах середньорічна температура становить близько +2 ˚С, на глибинах +4 ˚С, в екваторіальних водах +26 ˚С, а в гарячих джерелах +100 ˚С і більше.

Водне середовище має відносно *низький вміст кисню* (близько 10 мл/л, що у 21 раз менше, ніж в атмосфері) через слабку розчинність цього газу. У прісній і особливо морській воді значно більший вміст CO_2 (приблизно в 150 разів більше, ніж в атмосфері), що позначається на фотосинтезі водоростей і формуванні захисних вапнякових утворів безхребетних.

У воді значно *менша кількість світла*, ніж у повітрі, що пояснюється відбиттям від поверхні водойм та сильним поглинанням світлових променів у водній товщі. Окрім того, прозорість води залежить від кількості завислих у ній часток. Тому загальна освітленість водойм швидко зменшується зі збільшенням глибини.

Важливим чинником водного середовища є *сольовий режим*. За солоністю розрізняють прісні (до 1 г/л), солонуваті (1–30 г/л), морські (30–40 г/л) і пересолені (понад 40 г/л) водойми. Найсолоніша вода в Мертвому морі (230 г/л).

Які основні екологічні групи організмів водного середовища?

Морські та прісноводні організми, які постійно живуть у водному середовищі, називаються **гідробіонтами**. Основними екологічними групами гідробіонтів є нейстон, планктон, нектон та бентос.

Нейстон — *це сукупність організмів, що живуть на межі водного та повітряного середовищ*. Ці ділянки населяють одноклітинні еукаріоти, планарії, дрібні молюски, клопи-водомірки, жуки-вертячки, личинки риб, ряска мала, сальвінія плаваюча і т. ін. **Планктон** — *це сукупність організмів, які дрейфують у товщі води та не можуть активно протистояти течіям*. Найпоширеніші групи планктону — бактеріофаги, бактерії, археї, одноклітинні водорості, медузи, дрібні ракоподібні, молюски, личинки риб. **Нектон** — *це сукупність активно плаваючих організмів, що мешкають у водній товщі, можуть активно чинити опір течії та переміщуватись на значні відстані*. До цієї групи належать кальмари, риби, морські змії, черепахи, пінгвіни, китоподібні, ластоногі та інші. **Бентос** — *це рослинні й тваринні організми, які живуть на ґрунті та в ґрунті морських і прісних водойм*. До бентосу належать червоні й бурі водорості, корали, актинії, голкошкірі (морські їжаки та зірки), молюски (устриці, мідії, гребінці), ракоподібні (лангусти, краби).

Біологія + Екологія **Ряска мала** (*Lemna minor*) — *один з найрозповсюдженіших видів вищої водної рослинності прісноводних екосистем усіх континентів, крім Антарктиди. Називаю адаптації ряски малої до водного середовища існування.*



Які адаптації гідробіонтів до водного середовища?

Нейстонні організми живуть над поверхневою плівкою, прикріплюються до неї знизу або мешкають у воді на глибині до кількох сантиметрів. Прикладом організмів, які живуть над поверхневою плівкою є *клопи-водомірки*. Нижня частина їхнього тіла і кінчики кінцівок вкриті хітиновими волосками й воскоподібною речовиною, завдяки чому водомірки не тонуть й ковзають по воді. До поверхневої плівки примикають жуки-водолюби, молюски, личинки комарів з дещо іншими адаптаціями. Так, у молюска *блакитний ангел* наявні довгі вирости ноги для збільшення плавучості та періодичне заковтування бульбашок повітря.



Іл. 79. Гідробіонти: 1 — водомірка ставкова, 2 — ціанея арктична, 3 — черепаха зелена, 4 — беззубка звичайна

Планктонні організми зустрічаються на будь-якій глибині, але найчисельнішою є група фітопланктону, представники якої заселяють

добре освітлені шари води. Щоб зависати у воді фітопланктонні організми (наприклад, *діатомові водорості*) мають дрібні розміри, численні вирости, жирові включення. Великі планктонні організми (*ціанея арктична*, *реброплав венерин пояс*) позбавлені важких скелетів, мають підвищений (до 99 %) вміст води.

Нектонні організми здатні до активного переміщення у воді, а подекуди — навіть у повітрі. Типовими представниками нектону є риби, кальмари, морські змії, кити. До нектону належать також ті організми, які розмножуються на суходолі, але живляться у воді. Це водяні черепахи, пінгвіни, ластоногі, морські видри. Прикладами адаптацій нектонних організмів є плавці, ласти, сильні м'язи для швидкого руху, обтічна форма тіла, слизовий шар, розвинені органи дихання для швидкого газообміну й тривалого занурення.

Бентосні організми можуть жити на поверхні або всередині ґрунту, вони утворюють фітобентос й зообентос. У складі бентосу є прикріплені й неприкріплені види. Для утримання на поверхні ґрунту бентосні організми збільшили свою вагу завдяки зовнішньому скелету (тридакни, устриці, мідії, беззубки) і розвинули різні органи прикріплення (ризоїди чи підошва водоростей, основа губок). У багатьох малорухливих донних мешканців сплощена форма тіла (камбала, скати), є додаткові органи дихання (покриви у в'юнів), розвинена біолюмінесценція (глибоководні вудильники).

Коротко про головне

- **ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ** — *це абіотичне середовище з такими особливостями як висока щільність води, стабільний температурний режим, низький вміст кисню, менша кількість світла та певний сольовий склад.*
- **Гідробіонти** — це організми, які постійно живуть у водному середовищі.
- У межах екологічних груп гідробіонтів існують свої стратегії формування адаптацій і життєві форми організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення за схемою. **ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 10. Виявлення структурних адаптацій гідробіонтів (на прикладі риб).

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Фізіологічні та поведінкові адаптації головоногих.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ**
• *Організовує*: **ІНФОРМУВАННЯ** про взаємозв'язок адаптацій гідробіонтів з особливостями водного середовища
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: відносну **ДОЦІЛЬНІСТЬ** адаптацій гідробіонтів

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа «Домалюй картинку».
Завдання для відтворення. ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ.

Ще неймовірніше, аніж море
Ще більш змістовніше — повітря.
Алейксандре-і-Мерло Вісенте (1898–1982) — іспанський поет, лауреат Нобелівської премії з літератури (1977)



§ 10.4. АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ ДО НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ



Аналізуємо! Атмосферне повітря — це природна суміш газів. У повітрі розрізняють постійні й змінні складові компоненти. Це азот, вуглекислий газ, водень, озон, кисень, інертні гази, метан, сірководень, водяна пара, амоніак та оксиди Сульфуру. Які саме складники повітря є визначальними умовами існування для живого?

ЗМІСТ

Які особливості наземно-повітряного середовища існування?

Складність й різноманітність умов існування у наземно-повітряному середовищі пояснюється насамперед взаємодією атмосфери з іншими оболонками Землі. Провідна роль у середовищі належить таким чинникам, як газовий склад повітря, світло, температура й вологість, а лімітуючими чинниками найчастіше є тепло й волога.

Хімічний склад повітря досить однорідний (азот — близько 78 %; кисень — близько 21 %, інертні гази — 0,9 %; вуглекислий газ — 0,03 %), однак різні домішки (метан, сірководень, амоніак, оксиди Сульфуру й Нітрогену, частинки пилу) можуть мати суттєве екологічне значення.

Світловий режим середовища характеризується великою інтенсивністю й кількістю світла. Світло — це єдиний чинник, зміни якого є ритмічними, і тому це основний сигнальний чинник, що визначає сезонні та добові біоритми. Значення світла для різних організмів пов'язане з променями трьох ділянок спектра: ультрафіолетовим, спектром видимого світла та інфрачервоним.

Температура відіграє надзвичайну роль у житті організмів, оскільки впливає на швидкість реакцій обміну речовин. Характеризуючи температуру як екологічний чинник, слід розрізняти температуру повітря, температуру ґрунту і різницю між ними. Особливістю температурного режиму наземно-повітряного середовища є великий розмах температурних коливань як упродовж доби, так і протягом року. Ця дія разом із впливом світла має важливе сигнальне значення, оскільки регулює та коригує ритми активності організмів.

Вологість повітря є чинником, що характеризується вмістом водяної пари в атмосфері. Наявність вологи в повітрі різко змінює його теплопровідність і теплоємність. Тому спека й холод в умовах високої вологості переносяться значно важче. Вологість у наземно-повітряному середовищі коливається в широких межах, а дефіцит вологи — це одна із його найбільш істотних особливостей.

Біологія + Музика ✿ *Наприкінці XX ст. виник окремий напрямок науки — **зоомузикологія**, що досліджує співи тварин. Зіставте зображення найкращих лісових «вокалістів» (1–3) з їхніми назвами (А–Ш) і отримайте прізвище французького композитора, який є засновником зоомузикології. Чому саме спів є найважливішим засобом комунікації птахів у наземно-повітряному середовищі?*



А Дрізд чорний
М Зяблик
Ш Соловейко східний?

Що є причиною різноманітності екологічних форм аеробіонтів?

Аеробіонти (від грец. *aer* — повітря, *biontos* — той, що живе) — *це організми, які населяють наземно-повітряне середовище*. В основу екологічних класифікацій мешканців наземного середовища покладені найрізноманітніші критерії. За відношенням до вмісту кисню серед організмів виділяють анаеробів й аеробів. *Анаероби* — організми, які здатні жити й розвиватися в безкисневому середовищі. Це анаеробні бактерії, дріжджеві гриби, внутрішні паразити, глибоководні організми. *Аероби* — організми, здатні існувати лише в кисневмісному середовищі. Представниками групи є більшість рослин, тварин й грибів. За відношенням до температури аеробіонти поділяють на теплолюбні (термофіли) і холодолюбні (кріофіли). *Термофіли* — це екологічна група видів, які живуть в умовах постійно високих температур. Це ціанобактерії гарячих джерел, археї чорних курців, тварини пустель, тропічні птахи. *Кріофіли* — це види, пристосовані до життя в холодних умовах. Прикладом є хламідомонада снігова, снігова муха, безкрилі зимові комарі, білий ведмідь. За відношенням до вологості серед аеробіонтів розрізняють гігрофіли й ксерофіли. *Гігрофіли* пристосовані до життя в умовах високої вологості (мокриці, дощові черв'яки, росянка), а *ксерофіли* — до місць існувань із пониженою вологістю (саксаул, ковила, тушканчики, верблюди).

Чому повітря є важливим екологічним чинником для наземних організмів?

Наземно-повітряне середовище набагато складніше для життя, ніж водне.

Мала щільність повітря зумовлює низьку опірність щодо переміщення. Тому велика кількість видів наземних тварин (близько 75 %) в ході еволюції набула здатності літати. Це комахи, птахи, літаючі амфібії, рептилії, ссавці. Адаптаціями до польоту є крила, розвинені «літальні» м'язи, полегшена маса тіла. Спеціальними пристосуваннями до пасивного польоту є збільшення площі тіла чи його частин завдяки виростам, велика відносна поверхня крил, використання павутини. У багатьох видів розвинена ***анемохорія*** *— розселення за допомогою повітряних течій*. Анемохорія характерна для спор, насіння, плодів, цист найпростіших, дрібних комах, павуків. Через *незначну*

силу опору повітря всі мешканці повітряного середовища пов'язані з поверхнею землі, яка слугує їм для закріплення в ґрунті, відпочинку, розмноження. Ця властивість повітря є причиною наявності у мешканців такої адаптації, як опорні структури. Так, у вищих рослин наявні механічні тканини, у комах — хітиновий екзоскелет, у птахів — кістковий ендоскелет.

Високий вміст кисню в повітрі сприяв підвищенню ефективності обміну речовин і саме тому виникли гомойотермні організми, якими є птахи і ссавці. У цих організмів розвинені фізіологічні механізми швидкої доставки кисню до клітин та біохімічні реакції його використання. *Вміст вуглекислого газу може змінюватися* в окремих ділянках повітря у досить значних межах. Тому в аеробіонтів наявні адаптації для регуляції надходження CO_2 в організм чи його видалення з організму. Так, для надходження вуглекислого газу ґрунтового походження в багатьох видів рослин продихи розташовані тільки на нижній поверхні листків або ж їх там набагато більше, ніж на верхній. *Високий вміст азоту* в повітрі сприяв формуванню у прокаріотів (ціанобактерії, бульбочкові бактерії) здатності до азотфіксації, завдяки чому відбувається біологічний кругообіг Нітрогену.

Коротко про головне

- **НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ** — *це абіотичне, найрізноманітніше за умовами існування середовище, основним ресурсом якого є повітря.*
- Різноманітність умов існування наземно-повітряного середовища є причиною наявності багатьох екологічних груп.
- Повітря як абіотичний компонент наземного середовища існування є екологічним чинником, оскільки в організмів сформувалися певні адаптації до його впливу.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань за схемою. **НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Виявлення адаптацій аеробіонтів.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Адаптації наземних рослин.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ**
• *Аналізує результати*: **ІНФОРМУВАННЯ** щодо причин різноманітності адаптацій аеробіонтів
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* відносну **ДОЦІЛЬНІСТЬ** адаптацій наземних рослин

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку уяви «Метафоризація».

Завдання для конструювання. НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ.

Серед багатьох чинників взаємовпливи організмів різних видів мають особливе значення.

Генріх Антон де Барі (1831–1888) — німецький ботанік та мікробіолог



§ 10.5. АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ ҐРУНТОВОГО ТА ГОСТАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩ ІСНУВАННЯ

Оцінюємо! У Джонатана Свіфта (1667–1745), автора всесвітньовідомих творів про Гулівера, у поезії «На блоху» (англ. «On a Flea») є такі рядки:

Під мікроскопом він відкрив,
що на блосі живе й її кусає блішка;
На блішці ж тій існує блошеня — манюня,
У блошеня ж встромляє зуб сердито блошиненя,
і так ad infinitum (з лат. — до нескінченості).



Які ж значення мають взаємовпливи організмів різних видів?

ЗМІСТ

Якими є особливості ґрунтового середовища та адаптації його мешканців?

Екологічне значення **ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ** визначається *фізичними* (пористість, щільність, структурність, вологоємність, теплоємність), *хімічними* (хімічний склад, кислотність) та *біологічними* (ґрунтове дихання, наявність ґрунтових мешканців та активність ґрунтових ферментів) властивостями ґрунтів. Ґрунт як середовище існування характеризується такими особливостями: *вода і повітря заповнюють порожнини між частками ґрунту, склад ґрунтового повітря відрізняється від атмосферного; відсутність впливу світла; вологість завжди вища, ніж у повітрі; амплітуда добових і річних коливань температур — незначна* тощо. Ґрунтове середовище, навіть за наявності істотної неоднорідності екологічних умов, є достатньо стабільним середовищем існування для організмів.

Едафобіонти (від грец. *edaphos* — ґрунт), або **геобіонти** — *мешканці ґрунтового середовища існування*. За екологічними особливостями серед мешканців ґрунтового середовища розрізняють такі групи як мікробіонти, фітобіонти, мікобіонти та зообіонти.

Ґрунтовими ***мікробіонтами*** є бактерії (актиноміцети, міксобактерії, ціанобактерії, хемотрофні бактерії) археї, нижчі гриби, одноклітинні зелені й діатомові водорості, ґрунтові амеби, інфузорії, а також мікроорганізми, які населяють тканини живих рослин (наприклад, бульбочкові бактерії). Найпоширенішими групами ***мікобіонтів*** є цвілеві гриби, слизовики, мікоризні гриби та ліхенізовані гриби. Ці організми розкладають органічні рештки та утворюють органічні кислоти, що підвищують кислотність ґрунтів. ***Фітобіонтами*** є водорості та вищі рослини. Відмерлі рештки рослин, перетворені мікроор-

ганізмами і тваринами, — це основне джерело органічних речовин для ґрунтоутворення. Група ***зообіонтів*** поєднує безхребетних і хребетних тварин. Головною функцією цих організмів у ґрунтоутворенні є споживання й руйнування органічних речовин та перетворення енергії.

Основними адаптаціями едафобіонтів є мінеральне живлення, розгалуженість тіла, зменшені розміри, тонкі покриви тіла, риючі кінцівки, вертикальні міграції, слабка пігментація тіла, розвинений нюх й слабкий зір, коротке густе хутро тощо.

Що відрізняє гостальне середовище існування?

ГОСТАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ, на відміну від інших, вже є *біотичним середовищем*. Організм як середовище існування має ряд переваг перед іншими осередками життя: *стабільність водного режиму, сталість сольового складу, велика кількість їжі, захищеність мешканців, відсутність температурних перепадів*. Водночас гостальне середовище життя має й низку недоліків для його мешканців: *обмеженість життєвого простору, незначний вміст кисню, нестача світла, наявність захисних бар'єрів* та ін. Лімітуючими чинниками є біотичні впливи з боку організму хазяїна.

Онтобіонти — *мешканці гостального середовища життя*. Віруси, одноклітинні та багатоклітинні організми мають своїх численних внутрішніх чи зовнішніх мешканців. Наприклад, організм людини є середовищем життя для вірусів, бактерій, архей, грибів і тварин, серед яких наявні мутуалісти, коменсали та паразити зі своїми складними симбіотичними відносинами.

В чому полягає своєрідність адаптацій онтобіонтів? Еволюція співмешканців відбувається спільно з еволюцією їх хазяїв, тому спостерігаються: *взаємозалежність адаптацій* (квіти рослин мають нектарники для приваблювання бджіл), *спрощення організації* (втрата органел, органів і навіть цілих систем органів). Незначний вміст кисню всередині організмів-хазяїв веде до того, що у багатьох співмешканців гостального середовища переважає *анаеробний тип обміну*. У ектопаразитів чи коменсалів для прикріплення до тіла хазяїна *наявні спеціальні органи прикріплення* (присоски, гачки, кігтики).

Якими є адаптації паразитів?

Паразитизм є універсальним екологічним явищем живої природи. Найбільша кількість паразитів спостерігається серед одноклітинних еукаріотів (*малярійний плазмодій, трипаносоми, лейшманії, дизентерійна амеба*), грибів (*трутовики, сажкові, іржасті, ріжкові гриби*) та тварин (*сисуни, ціп'яки, стьожаки, аскариди, гострики, кліщі, блохи, воші*). Найвідомішими квітковими рослинами-паразитами є *повитиця, вовчок, рафлезія, петрів хрест*.

Паразит — *це організм, який живе на поверхні, або в органах і тканинах інших видів організмів, і використовує їх як джерело поживних речовин та місце проживання*. Загальними адаптаціями ***бактерій-паразитів*** є здатність утворювати токсини, швидке розмноження, утворення цист для перенесення несприятливих умов. ***Гриби-паразити*** пристосовані жити на поверхні або в тілі свого хазяїна.

Ці істоти утворюють *величезну кількість спор*, *мають різні способи їхнього поширення*, здатні виділяти *отруйні речовини і вбивати клітини*, а потім вже живитися їхнім вмістом (*опеньок темний*). Для живлення вони утворюють *гаусторії*, що проникають у клітини й поглинають поживні речовини (*фітофтора*). ***Рослини-паразити*** поділяють на екто- й ендопаразитів. Ектопаразити живуть на поверхні хазяїна (омела, повитиця, вовчок), а ендопаразити існують в організмі хазяїна та залишають його тіло виключно для розмноження (рафлезія). У ***тварин-паразитів*** розрізняють *морфологічні* (розвиток органів прикріплення, зменшення розмірів тіла, антиферментні покриви, втрата органів), *фізіологічні* (анаеробне дихання, антизсідальні властивості слини) та *репродуктивні* (гермафродитизм, розвинена статева система й підвищена плодючість, наявність основного й одного чи декількох проміжних хазяїв) *адаптації*.

Біологія + Біорізноманіття ❁ *Це хто, прибулець із іншого світу? Та ні, перед вами коропоїд* (*Argulus foliaceus*) *із присосками й сисним ротовим апаратом, що є адаптаціями для співіснування з рибами. А до якої групи належать ці дивні істоти?*



Коротко про головне

- **ҐРУНТОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ** — *це абіотично-біотичне середовище, умови якого визначаються верхнім родючим шаром суходолу.*
- **ГОСТАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ** (від англ. *host* — господар) — *це біотичне середовище існування, пов'язане з ресурсами живого організму.*
- **ПАРАЗИТИЗМ** — *це форма симбіотичних відносин, за якої паразит використовує організм хазяїна як джерело їжі й місце постійного чи тимчасового проживання.*

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань за схемою. **ҐРУНТОВЕ ТА ГОСТАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ.**

Розвивальне завдання. Практична вправа. Адаптованість організмів до середовища існування.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості ставлення. Повитиця польова та її адаптації.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ҐРУНТОВЕ ТА ГОСТАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ**
• *Оцінює результати:* **ДОСЛІДЖЕННЯ** взаємозв'язку особливостей середовища існування з адаптаціями мешканців
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: відносну **ДОЦІЛЬНІСТЬ** адаптацій паразитичних організмів

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Великі чудеса дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 10. ПАРАЗИТИЗМ та ...

Екологія — це біологія навколишнього середовища.
Юджин Одум (1913–2002) — американський біолог



§ 10.6. СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ, АДАПТАЦІЯ ОРГАНІЗМІВ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначаємо! *«Ой смереко, чарівна моя смереко...»* — так починається приспів відомої української пісні Любомира Якима. Смерекою називають одне з найулюбленіших та найпоширеніших у Карпатах дерев. Видова назва рослини — ***ялина європейська*** (*Picea abies*). Смерека суттєво впливає на природні умови, оскільки утворює в горах близько 40 % усіх лісів. Цікаво, які науки займаються дослідженнями взаємозв'язків між цими організмами та середовищем їхнього існування?



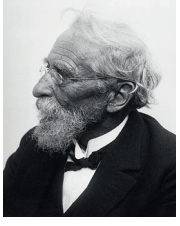
ЗМІСТ

Які основні завдання аутекології?

Дослідженням взаємозв'язків живого між собою та з навколишнім середовищем займається цілий комплекс наук, що охоплюють наукові знання на різних рівнях організації життя, від досліджень впливу екологічних чинників на функції молекул живого до вивчення глобальних біосферних процесів на планеті Земля. Назва цієї сукупності наук **ЕКОЛОГІЯ** (від грец. *ойкос* — дім, *логос* — наука).

Об'єктами досліджень екології є живі організми та надорганізмові біосистеми (популяції, види, екосистеми, біосфера) у найрізноманітніших та складних взаємозв'язках із середовищем. Тому в межах загальної екології вирізняють чотири основних розділи:

- ***аутекологія*** (факторальна екологія) вивчає організм та його існування в певних умовах природного чи штучно створеного середовища;
- ***демекологія*** (екологія популяцій) досліджує властивості популяцій у конкретних умовах їхнього існування, внутрішньо- і міжвидові взаємовідносини;
- ***синекологія*** (екологія угруповань) вивчає взаємовідносини організмів різних видів, що складаються в межах угруповань;
- ***екосистемологія*** (екологія екосистем) — це вчення про екосистеми всіх розмірів і ступенів складності, їхній розвиток, особливості, еволюцію та динаміку.



Іл. 80. Карл Шретер

Термін «аутекологія» увів у 1896 році швейцарський ботанік *Карл Шретер* (1855–1939). Основним завданням аутекології є виявлення структурних, фізіологічних й етологічних адаптацій організмів різних біологічних видів до впливу екологічних чинників. Серед важливих проблем аутекології — вивчення динаміки чисельності популяцій, закономірностей пристосування до змін

середовища існування в умовах антропогенного впливу й механізмів реагування видів на різні види фізичного, хімічного та біологічного забруднення.

Біологія + Аутекологія **Ящірка прудка** (*Lacerta agilis*) — *це вид рептилій, який належить до родини Справжніх ящірок. Населяючи величезну територію від Англії до Байкалу і від Скандинавії до Кавказу, цей вид є, без сумніву, найчисленнішим видом рептилій у Євразії. Наводжу приклади адаптацій організмів цього виду.*



У чому сутність закону єдності організмів та середовища?

Середовище існування є джерелом усього необхідного для організмів, воно сприяє мінливості, зумовлює формування адаптацій, виникнення нових популяцій й видів. З іншого боку, організми змінюють середовище існування, і їхня роль у цьому надзвичайно велика. Ґрунтоутворення, біофільтрація, азотфіксація, утворення осадових порід, мінералізація решток — це лише незначний перелік тих процесів, які впливають на ресурси та умови середовища існування. Ця закономірність відома як **закон єдності організмів та середовища їхнього мешкання** і у різний час була сформульована як принцип чи постулат К.Ф. Рульє, І.М. Сеченовим та В.І. Вернадським. Сутність її полягає в тому, що *між живими організмами та їхнім середовищем існування формуються тісні взаємовідносини та взаємозалежності, які зумовлюють їхню діалектичну єдність*. Ця закономірність є основою для розуміння екологічних явищ, оскільки в ній відображені основні принципи функціонування організмів:

- відкритість організмів та їхня залежність від потоку речовин, енергії та інформації;
- взаємодія із середовищем та формування зовнішніх зв'язків із складниками довкілля;
- організми не лише зазнають впливів середовища, а й здатні його змінювати;
- мінливість середовища зумовлює необхідність процесів для підтримування динамічної рівноваги (гомеостазу);
- адаптаційні процеси є універсальною властивістю організмів.

Яке практичне значення мають дослідження адаптацій організмів?

Ще однією наукою, що вивчає вплив чинників середовища на життєві функції організмів та фізіологічні основи їхньої адаптації є **екологічна фізіологія**. Дослідження адаптацій організмів мають широке практичне значення, оскільки допомагають розробляти стратегії реагування організмів на зміну клімату та збереження біорізноманіття (*охорона навколишнього середовища*), підвищувати стійкість культурних рослин (*сільське господарство*), створювати нові ліки та технології (*охорона здоров'я*). Вивчення природних адаптацій надихає науковців на створення нових видів біотехнологій та пристроїв, що імітують ефективні природні механізми. Розуміння адаптаційних можливостей видів дозволяє прогнозувати, як екосистеми реагуватимуть на

антропогенний вплив, і розробляти стратегії сталого управління природними ресурсами. Крім того, дослідження адаптацій розширює наші знання про процес еволюції та механізми, що лежать в основі виникнення нових видів.

Біологія + Автомобілі *За ефективністю природні білки-глікопротеїни полярних риб перевершують антифризи. Ймовірно, саме цим і пояснюється, що суто біологічні дослідження фінансував автоконцерн Volkswagen, зацікавлений в отриманні нових матеріалів для автомобільної промисловості. Що таке антифризи?*



Іл. 81. Нототенія мармурова (Notothenia rossii)

Коротко про головне

- **Аутекологія** — це розділ екології, що вивчає взаємовідносини організмів із навколишнім середовищем. Теоретичною основою аутекології є три закони: *оптимуму, екологічної індивідуальності* та *обмежувального чинника*.
- **Закон (принцип) єдності організму і середовища існування** — це фундаментальне положення екології та біології, згідно з яким живий організм і його середовище існування перебувають у тісній та нерозривній взаємодії.
- **Екологічна фізіологія** — це наука, яка досліджує фізіологічні адаптації організмів та вплив чинників середовища існування на фізіологічні процеси живих організмів.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. **СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ТА АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ**.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань про середовище існування та адаптацій у практичній діяльності.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (*див. с. 275*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ТА АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ**
• *Застосовує навички* **ІНФОРМУВАННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень адаптацій організмів
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **ДОЦІЛЬНІСТЬ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 10. СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ, АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ та ...

Завдання для креативних *Дослідження дзьоба цього птаха є основою розробки легких і міцних матеріалів для літаків й автомобілів. Як стверджують науковці, їхній дзьоб – один із найкращих «проєктів» у світі тварин. Називаю птаха.*



А *банановїд* **Б** *тукан* **В** *одуд* **Г** *гоацин*

Тема 11. ПОПУЛЯЦІЯ — ОСНОВНА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ЕКОСИСТЕМ

Популяція — природна сукупність особин одного виду, що є неоднорідною в генетичному відношенні.

Вільгельм Людвіг Йогансен (1857–1927)– данський біолог і генетик



§ 11.1. ПОПУЛЯЦІЯ

Цікаво! У гірських лісах України популяції білки звичайної мають темне забарвлення, а популяції рівнинних лісів — руде. Як ви думаєте, чому?



ЗМІСТ

Які особливості популяцій як біологічних систем?

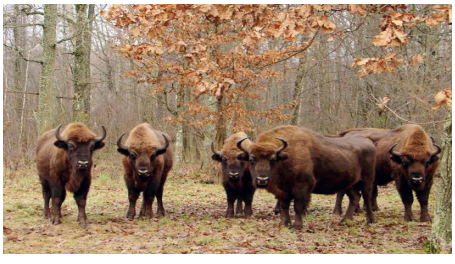
ПОПУЛЯЦІЯ (від лат. *populatio* — населення) — *це сукупність особин одного виду, які упродовж багатьох поколінь існують на певній території, вільно схрещуються і відносно ізольовані від інших подібних угрупувань цього виду.*

Структура популяцій. Організми популяції існують у просторі й часі як певна сукупність генетично подібних особин, між якими наявні внутрішні зв'язки. Організація популяцій пов'язана з існуванням груп, які формуються за статтю, віком, поведінкою.

Функціонування популяцій. Функціональна роль популяцій визначається їхнім місцем в ієрархічній системі організації живої природи. Популяції — це основні функціональні складники екосистем.

Властивості популяцій. Екологічні емерджентні властивості популяційного ступеня організації поділяють на дві групи: статичні (*здатність популяцій до поширення у просторі, кількісного зростання у часі та внутрішньовидових взаємодій*) та динамічні (*народжуваність, смертність, природний приріст*).

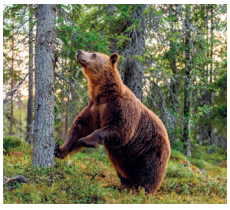
Класифікація популяцій. Основною умовою виникнення популяцій є неоднорідність умов існування в межах території поширення організмів одного виду (ареалу). Головним чинником, що об'єднує організми в популяціях, є вільне схрещування (панміксія). Багатьом видам притаманні ***метапопуляції*** (складаються з часткових популяцій, між якими наявний обмін генетичним матеріалом). Найчастіше у природі трапляються агрегації й деми. ***Агрегація*** — тимчасово просторово відокремлена група особин (наприклад, зграя мігруючої сарани або скупчення вужів на



Іл. 82. Найбільша популяція зубрів (Bos bonasus) в Україні мешкає на Вінниччині

зимівлю). ***Дем*** (локальна популяція) — відносно невелика, частково відокремлена від інших група особин.

За критерієм здатності до самовідтворення розрізняють незалежні, напівзалежні та залежні популяції. ***Незалежні популяції*** мають високий потенціал розмноження, завдяки якому чисельність особин постійно відновлюється (наприклад, острівні популяції птахів). ***Напівзалежні популяції*** можуть існувати тривалий час завдяки розмноженню особин, проте імміграція суттєво впливає на їхню чисельність (до цієї групи належить більшість існуючих популяцій). ***Залежні популяції*** — це угруповання, в яких народжуваність не компенсує втрат. Вони можуть існувати лише за умови поповнення особинами із сусідніх популяцій.



Біологія + Екологія ✿ *Чому ведмеді обдирають кору на деревах, що ростуть на межі їхньої території?*

Яка структура популяцій?

У межах популяції існують групи особин, які відрізняються за певними властивостями, тому однією з найважливіших характеристик популяції є її структура.

Статева структура — *це співвідношення особин різної статі*. У більшості видів кількість самців і самок майже однакова (1 : 1). Це *первинне співвідношення статей*, яке визначається в момент запліднення. *Вторинне співвідношення статей* у популяції встановлюється під впливом умов середовища й особливостей розмноження.

Вікова структура — *це розподіл особин за віковими групами*. Зазвичай у популяціях, що швидко зростають, значну частку становлять молоді особини. У стабільних популяціях розподіл вікових груп більш рівномірний, а в тих, для яких характерне зменшення чисельності, переважають особини старшого віку.

Просторова структура — *це розподіл особин популяції на території, яку вона займає*. Цей розподіл залежить від різноманітності умов довкілля та біологічних особливостей виду. Проявом розподілу організмів в ареалі є ефект групи.

Етологічна структура — *це система взаємозв'язків між особинами, що проявляється в їхній поведінці*. Основними формами організації популяцій тварин є *поодинокий* (павуки, ведмеді) та *груповий спосіб життя* (родини, колонії, зграї, табуни).

Яка функціональна роль популяцій у природі?

Основне значення популяцій полягає в *забезпеченні потоку речовин, енергії та інформації* в екосистемах, до складу яких вони входять. Як основні можна виділити такі функції популяцій:

- ***продукційна*** — популяції автотрофних організмів-продуцентів (ціанобактерії, рослини) засвоюють сонячну енергію й утворюють первинну продукцію для гетеротрофів;
- ***редукційна*** — популяції редуцентів (гетеротрофні бактерії, мікроміцети) розщеплюють органічні рештки до мінеральних речовин, які знову вступають в кругообіг;

- ***трансформаційна*** — популяції консументів (гриби, тварини) взаємоперетворюють речовини й енергію;
- ***регуляційна*** — завдяки механізмам саморегуляції популяції здатні підтримувати стабільність екосистем (яскравим прикладом є взаємовідносини «хижак-жертва»);
- ***інформаційна*** — важливою є участь популяцій у створенні «*каналів фізичних і хімічних сигналів, які пов'язують усі частини екосистеми і регулюють її діяльність*» (наприклад, *алелопатія* зумовлена секрецією рослинами різних сполук (колінів, фітонцидів), що впливають на інші організми).

Окрім того, популяції здійснюють *середовищеутворюючий вплив*. Наприклад, популяції рослин суттєво впливають на мікроклімат, утворюють місця для гніздування чи схованки для тварин, популяції мікроорганізмів впливають на якість ґрунту, тварини-фільтратори беруть участь в самоочищенні водойм.

Коротко про головне

- **ПОПУЛЯЦІЯ** (від лат. *populatio* — населення) — *це сукупність особин одного виду, які упродовж багатьох поколінь існують на певній території, вільно схрещуються і є відносно ізольованими від інших подібних організмів цього виду*.
- **Структура популяції** — *це поділ популяції на групи особин, що відрізняються за певними властивостями (розмірами, статтю, розташуванням, особливостями поведінки тощо)*. Розрізняють статеву, вікову, просторову, етологічну структури популяцій.
- **Функціонування популяцій** пов'язане з виконанням в екосистемах таких функцій: продукційної, редукційної, трансформаційної, регуляційної, інформаційної.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ПОПУЛЯЦІЯ**.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа «Сторінками Червоної книги». Просторова структура популяцій зубра в Україні.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **ПРОСТІР** і **ЧАС**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: поняття **ПОПУЛЯЦІЯ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ОБҐРУНТУВАННЯ** структурованості популяцій
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **ПРОСТІР** та **ЧАС**

Саморозвиток

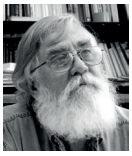
Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 276*).

Особистісне завдання. Вправа на розвиток невербального творчого мислення (на основі методики Е. П. Торренса).

Завдання для прогнозування. БІОСИСТЕМИ.

Якщо б поняття ніші можна було б визначити чітко, то всю екологію можна було б вважати наукою про ніші.

Ерік Піанка (1939–2022) — американський еволюційний еколог



§ 11.2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦІЙ

Усвідомлюємо! У шотландського поета Р. Бернса є гарний вірш «Кінець літа» з такими рядками. Чому кожний вид має «свій шлях, свої бажання», тобто свою екологічну нішу?

Вальдшнепи люблять тихий ліс,
Зяблики — місця чагарникові.
А чаплі з висоти небес,
Летять в свій край річковий.
Дрозди в ліщиннику живуть,
В грибній тиші галявин.
А глід колючий і густий,
Житло для коноплянок
У кожного є звичай свій,
Свій шлях, свої бажання



ЗМІСТ

Чим природні популяції відрізняються між собою?

ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦІЙ — це перелік особливостей структури, функціонування та властивостей популяцій, їхньої взаємодії з екологічними чинниками середовища існування. Для характеристики популяцій використовують ***статичні*** (характеризують стан і структуру популяцій) та ***динамічні*** (відображають популяційні процеси) параметри. З екологічною характеристикою безпосередньо пов'язане поняття екологічної ніші, яка описує взаємодію популяцій виду в екосистемі.

Екологічна ніша — *це просторове й функціональне багатовимірне місце виду (організмів, популяції) в екосистемі, що визначається його біотичним потенціалом та сукупністю чинників довкілля, до яких він пристосований*. Наприклад, в екосистемі широколистого лісу популяції різних видів птахів пристосовані до певних ярусів. Куріпка мешкає в нижньому (трав'яному) ярусі. На стовбурах дерев та всередині них харчуються та будують гнізда повзик і дятли. У сплетінні гілок будують гнізда вівчарик і зяблик, які переважно харчуються на землі. Проте сіра мухоловка ловить здобич у повітрі під пологом лісу. В небі над лісом кружляють ластівки та серпокрильці, які також збирають комах у повітрі, але ніколи не залітають під полог лісу і тим більше — не сідають на землю. Отже, всі перелічені види птахів практично не зустрічаються один з одним. Їхнє поширення та відмінності пов'язані з тим, що популяції різних видів в екосистемах займають різні екологічні ніші.



Іл. 83. Розподіл популяцій птахів у екосистемі широколистого лісу

Біологія + Біорізноманіття *У тайзі, соснових борах, густих листяних і змішаних лісах коричневі чи сірі, округлі або гостроверхі мурашники є ознакою здорового лісу. Із близько 70 видів мурах, які мешкають на території України, найпоширенішими й найбільш корисними для лісу є* ***руді лісові мурахи*** *(Formica rufa). Чи можна вважати окремі мурашники цих комах природною популяцією?*



Які основні статичні параметри популяцій?

Статичні параметри характеризують емерджентні властивості популяції в конкретний момент часу в стані спокою та рівноваги. Такими властивостями є *здатність популяцій до поширення у просторі, кількісного зростання у часі та внутрішньовидових взаємодій*. Найпоширенішими статистичними параметрами характеристики популяцій є популяційний ареал, чисельність та щільність.

Популяційний ареал *— це простір, заселений особинами конкретної популяції*. Ареал популяції для різних видів може бути особливим як за формою (локальний, лінійний чи континуальний), так і за розмірами (континуальний та ізольований), а для деяких — змінюватися в часі. Так, у *равлика виноградного* — ареал ізольований локальний, досягає декількох десятків метрів, у *лелеки білого* — континуальний, що включає гніздову територію, перелітні шляхи й місця зимівлі в Африці.

Просторова структура пов'язана з розподілом особин популяції у просторі існування. Розрізняють *випадковий* (наприклад, розподіл дощових черв'яків у ґрунті), *рівномірний* (наприклад, розподіл дерев у лісі) та *груповий* (наприклад, у слонів чи приматів) типи розподілу особин.

Чисельність популяції *— це кількість особин, яка входить до складу популяції і займає певну площу або об'єм в біоценозі*. На рівні популяцій існують процеси саморегуляції, що увідповіднюють чисельність популяції із ємністю середовища існування. Будь-яка популяція теоретично здатна до необмеженого зростання чисельності, але її обмежують ресурси популяційного ареалу (закон обмеженого росту, або закон Ч. Дарвіна).

Щільність популяції *— це середня кількість особин, що припадає на одиницю площі або об'єму простору, зайнятого популяцією*. Для кожного комплексу умов середовища існування є певна оптимальна густота популяції, яка визначається ємністю середовища існування. Існує ***принцип залежності від щільності*** (принцип А. Ніколсона): *впливи, що визначаються щільністю, збільшують смертність або зменшують народжуваність, у випадку зменшення щільності популяції — зменшують смертність або збільшують народжуваність*.

У чому сутність основних динамічних показників популяцій?

Динамічні параметри популяції характеризують процеси руху та розвитку, що відбуваються в популяції упродовж певного проміжку часу. Основними динамічними параметрами популяцій є: народжуваність, смертність, природний приріст.

Народжуваність у популяції характеризує її здатність до самовідтворення та підтримки чисельності. Для характеристики застосовують показники, що ілюструють кількість нових особин популяції, народжених за одиницю часу. Наприклад, *загальний коефіцієнт народжуваності* розраховується як відношення кількості народжених протягом року до середньорічної чисельності особин популяції, помножене на 1000. Коефіцієнт народжуваності вимірюється у проміле ‰.

Смертність у популяціях характеризує опірність організмів популяції до впливу несприятливих чинників. Показники смертності допомагають зрозуміти особливості вікової структури, старіння організмів, дають інформацію щодо генетичного стану популяцій. Наприклад, *загальний коефіцієнт смертності* розраховується як відношення кількості особин, які загинули до середньорічної чисельності населення популяції, помножене на 1000.

Приріст популяції *— це різниця між чисельністю популяції на початку та наприкінці певного періоду часу*. Таким чином, приріст може характеризуватися позитивним значенням, якщо чисельність зросла, або негативним, якщо чисельність популяції зменшилася.

Коротко про головне

- **ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦІЇ** *— це перелік особливостей, які описують стан популяції та її взаємодію з комплексом чинників середовища існування.*
- **Статичні параметри популяції** характеризують стан та структуру популяції в конкретний момент часу. Це популяційний ареал, чисельність, щільність, просторова структура.
- **Динамічні параметри популяції** — це характеристики, що описують процеси та зміни популяції в часі. До них належать народжуваність, смертність, природний приріст, а також вікова та статева структури.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис за схемою. **ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦІЙ.**

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа «Сторінками Червоної книги». Шафран Гейфелія (*Crocus heuffelianus*) в Україні.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Динамічні параметри популяцій.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ЕКОЛОГІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦІЙ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ОБҐРУНТУВАННЯ** особливостей різних популяцій
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про зв'язок показників популяцій з категоріями **ПРОСТІР** і **ЧАС**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Моделювання маленькими чоловічками».

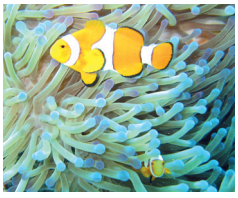
Завдання для розпізнавання. ПОПУЛЯЦІЇ.

Життя на Землі надзвичайно різноманітне, частково тому, що кожна особина протягом свого життя бере участь у незліченних взаємодіях.

Елізабет Г. Прінгл — американська еволюційна екологиня



§ 11.3. БІОТИЧНА ВЗАЄМОДІЯ ПОПУЛЯЦІЙ



Застосовуємо! Риба-клоун (*Amphiprion ocellaris*) живиться дрібними безхребетними, які можуть завдати шкоди актинії радіантус величний (*Radianthus magnifica*), а продукти її життєдіяльності забезпечують актинію поживними речовинами. Риба-клоун захищена від хижаків жалкими клітинами актинії, до яких вона має імунітет. Яке значення такої взаємодії?

ЗМІСТ

Яке значення біотичних взаємодій в екосистемах?

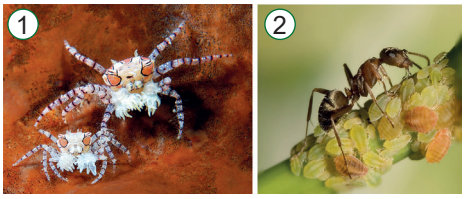
Біотичні взаємодії можна класифікувати за різними критеріями. За безпосередньою участю розрізняють ***прямі*** (*безпосередні*) (наприклад, турнірні бої оленів) і ***непрямі*** (*опосередковані*) (хижаки, поїдаючи здобич, впливають на популяції рослин). За ступенем залежності виділяють ***факультативні*** (*необов'язкові*) (зв'язки між мурахами та попелицями) та ***облігатні*** (*постійні*) (співіснування орхідей з певними видами грибів). За характером екологічної взаємодії їх класифікують на ***трофічні*** (*харчові*) («хижак-здобич»); ***топічні*** (*просторові*) (папороті чи лишайники на стовбурах дерев), ***фабричні*** (*«житлові»*) (зелені водорості живуть в шерсті лінивців) та ***форичні*** (*«поширювальні»*) (поширення птахами плодів й насіння рослин). Але найчастіше трапляється класифікація за характером взаємовпливу: ***симбіотичні*** (мутуалізм, коменсалізм, експлуатація), ***нейтральні*** (зв'язки без будь-якого впливу один на одного) та ***антибіотичні*** (аменсалізм, конкуренція).

Усі ці різноманітні прояви **БІОТИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ** популяцій є екологічними біотичними чинниками, під впливом яких в процесі еволюції формуються та в онтогенезі проявляються адаптації організмів.

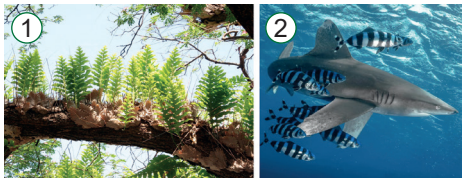
У чому сутність симбіотичних взаємодій?

СИМБІОЗ (від грец. *sym* — разом, *bios* — життя) — *явище закономірного співіснування організмів різних систематичних груп*. Симбіотична взаємність настільки поширена в живій природі, що розглядається як один із законів життя. Симбіоз — це особлива стратегія адаптацій живого до середовища існування, що досягається через об'єднання організмів для покращення живлення, дихання, розмноження, поширення, оселення, побудови гнізд чи схованок, захисту від ворогів тощо. Організми, між якими складаються симбіотичні взаємодії, називають ***симбіонтами***.

Мутуалізм («+»-«+») — *форма симбіотичної взаємодії, за якої співіснування є взаємовигідним для обох симбіонтів*. Ці відносини можуть бути факультативними (протокооперація) та облігатними. Класичним прикладом є взаємодії раків-самітників з актиніями. Ілюстрацією мутуалізму є: *бактеріориза* між бульбочковими бактеріями й бобовими рослинами, взаємодія між азотфіксуючими актиноміцетами й коренями вільхи, *мікориза* орхідей з грибами, співіснування термітів і джгутикових, зв'язок квіткових рослин з комахами-запилювачами.



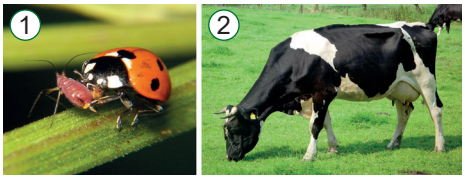
Іл. 84. Приклади мутуалізму: 1 — краби-боксери з актиніями в клешнях; 2 — мурахи й попелиці



Іл. 85. Приклади коменсалізму: 1 — папороті й дерева; 2 — акули й риби-лоцмани

Коменсалізм («+»-«0») — *форма симбіотичної взаємодії, за якої один із симбіонтів отримує користь від сумісного існування, не завдаючи шкоди іншому*. Ця форма симбіозу об'єднує взаємодії, під час яких коменсал може отримувати від організму-хазяїна не тільки їжу (рибки-лоцмани й акули), а й захист від ворогів (рибки-клоуни й актинії) чи домівку (птахи-дуплогнездники й старі дерева), використовувати його як транспортний засіб (риби-прилипали й черепахи) чи опору (епіфітні папороті й дерева). Коменсалізм проявляється у формі *квартиранства* (відкладання гірчаком ікри у черепашку беззубок) чи *нахлібництва* (жуки, які живуть у мурашнику і виманюють їжу у мурашок) .

Експлуатація («+»-«−») — *форма симбіотичної взаємодії, за якої один з симбіонтів отримує користь від сумісного існування і завдає шкоди іншому*. Розрізняють три основних форми експлуатації: справжнє хижацтво, пасовищне хижацтво, паразитизм та паразитоїдність. *Справжні хижаки*, вбивають жертву (лев, кашалот, росичка). *Пасовищні хижаки* (травоїдні тварини, ґедзі, медична п'явка, блоха) зазвичай з'їдають якусь частку жертви, але не вбивають її. *Паразити* (сисуни, стьожаки, аскариди, повитиця, попелиця, воші) тісно пов'язані зі своїм хазяїном, забирають у нього лише частину його ресурсів і не обов'язково спричиняють смерть.



Іл. 86. Хижацтво: 1 — справжнє (сонечко і попелиці); 2 — пасовищне (корова й трава)

Які основні прояви антибіотичних взаємодій?

АНТИБІОЗ (від грец. *anti* — проти, *bios* — життя) — явище антагоністичних взаємодій між популяціями, організми яких обмежують можливості один одного. Неможливість співіснування організмів

досягається різними способами: секрецією антибіотичних речовин, токсинів, фітонцидів або боротьбою за життєві ресурси.

Аменсалізм («−»-«0») — *це форма антибіотичної взаємодії, за якої один організм пригнічує життєдіяльність іншого*. Наприклад, гриби роду *Penicillium* виділяють антибіотик пеніцилін, який пригнічує ріст бактерій, але самі гриби від цього не страждають. Дерева волоського горіха виділяють через коріння юглон — речовину, що пригнічує ріст інших рослин, які ростуть поруч; молочнокислі бактерії утворюють молочну кислоту, що негативно впливає на гнильні бактерії.

Конкуренція («−»-«−») — *це форма антибіотичної взаємодії, що супроводжується змаганням за обмежені ресурси (їжу, воду, простір, статевих партнерів) і призводить до негативного впливу на їх виживання та розмноження*. Існує внутрішньовидова та міжвидова конкуренція. Прикладами конкуренції є: взаємне затінення рослин, турнірні бої ссавців, боротьба птахів за територію гніздування.

Біологія + Географія *Гатерія* (*Sphenodon punctatus*) — реліктовий вид рептилій, що мешкає лише на декількох скелястих островах Нової Зеландії (1). Ці плазуни часто поселяються в норах з гніздами буревісника сивого (*Puffinus griseus*) (2). Визначаю географічне поширення названих видів та форму симбіозу між ними.





Коротко про головне

- **БІОТИЧНА ВЗАЄМОДІЯ ПОПУЛЯЦІЙ** — *це взаємовпливи між організмами угруповань, які належать до одного (внутрішньовидові взаємодії) або різних (міжвидові взаємодії) видів*.
- За характером впливу розрізняють такі форми біотичних взаємодій: **симбіоз** (мутуалізм, коменсалізм, експлуатація), **антибіоз** (аменсалізм, конкуренція) і нейтралізм.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення за схемою. **БІОТИЧНА ВЗАЄМОДІЯ ПОПУЛЯЦІЙ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 11. Види біотичних взаємодій.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Види антибіотичних взаємодій.

Результат

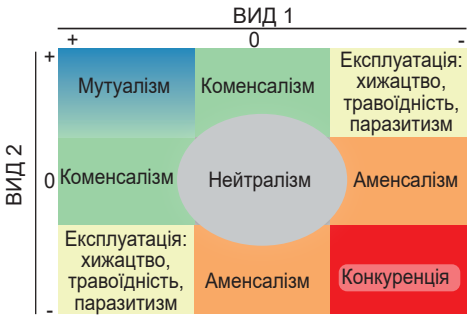
Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* **БІОТИЧНІ ВЗАЄМОДІЇ**
• *Організовує*: **ОБҐРУНТУВАННЯ** відмінностей симбіотичних взаємодій між організмами в популяціях
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює настанову*: про значення антибіотичних взаємодій для існування популяцій в **ПРОСТОРІ** й **ЧАСІ**

Саморозвиток

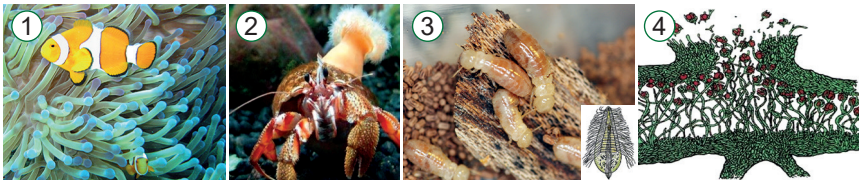
Комунікаційне завдання. Творча вправа «Фантастична тварина».

Завдання для відтворення. БІОТИЧНІ ВЗАЄМОДІЇ ПОПУЛЯЦІЙ.

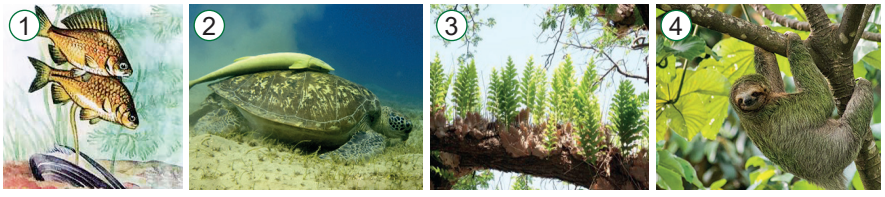
СТОРІНКА ІЛЮСТРАЦІЙ



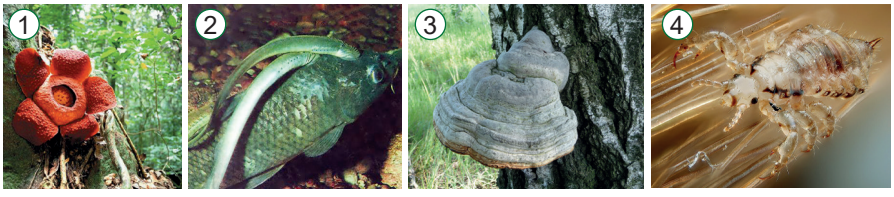
Іл. 87. Компас біотичних взаємодій «+» вказує на позитивний вплив взаємодії, нуль «0» — відсутність ефекту, а знак «–» — негативний ефект



Іл. 88. Мутуалізм: 1 — риба-клоун і актинія; 2 — рак-самітник і актинії; 3 — терміти і джгутиконосці з роду Трихонімфа; 4 — лишайник, тіло якого утворене грибом і водоростями



Іл. 89. Коменсалізм: 1 — гірчак і беззубка річкова; 2 — риба-прилипала й черепаха; 3 — папороті-епіфіти і дерева; 4 — лінивці й водорості в їхньому хутрі



Іл. 90. Паразитизм: 1 — рафлезія і ліани роду Ціссус; 2 — міноги і риба; 3 — дерева й трутовики; 4 — воші й людина



Іл. 91. Справжнє хижацтво: 1 — морський леопард і пінгвін; 2 — африканський лев і буйвол; 3 — венерина мухоловка і комаха

Популяції тварин не могли б вижити в природі, якби їхня щільність не зазнавала впливу регуляційних механізмів.

Александер Джон Ніколсон (1895–1969) — австралійський ентомолог



§ 11.4. ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ



Аналізуємо! Наприкінці XX ст. звичайний та усім відомий птах горобець польовий (*Passer montanus*) без явних причин значно скоротив свою чисельність у Європі (зокрема й в Україні). А з другого десятиріччя XXI ст. почалося поступове відновлення чисельності його популяцій. Як пояснити такі зміни у популяціях організмів?

ЗМІСТ

Які чинники визначають зміни популяцій?

ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ — це зміни популяцій з плином часу. Причиною цих змін є впливи різних екологічних та еволюційних чинників, що змінюють розміри популяційного ареалу, щільність, чисельність та структуру популяцій. Важливим популяційним параметром, що впливає на інші показники популяції, є **щільність популяції**. Тому усі чинники, що мають вплив на популяції, об'єднують у групи: 1) *залежні від щільності популяції* (керівні); 2) *незалежні від щільності популяції* (модифікаційні).



Іл. 92. Сніговий покрив як модифікаційний чинник

Чинники, що перебувають у прямій залежності від щільності популяції, називають **керівними**. До цієї групи належать ***біотичні чинники***, механізм дії яких виявляється через конкуренцію, хижацтво, паразитизм. При надмірній щільності популяції знижується інтенсивність розмноження, підвищується смертність молодняку, зменшується кількість самиць, які беруть участь у розмноженні.

Другу групу чинників називають **модифікаційними**. До цієї групи належать ***абіотичні чинники***. Дія цих чинників може сприяти зростанню чисельності популяції, а може бути причиною зменшення і навіть повного її зникнення. Наприклад, сувора зима, засуха, повені чи пожежі можуть знищити популяції незалежно від їхньої щільності. До різкого зменшення або зростання чисельності популяцій, а також до їхнього зникнення можуть призводити такі ***антропічні чинники***, як забруднення довкілля, руйнування середовища існування та інтродукція нових видів.

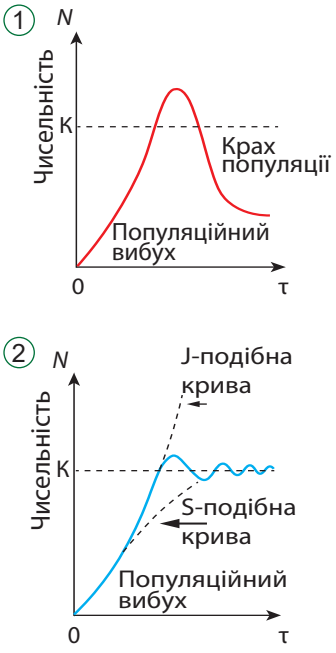
Які є стратегії зростання чисельності популяцій?

Чисельність популяції є одним з найважливіших параметрів, який розкриває характер впливу чинників. Швидкість зростання популяції може бути виражена у вигляді *кривої зростання*:

- *J*-подібна крива відображає необмежене зростання чисельності популяції, не залежне від щільності (нелімітований, тип зростання);
- *S*-подібна крива відображає зростання чисельності популяції, залежне від щільності (лімітований, тип зростання).

У природі спостерігають дві основні стратегії зростання чисельності популяцій.

Стратегія опортуністичної популяції характеризується вибухоподібним ростом чисельності. Завдяки стрімкому зростанню та відсутності механізмів саморегуляції чисельності, популяція не може зупинитися вчасно, досягнувши ***ємності середовища*** (максимальної кількості особин, яку екосистема може підтримувати упродовж тривалого часу). Тому її чисельність найчастіше «проскакує» цей поріг, після чого спостерігається швидка загибель більшої частини особин. Для опортуністичних популяцій характерні висока плодючість та короткий життєвий цикл (популяції бур'янів або комах-шкідників).



Іл. 93. Характер росту чисельності опортуністичної (1) та рівноважної (2) популяцій

Стратегія рівноважної популяції характеризуються *S*-подібною кривою росту. Чисельність у такій популяції стабілізується на певному рівні. Час від часу вона може виходити за цю межу, але завдяки механізмам саморегуляції повертається до рівноважного значення (популяції великих хребетних, дерев'янистих рослин із тривалим життєвим циклом).

Що таке популяційні хвилі?

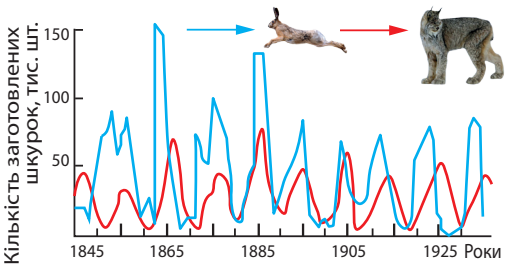
Важливим параметром характеристики опортуністичних популяцій є періодичність коливань чисельності. За цим критерієм розрізняють неперіодичні (рідкісне явище) та періодичні коливання з періодами росту та зниження. Виокремлюють три основні типи динаміки популяції.

1. **Відносно спокійний тип** характеризується незначним діапазоном коливань чисельності популяції в різні роки. Він властивий рівноважним популяціям з високою здатністю до виживання, низькою плодючістю, великою тривалістю життя та розвиненою турботою про потомство (великі ссавці й птахи).

2. **Сезонний тип** проявляється у щорічній закономірній сезонній зміні чисельності відповідно до сезонних змін у природі. Характерна для опортуністичних популяцій з коротким життєвим циклом (дрібні ракоподібні) або з сезонними міграціями (перелітні птахи).

3. **Багаторічний тип зі спалахами розмноження** характеризується великим розмахом коливань чисельності особин у різні роки, зумовлених змінами клімату, природними катастрофами чи антропічним впливом (непарний шовкопряд, сарана).

Періодичні або неперіодичні коливання чисельності природної популяції — це **популяційні хвилі**. Яскравим прикладом цього явища є узгоджена динаміка чисельності популяцій *зайця американського* (*Lepus americanus*) та *рисі канадської* (*Lynx canadensis*) за даними обліку канадської Компанії Гудзонової затоки. Подібні коливання з періодом 7–10 років характерні для багатьох інших популяцій. Наприклад, у вивірок цей цикл становить 8–11 років, у білана капустяного — 10–12 років, у сарани — близько 11 років.



Іл. 94. Динаміка чисельності зайця та рисі

Сучасні демекоологічні дослідження показали, що у популяціях існують ***процеси саморегуляції***. Ці *екологічні* (наприклад, біотичні взаємодії, такі як хижацтво, паразитизм, конкуренція) та *біологічні* (стресові реакції, територіальна поведінка, міграції) механізми дають змогу уникнути необмеженого росту чисельності та забезпечують гомеостаз популяції.

Біологія + Англійська мова *What is a starling murmuration?*



Коротко про головне

- **ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ** — *це зміни популяцій з плином часу, які відбуваються під впливом керуючих й модифікуючих чинників.*
- **Динаміка чисельності** — *це зміни загальної кількості особин популяцій з часом, що зумовлені біологічними та екологічними процесами.*
- **Популяційні хвилі** (або хвилі життя) — *це періодичні або неперіодичні коливання чисельності особин у природних популяціях.*

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у схему. **ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ**.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа. Моделювання динаміки чисельності популяцій.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Зменшення чисельності горобців в Україні.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує*: сутність **ДИНАМІКИ ПОПУЛЯЦІЙ**
• *Аналізує результати*: **ОБҐРУНТУВАННЯ** динаміки чисельності популяцій
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* зміни чисельності популяцій у відповідності до змін **ПРОСТОРУ** та **ЧАСУ**

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку мислення «Конкретизація».
Завдання для конструювання. ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ.

Не існує якогось одного механізму досягнення та підтримування відносної стійкості популяцій.

Роберт Гардінґ Віттекер (1920–1980) — видатний американський учений-еколог



§ 11.5. ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЙ



Оцінюємо! Останній синій ара (*Cyanopsitta spixii*), який жив у лісах Бразилії, зник у дикій природі понад двадцять років тому. З того часу ці птахи, які для багатьох стали відомими після мультфільму «Ріо», вважалися зниклим видом. Збереглися деякі особини лише в приватних колекціях. Тривалий час фахівці намагаються відновити їхню популяцію. Нарешті, завдяки програмі порятунку, перші вісім птахів повернули в місця їхнього природного проживання. Чи достатньо цієї кількості для відновлення популяції?

ЗМІСТ

Якими є визначальні умови для відновлення популяцій?

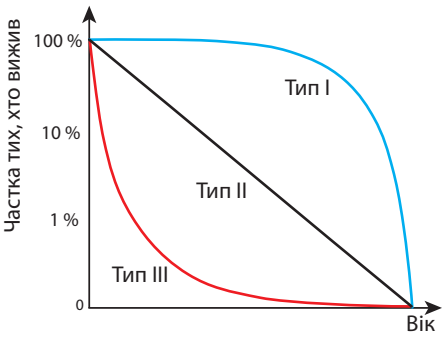
ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЇ — *це сукупність властивостей, ознак і зв'язків, що забезпечують відновлення, розселення та еволюцію популяцій*. Оцінка життєздатності популяції досягається завдяки вивченню низки її особливостей. Популяції здатні до самовідновлення, коли їхня чисельність зростає, народжуваність перевищує смертність, а також за наявності сприятливих екологічних умов та достатніх ресурсів. Доведено, що вища життєздатність притаманна популяціям із більшою чисельністю генеративних особин і вищою ефективністю розмноження. Ще однією важливою умовою життєздатності популяцій є генетичне різноманіття: популяції з вищою внутрішньопопуляційною генетичною різноманітністю мають вищу життєздатність.

Однією з екологічних закономірностей, що характеризують популяційну життєздатність, є ***принцип мінімального розміру популяцій***. Ця закономірність вказує на існування межі, нижче якої чисельність не може опускатися. **Мінімальна життєздатна популяція** — *це мінімальна кількість особин, яка необхідна для підтримання стабільного її відтворення протягом багатьох поколінь*. Цей показник є нижньою межею чисельності популяції. Зниження чисельності популяції понад величину мінімальної життєздатної популяції неодмінно призводить до її вимирання. Єдиною умовою збереження такої популяції є імміграція нових особин з інших популяцій.

Які чинники впливають на виживання популяції?

На життєздатність популяції впливають різноманітні біологічні та екологічні чинники. До найважливіших ***біологічних чинників*** належать генетичні (*мутації, рекомбінації, горизонтальне перенесення генів*) та популяційні (*щільність популяції, народжуваність,*

смертність, статева структура). Не менш різноманітними є зовнішні ***екологічні чинники***: абіотичні (*умови існування та природні ресурси середовищ життя, природні зміни клімату*), біотичні (*конкуренція, хижацтво, паразитизм, захворювання*) та антропічні (*руйнування місць існування, деградація й забруднення оселищ, надмірна експлуатація ресурсів, інвазія екзотичних видів*).

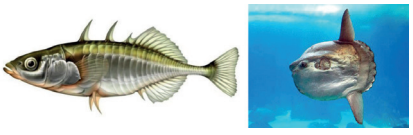


Іл. 95. Криві виживання популяцій

Графічне зображення залежності між народжуваністю та кількістю особин, які дожили до певного віку, називається ***кривими виживання***:

- тип I (сильно опукла) — низька смертність на початку життя і висока наприкінці (однорічні рослини, великі ссавці, людина);
- тип II (рівна) — однакова ймовірність загибелі на всіх етапах життя (гідра, птахи, дрібні ссавці).
- тип III (сильно увігнута) — висока смертність на ранніх стадіях (молюски, риби, дерев'янисті рослини).

Біологія + Демекологія *Поясню, чому риба колючка триголкова* (*Gasterosteus aculeatus*) *відкладає 30 ікринок, а риба-місяць* (*Mola mola*) *— до 300 мільйонів.*



Що таке екологічна стратегія популяцій?

Екологічна стратегія популяції — *це* сукупність пристосувань і властивостей популяції, які виявляються у мінливих умовах середовища. Завдяки стратегіям популяції здатні до тривалого існування, захоплення вільних екологічних ніш, переживання стресу й відновлення структури й функцій після порушень.

У демекології існує ***теорія «r/K-відбору»***, що описує природні стратегії розмноження живих організмів. Теорія була розроблена 1967 року двома американськими екологами — Робертом Мак-Артуром та Едвардом Вілсоном. Дослідження особливостей динаміки чисельності різних популяцій показали існування двох протилежних стратегій, які отримали умовні назви *r*-стратегія та *K*-стратегія. Ці назви походять від коефіцієнтів рівняння популяційної динаміки: *r* — коефіцієнт швидкості росту чисельності популяції; *K* — ємності середовища.

У різних екосистемах перевагу мають організми з різними стратегіями. Під час швидких змін середовища перевагу мають *r*-стратеги, а в стабільних умовах — *K*-стратеги. Варто пам'ятати, що поділ організмів на *r*- та *K*-стратегів є умовним, оскільки існують певні популяційні параметри, що характеризуються проміжним станом. Окремі популяції одного виду можуть за різних умов переходити від однієї стратегії до іншої.

Таблиця. ПОРІВНЯННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОПУЛЯЦІЙ З *r*- ТА *K*-ЖИТТЄВИМИ СТРАТЕГІЯМИ

Ознака	***r*-стратегія** (опортуністичні популяції)	***K*-стратегія** (врівноважені популяції)
Чисельність	Дуже мінлива	Висока
Смертність	Висока	Низька
Популяційний ареал	Мінливий у часі	Відносно постійний
Розселення	Швидке поширення	Повільне
Конкуренція	Низька	Висока
Захищеність від хижаків	Слабка	Висока
Онтогенетичні особливості	Швидкий розвиток, невеликі розміри, висока плодючість, короткий термін життя (до 1 року)	Повільний розвиток, великі розміри, низька плодючість, значний термін життя
Представники	Бактерії, більшість комах, дрібні ссавці, однорічні трави	Великі ссавці, дерев'янисті рослини

Коротко про головне

- **ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЇ** — *це сукупність властивостей, що забезпечують здатність популяцій підтримувати рівень організації, необхідний для відновлення, розселення та еволюції.*
- **Виживання популяції** — це здатність популяції підтримувати свою стабільність у часі завдяки механізмам регуляції.
- **Стратегія популяції** — це сукупність пристосувань і властивостей популяції, які виявляються під впливом біологічних та екологічних чинників.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань за схемою. **ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЙ**.

Розвивальне завдання. Інтелектуально-розвивальна вправа «Сторінками Червоної книги». Чисельність рисі євразійської (*Lynx lynx*) в Україні.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Богомол звичайний (*Mantis religiosa*) — *r*- чи *K*-стратег?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЙ**
• *Оцінює результати:* **ОБҐРУНТУВАННЯ** зв'язку між виживанням популяцій та чинниками середовища
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: значення стратегій для існування популяцій у **ПРОСТОРІ та ЧАСІ**

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Альтруїзм в дикій природі».

КРЕАТИВНА РОБОТА 2. ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЇ та ...

Коли еколог каже, що «ось іде борсук», то він повинен мати на увазі деяку концепцію розташування цієї тварини в угрупованні, до якого вона належить.

Чарльз Сазерленд Елтон (1900–1991) — англійський еколог та зоолог



§ 11.6. ПОПУЛЯЦІЇ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Новини науки. Американський заєць (*Lepus americanus*) є об'єктом уваги не лише екологів, а й еволюційних біологів. Ці зайці-снігоступи, як їх ще називають, маскуються, змінюючи колір шерсті з коричневого влітку на білий взимку. Через потепління терміни весняної та осінньої линьок розбалансувалися, і зайці стали помітнішими для хижаків. Науковці задаються питанням: чи зможе еволюція шляхом природного відбору врятувати зайців (а також песців, ласок, кроликів та куріпок з подібним способом маскування) в умовах швидких екологічних змін середовища?

ЗМІСТ

Які особливості демекологічних досліджень?

ДЕМЕКОЛОГІЯ (від грец. *demos* — народ) — *розділ екології, що вивчає популяції*. Інша назва — популяційна екологія. Її засновником вважають англійського еколога Чарльза Елтона.

Об'єктом дослідження демекології є **популяція** як група особин одного виду на конкретній території, яка утворює самостійну генетичну систему й формує власну екологічну нішу. *Предметом демекології* є онтогенез особин, структура популяцій, їхня динаміка, стійкість, стабільність, самовідновлення й саморегуляція. Вивчення цих ознак дозволяє зрозуміти функціонування як самих популяцій, так і видів й екосистем, до складу яких вони входять. Важливим розділом сучасних демекологічних досліджень є зміни параметрів популяцій в умовах антропогенного впливу та глобальних змін клімату планети.

Методи демекології є досить різноманітними. Широке застосування мають *методи екологічного моделювання* (для створення моделей взаємовідносин) й *методи екологічного моніторингу* за параметрами популяцій. Для оцінки чисельності та щільності популяцій застосовуються спеціальні методи: *прямого підрахунку, пробних майданчиків, методи мічення й повторного відлову*.

Біологія + Вправляння ❁ ***Метод мічення й повторного відлову*** *полягає в тому, що з певної площі відловлюють деяку кількість тварин, мітять їх і випускають у місця, звідки вони були взяті. Розмір популяції за індексом Лінкольна оцінюють за рівнянням:* $N = n_1 \cdot n_2 / n_2^*$, *де* N *— загальний розмір популяції,* n_1 *— кількість тварин у першому відлові;* n_2 *— кількість тварин у другому відлові;* n_2^* *— кількість мічених тварин у другому відлові.*

Вправа. *Для оцінки чисельності форелі озерної в невеличкій водоймі відловлено 625 особин. Риб помітили й випустили назад в озеро. Через тиждень здійснили повторний відлов 873 особин, з яких у 129 було виявлено мітки. Визначте розмір популяції.*



Які основні закономірності характеризують популяції?

Взаємодія популяцій та навколишнього середовища характеризується певною впорядкованістю та сталістю. Про це свідчать закономірності, сформульовані науковцями у вигляді правил, гіпотез, принципів та теорій. До цього переліку належать:

- ***правило стабільності вікової структури*** (будь-яка природна популяція прагне до встановлення стабільної вікової структури);
- ***принцип територіальності популяцій*** (усі організми в популяції мають індивідуальний або груповий простір, що виникає внаслідок дії механізмів саморегуляції);
- ***закон обмеженого росту популяцій*** (будь-яка популяція теоретично здатна до необмеженого зростання чисельності, проте її обмежують ресурси, необхідні для нормального функціонування організмів);
- ***принцип залежності популяцій від щільності*** (зі збільшенням щільності популяції зростає смертність або зменшується народжуваність);
- ***принцип мінімального розміру популяцій*** (існує мінімальний розмір популяції, нижче від якого її чисельність не може опускатися);
- ***гіпотеза саморегуляції популяцій*** (будь-яка популяція здатна самостійно підтримувати свою чисельність на рівні, що не виснажує ресурси їхніх місць існування).

Яке значення демекологічних досліджень?



Іл. 96. Кріль європейський (Oryctolagus cuniculus)

Вивчення популяцій має надзвичайно важливе теоретичне і практичне значення для вирішення проблем, що виникають під час використання та охорони природних популяцій. Це, зокрема: а) підвищення щільності малих популяцій та популяцій, що зникають; б) отримання сталого рівня промислу для популяцій, які експлуатуються; в) зниження щільності надмірно численних популяцій, що швидко зростають; г) дослідження причин розселення та впливу інвазійних видів на екосистеми. Класичним прикладом, що ілюструє важливість демекологічних досліджень, стала біологічна інвазія кроля, який за короткий період склав гостру конкуренцію усім травоїдним Австралійського континенту.

Демекологія є науково-практичною базою не лише для розуміння механізмів штучної та випадкової інтродукції видів, але й для селекції, сільського, лісового, рибного та мисливського господарств. Прогнозування вилову риби, добування мисливських видів, раціональне лісове господарство, прогнозування спалахів чисельності шкідників та безліч інших завдань тісно пов'язані з демекологічними дослідженнями.

Сучасні демекологічні дослідження надають наукову базу для розробки та впровадження заходів з охорони рідкісних та зникаючих видів та загалом для підтримки біорізноманіття. Особлива роль демекології у реалізації таких цілей сталого розвитку, як захист екосистем суходолу, збереження морських ресурсів та пом'якшення наслідків змін клімату.

Біологія + Довкілля ❁ *Амброзія полинолиста* (*Ambrosia artemisiifolia L.*) *— це один із найнебезпечніших в Україні бур'янів-алергенів, який пройшов усі етапи розселення з Північної Америки: первинного проникнення, розселення та подальшу натуралізацію. Що таке натуралізація?*



Коротко про головне

- **ДЕМЕКОЛОГІЯ, або популяційна екологія** (від грец. *demos* — народ) — *це розділ екології, що вивчає умови формування, структуру, функціонування і динаміку популяцій.*
- Взаємодія популяцій та навколишнього середовища має закономірний упорядкований характер.
- Демекологія надає інструменти для розуміння популяцій, що є критично важливим для збереження біорізноманіття, а також сталого розвитку суспільства й природи.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ПОПУЛЯЦІЯ — ОСНОВНА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ЕКОСИСТЕМ.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань про популяції в практичній діяльності.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (*див. с. 276*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ПОПУЛЯЦІЇ**
• *Застосовує навички* **ОБҐРУНТУВАННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень популяцій
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **ПРОСТІР та ЧАС**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 11. ПОПУЛЯЦІЇ та ...

Завдання для креативних ❁ *Для назв організмів досить часто використовують імена міфологічних грецьких персонажів. Увідповіднюю персонажі грецької міфології* (*А–В*) *із ілюстраціями метеликів* (*1–3*). *Називаю адаптації метеликів до наземно-повітряного середовища існування.*



А *Мнемозина* **Б** *Махаон* **В** *Аполлон*



Тема 12. ЕКОСИСТЕМА — ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОСФЕРИ

Зміни в біорізноманітті змінюють екосистемні процеси та стійкість екосистем до змін довкілля.

Сандра Діас (1961) — аргентинська екологиня, лауреатка Премії Тайлера 2025 року



§ 12.1. ЕКОСИСТЕМИ

Цікаво! Премія Тайлера — це щорічна нагорода в галузі екологічних наук, охорони довкілля та енергетики. Вона була заснована Джоном та Еліс Тайлерами 1973 року та вважається «Нобелівською премією з охорони навколишнього середовища». Цікаво, яким чином наукові дослідження екосистем впливають на збереження природи?



ЗМІСТ

Який склад та основні властивості екосистем?

ЕКОСИСТЕМА — *це сукупність організмів різних видів та середовища їхнього існування, що пов'язані обміном речовин, енергії та інформації*. Розділ екології, що займається дослідженням екосистем, називається ***синекологією***.

У будь-якій екосистемі виділяють дві частини — абіотичну й біотичну. ***Абіотична частина*** (або біотоп) є комплексом чинників неживої природи, неорганічних й органічних речовин, що формують кліматичні, ґрунтові, рельєфні та гідрологічні умови екосистеми. ***Біотичну частину*** (біоценоз) формують угруповання рослин (фітоценози), угруповання тварин (зооценози) та угруповання мікроорганізмів (мікробіоценози).

Усім екосистемам притаманні спільні властивості:

- *цілісність* забезпечується зв'язками організмів між собою та середовищем існування;
- *стійкість* є результатом тривалої коеволюції організмів та їх усталених відносин із компонентами неживої природи;
- *саморегуляція* — властивість відновлювати динамічну рівновагу (наприклад, масове розмноження гризунів призводить до збільшення чисельності хижаків і паразитів, які зменшують чисельність популяції гризунів, а це веде до зменшення чисельності хижаків, і динамічна рівновага в біоценозі відновлюється);
- *самоорганізація системи* — це властивість екосистеми упорядковувати внутрішню структуру і функціонування, що забезпечується механізмами саморегуляції.

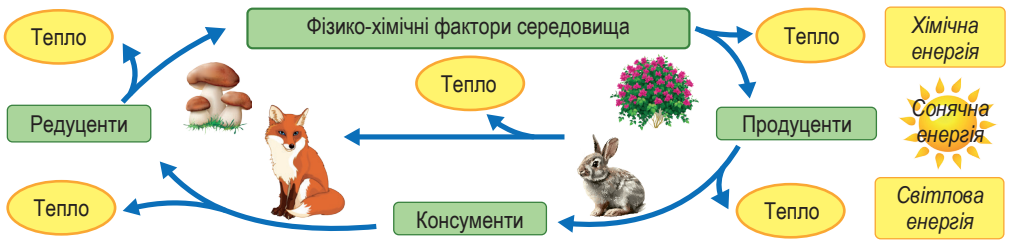
Чи залежить стійкість екосистеми від її структури?

Під **структурою екосистеми** розуміють *сукупність компонентів цілісної системи, що виділяються за певними критеріями*. Будь-яка екосистема має просторову, видову та екологічну структуру.

Просторова структура визначається розташуванням елементів абіотичної та біотичної частин у просторі екосистеми. Оскільки засвоєння енергії Сонця в екосистемі пов'язане з рослинами, то просторова структура здебільшого визначається ярусним розташуванням рослин.

Видова структура екосистеми визначається видовим різноманіттям. Саме цей показник забезпечує стійкість і саморегуляцію екосистем.

Екологічна структура — це співвідношення популяцій різних видів, які виконують певні функції в екосистемі. Такими групами є продуценти, консументи та редуценти.



Іл. 97. Схема екологічної структури екосистеми

Продуценти *— це популяції автотрофних організмів, здатних синтезувати органічні речовини з неорганічних.* Це зелені рослини, ціанобактерії, фотосинтезуючі бактерії (у екосистемах, для яких джерелом енергії є світло Сонця), хемосинтезуючі бактерії та археї (в печерних екосистемах, екосистемах «чорних паліїв»).

Консументи *— популяції гетеротрофних організмів, які живляться безпосередньо або через інші організми готовою органічною речовиною, синтезованою автотрофами.* Розрізняють *консументи I порядку* (гетеротрофні рослиноїдні організми, паразити рослин) та *консументи II та наступних порядків* (хижаки, паразити тварин, а також сапрофаги). Їхня основна функція в екосистемах — поширення гетеротрофних речовин.

Редуценти *— це популяції гетеротрофних організмів, які в процесі життєдіяльності розкладають мертві органічні речовини до мінеральних сполук, які потім використовуються продуцентами.* Це гетеротрофні сапрофітні організми — бактерії та гриби. У процесах розкладу сполук беруть участь: *детритофаги* (споживають подрібнену органіку, наприклад, дощові черв'яки, личинки мух), *копрофаги* (поїдають послід тварин і людини, наприклад, жуки-гнойовики), *некрофаги* (живляться трупами тварин, наприклад, жуки-гробарики).

Яка причина різноманітності екосистем?

Екосистемне різноманіття *— це розмаїття екосистем, що зумовлене різноманітністю природних умов.* Найменші розміри мають екосистеми-**консорції** (окреме живе дерево, трухлявий пень, мертвий стовбур, мурашник). Сукупність екосистем із подібними характеристиками, що займають значну територію й розвиваються в подібних кліматичних умовах певної природної зони, називають **біомами**. Це вологі тропічні ліси, тундра, тайга, степ, пустелі, напівпустелі, савани, широколисті ліси, хвойні ліси, а також морські екосистеми. Найпродуктивнішими

біомами на суходолі є тропічні дощові ліси, а у Світовому океані — зарості водоростей та рифи.

За походженням екосистеми поділяють на ***природні*** (ліси, річки, озера) й ***штучні*** (сади, парки, городи, поля, штучні водойми). Різноманітність природних систем визначають умови природних зон, насамперед освітлення й температура. Існування штучних екосистем залежить від людини, яка, зважаючи на природні умови, організовує їхнє функціонування.

За специфікою структури й кругообігу речовин та енергії розрізняють ***наземні*** екосистеми (тундра, тайга, широколистяні ліси, степи, савани, пустелі, тропічний ліс) та ***водні*** (*прісноводні*: озера, ставки, водосховища, річки, струмки, джерела, болота, болотисті ліси; *морські*: прибережні води, прибережні бухти, протоки, гирла річок).

Біологія + Спелеологія *До найвідоміших печер України належать Оптимістична на Тернопільщині — найдовша у світі гіпсова печера з довжиною ходів понад 260 км; Солдатська в Криму — найглибша печера України; Кришталева на Тернопільщині та Атлантида в Хмельницькій області, які вважаються одними з найгарніших печер. А які особливості печерних екосистем?*



Коротко про головне

- **ЕКОСИСТЕМА** є сукупністю абіотичного й біотичного компонентів, для якої характерні цілісність, відкритість, стійкість, саморегуляція та незамкненість.
- Загальна структура екосистеми визначається просторовим, видовим та екологічним розмаїттям груп, що є обов'язковою умовою її існування.
- Екосистеми класифікуються за різними критеріями і їхня різноманітність на сучасному етапі розвитку біосфери залежить від природних умов та впливу людини.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема «Структурна організація». **ЕКОСИСТЕМА**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Екологічна структура екосистем.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **ВЗАЄМОДІЯ В ПРИРОДІ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: поняття **ЕКОСИСТЕМА**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо визначального впливу популяцій на існування екосистем
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **ВЗАЄМОДІЯ В ПРИРОДІ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 276*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку здібностей та інтелекту (на основі тесту «Шкала прогресивних матриць Равена»).

Завдання для прогнозування. ЕКОСИСТЕМИ.

Ґрунт є домівкою для більш ніж половини всіх видів, які мають вирішальне значення для наземних екосистем Землі.

Діана Гаррісон Волл (1943–2024) — американська екологиня ґрунтів, лауреатка премії Тайлора



§ 12.2. ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМИ

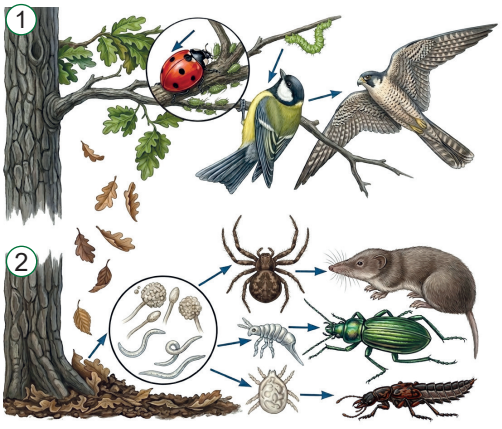
Усвідомлюємо! Найсухіше місце на Землі розташоване в Антарктиді — це Сухі Долини Мак-Мердо, де опадів не було майже два мільйони років. На цій безплідній території площею 4800 км^2 практично немає води, льоду чи снігу. Чи здатні екосистеми пустельних долин функціонувати за таких умов?



ЗМІСТ

Що є основою функціонування екосистем?

ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМИ — *це сукупність екологічних процесів, які завдяки внутрішнім і зовнішнім зв'язкам забезпечують існування та розвиток екосистеми в часі*. Зв'язування, перетворення й накопичення сонячної енергії, поглинання й передача поживних речовин ланцюгами живлення, нагромадження й вивітрювання гірських порід — ці та інші важливі біосферні явища відбуваються саме в екосистемах. У процесі їхнього функціонування реалізується *основна функція екосистем* — ***засвоєння, перетворення й передавання речовин, енергії та інформації***.



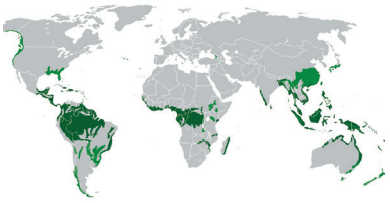
Іл. 98. Ланцюги живлення: 1 — пасовищний; 2 — детритний

Визначальними для функціонування екосистем є трофічні зв'язки (зв'язки живлення) між організмами різних популяцій. Наприклад, у лісі гусінь споживає листя, її поїдають синиці, на яких полює яструб. Така послідовність називається ланцюгом живлення, а кожна його ланка — трофічним рівнем. **Ланцюг живлення** (харчовий або трофічний) — *це послідовний ряд живих організмів, пов'язаних харчовими зв'язками, який відображає передачу речовини та енергії в екосистемі*. Першою ланкою ланцюгів живлення є ***продуценти***. Наступні ланки займають гетеротрофні ***консументи***. Органічні рештки ще містять органічні сполуки й енергію, тому використовуються ***редуцентами***. За джерелом надходження енергії до консументів ланцюги живлення поділяють на пасовищні та детритні. ***Пасовищні*** (або ланцюги виїдання) — це ланцюги, які починаються із зелених

рослин і завершуються редуцентами (наприклад, трава — зелений коник — ящірка — яструб). ***Детритні*** (або ланцюги розщеплення) — це ланцюги, які починаються з мертвої органічної речовини (решток) і продовжуються безпосередньо редуцентами (наприклад, опале листя — дощовий черв'як — кріт — лисиця).

У будь-якій екосистемі різні ланцюги живлення не існують окремо один від одного, а формують ***трофічну мережу***. Навіть у Сухих долинах виявлено ідеально просту трофічну мережу, що складається з дріжджів, бактерій, грибів, коловерток і членистоногих, а роль головних хижаків відіграють нематоди.

Біологія + Географія ❁ ***Вічнозелені тропічні дощові ліси*** *мають найбільшу біомасу продуцентів та найвищу первинну продукцію. Загальною особливістю є надзвичайно велике видове розмаїття. Де розташовані ці біоми?*



Що є основною умовою функціонування екосистем?

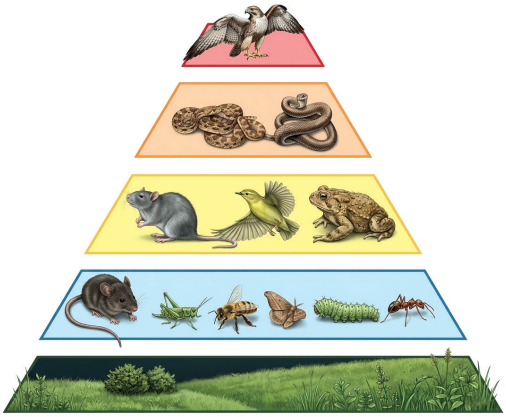
Біологічний кругообіг речовин і потік енергії в екосистемі — *це процес перенесення речовин та енергії за участю продуцентів, консументів і редуцентів*. Джерелом енергії для переважної більшості екосистем нашої планети є Сонце. Його енергію поглинають зелені рослини і «зв'язують» в органічні речовини, що утворюються під час фотосинтезу. Далі ця зв'язана Сонячна енергія у вигляді зеленої органічної маси (первинної продукції) поїдається рослиноїдними тваринами, які своєю чергою, слугують поживою для хижаків. Ці перетворення регулюють такі кліматичні чинники, як температура середовища, хмарність, вологість та інші. Так завдяки організмам виникає потік речовин та енергії, що поєднує екосистему в єдине ціле.

Для розуміння суті цих процесів слід враховувати, що ***потік речовин*** в екосистемі має циклічний характер, а ***потік енергії*** — лінійний. Поживні елементи і сполуки, що надходять до організмів з абіотичної частини, зрештою повертаються до нього у вигляді решток або продуктів життєдіяльності живих істот. Так в екосистемі постійно відбувається циклічний колообіг речовин, в якому беруть участь живий і неживий компоненти. Потік енергії в екосистемах має іншу спрямованість: енергія Сонця надходить до організмів, які перетворюють її у хімічну, механічну, світлову і під час цих перетворень, згідно з другим законом термодинаміки, відбуваються втрати енергії у вигляді тепла.

Які закономірності функціонування екосистем?

Екосистеми функціонують завдяки закономірно організованому співвідношенню *первинної* (біомаса, створена за одиницю часу автотрофними організмами) і *вторинної біопродукції* (біомаса, створена за одиницю часу гетеротрофними організмами), що дістало назву **правила екологічної піраміди** (закон піраміди енергії Р. Ліндемана (1942)). Згідно з ним, *екологічна ефективність кожної наступної ланки приблизно вдесятеро менша за попередню через втрати енергії на*

кожному трофічному рівні. Це правило можна зобразити у вигляді ***екологічної піраміди*** *— графічного відображення трофічної структури ланцюга живлення.* Розрізняють три види екологічних пірамід: *піраміда чисел*, *піраміда біомаси* та *піраміда енергії*.



Іл. 99. Екологічна піраміда

Загальну спрямованість енергетичних перетворень в екосистемах характеризує **закон односпрямованості потоку енергії:** *енергія, яку отримує екосистема, передається в одному напрямку — від продуцентів до консументів та редуцентів.*

Механізм екологічного балансу екосистем розкриває **закон внутрішньої динамічної рівноваги екосистем** (закон М. Реймерса)**:** *речовина, енергія, інформація та динамічні якості природних екосистем перебувають у тісному взаємозв'язку, за якого зміна одного з показників неминуче призводить до змін інших за умови збереження загальних властивостей системи.*

Коротко про головне

- **ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ** забезпечується трофічними зв'язками, що поєднують продуцентів, консументів і редуцентів у ланцюги й мережі живлення.
- В екосистемах відбувається постійний **біологічний кругообіг речовин** та **лінійний потік енергії**, що є обов'язковою умовою їхнього існування.
- Подібність екосистем підтверджується спільними закономірностями функціонування.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис за схемою. **ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 12. Розв'язування вправ. Трофічна структура екосистем

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Закономірності функціонування екосистем.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ**
• *Формулює очікувані результати:* для **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** щодо визначального типу екологічних зв'язків у функціонуванні екосистем
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* щодо проявів **ВЗАЄМОДІЇ У ПРИРОДІ** у функціонуванні екосистеми

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Асоціативний кущ».

Завдання для розпізнавання. ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ.

Так усе колись минеться, все, що вдіє людський дух,
Неодмінним зостається лиш невпинний, вічний рух.

Володимир Самійленко (1864–1925) — український поет, сатирик, драматург та перекладач



§ 12.3. СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМИ



Застосовуємо! У 1884 році французький хімік і фізик Анрі Ле Шательє (1850–1936) сформулював принцип, відповідно до якого *будь-який зовнішній вплив, що виводить систему зі стану рівноваги, викликає у цій системі процеси, спрямовані на послаблення зовнішнього впливу та повернення системи до початкового рівноважного стану*. Чи можна застосовувати принцип до екосистем?

ЗМІСТ

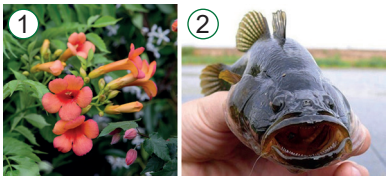
Як забезпечується стабільність екосистем?

СТАБІЛЬНІСТЬ (СТІЙКІСТЬ) ЕКОСИСТЕМИ — *це здатність екосистеми зберігати свою структуру й функціонування за дії зовнішніх чинників*. Основною умовою стабільності екосистем є *видове різноманіття*. Види-продуценти забезпечують утворення *великої кількості первинної органічної речовини*, від якої залежать наступні ланки та *складність ланцюгів живлення*. Велика кількість їжі сприяє існуванню консументів декількох порядків, серед яких є взаємозамінні види, подібні за своїми екологічними функціями. Завдяки цьому виникають *розгалужені трофічні мережі*, що забезпечують функціонування екосистеми навіть тоді, коли чисельність окремих видів зменшується або вони повністю зникають. Нарешті, значна кількість видів-редуцентів здійснює повну *мінералізацію органічних решток* до неорганічних сполук, що знову використовуються продуцентами.

Умови стабільності екосистем
Значне видове різноманіття
Висока первинна біопродукція
Складність ланцюгів живлення
Розгалуженість трофічних мереж
Повнота мінералізації решток

За критерієм стабільності екосистеми поділяють на *динамічно стійкі* і *динамічно нестійкі*. Так, кораловий риф, струмок і ставок є прикладами нестійких екосистем, а широколистий ліс, степ, тайга, буковий карпатський праліс — стійких. Стабільність екосистем порушують різкі, нові й шкідливі впливи абіотичних (наприклад, зміни клімату), біотичних (наприкдад, масове розмноження комах) та антропічних (наприклад, забруднення повітря) чинників.

Біологія + Синекологія *Серед видів-агресорів амброзія полинолиста, гірчак повзучий, кампсис укорінливий (1), срібний карась, ротан-головешка (2), змієголов, рапана венозна та інші. У нових умовах вони швидко створюють чисельні*

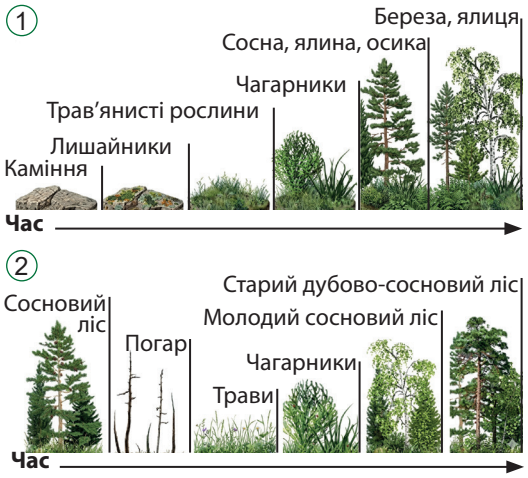


популяції й активно впливають на функціонування екосистем. Який екологічний механізм такого впливу на екосистеми?

Яке значення та етапи екологічних сукцесій?

Стабільність екосистем забезпечується механізмами саморегуляції за більш чи менш стабільних умов довкілля. Проте у разі зміни цих умов у них також відбуваються зміни.

Екологічні сукцесії (від лат. *successio* — наступність) — *спрямовані послідовні зміни угруповань організмів на певній ділянці середовища, що призводять до відновлення чи перетворення екосистеми відповідно до природних умов*. Причинами сукцесій можуть бути зміни клімату, природні катаклізми (виверження вулканів, землетруси, повені), впливи людини. У більшості випадків рушійними чинниками змін і розвитку нестійких екосистем є *незбалансованість кругообігу речовин* та *зниження видового біорізноманіття*. Залежно від причини виникнення, сукцесії поділяють на: *ендогенні* (*автогенні*) — відбуваються з внутрішніх причин (утворення нових видів); *екзогенні* (*алогенні*) — виникають під впливом зовнішніх чинників (засолення, підтоплення, вселення чужорідних видів). Також сукцесії можуть бути *природними* (виникають у результаті підняття чи опускання суші) й *антропогенними* (під впливом вирубування лісу, розорювання степу).



Іл. 100. Первинна (1) та вторинна (2) сукцесії

За особливостями формування сукцесії поділяють на первинні й вторинні. ***Первинні сукцесії*** — це поява і розвиток угруповань у місцях, де їх раніше не було (наприклад, розвиток екосистем на скельних породах, зсувах, відмілинах річок, вулканічних островах). ***Вторинні сукцесії*** — це відновлення природних угруповань після певних порушень (наприклад, відновлення лісів після пожеж чи вирубування, степів — після розорювання). *Таким чином, екологічні сукцесії є механізмами появи, розвитку, самопідтримки та відновлення екосистем.*

Основними етапами формування сукцесій є:

- Процес сукцесії починається із *заселення* лишайниками, нижчими грибами й рослинами. Згодом на цих ділянках формуються чи відновлюються зооценози та мікробіоценози.
- Угруповання організмів, які існують на початку сукцесій, називаються *піонерними*. Вони, як правило, нестійкі із незначним видовим різноманіттям.
- Піонерні угруповання швидко змінюються *проміжними угрупованнями*. Це також нестійкі угруповання, проте в них зростає видове різноманіття.

- Завершуються сукцесії, як правило, формуванням *зрілих* (*клімаксних*) *екосистем* із максимально можливим за даних природних умов ступенем стійкості.

Які особливості відрізняють штучні екосистеми від природних?

Штучні екосистеми — *це збіднені видами угруповання рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, створені людиною*. Їхнє призначення полягає в забезпеченні людини їжею й сировиною, створенні умов проживання, організації наукових досліджень, відпочинку тощо. Існування штучних екосистем можливе лише завдяки постійному, науково обґрунтованому втручанню людини. Найпоширенішими штучними системами є ***агросистеми***, які створені для отримання сільськогосподарської продукції. Це поля, штучні пасовища, городи, сади, виноградники, ягідники.

Однією з визначальних особливостей штучних екосистем є переважання одного чи декількох домінантних видів організмів, що позначається на довжині трофічних ланцюгів, складності трофічних мереж тощо. У таких екосистемах діє в основному штучний відбір, спрямований на максимальну продуктивність організмів, потрібних людині. Штучні екосистеми мають обмежений видовий склад, не здатні до саморегуляції та нестійкі за своєю природою, оскільки в умовах стресу вони дуже вразливі для конкурентів, збудників хвороб, паразитів, хижаків, стихійних лих та інших чинників.

Коротко про головне

- **СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ** залежить від механізмів саморегуляції екосистеми, які пов'язані із видовим біорізноманіттям.
- Постійні зміни середовища життя ведуть до сукцесій, кінцевою метою яких є досягнення стабільного стану.
- Штучні екосистеми мають таку ж структуру, умови існування, але позбавлені такої властивості як стабільність у стійкість у часі.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення за схемою. **СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Причини первинних та вторинних сукцесій.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. Природні та штучні екосистеми.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* **СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ**
• *Організовує*: **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про значення та причини екологічних сукцесій
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: екологічні сукцесії з погляду **ВЗАЄМОДІЙ У ПРИРОДІ**

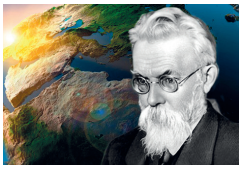
Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Творча вправа «Незакінчене речення».

Завдання для відтворення. СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ.

Біосфера — це оболонка життя
область існування живої речовини.
Володимир Вернадський (1863–1945) —
геніальний український науковець

§ 12.4. БІОСФЕРА



Аналізуємо! Вернадський В. І. надзвичайно багато зробив для відродження України. Він був першим президентом Академії наук, його ім'я носить Національна бібліотека України. На думку вченого, неминучим і єдино правильним є підхід до біосфери як до цілісної глобальної екосистеми. Цікаво, чому?

ЗМІСТ

Які особливості структури та властивості біосфери?

БІОСФЕРА — *це особлива оболонка Землі, населена живими істотами.* Перші уявлення про біосферу як «сферу життя» висловив Ж.-Б. Ламарк, термін запропонував австрійський учений Е. Зюсс (1875), а цілісне вчення про біосферу створив наш видатний співвітчизник В. І. Вернадський (праця «Біосфера», 1926). Дослідженнями біосфери займається ***біосферологія***.

БІОСФЕРА		
Абіотичний компонент	← Біогенна міграція елементів →	Біотичний компонент
Речовина літо-, гідро- та атмосфери		Жива речовина (продуценти, консументи, редуценти)

Біосфера охоплює три геологічні оболонки — літосферу, атмосферу та гідросферу. Межами біосфери є нижні шари атмосфери до висоти близько 11 км, вся гідросфера та верхній шар літосфери до глибини 3–11 км.

У структурі біосфери виділяють абіотичний та біотичний компоненти, пов'язані переміщенням елементів. Структурними елементами біосфери є 7 типів речовини: 1) *жива* — сукупність усіх організмів; 2) *біогенна* — речовина, утворена й перероблювана організмами (вугілля, нафта); 3) *косна* — абіотична речовина, утворена без участі живого (лава, попіл вулканів); 4) *біокосна* — продукти розкладу і переробки косної речовини організмами (ґрунт); 5) *радіоактивна*; 6) *космічна*; 7) *розсіяні атоми*.

Елементарними одиницями біосфери є екосистеми, тому біосферу розглядають як єдину глобальну екосистему Землі. Її емерджентними властивостями є: *високий рівень самоорганізації; надзвичайна стійкість у часі й просторі; величезний запас генетичної інформації; колосальне біорізноманіття організмів, видів, екосистем*. Біосфера існує з часу появи життя на Землі і на сучасному етапі свого розвитку поступово переходить у ***ноосферу*** — *стан біосфери, за якого визначальним чинником стає розумова діяльність людини*.

Які основні закономірності функціонування біосфери?

Живі організми концентрують, перерозподіляють хімічні елементи, синтезують із них і розщеплюють хімічні сполуки. У науці ця закономірність має назву **першого закону Вернадського**, або ***закону біогенної міграції хімічних елементів:*** *міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері загалом здійснюється або за безпосередньої участі живої речовини, або ж у середовищі, особливості якого зумовлені живою речовиною.* **Жива речовина (біота)** — це уся сукупність живих організмів на Землі. Основними функціями живої речовини в біосфері є:

- ***газова*** — вплив живих організмів на газовий склад атмосфери (утворення кисню, виділення вуглекислого газу, зв'язування Нітрогену);
- ***концентраційна*** — поглинання живими організмами певних хімічних елементів та їх накопичення (накопичення молюсками Кальцію, хвощами — Силіцію);
- ***окиснювально-відновна*** — живі організми окиснюють та відновлюють певні сполуки (залізо-, сіркобактерії перетворюють сполуки Феруму та Сульфуру);
- ***біохімічна*** — синтез і розщеплення органічних сполук;
- ***деструкційна*** — розклад редуцентами органічних решток, руйнування гірських порід унаслідок життєдіяльності організмів (біологічне вивітрювання за участю лишайників);
- ***середовищеутворювальна*** — зміна умов існування організмів завдяки діяльності живого (ґрунтоутворення, самоочищення водойм).

Другий закон В. І. Вернадського, або ***закон константності***: *кількість живої речовини за певний час є постійною величиною*. Відповідно до цього закону, будь-яке збільшення кількості живої речовини в одній частині біосфери супроводжується її зменшенням в іншій.

Третій закон В. І. Вернадського, або ***закон єдності живої речовини***: *усе живе має спільну фізичну та хімічну основу*. Це означає, що в основі живих систем лежать однакові хімічні, біохімічні та фізичні процеси, зумовлені загальними законами хімії, фізики.

Які особливості біогеохімічних циклів у біосфері?

БІОГЕОХІМІЧНИЙ ЦИКЛ — *це перетворення і переміщення хімічного елемента, що відбувається за спільної дії біотичних та абіотичних компонентів біосфери.* Поняття «біогеохімічні цикли» ввів у науку В. І. Вернадський. Серед найважливіших виділяють біогеохімічні цикли Карбону, Нітрогену, Гідрогену, Оксигену, Фосфору, Кальцію, Калію, Феруму та інші. Для ілюстрації розглянемо цикл Нітрогену.

Основне депо й резервний фонд Нітрогену — це атмосферний азот, а основна доступна форма — нітрати. Біотичні перетворення здійснюються переважно мікроорганізмами в ґрунті. Нітроген стає доступним для живого в результаті ***азотфіксації,*** яку здійснюють мутуалістичні бульбочкові бактерії, актиноміцети, ціанобактерії, а також окремі одноклітинні еукаріоти (наприклад, коколітофори, які містять особливі органели — нітропласти). Розклад органічних сполук з утворенням амоніаку здійснюють амоніфікувальні бактерії. Виділений унаслідок

амоніфікації амоніак розчиняється в ґрунтовій воді й перетворюється на амоній NH_4^+. Амоніак та амонійні сполуки здатні до біокаталітичного окиснення з утворенням нітратної та нітритної кислот, що використовуються в процесі ***нітрифікації*** нітрифікувальними бактеріями. Завдяки їхній діяльності в ґрунті утворюються нітрити й нітрати. Замикають цикл Нітрогену процеси ***денітрифікації***, які перетворюють нітрити й нітрати на молекулярний азот, що надходить в атмосферу.



Іл. 101. Біогеохімічний цикл Нітрогену

Біологія + Військові конфлікти *Через поклади гуано була розв'язана так звана Тихоокеанська війна між Чилі та коаліцією Перу й Болівії. Конфлікт виник через намагання Чилі захопити родовища гуано в пустелі Атакама. Що таке гуано?*



Коротко про головне

- **БІОСФЕРА** є найвищою та найскладнішою біологічною системою Землі.
- Функціонування біосфери як глобальної екосистеми відбувається за певними екологічними закономірностями.
- Найзагальнішими особливостями біогеохімічних циклів є їхня циклічність, складність, збалансованість та замкненість.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань у схему. **БІОСФЕРА**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Обґрунтування функцій живої речовини.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Біогеохімічний цикл Нітрогену.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **БІОСФЕРУ**
• *Аналізує результати*: **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про живу речовину як найпотужнішу геологічну силу
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* на прикладі біогеохімічного циклу твердження про важливість **ВЗАЄМОДІЙ В ПРИРОДІ**

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку уяви «Алегорії».

Завдання для конструювання. БІОСФЕРА.

Частина біосфери, вільна від впливу людини, є крихітною та швидко скорочується.

Гретхен Дейлі (нар. 1964) — американська екологиня, лауреатка премії Тайлера (2020)



§ 12.5. БІОСФЕРА Й АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ





Оцінюємо! Екологічні взаємодії в природі вдало узагальнив американський еколог та політик Баррі Коммонер (1917–2012). Науковець сформулював їх у вигляді чотирьох принципів, які стали відомі як «закони Коммонера». Перший закон — *усе пов'язано з усім.* Другий закон — *усе має кудись діватися.* Третій закон — *природа знає краще.* Четвертий закон — *ніщо не дається задарма.* Яке значення цих законів для розуміння впливу людини на біосферу?

ЗМІСТ

Які особливості антропогенного впливу на сучасну біосферу?

Протягом усієї своєї історії людство поступово посилювало вплив на природу, дедалі більше порушуючи екологічну рівновагу і створюючи екологічні проблеми.

У 2009 році група вчених на чолі з Й. Рокстремом та В. Стеффеном розробила концепцію планетарних меж. **Планетарні межі** — *це науково обґрунтовані межі людського впливу, за якими функціонування земної системи може бути суттєво змінене.* Основне завдання концепції — проілюструвати аспекти, у яких людська діяльність виснажує планету Земля. Станом на 2023 рік людство перетнуло шість із дев'яти планетарних меж (*див. іл. 102, с. 226*): створення шкідливих об'єктів (1); зміна біогеохімічних циклів (5); глобальне використання води (6); зміна у використанні земель (7); зміна цілісності біосфери (8); зміна клімату (9).

Сигналами неблагополуччя біосфери й нерозумної господарської діяльності людини в наш час дедалі частіше стають ***екологічні катастрофи*** — *швидкі й небезпечні зміни природних умов, за яких стан довкілля стрибкоподібно погіршується.* Трагічними прикладами таких подій стали Бхопальська аварія на хімічному заводі в Індії (1984), Чорнобильська катастрофа в Україні (1986), аварія АЕС «Фукусіма-1» в Японії (2011). Наприкінці XX століття людство почало відчувати наближення глобальної ***екологічної кризи***, яка, на відміну від попередніх криз, охопила всю планету та зумовлена техногенними чинниками. До її розвитку призвели два фактори — ***демографічний*** та ***промислово-енергетичний***. Кількість населення Землі стрімко зростає (1830 рік — 1 млрд, 1994 рік — 5,5 млрд, а до квітня 2025 року сягнуло 8,2 млрд) і відбувається різке зростання промислового виробництва та виробництва енергії.

Біологія + Біосферологія ✿ *На початку 1990-х років, в американській пустелі Аризона було реалізовано масштабний екологічний проєкт «Біосфера-2». Ця штучно створена замкнена біосфера була першою масштабною спробою моделювання процесів природних екосистем Землі. Науковці були впевнені, що мають усі необхідні знання для моделювання біосфери, проте з'ясувалося, що реальність значно складніша. Чому науковцям не вдалося створити її модель?*

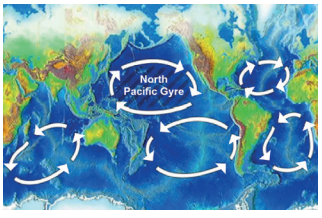


Які причини екологічних глобальних проблем?

Одним із ключових завдань середовищезнавства є визначення глобальних екологічних проблем біосфери та загроз для існування людства.

Сучасні принципи організації людської діяльності є згубними для довкілля. Практично будь-яка галузь є потенційно небезпечною для природи, але найбільшу роль у виникненні екологічних проблем відіграють *сільське господарство, металургія, хімічна промисловість, транспорт* і *енергетика*. Спільними ознаками глобальних екологічних проблем є: *масштабність* (стосуються усіх держав світу); *наявність тотальної загрози* (загострення кризових екологічних ситуацій призводить не тільки до економічних збитків, а й робить можливим фізичне зникнення людства); *необхідність міждержавного співробітництва у вирішенні проблеми*. Згідно з сучасними дослідженнями, результати яких опубліковані у доповіді організації «Глобальні екологічні перспективи» (ГЕО-2007), актуальними екологічними загрозами людському благополуччю є: *зміни глобального клімату, стихійні лиха, забруднення довкілля, деградація земель, скорочення запасів прісної води, загроза продовольчій безпеці; скорочення біорізноманіття й збільшення темпів вимирання видів*.

Біологія + Біосферологія ✿ *Велика тихоокеанська сміттєва пляма — це найбільше скупчення сміття у Світовому океані. За оцінками вчених, на цей час маса відходів становить понад 3,5 млн тонн, а площа плями перевищує 1 млн км². У чому полягає шкідливий вплив сміттєвих плям на біосферу?*



Які основні напрямки збереження біосфери?

Одним із пріоритетних напрямів охорони біосфери є **збереження біорізноманіття**. Перелік видів організмів, які потребують охорони, зазначають у Червоних книгах. В Україні 2021 року вийшло четверте видання Червоної книги України (тваринний світ), до якого занесено 687 видів тварин, а також видання «Рослинний світ» (2021), що містить 857 видів рослин і грибів. У 1987 році була започаткована Зелена книга України, до якої занесено рідкісні та зникаючі типові рослинні угруповання (наприклад, ялинові ліси Полісся чи формації ковили української).

Важливий крок на шляху захисту й збереження біосфери — ***розвиток природо-заповідних територій***. Природо-заповідними

територіями міжнародного значення, в яких охороняються усі компоненти біосфери, є *біосферні заповідники*. В Україні це «Асканія-Нова», Чорноморський, Карпатський та Дунайський. 2004 року прийнято Закон «Про екологічну мережу України», згідно з яким було розпочато роботу зі створення єдиної територіальної системи — ***екологічної мережі***. Програмою планується створення 29 національних природних парків і сім біосферних заповідників, серед яких найбільшими будуть Сивський, Нижньодніпровський, Поліський, Український лісостеповий.

Вчені безперервно шукають *нові шляхи збереження* біосфери. В останні десятиріччя розвиваються такі напрямки, як тривале збереження генетичної інформації у формі кріобанків (глибоко заморожених клітин), формування насіннєвих банків, повернення видів у місця їхнього попереднього мешкання тощо.

Біологія + Інформатика *В Україні було розпочато кампанію «Зниклі сторінки. 404» (за аналогією з повідомленням про помилку HTTP 404 Not Found у списку кодів стандартних відповідей сервера). Мета заходу — звернути увагу на види, які зникли в країні протягом останнього півстоліття: тюлень-монах, ховрах європейський, довгокрил звичайний та осетер європейський. Що втратила природа разом із цими зниклими видами?*



Коротко про головне

- **АНТРОПОГЕННИМ ВПЛИВОМ** на навколишнє середовище слід вважати будь-які процеси зміни природи, зумовлені діяльністю людини.
- **ЕКОЛОГІЧНІ ГЛОБАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ** — *це зміни стану довкілля внаслідок масштабного техногенного впливу, що порушує організацію соціосфери.*
- Основними напрямками охорони біосфери є збереження біорізноманіття, виділення й розвиток природо-заповідних територій, екологічна освіта тощо.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань з використанням схеми. **АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ**.

Розвивальне завдання. Проблемно-пізнавальна вправа. Глобальні екологічні проблеми.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Організація зеленого способу життя.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ**
• *Оцінює результати:* **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** про значущість міжнародної взаємодії у справі розв'язання глобальних екологічних проблем
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: наслідки впливу людини та порушень **ВЗАЄМОДІЇ В ПРИРОДІ**

Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Смішне у дикій природі».

КРЕАТИВНА РОБОТА 12. АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ та ...

Цілі безпечної системи Землі — це ті, за яких біофізична стабільність системи Землі підтримується та покращується з часом.

Йоган Рокстрем (нар. 1965) — шведський еколог, лауреат Премії Тайлора (2024)



§ 12.6. ЕКОСИСТЕМИ, БІОСФЕРА ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Цікаво! Блакитна іграшкова куля (англ. *The Blue Marble*) — відома фотографія Землі, зроблена 7 грудня 1972 року екіпажем космічного корабля «Аполлон-17» на відстані приблизно у 45 000 км. Ця світлина була опублікована в період становлення інвайронменталізму та розглядається як відображення тендітності та вразливості Землі. А що таке інвайронментологія?

ЗМІСТ

Які науки вивчають стан довкілля?

Вплив людини охопив біосферу, глибокі шари літосфери, стратосферу й гідросферу, вийшов за межі біосфери — у навколоземний космічний простір. У зв'язку з цим виникла необхідність *постійного моніторингу станом навколишнього середовища, пізнання закономірностей змін довкілля під впливом різних чинників та вивчення способів його збереження й охорони*. Це стало основним завданням науки, яка вже понад десять років активно розвивається.

Середовищезнавство (або **інвайронментологія** англ. *Environmental Science*) — *це наука про стан довкілля і місце людини в ньому*. Під ***довкіллям*** (синонімом до якого є навколишнє середовище) розуміють *комплекс природних, антропогенних та соціальних чинників життя людини*. Важливими передумовами для становлення інвайронментології стали: Стокгольмська конференція ООН з питань навколишнього середовища (1972) та створення Наукового комітету з проблем навколишнього середовища; Генеральна Асамблея ООН та створення Міжнародної комісії з навколишнього середовища і розвитку під керівництвом Гру Гарлем Брундтланд (1982); Міжнародна конференція в Ріо-де-Жанейро (1992) та документ «Порядок денний на XXI століття», що визначив шлях поступового переходу до сталого розвитку суспільства.

Об'єктом досліджень інвайроментології є ***соціосфера*** — «*самоорганізована, саморегульована планетна система, до складу якої належать біосфера, охоплені виробничою діяльністю геосфери, прилеглий до Землі Космос і людське суспільство з усіма наслідками його... діяльності*» (М. А. Голубець).

Спорідненою із середовищезнавством є галузь охорони довкілля.

Охорона довкілля (інвайронменталістика) — *це система практичних заходів щодо раціонального використання природних ресурсів, збереження природних комплексів і забезпечення екологічної безпеки*. Вона являє собою сукупність *правових, економічних, політичних* і *соціальних* дій, спрямованих на раціональне використання, відтворення і збереження природних ресурсів планети, а також обмеження негативного впливу людської діяльності на довкілля.

Середовищезнавство має прикладний характер, а традиційна екологія й такі її розділи, як екосистемологія й біосферологія, виступають для нього фундаментальною основою.

Як класифікуються екосистемні послуги?

Екосистемологія — *це наука про закономірності формування та функціонування екосистем*. Об'єктом дослідження цієї науки є екосистемне різноманіття, а предметом — вивчення структури, функцій, властивостей, екологічних взаємозв'язків, стійкості та еволюція.

Екосистемні послуги — це різноманітні переваги, які людина отримує від екосистем. На думку багатьох науковців, ці послуги слід визначати як «*процеси функціонування екосистем, що призводять до змін у добробуті людини*». А розуміння складних взаємозв'язків між суспільством та екосистемами для їхньої охорони та раціонального використання є результатом екосистемологічних досліджень.

Основою сучасної класифікації екосистемних послуг є поділ на чотири групи за функціональними ознаками: *послуги постачання* (їжа, вода, ліки, сировина, корисні копалини), *послуги регулювання* (вплив на клімат, очищення води й повітря, запилення, захист від повеней), *культурні й соціальні послуги* (рекреація, освіта, естетичне задоволення, духовне збагачення), *послуги підтримки екосистем* (участь у біогеохімічному кругообізі, середовищеутворення, збереження біорізноманіття, ґрунтоутворення) (*див. іл. 103, с. 226*) Структура екосистемних послуг була прийнята в рамках глобального дослідження «Оцінка екосистем тисячоліття» (англ. Millennium Ecosystem Assessment). Результати дослідження показали, що близько 60 % природних екосистем Землі є деградованими через зміни клімату, поширення інвазійних видів, надмірну експлуатацію ресурсів, забруднення та зміну місць існування організмів.

Які основні положення вчення про біосферу?

Біосферологія — це розділ екології, який вивчає біосферу. Предметом досліджень є виникнення, еволюція, структура, функціонування та глобальний екологічний стан біосфери, а також роль живої речовини в її розвитку. Основою біосферології є вчення видатного українського вченого В. І. Вернадського про біосферу.

Які ж саме положення вчення В. І. Вернадського про біосферу є особливо актуальними в сучасних умовах, коли техногенний вплив людини на природу досягнув планетарних масштабів?

1. Цілісність біосфери визначається самоупорядкованістю усіх її процесів та механізмами біотичної регуляції.

2. Жива речовина біосфери з найдавніших геологічних часів активно трансформує сонячну енергію в енергію хімічних зв'язків складних органічних речовин.

3. Чим дрібніші організми, тим з більшою швидкістю вони розмножуються. Швидкість розмноження залежить від щільності живої речовини.

4. Автотрофні організми отримують всі необхідні для життя речовини з навколишнього середовища, тоді як для життєдіяльності гетеротрофів необхідні готові органічні сполуки.

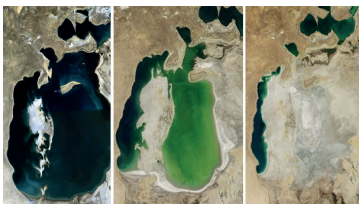
5. Активна трансформація живою речовиною космічної енергії супроводжується прагненням до заповнення всього можливого простору. Цей процес називається «тиском життя».

6. У земній корі відбуваються постійні перетворення речовин, рух атомів і молекул.

7. Поширення життя на нашій планеті визначається полем стійкості зелених рослин.

8. На сучасному рівні розвитку людської цивілізації біосфера неминуче перетворюється в ноосферу, тобто в сферу, де найважливішу роль в розвитку природи відіграє розум людини. (***Закон ноосфери Вернадського***, 1944).

Біологія + Біосферологія *У 1960 році Аральське море було четвертим за величиною озером світу, а до 2007 року воно зменшилося до 10% від своїх колишніх розмірів. Від колишнього моря залишилися три великих водойми, солоність води в двох з них така висока, що там повністю зникла риба. Які причини трагедії Аралу?*



Коротко про головне

- Середовищезнавство й охорона довкілля є прикладними галузями знань, що слугують основою для раціонального використання ресурсів довкілля, його охорони та забезпечення умов сталого розвитку суспільства.
- Єдино правильним є підхід до біосфери як до цілісної глобальної екосистеми з певною структурою, особливостями формування, розвитку та механізмами саморегуляції, що забезпечують її стійкість і стабільність.
- Усвідомлення екосистемних закономірностей, внутрішніх і зовнішніх зв'язків, а також причинно-наслідкових залежностей між екосистемами та людським життям — це найкращий і найважливіший шлях до розуміння значущості екосистемних переваг.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ЕКОСИСТЕМА — ОСНОВНА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ БІОСФЕРИ.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Екосистемні переваги.

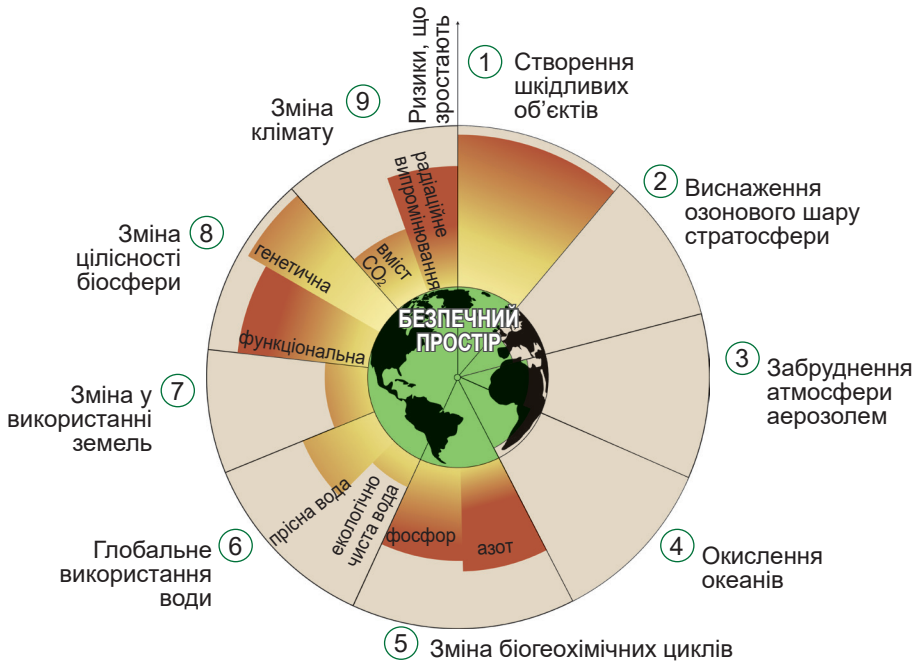
Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (*див. с. 276*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання*: про закономірності організації **ЕКОСИСТЕМ та БІОСФЕРИ**
• *Застосовує навички* **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень екосистем та біосфери в практичній діяльності людини
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **ВЗАЄМОДІЮ В ПРИРОДІ**

Саморозвиток

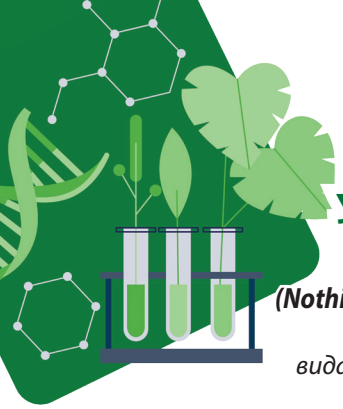
КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 12. ЕКОСИСТЕМИ та ...



Іл. 102. Планетарні межі (*станом на 2023 рік*)



Іл. 103. Класифікація екосистемних послуг



Тема 13. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ — УМОВА ІСНУВАННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

Ніщо в біології не має сенсу, крім як у світлі еволюції (Nothing in biology makes sense except in the light of evolution).

Феодосій Добжанський (1900–1975) — видатний український та американський еволюційний біолог



§ 13.1. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ

Цікаво! Чим різняться революційний та еволюційний розвиток? Ці поняття розглядають як протилежні. Революцію пов'язують із різкими змінами в житті суспільства, що нерідко супроводжуються досить радикальними засобами. Це раптове переривання поступового розвитку з кардинальним руйнуванням усього старого. А що таке еволюція?

ЗМІСТ

Які особливості та закономірності біологічної еволюції?

БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ — це процес розвитку живої природи в часі впродовж усієї історії Землі. Термін «еволюція» вперше ввів у науку швейцарський натураліст і філософ Шарль Бонне ще 1762 року. Для біологічної еволюції притаманна низка особливостей:

Рівневість. Прослідкується на кожному із рівнів організації життя. Наприклад, проявами молекулярної еволюції є мутації ДНК чи поява нових ферментів у бактерій.

Спадкоємність. Біологічна еволюція полягає у зміні спадкових характеристик груп організмів протягом поколінь. «*Висока міра спадкової мінливості є не тільки характеристикою ... популяції, а й є основою процесу еволюції*», — стверджував Ф. Добжанський.

Незворотність. Положення про незворотність еволюції на рівні видів вперше сформулював Ч. Дарвін: «*Вид, який щезнув, ніколи не може з'явитися знову, навіть якби знову повторилися абсолютно тотожні умови життя — органічні й неорганічні*». А сам **закон незворотності еволюції органічного світу** сформульовано бельгійським палеонтологом Л. Долло (1893 рік). Нині закон Дарвіна–Долло підтверджено за допомогою моделювання еволюції білків на молекулярному рівні.

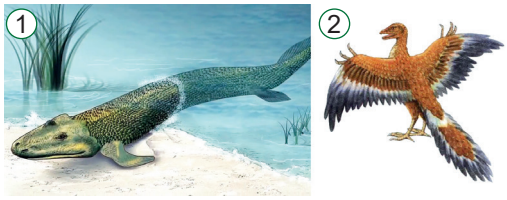
Спрямованість на пристосування організмів до впливів різних чинників. Результатом біологічної еволюції завжди є відповідність живої системи умовам її існування.

Нерівномірність. Швидкість, темпи та характер еволюційних процесів упродовж історичного розвитку живої природи є різними. Зокрема, **закон нерівномірності еволюційного розвитку** стверджує, що еволюція різних груп відбувається з різною швидкістю; **закон прискорення темпів еволюції** вказує на прискорення біологічної еволюції упродовж геологічних епох; **закон стрибкоподібного характеру еволюції** — на наявність періодів підвищеного «вибухового» видоутворення.

Які основні групи доказів еволюції?

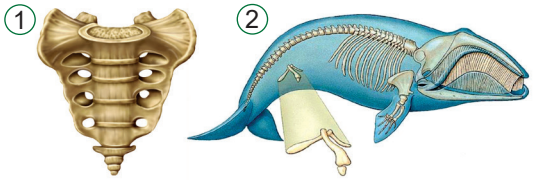
Здатність до розвитку в часі характерна для всіх проявів життя, тому докази біологічної еволюції можуть бути представлені багатьма біологічними науками.

Палеонтологічні докази пов'язані з вивченням вимерлих організмів, на основі чого відновлюють хід еволюції. На сьогодні встановлено значну кількість послідовностей викопних форм (*філогенетичних рядів*) організмів, зокрема молюсків, коней, слонів, носорогів та інші. Знайдено й описано вимерлі організми, які поєднують у собі ознаки двох великих систематичних груп (*викопні перехідні форми*). Прикладом таких вимерлих форм є: *тіктаалік* (від риб до земноводних), *археоптерикс* (від рептилій до птахів).



Іл. 104. Викопні перехідні форми: 1 — тіктаалік; 2 — археоптерикс

Порівняльно-анатомічні докази свідчать про подібність у будові організмів, що допомагає з'ясувати їхню еволюційну спорідненість. Це гомологічні та аналогічні органи, які детальніше будуть розглядатися у темі про макроеволюцію, а також рудименти та атавізми. Рудименти — *це органи, що втратили в процесі еволюції початкове значення для збереження виду і перебувають у стадії зникнення* (наприклад, лусочки на кореневищах рослин, залишок третьої повіки у людини, очі у кротів). Атавізми — *це випадки повернення в окремих особин до ознак предків* (наприклад, бічні пальці у коней, смугастість у поросят домашніх свиней).



Іл. 105. Рудименти: 1 — куприк людини; 2 — залишки кісток тазового поясу й задніх кінцівок у китів

Біохімічні докази демонструють дивовижну схожість молекулярної організації живих істот. Універсальність генетичного коду, хімічного складу мембран, побудова білків із 20 «чарівних» амінокислот, використання АТФ як акумулятора енергії в клітинах, схожість основних біохімічних процесів та подібність білкового складу — ці та багато інших ознак є доказами спільності походження життя на Землі.



Іл. 106. Атавізми: 1 — поява кінцівок у безногих ящірок; 2 — поява смугастості домашніх поросят

Молекулярно-генетичні докази дають змогу порівнювати навіть дуже віддалені групи організмів — бактерії, еукаріоти та археї — і робити висновок про їхню еволюційну спорідненість. Було виявлено, що геноми різних організмів мають між собою багато спільного. Наприклад, геном людини приблизно на 90 % збігається з геномом миші і лише на 1 % відрізняється від генома шимпанзе.

Біологія + Англійська мова *Основна наукова праця знаменитого англійського натураліста Чарльза Дарвіна має таку назву: «On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life». Перекладаю її.*

Чому еволюційне походження є фундаментом сучасної системи органічного світу?

Результатом біологічної еволюції є адаптація, коеволюція, кооперація (співпраця), різноманіття генів, видів та екосистем. Для того, щоб вичерпно охарактеризувати певний вид чи клас, потрібно з'ясувати еволюційні зв'язки й еволюційні зміни, що накопичувалися у процесі філогенезу. Впорядкування величезного біорізноманіття є завданням філогенетичних систем — класифікації, що ґрунтується на реконструкції філогенезу, тобто перебігу еволюційних подій.

СИСТЕМА ОРГАНІЧНОГО СВІТУ — *це розподіл на групи всіх живих істот з урахуванням їхньої спорідненості та використанням систематичних категорій*. Загальновизнаної системи органічного світу в сучасній біологічній класифікації немає. Найчастіше використовується Система трьох доменів (Бактерії, Археї, Еукаріоти). Згідно з однією з класифікацій всі живі організми (*Biota*) поділяють на чотири групи: Неклітинні (*Aphanobionta*), Бактерії (*Bacteria*), Археї (*Archaea*) та Еукаріоти (*Eukaryota*). Очікується перехід до нової, дводоменної системи, в якій археї та еукаріоти належатимуть до одного домену. Цей новий домен може бути названий *Arkarya* або просто *Archaea sensu lato*.

Коротко про головне

- **БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ** — *це сукупність процесів, що забезпечують зміни живої природи в ході її історичного розвитку.*
- **Докази еволюції** — *наукові дані, що підтверджують історичний розвиток життя.*
- **Сучасна система органічного світу** — це філогенетична класифікація, що об'єднує всі живі істоти на основі їхньої еволюційної спорідненості та комплексу критеріїв.

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Дослідження гомології передніх кінцівок хребетних.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Що таке **ПРИЧИНА і НАСЛІДОК**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: поняття **БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ДОСЛІДЖЕННЯ** доказів еволюції
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **ПРИЧИНА і НАСЛІДОК**

Саморозвиток

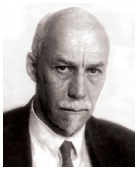
Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 276*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку загальних розумових здібностей (за Р. Вандерлік).

Завдання для прогнозування. Система органічного світу.

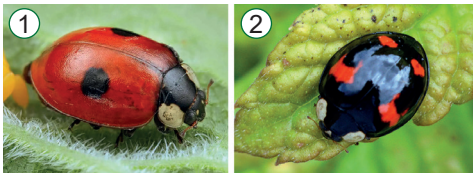
Еволюція йде не шляхом підсумовування сприятливих мутацій, а за допомогою безперервного комбінування узагалі дрібних мутацій, під постійним контролем природного добору.

Іван Іванович Шмальгаузен (1884–1963) — видатний еволюційний біолог



§ 13.2. ЕВОЛЮЦІЙНІ ЧИННИКИ

Усвідомлюємо! ***Сонечко двокрапкове*** (*Adalia bipunctata*) має дві форми — чорну і червону. Науковці встановили, що восени в популяціях переважає червона форма: ці особини плодючіші та краще розмножуються. Натомість навесні у великій кількості трапляються чорні сонечка: вони холодостійкіші та краще зимують. Виявилося, що забарвлення пов'язане з обміном речовин. Які чинники визначають такі процеси в популяціях?



ЗМІСТ

Як класифікують чинники еволюції?

ЕВОЛЮЦІЙНІ ЧИННИКИ — *це зовнішні та внутрішні впливи, які призводять до еволюційних змін популяцій, екосистем та біосфери в цілому.* За особливостями дії та еволюційним значенням ці чинники об'єднують у дві групи: елементарні та рушійні. ***Елементарні чинники еволюції*** — це постачальники еволюційного матеріалу, які створюють генетичну мінливість та умови перебігу еволюційних змін. ***Рушійні чинники еволюції*** мають спрямований закономірний характер і «сортують» різноманітність спадкових змін. Еволюційні зміни є результатом взаємодії цих протилежних впливів.

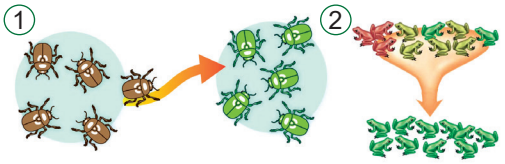
Завдяки сучасним дослідженням у галузях молекулярної біології, генетики, мікробіології, цитології, екології та антропології встановлено, що: а) на кожному рівні організації життя відбуваються процеси, що впливають на еволюцію; б) усі екологічні чинники, якщо вони діють з постійною чи періодичною інтенсивністю, є водночас чинниками еволюції; в) на рівні популяції як одиниці еволюції розрізняють внутрішньовидові (міграції, хвилі життя) та міжвидові (симбіоз, конкуренція) еволюційні чинники.

Які механізми впливу елементарних чинників еволюції?

Елементарні чинники еволюції забезпечують процес генетичним матеріалом для відбору (*мінливість, потік генів, дрейф генів*) та створюють умови для дії рушійних сил еволюції (*хвилі життя, ізоляція*).

Еволюційне значення мають обидві форми мінливості — неспадкова та спадкова. ***Неспадкова мінливість*** бере участь у дії механізму «знешкодження» мутацій, оскільки природний добір формує певну норму реакції модифікаційних ознак. ***Спадкова мінливість*** є основою біологічного різноманіття і матеріалом для еволюції. ***Потік генів*** —

це обмін генетичним матеріалом між організмами популяцій одного чи різних видів. Основними механізмами потоку генів є *міграції* (переміщення особин між популяціями), *горизонтальне перенесення генів* та *гібридизація*. ***Дрейф генів*** — *це випадкова і неспрямована зміна частот зустрічальності алелів у популяції без зміни будови самих генів*. Ефект генетичного дрейфу найбільший у невеликих популяціях і мінімальний — у найбільших. Генетичний дрейф має кілька важливих наслідків для еволюції: зменшує генетичну варіативність у популяціях, діє швидше та має радикальніші наслідки в менших популяціях та може сприяти видоутворенню.



Іл. 107. Елементарні чинники еволюції: 1 – потік генів; 2 – дрейф генів

Біологія + Вправляння ✿ *В одній зі своїх праць, опублікованій 1859 року, Ч. Дарвін пояснює виникнення безкрилих форм мадейрських жуків так: «... протягом багатьох наступних поколінь кожна особина, яка менше літала або через недорозвинені крила, або через млявість у поведінці, мала більшу ймовірність вижити, бо її не заносило вітром у море». Ученим описано дію...*

А штучного добору **Б** природного добору **В** мутацій

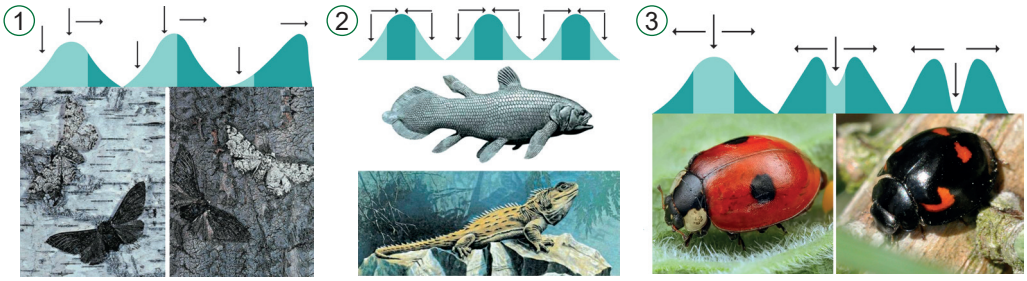
Яке еволюційне значення та види природного добору?

Рушійними чинниками еволюції, які мають спрямовану дію, є боротьба за існування та природний добір, який вона спричинює. При цьому спрямованість природного добору випливає безпосередньо з умов боротьби за існування. ***Боротьба за існування*** — це складні й різноманітні відносини особин усередині видів, між видами та з неорганічною природою. Розглядають такі форми боротьби за існування: внутрішньовидова, міжвидова та боротьба з абіотичними чинниками.

Природний добір — *це процес, внаслідок якого виживають і лишають після себе потомство переважно особини з корисними в даних умовах спадковими змінами*. Цей чинник еволюції завжди має спрямований характер, удосконалює пристосування до умов існування. Розрізняють три форми природного добору.

Рушійний добір — *це добір, що спричинює поступову зміну фенотипу, веде до зміни норми реакції в одному певному напрямку*. Він здійснюється в нових умовах на користь змін, які в цих умовах мають сприятливий характер. З рушійним добором пов'язана поява нових пристосувань. Прикладами дії рушійного добору є індустріальний меланізм у метелика березового п'ядуна.

Стабілізуючий добір — *це добір особин, який супроводжується звуженням норми реакції*. Теорію стабілізуючого добору розробив український вчений І. І. Шмальгаузен (1941–1946). Проявляє себе ця форма добору за стійких екологічних умов. Він забезпечує підтримання сталості певного фенотипу, який найбільше відповідає середовищу, і відкидає будь-які менш пристосовані зміни. Дію стабілізуючого добору ілюструють такі реліктові види організмів, як латимерія та гатерія. Прикладом дії цієї форми добору також є збереження обтічної форми тіла у риб та сталість розмірів частин квітки.



Іл. 108. Форми природного добору: 1 — рушійний; 2 — стабілізуючий; 3 — розриваючий

***Розриваючий добір** — це добір, який призводить до появи декількох фенотипів і спрямований проти середніх проміжних форм.* Розриваючий (дизруптивний) добір проявляється тоді, коли умови середовища настільки змінюються, що основна маса особин виду втрачає адаптивність, а переваг набувають особини з крайніми відхиленнями від середньої норми. Прикладом дії розриваючого добору є існування в межах популяції двох або декількох форм з різко відмінними ознаками (наприклад, червона й чорна форми сонечка двокрапкового), а також виникнення популяцій комах з довгими крилами та без крил на островах, де постійно дме сильний вітер.

Коротко про головне

- **ЕВОЛЮЦІЙНІ ЧИННИКИ** — *це зовнішні та внутрішні впливи, які призводять до еволюційних змін популяцій, екосистем та біосфери в цілому.*
- **Елементарні чинники еволюції** — *це впливи, що спричинюють еволюційні зміни біосистем і мають неспрямований випадковий характер.* До цієї групи належать мінливість, потік генів, дрейф генів, популяційні хвилі та ізоляція.
- **Рушійні чинники еволюції** — *це чинники, які спрямовують різні елементарні зміни, що виникли внаслідок мутацій, у бік формування пристосувань організмів до змін умов довкілля.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми. **ЧИННИКИ ЕВОЛЮЦІЇ**.

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Вплив елементарних чинників еволюції.

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Форми природного добору.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* особливості **ЕВОЛЮЦІЙНИХ ЧИННИКІВ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ДОСЛІДЖЕННЯ** значення елементарних чинників еволюції
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* щодо зв'язку природного добору з категоріями **ПРИЧИНА** та **НАСЛІДОК**

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Кейс-метод, або метод ситуаційних вправ».

Завдання для розпізнавання. ЧИННИКИ ЕВОЛЮЦІЇ.

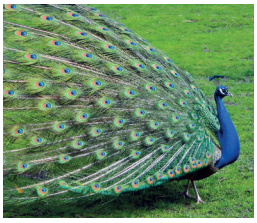
Адаптація — це серце і душа еволюції.

Найлз Елдредж (нар. 1943) — американський еволюційний біолог, один з авторів теорії перерваної рівноваги



§ 13.3. МІКРОЕВОЛЮЦІЯ

Аналізуємо! Для самця ***павича індійського*** (*Pavo cristatus*) характерні надзвичайно розвинені верхні покривні пера, що утворюють хвіст. Це пір'я оздоблене синіми й бронзовими «очками» та переливається зелено-золотавими барвами. Павичі мешкають на території півострова Індостан та Шрі-Ланки; цей вид є священним птахом в індуїзмі та національним птахом Індії. Цікаво, яке еволюційне значення цієї адаптації павича?



ЗМІСТ

Які особливості мікроеволюції?

МІКРОЕВОЛЮЦІЯ — *це зміна генетичної структури, яка відбувається з часом у популяції*. На цьому рівні еволюційних явищ процеси тривають упродовж відносно короткого еволюційного проміжку часу. Згідно із синтетичною теорією еволюції, усі первинні еволюційні зміни починаються в популяціях. Природний добір спрямовує різні зміни фенотипів, що виникли внаслідок мутацій, у бік формування адаптацій організмів до змін умов середовища.

Схема. ОСОБЛИВОСТІ МІКРОЕВОЛЮЦІЇ

Починаються мікроеволюційні зміни в популяціях, які є *елементарною одиницею еволюції*
Елементарним еволюційним матеріалом для мікроеволюції є мутації та рекомбінації
Елементарною еволюційною подією, що протікає на мікроеволюційному рівні, є зміна генетичної структури популяції. Вона полягає у зміні співвідношення особин з різними генотипами в популяції й веде до заміщення одних алелів іншими
Елементарними чинниками мікроеволюції є потік генів, дрейф генів, хвилі життя, ізоляція
Рушійною силою мікроеволюційних змін є природний добір як наслідок боротьби за існування

У сучасному еволюційному вченні саме популяція розглядається як арена мікроеволюційних подій. Це пояснюється тим, що:

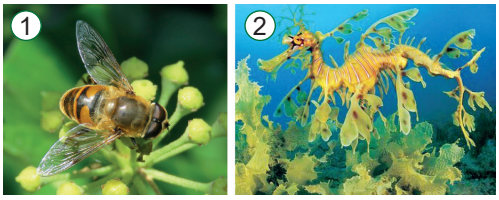
- популяція завдяки спадковій мінливості складається з особин, які відрізняються алелями та проявами ознак;
- у популяції постійно діють чинники, що змінюють генетичну структуру;
- у популяції безперервно існують взаємозв'язки між особинами й довкіллям, завдяки яким виживають і дають потомство тільки особини з корисними в даних умовах змінами.

Біологія + Мікроеволюція *Груповий ефект (ефект групи) — це підвищення життєздатності організмів завдяки їхньому об'єднанню в групи. Це явище є прикладом етологічних адаптацій на популяційно-видовому рівні організації життя і характерне для багатьох тварин. Наприклад, це спільний захист від хижаків у копитних, ефективне колективне полювання у вовків, а також енергозбереження під час перельоту птахів (мурмурація). Які ж недоліки групового ефекту?*



Чому організмові адаптації є результатом мікроеволюційних процесів?

У найпростішому розумінні під адаптацією розуміють *здатність організмів пристосовуватися до мінливих умов зовнішнього середовища*. Адаптація реалізується не лише на рівні організму. Її прояви існують на кожному з рівнів організації і притаманні усім відомим біосистемам. Найбільш вивченою групою адаптацій є *організмові адаптації*, що формуються завдяки мікроеволюційним процесам. ***Фізіологічні адаптації*** — це ознаки пристосованості у процесах життєдіяльності особин (зміна кровообігу при змінах температури, відкладання жиру на зимовий сезон). ***Етологічні адаптації*** — це комплекс поведінкових реакцій (погрозливі пози різних змій). ***Морфологічні адаптації*** — це сукупність пристосувань у зовнішній будові й формі тіла:



Іл. 109. Мімікрія бджоловидки звичайної (1) та маскування морського коника (2)

- мімікрія — це схожість між незахищеними та захищеними видами (осовидні метелики й оси, бджоловидні мухи і бджоли);
- маскування — це схожість із предметами середовища (морський коник до водоростей);
- захисне забарвлення — допомагає сховатися в середовищі (біле забарвлення полярних куріпок);
- застережне забарвлення — вказує на небезпеку цього виду (червоне забарвлення сонечка вказує на отруйність гемолімфи);
- погрозливе забарвлення — для відлякування ворогів (восьминіг, оса).
- приваблююче забарвлення — забезпечує зустріч особин різних статей (яскраве забарвлення самця вивільги).

Адаптації живих організмів з'являються внаслідок мутацій та рекомбінацій ДНК та подальшої дії природного добору в популяціях, який за участю елементарних чинників еволюції сприяє розмноженню більш пристосованих організмів.

Які закономірності мікроеволюційних процесів?

Взаємозв'язок мікроеволюційних змін відображають такі закономірності, як закон генетичної рівноваги популяцій та закон гомологічних рядів спадкової мінливості.

Закон генетичної рівноваги стверджує, що *частоти алелів і генотипів у великій популяції залишаються сталими з покоління в*

покоління за наявності певних умов. Цей закон описує ідеальну популяцію і є основою для вивчення мікроеволюційних процесів. Математичну залежність між частотами алелів і генотипів 1908 року вивели Дж. Гарді (1877–1947) і В. Вайнберг (1862–1937).

Рівняння Харді-Вайнберга

$p(A) + q(a) = 1$ (формула для визначення генетичної структури популяцій за частотою зустрічальності домінантного (**p**) та рецесивного (**q**) алелів);

$p^2(AA) + 2pq(Aa) + q^2(aa) = 1$ (формула для визначення генетичної структури популяцій за частотою зустрічальності генотипів)

Популяція, в якій зберігається генетична рівновага, називається ***ідеальною***. Умовами існування ідеальних популяцій є: *велика чисельність популяції; вільне випадкове схрещування* (*панміксія*)*; відсутність мутацій, добору за певною ознакою та генного потоку*. Якщо порушується хоча б одна умова, то генетична структура популяції змінюється.

Під час досліджень спадкової мінливості ознак різних рослин виявлено багато спільних спадкових змін. Це стало основою ***закону гомологічних рядів у спадковій мінливості*** (*закон Вавилова*): *генетично близькі види та роди характеризуються подібними рядами спадкової мінливості*. Прикладами, що ілюструють цю закономірність є: форми з довгими і короткими остюками у злакових, короткопалість чи альбінізм тварин.

Коротко про головне

- **МІКРОЕВОЛЮЦІЯ** — *еволюційний процес, що відбувається всередині виду, і завершується формуванням адаптацій організмів, утворенням нових популяцій.*
- **АДАПТАЦІЯ** — пристосувальна ознака будови, функцій чи поведінки.
- Подібність мікроеволюційних змін у різних групах живих істот ілюструють закон генетичної рівноваги популяцій та закон гомологічних рядів спадкової мінливості.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням схеми. **МІКРОЕВОЛЮЦІЯ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 13. Розв'язування вправ «Різноманітність адаптацій».

Ціннісне завдання. Домашній практикум. Розв'язування вправ «Закономірності мікроеволюції».

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **МІКРОЕВОЛЮЦІЇ**
• *Організовує*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** різноманітності організмових адаптацій
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: мікроеволюційні зміни з позиції **ПРИЧИН** та **НАСЛІДКІВ**

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Закон Кюв'є.

Завдання для відтворення. МІКРОЕВОЛЮЦІЯ.

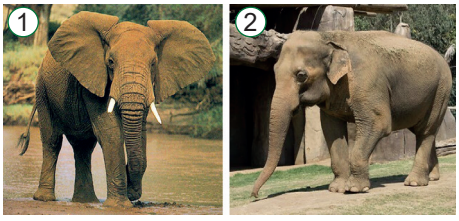
Вид є основною одиницею еволюції, тому неможливо писати про еволюцію — та й майже про будь-який аспект філософії біології — не маючи глибокого розуміння значення біологічного виду.

Ернст Майр (1904–2005) — німецький еволюційний біолог та систематик



§ 13.4. ВИДОУТВОРЕННЯ

Аналізуємо! З колись чисельного ряду Хоботних нині в живих залишилося всього два роди — ***африканський*** та ***індійський слони***. У першій групі виокремлюють два види — *слон саванний* (*Loxodonta africana*) та *слон лісовий* (*Loxodonta cyclotis*). Індійські слони представлені лише одним видом — *Elephas maximus*. Чому це різні види?



Іл. 110. Африканський слон (1), *Індійський слон* (2)

ЗМІСТ

Чому вид є основною одиницею еволюції?

В основі *біологічної концепції виду* лежить поняття ізолюючих механізмів. ***Ізоляція*** *— це виникнення будь-яких перешкод, що порушують вільне схрещування й обмін спадковою інформацією*. Це елементарний еволюційний чинник, що діє на мікроеволюційному рівні та призводить до видоутворення. В еволюційній біології розрізняють дві основні форми ізоляції: *географічну* (просторову) та *репродуктивну* (біологічну). Географічна ізоляція перешкоджає потоку генів між популяціями, а репродуктивна — схрещуванню та утворенню життєздатних нащадків за участю різних ізолюючих механізмів (фізіологічних процесів, моделей поведінки, екологічних умов, генетичних механізмів тощо).

БІОЛОГІЧНИЙ ВИД (від лат. *species* — різновид) *— це сукупність особин у складі популяцій, що характеризуються спадковою подібністю ознак, вільно схрещуються і дають плодюче потомство, пристосовані до певних умов життя і займають у природі певну територію — ареал*. Існування видів у живій природі має велике біологічне значення. Як наголошував Е. Майр: «*Розділення загальної генетичної мінливості природи на окремі пакети, так звані види, які відокремлені один від одного репродуктивними бар'єрами, запобігає утворенню занадто великої кількості дисгармонійних несумісних комбінацій генів*».

Якими є критерії виду?

Критерії виду (від грец. *kriterion* — засіб для суджень) *— ознаки подібності між особинами одного виду, а також ознаки, за допомогою яких один вид відрізняють від іншого*. Видову самостійність встановлюють за критеріями.

Морфологічний критерій передбачає виділення та опис зовнішніх ознак у особин одного виду. Так, за розмірами та забарвленням пір'я можна відрізнити дятла зеленого й дятла чорного. Проте у природі

зустрічаються види, які неможливо розрізнити лише за зовнішніми ознаками. Це види-двійники, які морфологічно схожі між собою. Наприклад, за назвою «*пацюк чорний*» виявлено два види-двійники, у яких відповідно 38 та 42 хромосоми.



Іл. 111. Дятел чорний (*Dryocopus martius*) (1) *та дятел зелений* (*Picus viridis*) (2)

Каріотипічний (генетичний) критерій пов'язаний із вивченням кількості хромосом у каріотипі та особливостей їхньої будови. Ці особливості визначають *генетичну відокремленість* як головну ознаку виду. Це один із найнадійніших критеріїв, але й він не абсолютний. Наприклад, усі шість видів-двійників малярійного комара мають $2n = 2$, хоча це окремі види з різними екологічними та етологічними характеристиками (поведінка, ареал, перенесення збудників малярії тощо).

Фізіологічний критерій полягає у подібності процесів життєдіяльності особин одного виду, насамперед — у подібності розмноження. Але й цей критерій спрацьовує не завжди: встановлено чимало різних видів, які можуть схрещуватися в природі й давати плідні гібриди. Прикладами є міжвидові гібриди зайця-русака й зайця-біляка, терену й аличі.

Біохімічний критерій для визначення видової належності передбачає аналіз особливостей будови і складу макромолекул та перебігу певних біохімічних реакцій. Але й біохімічний критерій є відносним. Так, для особин виду характерний білковий поліморфізм.

Географічний критерій пов'язаний з тим, що кожен вид займає певну територію або акваторію (ареал). Однак величезна кількість видів має ареали, що збігаються або перекриваються.

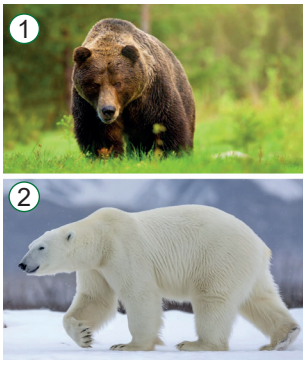
Екологічний критерій передбачає пристосованість до певних умов існування. Наприклад, жовтець їдкий росте на заплавних луках, а жовтець повзучий — по берегах річок. Існують, однак, види, які не мають суворої екологічної приуроченості.

Встановити приналежність організму до того чи іншого виду можна лише за сукупністю всіх перерахованих критеріїв.

Які є способи видоутворення?

Необхідною умовою видоутворення є ізоляція, залежно від особливостей якої розрізняють географічне та екологічне видоутворення.

Алопатричне (географічне) видоутворення — це формування нових груп у результаті розширення ареалу під час географічної ізоляції. Це найпоширеніший у природі спосіб видоутворення, що відбувається шляхом розриву суцільного ареалу на частини або розширення ареалу з подальшим відбором в нових умовах (наприклад, утворення видів ведмідь бурий (*Ursus arctos*) та ведмідь білий (*Ursus maritimus*) відбулося не більше 200 тис. років тому). Процес здійснюється: 1) *шляхом фрагментації* —



Іл. 112. Ведмідь бурий (1) *і ведмідь білий* (2)

розрив суцільного ареалу на частини (утворення різноманітних видів в'юрків на різних островах Галапагоського архіпелагу); 2) *шляхом міграції* — розширення ареалу і відбір у нових умовах (утворення виду Модрина даурська від Модрини сибірської).

Симпатричне (екологічне) видоутворення *—це формування нових груп у межах існуючого ареалу внаслідок екологічної ізоляції*. Відбувається: *шляхом сезонної ізоляції* — у результаті дії нових сезонних умов (утворення видів дзвінець великий весняний і дзвінець великий літній); *шляхом міжвидової гібридизації* — у результаті схрещування між особинами споріднених видів з наступним подвоєнням хромосом; (кідус, або кідас = соболь (*Martes zibellina*) + куниця лісова (*Martes martes*); *шляхом поліплоїдії* — за рахунок мутацій (вихідний вид двозернівка має $2n = 14$, вид пшениця тверда — $4n = 28$, а пшениця м'яка — $6n = 42$; *шляхом симбіогенезу* — поєднання в одному організмі систематично віддалених організмів (різні види лишайників є результатом симбіозу грибів і водоростей).

Біологія + Рослинництво *Культурна слива (Prunus domestica) із набором хромосом $2n = 48$ виникла шляхом гібридизації терена (Prunus spinosa, $2n = 32$) з аличею (Prunus divaricata, $2n = 16$) з наступним подвоєнням набору хромосом. Про який тип видоутворення йдеться?*



Коротко про головне

- **БІОЛОГІЧНИЙ ВИД** — це основна структурна одиниця живої природи, відокремлена від інших видів внаслідок неможливості давати життєздатне потомство після схрещування.
- Види та належність особини до певного виду визначають за сукупністю критеріїв, які взаємно доповнюють один одного.
- **Видоутворення —** це спрямований природним добором еволюційний процес адаптивних перетворень, який призводить до утворення генетично закритих видових систем із генетично відкритих внутрішньовидових.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань за схемою. **БІОЛОГІЧНИЙ ВИД**.

Розвивальне завдання. Практична вправа. Характеристика виду за видовими критеріями.

Ціннісне завдання. Вправа для переконаності. Алопатричне та симпатричне видоутворення.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **БІОЛОГІЧНИЙ ВИД**
• *Аналізує результати*: **ДОСЛІДЖЕННЯ** критеріїв для визначення біологічного виду
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* значущість репродуктивної ізоляції з позиції **ПРИЧИНИ та НАСЛІДКІВ**

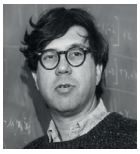
Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку уяви «Алегорії».

Завдання для конструювання. ВИДОУТВОРЕННЯ.

Загальність принципів природного добору означає, що будь-які сутності в природі, які мають мінливість, розмножування та спадковість, можуть еволюціонувати.

Річард Левонтін (1929–2021) — американський еволюційний біолог



§ 13.5. МАКРОЕВОЛЮЦІЯ

Оцінюємо! Зяблики Дарвіна, або галапагоські зяблики (в'юрки) — це група 14 видів птахів ряду Горобцеподібні. Вони відомі тим, що саме види цієї групи Чарльз Дарвін зібрав під час другої подорожі до Галапагоських островів. Усі види взяли початок від спільного материкового виду і в процесі еволюції стали відрізнятися один від одного. Чому такі зміни є макроеволюційними?

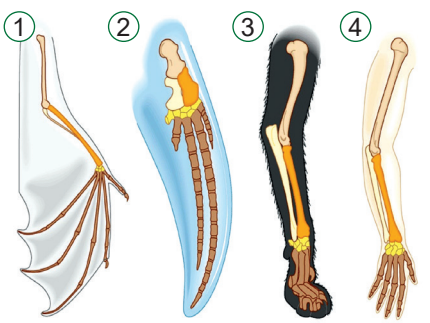


ЗМІСТ

Як відбувається макроеволюція?

На відміну від мікроеволюційних змін макроеволюція триває величезні проміжки часу і недоступна для безпосереднього спостереження. В еволюційній біології вона розглядається як результат поступового накопичення мікроеволюційних змін. Причинами макроеволюції можуть бути значні зміни навколишнього середовища (зміни клімату, глобальне потепління, зледеніння, удари масивних астероїдів), а її наслідками — перетворення органів та їхніх функцій, формування надвидових таксонів (родів, родин, рядів, класів, типів, царств), а також вимирання філогенетичних груп. Основними формами макроеволюції є *дивергентна*, *конвергентна* та *паралельна*.

Дивергентна еволюція — *це еволюційний процес формування у вихідних близькоспоріднених груп відмінних ознак та властивостей*. Причиною стають різні умови, а наслідком поява ***гомологічних органів***, які мають спільне походження, схожу будову, але виконують різні функції (наприклад, ласт тюленя і кінцівка крота, кореневище пирію і бульби картоплі). ***Дивергенція*** (від лат. *diverto* — відхиляюсь) — *розвиток ознак відмінності в особин одного виду унаслідок пристосування до різних умов середовища*.



Іл. 113. Гомологія передніх кінцівок хребетних: 1 — кажана; 2 — кита; 3 — кішки; 4 — людини

Конвергентна еволюція — *це еволюційний процес формування комплексу схожих ознак у представників неспоріднених груп*. Прикладом конвергентної еволюції є поява крил у різних тварин, форми тіла в акул, іхтіозаврів та дельфінів. ***Конвергенція*** (від лат. *convergo* — зближуюсь) — *незалежний розвиток подібних ознак у філогенетично віддалених організмів внаслідок пристосування їх до подібних умов середовища*. Подібність ознак, яка виникає в результаті цього явища,

називається *аналогією*. ***Аналогічні органи*** — це органи, які виконують подібні функції, але не мають спільного плану будови і походження (крила метеликів і крила птахів).



Іл. 114. Аналогічні органи: 1 — крила птаха; 2 — крила метелика; 3 — крила кажана

Паралельна еволюція — *це еволюційний процес незалежного розвитку подібних ознак у близькоспоріднених груп організмів*. Подібність ознак, яка виникає в результаті цього явища, називається *гомойологією* (подібність форми тіла у ластоногих, виникнення шаблезубості в різних груп викопних кішок, наявність каст мурах-«солдатів» у різних видів).



Іл. 115. Паралелізм тюленів (1), *котиків* (2) *і моржів* (3)

Які основні напрямки макроеволюційних змін?

Вивчаючи закономірності історичного розвитку тварин, О. М. Сєверцов у 20-х роках XX століття обґрунтував поняття «біологічний прогрес» і «біологічний регрес».

Біологічний прогрес — *це напрям еволюції, при якому народжуваність в популяції переважає над смертністю*. Ознаками біологічного прогресу є: *зростання чисельності особин; розширення площі існування; підвищення темпів внутрішньовидової мінливості; утворення великої кількості підпорядкованих систематичних груп; високий потенціал виживання*. На сьогодні в стані біологічного прогресу перебувають квіткові, головоногі молюски, комахи, птахи, ссавці.

Біологічний регрес — *це напрям еволюції, при якому смертність в популяції переважає над народжуваністю*. Ознаками біологічного регресу є: *зменшення чисельності особин; звуження площі існування; зниження темпів внутрішньовидової мінливості; зменшення різноманітності групи; низький потенціал виживання*. На сьогодні в стані біологічного регресу перебувають багато видів, що занесені до Червоної книги.

Які основні шляхи макроеволюції?

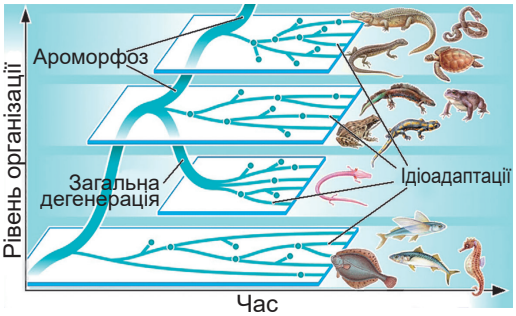
Під час еволюції поєднуються і закономірно зміняють один одного різні шляхи досягнення біологічного прогресу: ароморфози, ідіоадаптації та загальна дегенерація.

Ароморфози (*морфофізіологічний прогрес*) — еволюційні зміни, які підвищують рівень організації організму в цілому і відкривають нові можливості для пристосування до різноманітних умов існування. Прикладами ароморфних еволюційних змін є: виникнення кровоносної системи у кільчаків, поява серця у молюсків, виникнення щелеп у риб, поява насіння у насінних папоротей, утворення квітки й плоду в покритонасінних.

Ідіоадаптації — це еволюційні зміни, які мають характер пристосування до певних умов і не змінюють рівень організації організмів.

Прикладами ідіоадаптивних змін є: різноманітна будова квіток чи плодів покритонасінних, різні типи кінцівок у птахів чи ссавців.

Загальна дегенерація (*морфофізіологічний регрес*) — це явище спрощення організмів у процесі еволюції. Прикладами загальнодегенеративних змін є: зникнення у паразитів органів чуттів, травної системи та інші.



Іл. 116. Співвідношення шляхів досягнення біологічного прогресу

В історії розвитку органічного світу різні шляхи еволюції взаємопов'язані. Ароморфози піднімають організацію групи на більш високий щабель еволюції і відкривають перед нею нові можливості для освоєння середовища. Подальший розвиток іде шляхом ідіоадаптацій, які забезпечують освоєння доступної різноманітності умов. При переході організмів в простіші умови формування пристосувань супроводжується спрощенням будови.

Біологія + Вправляння *Який характер мають такі еволюційні події, як: 1) виникнення плавців у риб; 2) перетворення плавального міхура у легені; 3) редукція травної системи у стьожкових червів; 4) перетворення плавців риб на п'ятипалі кінцівки амфібій; 5) поява гострих кігтів у хижих птахів; 6) поява білого забарвлення у полярних тварин; 7) поява квітки; 8) поява статевого процесу; 9) поява багатоклітинності; 10) зникнення коренів у повитиці?*

Коротко про головне

- **МАКРОЕВОЛЮЦІЯ** — *це еволюційний процес, що призводить до виникнення надвидових таксонів.*
- Основними напрямами макроеволюційних змін є біологічний прогрес та регрес.
- Основні шляхи еволюції — це ароморфози, ідіоадаптації та загальна дегенерація.

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання за схемою. **МАКРОЕВОЛЮЦІЯ**

Розвивальне завдання. Дослідницька вправа. Особливості біологічного прогресу та регресу.

Ціннісне завдання. Вправа. Еволюція наземних рослин.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **МАКРОЕВОЛЮЦІЮ**
• *Оцінює результати:* **ДОСЛІДЖЕННЯ** особливостей біопрогресу та регресу на прикладі
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: еволюційне значення ароморфозів наземних рослин з позиції **ПРИЧИН** та **НАСЛІДКІВ**

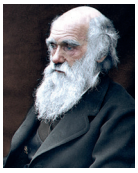
Саморозвиток

Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Танці дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 2. МАКРОЕВОЛЮЦІЯ та ...

Доки ця планета оберталася згідно з незмінним законом гравітації, з такого простого початку еволюціонували та еволюціонують нескінченні форми, найпрекрасніші та найдивовижніші.

Чарльз Дарвін (1809–1892) — англійський натураліст, автор еволюційної теорії та вчення про природний добір



§ 13.6. ЕВОЛЮЦІЯ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначаємо! ***Теорія*** (від грец. *theoria* — розгляд, дослідження) — це система знань і уявлень про дійсність, що створюється в процесі пізнавальної діяльності людини. Теорії виконують ряд фундаментальних функцій: світоглядну, пізнавальну, пояснювальну, методологічну та прогностичну. Яке значення теорії еволюції для науки загалом?

ЗМІСТ

Чим відрізняються різні теорії еволюції?

Перші цілісні теорії еволюції були запропоновані на початку XIX сторіччя Еразмом Дарвіном та Жаном Батистом Ламарком. Великий вплив на формування еволюційної біології як самостійної галузі науки зробила теорія еволюції Чарльза Дарвіна. У середині XX століття формується синтетична теорія, паралельно з якою розвивалися й альтернативні концепції. Однак єдиної загальновизнаної теорії еволюції поки що не існує. Це пов'язано з винятковою складністю біологічних процесів, тому для розуміння механізмів еволюції розглянемо низку еволюційних концепцій, що доповнюють одна одну.

Теорія еволюції Ламарка (*ламаркізм*) є системою знань про біологічну еволюцію як ступінчастий розвиток живого від простого до складного завдяки: 1) прагненню до самовдосконалення; 2) вправлянню чи невправлянню органів; 3) успадкуванню набутих протягом життя корисних ознак.

Теорія еволюції Дарвіна (*дарвінізм*). Наукова праця Ч. Дарвіна, в якій викладено основи його вчення, називається «Походження видів шляхом природного добору» (1859). Основними положеннями теорії є такі:

- ***еволюція*** полягає в безперервних пристосувальних змінах видів;
- основою для еволюції є ***невизначена (спадкова) мінливість***;
- кожний вид здатний до необмеженого розмноження, але цьому перешкоджає обмеженість життєвих ресурсів і більша частина особин гине в ***боротьбі за існування***;
- вибіркове виживання і розмноження найбільш пристосованих особин є ***природним добором*** — рушійною силою еволюції.

Синтетична теорія еволюції (*СТЕ*) — це комплекс уявлень, що є синтезом основних положень дарвінізму, генетики популяцій та екології. Вона сформувалася у 40-х роках XX століття. Серед її основоположників були такі видатні біологи, як С. С. Четвериков, С. Райт, Ф. Г. Добжанський, І. І. Шмальгаузен, О. М. Сєверцов та інші. Основними положеннями синтетичної теорії еволюції є такі:

- Елементарним еволюційним матеріалом та джерелом нових спадкових ознак є ***мутації***.
- Елементарною одиницею еволюції є ***популяція***.
- Елементарними факторами еволюції є ***дрейф генів, потік генів, популяційні хвилі*** й ***ізоляція***. Ці чинники мають випадковий характер і є чинниками-постачальниками матеріалу для добору.
- Існує три види еволюційного процесу: *мікроеволюція, видоутворення* та *макроеволюція*.
- Рушійною силою еволюції є ***природний добір***. Природний добір буває *рушійним, стабілізуючим* та *розриваючим*.
- Будь-яка систематична група може або процвітати (*біологічний прогрес*), або вимирати (*біологічний регрес*).
- Біологічний прогрес досягається завдяки змінам у будові організмів: *ароморфозам, ідіоадаптаціям* та *загальній дегенерації*.

На сучасному етапі розвитку еволюційного вчення — етапі другого синтезу — відбулися три взаємопов'язані революції: молекулярна, мікробіологічна та геномна. Відкриття механізмів негенетичного успадкування ознак та їхньої ролі як чинників еволюції сприяло становленню *епігенетичної теорії еволюції* (І. Шмальгаузен, К. Ваддінгтон). Дослідження молекулярних основ мінливості стали підґрунтям для створення *нейтральної теорії молекулярної еволюції* (М. Кімура, 1968), згідно з якою більшість мутацій є нейтральними і все сучасне життя еволюціонувало від одного спільного предка. У мікробіології дослідження генів рРНК призвело до відкриття домену Археї та повного перегляду філогенетичного «Дерева життя». Відкриття горизонтального перенесення генів, дослідження проблеми походження еукаріотичних клітин, виникнення мітохондрій та хлоропластів стали основою для формування уявлень про симбіоз як магістральний шлях еволюції. Вивчення ролі вірусів у зміні спадковості організмів сприяло формуванню поглядів на віруси як важливий чинник еволюції.

Що вивчає сучасна еволюційна біологія?

ЕВОЛЮЦІЙНА БІОЛОГІЯ — *це наука про причини, рушійні сили, механізми та закономірності історичного розвитку органічного світу*. Ця наука сформувалася на основі палеонтології, порівняльної анатомії, ембріології, систематики, а дещо пізніше — популяційної генетики й екології. У зв'язку з особливостями еволюційних перетворень на різних рівнях, у сучасній науці виникли три основні напрями досліджень еволюційних процесів: молекулярно-біологічний, генетико-екологічний та еволюційно-морфологічний.

На перетині екології та еволюційної біології формується ***еволюційна екологія***, що розглядає аспекти взаємодії екологічних чинників з еволюційними змінами організмів, популяцій та видів. Основними напрямками її досліджень є еволюція поведінки, біотичних взаємодій та еволюція екосистем. З появою технології рекомбінантної ДНК та завдяки синтезу молекулярної генетики, ембріології та еволюційної біології формується ***еволюційна біологія розвитку*** (від англ. *evo-devo* — evolutionary developmental biology). Ця наукова галузь порівнює процеси індивідуального розвитку різних організмів.

Яке значення еволюційних досліджень?

Наукове значення еволюційної біології полягає в поясненні різноманіття життя на Землі, походження та взаємозв'язків усіх живих організмів, а також механізмів, що лежать в основі їхнього розвитку та адаптації.

Практичне значення еволюційної біології полягає у застосуванні наукових знань для розв'язання найактуальніших проблем суспільства. Знання про еволюційні процеси допомагають у виведенні нових порід сільськогосподарських тварин і сортів рослин. Розуміння еволюції мікроорганізмів дозволяє ефективно боротися з хворобами, розробляти нові ліки, а також пояснювати розвиток стійкості бактерій до антибіотиків. Еволюційна біологія допомагає зрозуміти, як різні види адаптуються до змін довкілля, що є важливим для збереження природних екосистем. Злиття еволюційної біології та прикладних наук сприяло виникненню таких нових галузей, як еволюційна робототехніка, інженерія, економіка й архітектура. Так, еволюційна інженерія імітує еволюційний процес для розробки нових білків та нуклеїнових кислот; еволюційне програмування та генетичні алгоритми займаються дослідженнями штучного інтелекту з використанням основних положень теорії еволюції про мутації, добір та еволюційні стратегії.

Коротко про головне

- **ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ** — *це система знань, що пояснює механізми змін живих організмів, їхніх угруповань, а також причини утворення біорізноманіття на Землі у процесі еволюції.*
- **ЕВОЛЮЦІЙНА БІОЛОГІЯ** — *це наука про причини, рушійні сили, механізми та закономірності історичного розвитку органічного світу.*
- Еволюційна теорія має важливе методологічне, світоглядне, пізнавальне, пояснювальне та прогнозувальне значення.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань про еволюцію.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (*див. с. 276*).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання*: про **БІОЛОГІЧНУ ЕВОЛЮЦІЮ**
• *Застосовує навички* **ДОСЛІДЖЕННЯ** *та конструює:* інфографіку про застосування наукових досліджень біологічної еволюції
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **ПРИЧИНИ та НАСЛІДКИ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 13. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ та ...

СТОРІНКА КОМПЕТЕНТНОСТІ

КЛАСТЕР-компетикум. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ

Контекст. *Палеонтологічні дослідження викопних решток організмів мають важливе значення для розуміння еволюції живої природи. У визначенні належності викопних знахідок до того чи іншого проміжку геологічного часу застосовуються принципи й методи однієї з геологічних наук, яка називається... Застосовую набуті знання та визначаю її назву.*

1. Хто з науковців, спостерігаючи за розвитком попелиць, зробив несподіваний висновок про еволюцію?
Р Жан-Батист Ламарк **С** Шарль Бонне

2. Як Чарльз Дарвін називав форму мінливості, що постачає еволюції матеріал для відбору?
С визначена **Т** невизначена



3. Ці гігантські морські членистоногі є одними з найдавніших реліктових видів. Називаю їх.
П гатерія **Р** мечехвости

4. Крило зяблика і крило бджоли є прикладами органів...
А аналогічних **Б** атавістичних

5. «*Онтогенез – це швидке повторення філогенезу*». Називаю закономірність.
Т біогенетичний закон
У закон гомологічних рядів спадкової мінливості

6. Що є елементарною одиницею еволюції?
З мутації **И** популяції

7. Прикладами дії якої форми добору є формування стійкості комах проти отрутохімікатів?
В розриваючого **Г** рушійного

8. Яка форма еволюції призвела до появи подібних посухостійких життєвих форм молочаїв та кактусів, зображених на ілюстрації?
П дивергентна **Р** конвергентна



9. Вказую вірогідну послідовність появи груп організмів на ранніх етапах історії Землі.
А анаеробні гетеротрофи – анаеробні автотрофи – аеробні гетеротрофи
Б аеробні гетеротрофи – анаеробні гетеротрофи – анаеробні автотрофи



10. Називаю вимерлу тварину, зображену на ілюстрації.
У тіктаалік **Ф** трилобіт

11. Яка з ознак має ароморфний характер?
И застережне забарвлення сонечка **І** квітка покритонасінних

12. Найдавнішою ерою розвитку життя на Землі є...
Ю палеозойська **Я** архейська

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Тема 14. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИВОЇ ПРИРОДИ НА ЗЕМЛІ

Все йде, все минає — і краю немає.
Куди ж воно ділось? Відкіля взялось?

Тарас Шевченко (1814–1861) — видатний український поет, прозаїк, драматург, художник



§ 14.1. ПОХОДЖЕННЯ ЖИВОЇ ПРИРОДИ НА ЗЕМЛІ



Цікаво! Найдивовижнішою планетою Сонячної системи по праву називають нашу Землю. Її розташування щодо Сонця таке, що вона отримує достатньо тепла і світла, має великі запаси води в рідкому стані, а тиск біля поверхні сприяє формуванню шарів атмосфери. Крім того, літосфера містить усі необхідні для життя хімічні елементи. Як за таких умов виникло життя на Землі?

ЗМІСТ

Які основні концепції походження життя на Землі?

Концепцій (систем поглядів) походження життя на сьогодні існує багато, але стосовно кожної з них постає питання: якими були перші найпростіші живі системи? Загальновизнаними властивостями найпримітивніших біосистем є: наявність макромолекул, відкритість, упорядкованість, обмін речовин та енергії, саморегуляція, самовідтворення й самооновлення. Як могли з'явитися такі біосистеми на Землі? У сучасному суспільстві існують різні погляди: життя виникло внаслідок акту творіння, здійсненого вищою силою (*креаціонізм*); життя виникало неодноразово з неживої речовини (*спонтанне самозародження*); життя існувало завжди (*теорія стаціонарного стану*); життя занесене на нашу планету ззовні (*теорія панспермії*); життя еволюціонувало з неживої природи (*теорія біохімічної еволюції*).

Сучасні наукові погляди про походження життя подають у вигляді таких положень:

- Життя виникло на Землі мільярди років тому з неорганічної природи у два етапи: хімічної (або передбіологічної) еволюції **(абіогенез)** та біологічної еволюції **(біогенез)**.
- У теперішній час усе живе походить від живого. Повторне виникнення життя на Землі неможливе.



Біологія + Астрономія *Результати дослідження метеоритів, що падають на Землю, свідчать про те, що вони несуть органічні сполуки (амінокислоти, жирні кислоти, дикарбонові кислоти). Метеори могли переносити ці сполуки через атмосферу Землі до ділянок, де зароджувалося життя. А що таке метеорити?*

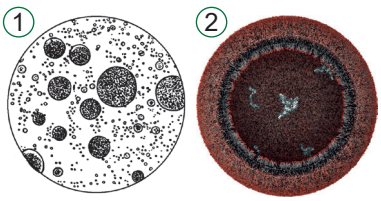
Які основні події абіогенного етапу еволюції життя?

АБІОГЕНЕЗ — *це природний процес виникнення живої природи з неживої матерії*. На цьому етапі відбувалося утворення біоорганічних сполук поза організмами і без участі ферментів у результаті хімічних реакцій між неорганічними речовинами. Цей процес тривав упродовж мільярдів років у специфічних умовах під впливом зовнішніх джерел енергії. На сьогодні існує щонайменше три гіпотези щодо умов, за яких виникло життя: у гарячих джерелах біля підніжжя вулканів (підтвердженням є знахідки архей у джерелах Єллоустонського національного парку, США); під товщею льоду (знахідки органічних сполук у Гренландії); на мілководді теплих морів. Важливим є оцінювання джерел енергії первісної Землі, що сприяли синтезу органічних сполук. Науковці ставлять на перше місце сонячну енергію, далі — енергію, яка випромінювалась з глибин земної кори, тепло вулканічного походження та електричні розряди.

Утворення органічних сполук, поширених у живій природі, відбувалося поетапно:

1. Абіогенний синтез органічних мономерів (органічних кислот, амінокислот, моносахаридів, нітрогенвмісних основ).

2. Синтез органічних полімерів та ліпідів. Існує декілька наукових припущень для пояснення цих подій: *термічна гіпотеза С. Фокса* (із суміші амінокислот за 180–200 °С отримували протеїноїди), *гіпотеза адсорбції Д. Бернала* (синтез полімерів, для яких каталізаторами виступали йони металів, а матрицею — частки пористої глини).



Іл. 117. Органічні системи: 1 — коацерватні краплини; 2 — протоклітина з РНК-ферментом

3. Утворення фазово-відокремлених *органічних систем*, здатних до росту, розпаду й злиття. Такі системи отримують у лабораторних умовах; їх ілюструють такі поняття, як «коацервати» О. Опаріна, «мікросфери» С. Фокса, «міхурці» Р. Гольдейкра та інші.

4. Утворення ***протоклітин*** — автономних біосистем, що мають білки, нуклеїнові кислоти й ліпідні мембрани. Вони здатні до реакцій матричного синтезу та самовідтворення). Важливими у цьому аспекті є *гіпотеза «світу РНК»* та *гіпотеза «світу поліароматичних вуглеводнів»*.

Якими є основні події біогенного етапу розвитку життя?

БІОГЕНЕЗ — *це історичний розвиток життя на Землі від первісних біосистем до сучасного органічного світу*. Понад 3,5 млрд років тому з протоклітин з'являються ***архебіонти***. Ці перші організми вже мали клітинну мембрану, генетичний апарат, реплікацію і біосинтез білків на основі генетичного коду. Саме архебіонти вважаються спільними предками усіх організмів.

Еволюція бактерій і архей розпочалася в архейську еру. Основними ароморфозами еволюції прокаріотів є *поява клітинної стінки, формування джгутиків, клітинне дихання, бактеріальний та безхло-*

рофільний фотосинтез, метагенез, виникнення інтронів та екзонів. В процесі еволюції мали з'явитися прості, але надійні екосистеми з продуцентами, консументами і редуцентами. Доказом цього є викопні залишки строматолітів та існуючі й сьогодні подібні екосистеми у певних ділянках Землі. Можна лише захоплюватися поглядами В. І. Вернадського, який писав: «*Поява життя на початку формування біосфери мала відбутися не у вигляді одного якогось організму, а у вигляді угруповання, що відповідає геохімічним функціям життя*».

Еволюція еукаріотів розпочалася в протерозойську еру. У цей час у морях виникли первісні *одноклітинні еукаріоти*, які швидко дивергували на рослини, гриби і тварини, та *багатоклітинні еукаріоти*, які в екосистемах моря були представлені майже всіма типами тварин й основними групами водоростей. Формування еукаріот пов'язане з такими ароморфозами, як: *поява ядра, диплоїдного набору хромосом, статевого розмноження, формуванням джгутиків зі структурою «9+2», виникненням мітозу та мейозу*. В еукаріот *з'являються мітохондрії й пластиди*, які здійснюють процеси аеробного дихання й кисневого фотосинтезу. Є декілька гіпотез походження еукаріот, з яких найчастіше згадується ***симбіотична гіпотеза*** (мітохондрії, пластиди є нащадками симбіотичних видів прокаріот).

Коротко про головне

- У суспільстві існують найрізноманітніші погляди на походження життя, проте в науці домінуючими є погляди еволюційної теорії.
- **АБІОГЕНЕЗ (передбіологічна (хімічна) еволюція)** — *це процес абіогенного синтезу макромолекул та утворення первісних біологічних систем.*
- **БІОГЕНЕЗ (біологічна еволюція)** — *це етап розвитку життя на Землі від появи первісних біосистем до формування сучасного органічного світу.*

Діяльність

Навчальне завдання. Опорна схема. **ПОХОДЖЕННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Основні етапи еволюції.

Ціннісне завдання. Вправа для визначення. Ароморфози про- та еукаріотів і **РУХ**?

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Формулює*: основне поняття **ПОХОДЖЕННЯ ЖИТТЯ**
• *Усвідомлює пізнавальну ситуацію*: для **ІНФОРМУВАННЯ** про основні етапи еволюції життя
• *Визначає сутність ціннісної категорії*: **РУХ**

Саморозвиток

Креативне завдання. Вибираю тему для створення та презентації навчального продукту на підсумковому уроці теми (*див. додаток, с. 276*).

Особистісне завдання. Вправа для розвитку словесно-логічної пам'яті.

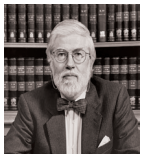
Завдання для прогнозування. ЖИВА ПРИРОДА.

Таблиця. ХРОНОЛОГІЯ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ІСТОРІЇ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

Еон	Період	Основні еволюційні події
Архей	Поява примітивних прокаріотів (еоархейська ера). Виникнення бактерій та архей (палеоархейська ера). Еволюція різноманітних шляхів метаболізму (мезо- та неоархейська ера).	
Протерозой	Еволюція ціанобактерій. Основна подія — киснева катастрофа і вимирання анаеробів (палеопротерозойська ера). Поява еукаріотів. Еволюція багатоклітинності й статевого розмноження (мезопротерозойська ера). Формується едіакарська біота як сукупність морських м'якотілих багатоклітинних істот (неопротерозойська ера). Протерозойське зледеніння (гіпотеза «Земля-сніжка»).	
Палеозой	***Кембрій***	Утворюється більшість таксонів сучасних тварин (Кембрійський вибух). Поява тварин зі скелетом (Скелетна революція), перших членистоногих — трилобітів.
	Ордовік	Поява хребетних (панцирні безщелепні) і судинних рослин. Перше масове вимирання — ордовицько-силурійське (загинуло близько 60 % морських безхребетних).
	Силур	Вихід рослин (риніофіти) і безхребетних (ракоскорпіони) на суходіл.
	Девон	Поява вищих спорових, щелепоротих риб і амфібій (лабіринтодонти). Друге масове вимирання — девонське.
	Карбон	Виникають насінні папороті і перші плазуни (котилозаври).
	Перм	Поява голонасінних і звірозубих ящерів (теріодонтів). Третє і найбільше вимирання — пермсько-тріасове (бл. 96 % усіх морських видів і 70 % наземних видів хребетних).
Мезозой	***Тріас***	Поява динозаврів. Поява перших ссавців. Четверте масове вимирання — тріасово-юрське.
	Юра	Поява птахів.
	Крейда	Поява покритонасінних, сумчастих і плацентарних. П'яте масове вимирання — крейдово-палеогенове.
Кайнозой	***Палеоген***	Поява та розквіт плацентарних ссавців та птахів.
	Неоген	Поява перших людиноподібних мавп та австралопітеків.
	Антропоген	Поява людини.

Природа найглибших гілок еволюційного дерева та останній спільний предок усього живого є ключовими питаннями в біології, що мають широкі наслідки.

Томас Кавальєр-Сміт (1942–2021) — британський еволюційний біолог



§ 14.2. ФІЛОГЕНЕЗ ВІРУСІВ ТА ПРОКАРІОТІВ



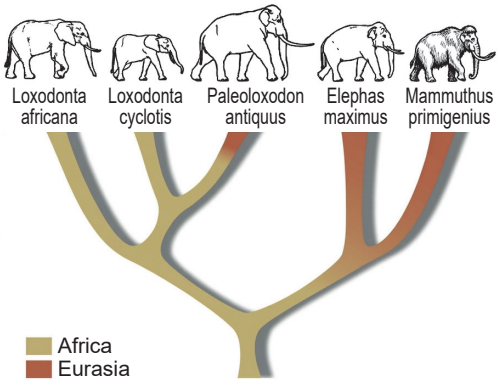
Усвідомлюємо! У зразках води й ґрунту на території заводу з переробки пластикових пляшок були знайдені бактерії невідомого раніше виду *Ideonella sakaiensis*. Ці істоти для живлення використовували пластик, розкладаючи його на безпечні для природи компоненти. Описану властивість бактерії розвинули впродовж останнього десятиліття. Про які особливості еволюції бактерій свідчить цей приклад?

ЗМІСТ

Що таке філогенез?

ФІЛОГЕНЕЗ — це еволюційний процес, у результаті якого виникає таксон будь-якого рангу. Його визначальною особливістю є послідовність еволюційних подій певної таксономічної групи організмів під час історичного розвитку. В сучасному розумінні поняття філогенезу застосовується і для досліджень еволюції молекул, клітин, органів, систем органів, популяцій, окремих видів, екосистем та біосфери в цілому.

Наука, що вивчає закономірності історичного розвитку органічного світу називається ***філогенією***. Для ілюстрації еволюційних зв'язків між групами застосовують *філогенетичні дерева*. Це зображення, що відображає еволюційні зв'язки між різними видами, або іншими природними об'єктами, що мають спільного предка. Зрозуміти еволюційні зв'язки між різними групами допомагають *філогенетичні ряди*. Це послідовності викопних форм організмів, які пов'язані між собою в процесі еволюції і демонструють поступові зміни та історичний розвиток, ілюструючи перехід від одних форм до інших. *Філогенетична система* — це класифікація живих організмів, яка базується на їхніх еволюційних зв'язках і відображає спільне походження видів. На відміну від фенетичної системи, що ґрунтується на загальній подібності, філогенетична система будує класифікацію на основі філогенезу.



Іл. 118. Філогенетичне дерево родини Слонові

Біологія + Філогенез *На ілюстрації представлено філогенетичне дерево родини Слонові та окремі види слонів: вимерлі слон прямобивневий лісовий (Paleoloxodon antiquus) і мамут найвеличніший*

(*Mammuthus primigenius*), *а також нині існуючі — слон африканський саванний* (*Loxodonta africana*), *слон лісовий* (*Loxodonta cyclotis*) *і слон індійський* (*Elephas maximus*). *Визначаю еволюційні зв'язки цих видів.*

Чим відрізняється філогенез вірусів?

Порівняння геномів вірусів із аналогами у доменах Бактерій, Археїв та Евкаріотів, свідчать на користь гіпотези про те, що віруси — це форми життя, які можуть становити окремий домен органічного світу.

Особливості еволюції вірусів. Історичний розвиток вірусів характеризується *високою ймовірністю мутацій*, які у поєднанні з природним добором зумовлюють *швидку адаптацію* вірусів до змін. Багато вірусів можуть «перетасовувати» свої гени з іншими вірусами, що призводить до утворення нового штаму, який має суміш капсидних білків-антигенів. Це явище називається *антигенним зсувом* і часто є причиною появи нових і більш вірулентних штамів.

Походження вірусів. Існує кілька основних гіпотез: *гіпотеза регресивної еволюції* (віруси виникли шляхом спрощення своїх клітин, які паразитували в більших клітинах), *гіпотеза першості вірусів* (віруси еволюціювали з нуклеопротеїнових комплексних молекул ще до першої появи клітин), *гіпотеза «блукаючих генів»* (віруси — це «збіглі» частини геному клітин-хазяїв).

Вагомі зміни у поглядах щодо походження вірусів спричинило відкриття велетенських вірусів (мімівіруси, мамавіруси, меґавіруси тощо). Філоґенетичні дослідження протеомів цих вірусів свідчать на користь гіпотези регресивної еволюції.

Результати еволюції вірусів. Таксономічну класифікацію та номенклатуру вірусів організовує Міжнародний комітет з таксономії вірусів (ICTV). Система класифікації вірусів використовує ієрархічні ранги *сфера* (*-viria*), *царство* (*-virae*), *тип* (*-viricota*), *клас* (*-viricetes*), *порядок* (*-virales*), *родина* (*-viridae*), *ріду* (*-virus*), та *вид*. Згідно з даними комітету на 2024 рік описано 16 215 видів, які мають подвійну назву. Станом на 2025 рік розрізняють сім сфер вірусів: *Аднавірія*, *Дуплоднавірія*, *Моноднавірія*, *Рибовірія, Рибозивірія, Сінгелавірія* та *Варіднавірія*. Багато вірусів існують у ранзі нижче виду — їх називають штамами вірусів. Наприклад, Коронавірус, пов'язаний з важким гострим респіраторним синдромом, включає штами: вірус SARS-CoV-1 та вірус SARS-CoV-2.

Які особливості філогенезу прокаріотів?

Предки сучасних бактерій та архей були одноклітинними мікроорганізмами, які розвинулися на Землі близько 4 млрд років тому. Найдавнішими прямими доказами їхнього існування є давні ***строматоліти***, знайдені в осадових породах віком 3,48 мільярда років у Західній Австралії. Строматоліти — осадові утворення, що виникають на дні мілких водойм в процесі накопичення карбонатів мікробними біоплівками.



Іл. 119. Сучасні строматоліти Західної Австралії

Основні еволюційні події. В еволюції прокаріотів мали місце хемосинтез, бактеріальний фотосинтез, безхлорофільний фотосинтез, різноманітність метаболічних шляхів отримання енергії, горизон-

тальне перенесення генів, а також різні форми симбіозу та антибіозу. Сьогодні відбувається переважно біохімічна еволюція прокаріотичних організмів, завдяки чому вони здатні опановувати нові екологічні ніші, виробляючи нові ферменти.

Походження. Для характеристики походження прокаріотичних організмів застосовується термін ***останній універсальний спільний предок*** (від англ. *last universal common ancestor*, LUCA) — гіпотетичний найближчий загальний предок живих організмів, які нині існують на Землі. LUCA — це гіпотетична популяція клітин спільного предка, з якої виникли бактерії та археї. Клітини цих форм життя мали ліпідний бішар, генетичний код, рибосоми, анаеробне дихання, автотрофне живлення, азотфіксацію.

Результати еволюції. У сучасній редакції Міжнародного кодексу номенклатури прокаріотів розрізняють два домени та сім царств. Домен Бактерії поділяється на 4 царства: *Бацилати* (*Bacillati*), *Фузобактерії* (*Fusobacteriati*), *Псевдомонади* (*Pseudomonadati*) та *Термотогнати* (*Thermotogati*). Домен Археї наразі також має 4 царства: *Метанобактерії* (*Methanobacteriati*), *Нанобделати* (*Nanobdellati*) *та Термопротеати* (*Thermoproteati*). З'являється все більше доказів того, що коріння еукаріотів слід шукати в архейській групі Асгард. Дводоменна система набуває визнання після відкриття 2017 року великого царства архей під назвою Прометеархеати, яке, згідно з даними, є еволюційним коренем еукаріотів.

Коротко про головне

- **ФІЛОГЕНЕЗ** — *це історичний розвиток окремих видів, надвидових систематичних груп та органічного світу загалом.*
- **ФІЛОГЕНЕЗ ВІРУСІВ** — це процес історичного розвитку неклітинних форм життя. На сучасному етапі розвитку науки не існує єдиної точки зору щодо виникнення вірусів.
- **ФІЛОГЕНЕЗ ПРОКАРІОТІВ** — це процес історичного розвитку доядерних організмів, що почався в архейському еоні (близько 3,5 мільярда років тому), коли з'явилися перші прокаріоти і розпочалася еволюція бактерій та архей.

Діяльність

Навчальне завдання. Опис з використанням схеми «Біотетрада». **ФІЛОГЕНЕЗ.**

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. **ФІЛОГЕНЕЗ ВІРУСІВ.**

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Водне середовище та філогенез прокаріотів.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Описує:* **ФІЛОГЕНЕЗ**
• *Формулює очікувані результати:* для **ІНФОРМУВАННЯ** про еволюційні особливості **ФІЛОГЕНЕЗУ ВІРУСІВ**
• *Виявляє ставлення на рівні сприймання та висловлює міркування:* про **ФІЛОГЕНЕЗ ПРОКАРІОТІВ** та його зв'язок з водним середовищем

Саморозвиток

Регуляційне завдання. Евристичний метод «Метод інверсії».
Завдання для розпізнавання. Тест. ФІЛОГЕНЕЗ.

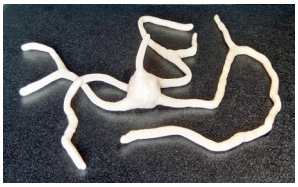
Поява еукаріот є другою за значенням (після зародження самого життя) подією біологічної еволюції.

Вільям Мартін (нар. 1957) — американський молекулярний біолог та Майкл Рассел (нар. 1939) — британський геолог



§ 14.3. ФІЛОГЕНЕЗ ЕУКАРІОТІВ

Застосовуємо! На глибині близько 3 км біля гідротермального джерела «Замок Локі» було відкрито нову групу архей, названу спочатку на честь скандинавського бога бешкету і обману Локі. Після включення до Міжнародного кодексу номенклатури прокаріотів (ICNP) група отримала статус царства Прометеархеати (*Promethearchaeati*). Геномні дослідження показують, що це ключова група для з'ясування походження еукаріотів. Цікаво, у чому подібність на рівні геному між цими археями та еукаріотами?



Іл. 120. Прометеархея (Promethearchaeum syntrophicum)

ЗМІСТ

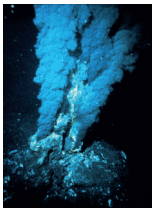
Які особливості походження еукаріотів?

Еукаріоти виникли 1,5–2 млрд років тому і мають монофілетичне походження від архейного предка. Найновіші філогенетичні аналізи підтверджують спільне походження прометеархей та еукаріотів. Основними доказами такого походження науковці називають подібність генів, відповідальних за наявність актинів. Це структурні білки, що формують цитоскелет і мають вирішальне значення для поділу клітин, клітинних рухів, транспортування везикул та фагоцитозу.

Гіпотетичний організм, від якого походять усі сучасні еукаріоти, називається ***останнім спільним предком еукаріотів*** (від англ. *Last Eukaryotic Common Ancestor*, LECA). Клітини LECA були розділені на компартменти, мали одне чи декілька ядер, мітохондрії, цитоскелет, систему везикул та джгутики з характерною структурою «9+2».

Найдавніші знайдені рештки еукаріотичних організмів датуються приблизно 2,2–2,1 мільярда років тому. Це колодіктіон (*Collodictyon triciliatum*), діскагма (*Diskagma buttonii*), грипанія (*Grypania spiralis*), городискія (*Horodyskia moniliformis*).

Біологія + Екологія *Чорні палії — ці гідротермальні джерела в рифтових зонах Світового океану, вода яких насичена сполуками металів та сірки, внаслідок чого має чорний колір. Навколо таких джерел утворюється унікальна екосистема. Цікаво, які організми є продуцентами у ланцюгах живлення?*



Які основні етапи та події філогенезу еукаріотів?

Основні еволюційні події, що призвели до утворення еукаріотів, пов'язані з мезопротерозойською ерою. Ключові етапи еволюції еукаріотів включають:

- появу еукаріотичних клітин з ядром;
- *формування хромосом*, що забезпечують збереження, розподіл та передачу спадкової інформації;
- *виникнення статевого розмноження* з його можливостями комбінаційної мінливості;
- *появу органел із власним генетичним апаратом* (мітохондрій та хлоропластів), що підвищило ефективність аеробного дихання та фотосинтезу;
- *появу джгутиків* зі структурою «9+2», що стало ключовим етапом еволюції клітинних рухів;
- *розвиток ендоцитозу* — процесу активного захоплення речовин клітиною та формування мембранних везикул;
- формування багатоклітинності та створення передумов для диференціації й спеціалізації клітин, утворенню тканин, органів та систем органів.

Історичний процес виникнення еукаріотичних клітин, або *еукаріогенез*, є важливим етапом в еволюції органічного світу. Згідно з еволюційною ***теорією симбіогенезу*** співіснування аеробних протеобактерій та анаеробних термофільних архей лінії Асгард під час *первинного симбіозу* призвело до виникнення мітохондрій. *Вторинний симбіоз* гетеротрофної еукаріотичної клітини з ціанобактерією став основою формування двомембранних пластид.

Який результат філогенезу еукаріотів?

Система еукаріотичних організмів — *це ієрархічно упорядкована сукупність груп, що поєднує еукаріотичні організми на основі комплексу критеріїв*. Визначальними критеріями сучасної системи еукаріотів є ***молекулярно-філогенетичний*** (подібність послідовностей нуклеотидів у генах, що вибрані як маркери філогенезу) та оновлений ***цитологічний*** (найбільш інформативними вважаються кількість та розташування джгутиків, форма мітохондріальних крист, структура цитоскелета, види хлоропластів за особливостями виникнення).

За сучасними уявленнями, у межах домену Еукаріоти виділяють субдомени, серед яких Екскавати, Діафоретики та Аморфеї.



Іл. 121. Сучасна система еукаріотів

Екскавати (від гр. *ex* — зовнішній, *cava* — борозна) — *група найдавніших й найпримітивніших еукаріотичних одноклітинних організмів*. Найзагальнішими ознаками є: ротова борозна, через яку поглинається їжа, кількість джгутиків (як правило, більша двох). До супергрупи Екскавати належать групи ***Діскоба*** (евглени, трипаносоми, лейшманії) та ***Метамонада*** (трихонімфи, трихомонади).

Діафоретики (від гр. *diaphoretikos* — різноманітні) — *це одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми, в яких упродовж життєвого циклу є клітини з двома джгутиками*. Діафоретики є різноманітною супергрупою, що включає надцарства ***Архепластиди*** (Червоні водорості, Зелені водорості, наземні рослини), ***SAR*** (*Страменопіли* з групами Бурі водорості, *Альвеоляти* з групами Інфузорії, Динофлагеляти, Апікомплекси та *Різарії* з групами Форамініфери, Радіолярії), ***Гаптофіти*** (з групою коколітофориди) та ***Криптофіти*** (криптофітові водорості).

Аморфеї (від гр. *amorphe* — безформенні) — *це одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми, в яких упродовж життєвого циклу є амебоїдні клітини або клітини з одним джгутиком*. До супергрупи належать ***Амобозої*** (з групами Амеби, Слизовики), ***Опістоконта***, або Задньоджгутикові (об'єднує групи Тварини, Справжні гриби, Комірцеві джгутиконосці).

Запропонована система ще не є завершеною, але вона відображає спорідненість основних груп еукаріотів, доведену дослідженнями їхніх геномів та клітинної будови.

Коротко про головне

- Еукаріоти мають монофілетичне походження з прометеархеями, про що свідчить подібність багатьох білкових генів.
- Визначальними етапами еволюції еукаріотів є формування клітин еукаріотичного типу, статеве розмноження та багатоклітинність.
- Сучасна система еукаріотичних організмів є молекулярно-філогенетичною, що класифікує організми за єдністю походження, а не за типом живлення чи рівнів організації.

Діяльність

Навчальне завдання. Пояснення з використанням схеми. **ФІЛОГЕНЕЗ ЕУКАРІОТІВ**.

Розвивальне завдання. ПРАКТИЧНА РОБОТА 14. Порівняння філогенезу про- та еукаріотів

Ціннісне завдання. Вправа для сприймання. Водне середовище та розвиток життя в протерозої.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Пояснює:* особливості **ФІЛОГЕНЕЗУ ЕУКАРІОТІВ**
• *Організовує*: **ІНФОРМУВАННЯ** про причини подібності та відмінностей про- та еукаріотів
• *Виявляє ставлення на рівні реагування та пояснює*: сутність еволюційних подій, що зумовили розвиток еукаріотів

Саморозвиток

Комунікаційне завдання. Тест-ілюстрація. Сучасна система еукаріотів.
Завдання для відтворення. ФІЛОГЕНЕЗ ЕУКАРІОТІВ.

Перші гриби та наземні рослини змінили клімат Землі, проклавши шлях для вибухової еволюції наземних тварин.

Стівен Блер Хеджес — американський еволюційний біолог



§ 14.4. ФІЛОГЕНЕЗ СПРАВЖНІХ ГРИБІВ ТА АРХЕПЛАСТИД



Аналізуємо! Палеозой — це геологічна ера, що тривала від 542 до 252 млн років тому. Вона підрозділяється на шість геологічних періодів (від найранішого до найпізнішого): кембрій, ордовик, силур, девон, карбон і перм. Цікаво, який із цих періодів зображений на ілюстрації?

ЗМІСТ

Які особливості філогенезу справжніх грибів?

Гриби — це одна з найдавніших, найбільших та найрізноманітніших груп еукаріотичних організмів.

Походження грибів. Ймовірно, перші гриби виникли ще у протерозойську еру, мешкали у воді та мали задні джгутики. Дані філогенетичного аналізу ДНК свідчать, що спільний предок усіх грибів жив щонайменше 1,2–1,5 мільярда років тому. Однак у 2017 році в базальтових породах віком 2,4 млрд років у Південній Африці було знайдено скам'янілості, які з високою ймовірністю належали грибоподібним організмам.

Основні еволюційні етапи та події. Гриби еволюціонували від предків, які були одноклітинними фаготрофними джгутиковими сапробіонтами, які існували в насичених органічними речовинами водоймах і не мали клітинної стінки. Важливим для еволюції грибів став такий ароморфоз як *клітинна стінка з хітину та глюкану*, що визначають одночасно як пластичність, так і механічну міцність. Таке поєднання зумовило появу ниткоподібних структур грибів — *гіфів*, які утворюють вегетативне тіло грибів — *міцелій* та забезпечують їхній *швидкий ріст*. У грибів виникає *осмогетеротрофне живлення*, що спочатку здійснювалося без виділення ферментів у середовище. Згодом розвивається лізотрофія з виділенням ферментів назовні, щоб розщепити макромолекули на менші, розчинні молекули для поглинання. Гриби незалежно від тварин набували *багатоклітинність* декілька разів.

Еволюційне значення грибів. Гриби передували рослинам на суходілі й відіграли важливу роль в еволюції кореневої системи наземних рослин. Еволюційна адаптація від водного до наземного способу життя зумовила необхідність розвитку екологічних стратегій отримання поживних речовин (сапротрофність, паразитотрофність, хижацтво) та мутуалістичних відносин (мікориза та ліхенізація). Гриби суттєво вплинули на еволюцію рослин, колонізувавши суходіл за сотні мільйонів років до рослин і створивши перші ґрунти та цикли поживних речовин. Мікоризний симбіоз був важливим для адаптації рослин до наземних умов, підвищуючи їхню стійкість до посухи та хвороб.

Результатом еволюції грибів є вражаюча видова різноманітність, яку важко систематизувати. Гриби разом із тваринами належать до групи Опістоконта, або Задньоджгутикові. Філогенетичні аналізи показують, що джгутик був втрачений на початку еволюційної історії грибів, і більшість сучасних видів грибів його не мають.

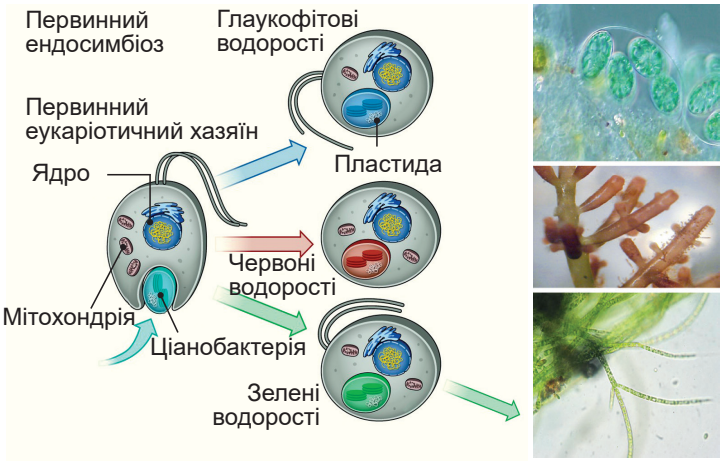
Основні таксономічні групи грибів класифікуються переважно на основі характеристик репродуктивних структур. Станом на 2019 рік було визначено дев'ять основних ліній грибів: *Опістоспоридії* (мікроспоридії), *Неокалімастигомікоти* (неокалімастікс), *Хитридіомікоти* (синхітріум), *Бластокладіомікота* (фізодерма, аломіцес), *Зоопагомікоти* (зоофагус), *Мукоромікоти* (мукор, різопус), *Гломеромікоти* (гігаспора), *Аскомікоти* (дріжджі, аспергіл, пеніциліум, трюфелі, зморшки), *Базидіомікоти* (мухомори, печериці, боровики, трутовики, дощовики).



Біологія + Еволюція *Прототаксити* (*Prototaxites*) *є одними з найзагадковіших наземних скам'янілостей. Цей таксон пізнього силуру — пізнього девону утворював численні типи трубчастих ниток, що переплітаються, утворюючи масивні стовпчасті структури, понад 8 м заввишки та 1 м завширшки. Цікаво, які ознаки свідчать про грибне походження цих організмів.*

Як відбувалася еволюція пластид?

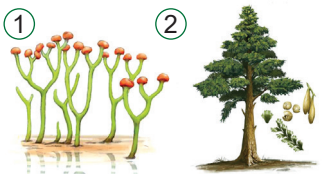
РОСЛИНИ *— це еукаріотичні організми, найзагальнішими особливостями яких є фотоавтотрофне живлення та наявність пластид.* У сучасній системі еукаріотів їх поміщають у групу Архепластиди, що в перекладі з грецької означає «володарі древніх пластид». Предкові архепластиди отримали ці органели завдяки *первинному ендосимбіозу* ціанобактерій з аеробними еукаріотичними клітинами, які вже мали мітохондрії. Такі хлоропласти, крім рослин, є ще у червоних та глаукофітових водоростей.



Іл.122. Схема первинного ендосимбіозу

Зелені пластиди, або хлоропласти, у цих рослин містять зелені фотопігменти *хлорофіли a* (глаукофітові водорості), *хлорофіли a* і *b* (зелені рослини), *хлорофіли a і d* (червоні водорості). Окрім хлорофілів у червоних водоростей є червоні фікобіліни, а у глаукофітових — сині *фікобіліни*. Спільна діяльність цих пігментів вплинула в процесі еволюції на ефективність отримання енергії для фотосинтезу рослин у різних екологічних умовах.

Які основні етапи та події філогенезу архепластид?



Іл. 123. Перехідні форми еволюції рослин: 1 — куксонія; 2 — археоптерис

Походження рослин. Предками рослин були джгутикові прокаріоти, які вступили у симбіоз із ціанобактеріями. Від них близько 1,5 млрд років тому з'явилися одноклітинні *глаукофітові водорості*. Науковці вважають, що глаукофіти (від грец. *glaukos* — синьо-зелений і *phyton* — рослина) є підтвердженням походження рослин від бактерій. Про це свідчать їхні унікальні фотосинтезуючі структури (ціанелли) з досить примітивними ознаками: шар муреїну між мембранами, яскраве синьо-зелене забарвлення, здатність до азотфіксації та ін. Від глаукофітів походять *одноклітинні зелені водорості. Вони вже мали ядро, пластиди і статеве розмноження. Згодом виникли багатоклітинні зелені водорості, від яких відокремилися мохоподібні*. Першими наземними рослинами вважаються *риніофіти*, які походять від зелених водоростей. Перехідною формою між мохоподібними та судинними були представники роду *Куксонія*. Від риніофітів окремими еволюційними гілками відійшли плауновидні, папоротевидні й насінні («девонський вибух»). Еволюційний зв'язок папоротевидних та голонасінних підтверджує така перехідна група як *Археоптериси*. Згодом з'явилася і найрізноманітніша група рослин — квіткові, або покритонасінні.

Ера	Еволюційні події	Визначальні ароморфози
Протерозой	Поява одноклітинних і багатоклітинних рослин	Пластиди. Кисневий фотосинтез. Багатоклітинність
Палеозой	Поява мохоподібних (ордовік). Поява судинних рослин (силур). Вихід рослин на суходіл та поява насінних папоротей (девон). Поява хвойних, саговників, гінкгових, гнетових (перм)	Утворення мейотичних спор. Поява провідних тканин. Вегетатичні органи. Формування гамето- й спорофіту. Поява насінини.
Мезозой	Поява квіткових (крейда).	Подвійне запліднення. Квітка. Плід
Кайнозой	Еволюція трав. Одомашнення рослин	–

Еволюційне значення рослин. Рослини як **автотрофні продуценти екосистем** створюють органічні речовини та кисень шляхом фотосинтезу і стали в процесі еволюції основою переважної більшості ланцюгів живлення. Окрім цього, їхні залишки є субстратом для діяльності мікроорганізмів у процесах ґрунтоутворення. Рослини формують середовища існування, впливають на клімат та кругообіг речовин.

Результати еволюції. У сучасній філогенетичній системі еукаріотів до групи **АРХЕПЛАСТИДИ** відносять ***Глаукофітові водорості***, ***Червоні водорості*** та ***Зелені рослини***. До Зелених рослин (*Viridiplantae*) належать ***Хлорофіти*** із зеленими водоростями та ***Стрептофіти***, куди входять Харові водорості та Наземні рослини. Саме ці групи мають єдність походження, доведене шляхом секвенування ДНК та ознаками клітинної будови. До групи Наземні рослини (*Embryophyta*) за сучасними уявленнями належать Мохоподібні (Печіночники, Мохи) та Судинні (Плауновидні, Папоротевидні та Насінні). У цій класифікації всі насінні рослини об'єднують у п'ять основних груп: Саговники, Гінкгові, Гнетоподібні, Хвойні та Квіткові.

Коротко про головне

- **ФІЛОГЕНЕЗ СПРАВЖНІХ ГРИБІВ** — це процес поступових, незворотних змін будови та функцій багатоклітинних безхлорофільних істот з осмогетеротрофним живленням, здатністю до необмеженого росту та розмноження за допомогою спор.
- Еволюція пластид почалася з **первинного ендосимбіозу** між предком еукаріотичної клітини та ціанобактерією, що призвело до виникнення хлоропластів у предків архепластид. Пізніше відбувалися **вторинні ендосимбіози**, коли інші еукаріоти поглинали фотосинтезуючі організми, що призвело до появи пластид у різних таксономічних групах.
- **ФІЛОГЕНЕЗ АРХЕПЛАСТИД** — це процес поступових, незворотних змін будови та функцій багатоклітинних істот з пластидами та автотрофним живленням.

Діяльність

Навчальне завдання. Самостійне перетворення знань з використанням схеми. **ФІЛОГЕНЕЗ СПРАВЖНІХ ГРИБІВ**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. Архепластиди та первинний ендосимбіоз.

Ціннісне завдання. Вправа для реагування. **ФІЛОГЕНЕЗ АРХЕПЛАСТИД**.

Результат

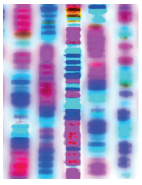
Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Аналізує знання*: про **ФІЛОГЕНЕЗ СПРАВЖНІХ ГРИБІВ**
• *Аналізує результати*: **ІНФОРМУВАННЯ** про еволюційне значення первинного ендосимбіозу
• *Виявляє ставлення на рівні переконаності та обґрунтовує:* особливості **ФІЛОГЕНЕЗУ АРХЕПЛАСТИД**

Саморозвиток

Пізнавальне завдання. Спосіб розвитку уяви «Комбінування».

Завдання для конструювання. ФІЛОГЕНЕЗ АРХЕПЛАСТИД.

Завдання для креативних *Перекладаю текст та формулюю визначення методу «молекулярного годинника». «The molecular clock is a figurative term for a technique that uses the mutation rate of biomolecules to deduce the time in prehistory when two or more life forms diverged. The biomolecular data used for such calculations are usually nucleotide sequences for DNA, RNA, or amino acid sequences for proteins».*





Скажіть, хвилі, що таке людина?
Звідкіля прийшла і куди піде?
І хто над нами серед зір живе?
Генріх Гейне (1797–1856) — німецький поет



§ 14.5. ФІЛОГЕНЕЗ ТВАРИН ТА ЛЮДИНИ

Оцінюємо! Мезозой (ера середнього життя) — ера геологічної історії Землі, що настала після палеозою. Тривалість ери обчислюється приблизно у 160 млн років. Вона поділяється на тріасовий, юрський і крейдовий періоди. Цікаво, який із цих періодів зображений на ілюстрації?



ЗМІСТ

Які основні етапи та події еволюції тварин?

Походження тварин. Виникнення тварин пов'язане з одноклітинними джгутиковими, а їхні найближчі відомі сучасні родичі це хоанофлагеляти — комірцеві джгутиконосці. Перші з відомих найдавніших і широко поширених багатоклітинних тварин були м'якотілі істоти едіакарської фауни, які з'явилися в кінці протерозойської ери близько 680 млн років тому (*див. іл. 124*). Це дикінсонії (*Dickinsonia costata*) та чарнії (*Charnia masoni*). Існують також вагомі докази існування представників таких типів як Жалкі (*Cnidaria*) та Губки (*Porifera*). Ключовими еволюційними подіями цього проміжку була *поява симетрії та сегментації тіла*.



Іл. 124. Початкові етапи еволюції тварин: 1 — едіакарська фауна; 2 — фауна кембрію

Найвідоміші типи тварин, включаючи хордових, з'являються під час кембрійського періоду палеозойської ери, близько 542 мільйонів років тому («кембрійський вибух»). Першими виявленими скам'янілостями кембрійського періоду були представники членистоногих — трилобіти; найпоширенішими головоногими молюсками — амоніти; одними з найбільших тварин і головними хижаками періоду — аномалокаріси. На початку періоду відбулася «скелетна революція» і поява тварин з мінеральним скелетом (коралові поліпи, молюски, плечоногі).

Результати еволюції. У сучасній системі органічного світу для тварин визначили місце в групі Задньоджгутикові (Опістоконта). До ***первинних багатоклітинних*** належать тваринні істоти, у яких немає симетрії, тканин та органів. Це пластинчасті та губки. ***Справжні багатоклітинні*** характеризуються наявністю симетрії, появою справжніх тканин, органів і систем органів. У процесі ембріогенезу у справжніх багатоклітинних утворюються зародкові листки, з яких розвиваються тканини та органи дорослих тварин. Серед справжніх

багатоклітинних найнижчий рівень займають реброплави та кнідарії, а найвищий — хордові тварини з такими групами, як риби, амфібії, рептилії, ссавці.

Які особливості філогенезу людини?

Місце людини в системі органічного світу. У групі Примати виділено таксономічну родину ***Гомініди***, або ***Людиноподібні*** (*Hominidae*), що включає вісім сучасних видів у чотирьох родах: Орангутан (*борнейський, суматранський і тапанульський*), Горила (*східна та західна горила*), Шимпанзе (*шимпанзе звичайний і шимпанзе карликовий*, або *бонобо*) і Людина (*людина розумна*). Найближчими генетичними родичами людини є шимпанзе, тому їх об'єднали у трибу Гомініні (Hominini). Люди та шимпанзе є сестринськими таксонами, які мали останнього спільного предка (англ. *last common ancestor chimpanzee-human*) приблизно 4–8 млн років тому.

Походження людини. Найдавнішим предком людини на сьогодні вважається ***Ардіпітек корінний*** (*Ardipithecus ramidus*), який був здатний до прямоходіння і жив орієнтовно 4,4 млн років тому. Антропологам вдалось зібрати практично цілий череп, таз, ноги і руки ардіпітека. Проте існують спірні наукові твердження про те, що найдревнішим відомим предком людини після відокремлення лінії людини від шимпанзе, є Сахельантроп чадський (*Sahelanthropus tchadensis*).

Безпосередніми попередниками людей були представники роду ***Австралопітеки*** — викопні гомініди, які почали включати до свого раціону м'ясо. На сьогодні описано декілька видів, серед яких: найдревніший *австралопітек анаменський*, *австралопітек африканський* (описані останки істоти, яку назвали «Люсі»), *австралопітек афарійський* і т. ін.

Особливості філогенезу людини. Еволюція людини відбувалася не тільки під впливом біологічних, а й соціальних чинників. Якщо тварини пристосовувалися до природних умов завдяки змінам у їхньому організмі, то людина адаптовується, використовуючи знаряддя праці, вогонь, виготовляючи одяг, будуючи житло. Велике значення в процесі еволюції мала поява *альтруїзму* (здатність до самопожертви заради інших). Еволюція людини на сучасному етапі спрямовується дією соціальних рушійних сил антропогенезу. Проте вплив біологічних факторів не припинився: у результаті дії *природного добору* у людини виробляється стійкість до інфекційних хвороб, діє *мутаційний процес*, у малих популяціях велике значення мають процеси *дрейфу генів*, внаслідок міжрасових шлюбів відбувається *ґеній потік* та ін.

Основні еволюційні події. У філогенезі людини визначальну роль мали такі ароморфози (біогенезна тріада): 1) *прямоходіння* (поява в австралопітеків); 2) *розвиток руки* (до часу становлення роду Людина); 3) *збільшення об'єму і складності головного мозку*. Ці еволюційні зміни зумовили формування пристосувальних особливостей будови й функцій організму. У скелеті виникають: S-подібний хребет із чотирма вигинами, розширена в боки грудна клітка, чашоподібний таз, збільшений мозковий відділ черепа та склепінчаста стопа. Збільшу-

ється об'єм головного мозку (від 650 $см^3$ у людини вмілої до близько 2 % від маси тіла у людини розумної), збільшується площа (у людини розумної близько 1250 $см^2$) та ускладнюється організація кори півкуль великого мозку (близько 1250 $см^2$). Завдяки прямоходінню у людини виникає рука як особливий орган праці. Її анатомічна будова, зокрема протиставлення великого пальця іншим, забезпечує як широкі рухи, так і точні маніпуляції, що є основою для створення знарядь праці. Під впливом соціальних чинників антропогенезу у людини сформувалася соціогенезна тріада: 1) абстрактне мислення; 2) друга сигнальна система і членороздільна мова; 3) праця.

Біологія + Мистецтво ✿ ***«Звідки ми прийшли? Хто ми? Куди ми йдемо?»*** *— знакова картина французького художника Поля Гогена (1848–1903). Зберігається в Музеї витончених мистецтв у Бостоні (США). Цікаво, «звідки прийшла людина»?*



Які основні етапи і результат антропогенезу?

АНТРОПОГЕНЕЗ *— це історичний процес формування людини, що відбувався під впливом біологічних і соціальних чинників.* Рід Людина (Homo) з'являється в Східній Африці приблизно 2,3–1,7 млн років тому. Першим представником роду та найімовірнішим предком всіх пізніших видів стала ***Людина вміла*** (*Homo habilis*). Люди цього виду почали регулярно виготовляти кам'яні знаряддя праці (олдувайська культура) і перейшли до всеїдності. З неї також починається бурхливий розвиток головного мозку, об'єм якого досягав 650–1100 $см^3$.

Першим представником роду Homo, що покинув територію Африки, був вид ***Людина працююча*** (*Homo ergaster*). Ергастери були дуже рухливими, пристосованими до спеки, мали безволосу, гладеньку й темну шкіру та ефективне потовиділення. Вони опанували вогонь і полювали посеред спекотного дня. У нових природних умовах вони еволюціонували і стали двоюрідним видом у ***Людини випрямленої*** (*Homo erectus*). Цей викопний вид розглядають як безпосереднього попередника сучасної людини. Вважається, що вони з'явилися у Східній Африці, еволюціонували від *Людини рудольфської* і через Близький Схід (*Людина грузинська*) широко заселили Євразію аж до Китаю (*Людина юаньмоуська*, або синантропи). До цього виду відносять і *Людину яванську*, або пітекантропів (жили в Південно-Східній Азії), *Людину гейдельбергзьку* (мешкали в Європі та Західній Азії), *Людину флореську* (виявлена в Індонезії і названа «хобітами» за аналогією з істотами, придуманими Дж. Р. Толкіном). З північної лінії *Homo heidelbergensis* приблизно 500–450 тис. років тому виникли неандертальці та денисівські люди.

Людина неандертальська (*Homo neanderthalensis*) названа на честь долини Неандерталь в Німеччині, де 1856 року в печері були знайдені її залишки. Для неандертальців характерні низьке скошене чоло, суцільний надбрівний валик, недорозвинутий підборідний виступ, великі зуби. Вони поселялися на узбережжях річок, жили під природними навісами або в печерах, вміли говорити, хоча їхня мова була повільною, користувалися кам'яними знаряддями, вміли добувати вогонь. Неандертальці першими почали ховати своїх померлих.

Кроманьйонська людина (*Homo sapiens*) названа так тому, що перший скелет було знайдено 1868 року в печері Кро-Маньйон у департаменті Дордонь у Франції. Нові відкриття молекулярної біології вказують на те, що перші кроманьйонці з'явилися приблизно 100 тис. років тому. Це були високі, міцної статури люди, у яких суцільний надбрівний валик відсутній, є підборідний виступ, що свідчить про розвиток мови. Жили в печерах, носили одяг, створювали наскальні малюнки, гравюри, скульптури, прикраси та музику. Відрізнялись від своїх сучасних нащадків тільки дещо більшим об'ємом мозку та більш міцною будовою тіла. Займалися полюванням на великих бізонів, мамонтів, оленів, ведмедів і диких коней.

Коротко про головне

- **ФІЛОГЕНЕЗ ТВАРИН** — *це процес поступових, незворотних змін будови та функцій багатоклітинних істот із гетеротрофним живленням та здатністю до активного руху.*
- **ФІЛОГЕНЕЗ ЛЮДИНИ** — *це історичний розвиток, що включає процес виникнення й формування людини в процесі еволюції під впливом біологічних і соціальних чинників.*
- Основні етапи **антропогенезу** включають давніх людиноподібних предків, архантропів (найдавніших людей, як-от Людина вміла і Людина прямоходяча), палеоантропів (неандертальців) та неоантропів (людей сучасного виду).

Діяльність

Навчальне завдання. Оцінювання знань за схемою. **ФІЛОГЕНЕЗ ТВАРИН**.

Розвивальне завдання. Інформаційно-пошукова вправа. **ФІЛОГЕНЕЗ ЛЮДИНИ**.

Ціннісне завдання. Вправа для вибірковості. Основні етапи антропогенезу.

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Оцінює знання*: про **ЕВОЛЮЦІЮ ТВАРИН**
• *Оцінює результати:* **ІНФОРМУВАННЯ** про відмінності еволюції людини
• *Виявляє ставлення на рівні вибірковості та оцінює*: основні еволюційні зміни прогресивного розвитку людини

Саморозвиток

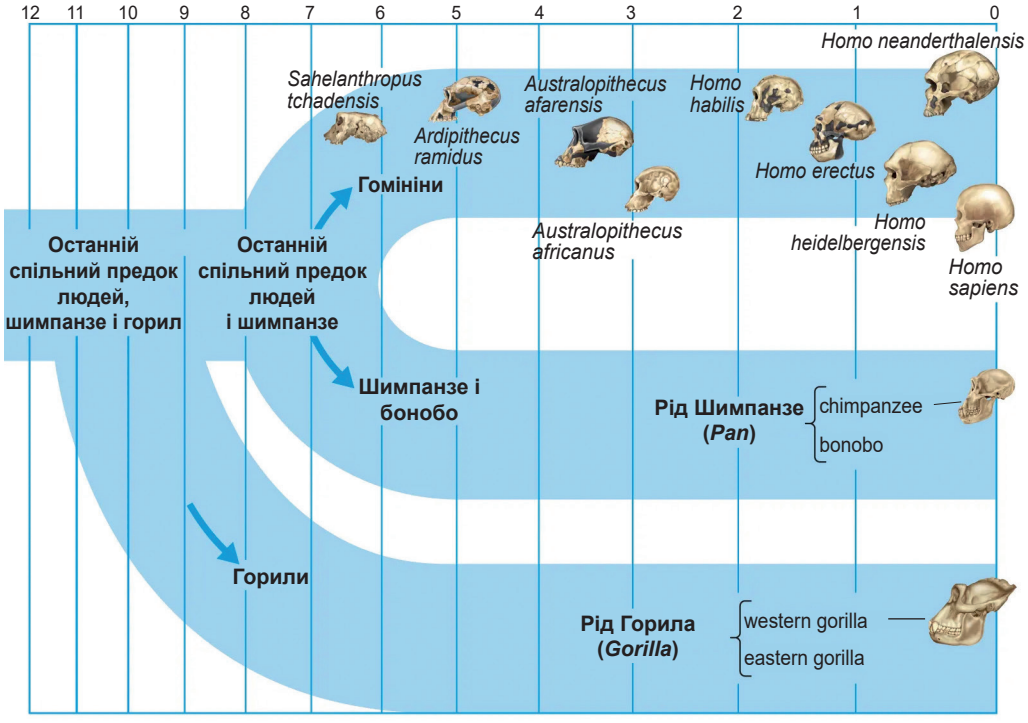
Ціннісно-емоційне завдання. Тест «Мистецтво дикої природи».

КРЕАТИВНА РОБОТА 14. АНТРОПОГЕНЕЗ та ... печерний живопис.

Таблиця. ЕТАПИ ІСТОРИЧНОГО РОЗВИТКУ ТВАРИН

Ера	Еволюційні події	Визначальні ароморфози
Протерозой	Поява тварин	Мітохондрії. Багатоклітинність
Палеозой	Поява тварин зі скелетом, трилобітів (кембрій). Поява хребетних (панцирні безщелепні, ордовік). Вихід безхребетних на суходіл (ракоскорпіони у силурі). Поява щелепоротих (хрящеві та кісткові риби у девоні) і вихід хребетних на суходіл (амфібії у девоні). Поява рептилій (карбон). Поява звірозубих ящерів (перм)	Симетрія тіла, зародкові листки, порожнина тіла, формування тканин та органів. Зовнішній мінералізований скелет. Трахейний тип дихання. Хорда, нервова трубка. Хребет, череп, щелепи. Кінцівки наземного типу. Зародкові оболонки. Легеневий тип дихання і два кола кровообігу
Мезозой	Поява архозаврів (динозаври, крокодили, птахи у тріасі). Поява ссавців (тріас). Поява сумчастих та плацентарних ссавців (крейда)	Діапсидний тип будови черепа. Альвеолярне кріплення зубів у щелепах. Теплокровність Волосяний покрив. Диференціація зубів. Вигодовування малят молоком. Матка. Плацента
Кайнозой	Поява людиноподібних мавп та австралопітеків (неоген). Поява людини (антропоген). Одомашнення тварин	Прямоходіння. Членороздільна мова. Абстрактне мислення. Праця

Дерево життя. ЕВОЛЮЦІЯ ЛЮДИНИ

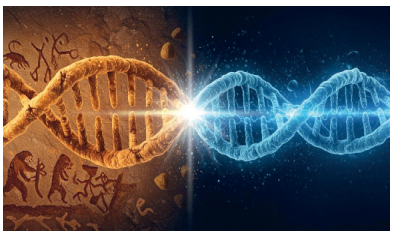


Звідки ми, люди, походимо і як ми пов'язані з вимерлими гомінінами?

Сванте Паабо (нар. 1955) — шведський еволюційний антрополог



§ 14.6. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Маємо думку! Еволюцію організмів вивчають різні науки і серед них важливу роль відіграє палеогенетика, що вивчає стародавні ДНК. «Хрещеним батьком» науки став С. Паабо — лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини 2022 року «*за відкриття, щодо геномів вимерлих гомінінів та еволюції людини*». Цікаво, яке практичне значення мають палеогенетичні наукові дослідження?

ЗМІСТ

Що є предметом досліджень палеонтології?

ПАЛЕОНТОЛОГІЯ (від грец. *palaios* — давній, *ontos* — буття, *logos* — вчення) — *наука, що вивчає вимерлі організми*. Скам'янілості (або фосилії) — це будь-які збережені залишки, відбитки або сліди будь-якої колись живої істоти з минулої геологічної епохи. Прикладами є кістки, мушлі, скелети, сліди тварин, скам'яніла деревина, організми в бурштині та строматоліти. Засновником цієї дисципліни вважають французького натураліста Жоржа Кюв'є (1769–1832).

За предметом досліджень у палеонтології розрізняють низку дисциплін: *палеоантропологія* зосереджена на еволюції людини; *палеобіологія* досліджує адаптації, функції та поведінку вимерлих організмів; *палеобіогеографія* пояснює виникнення відмінностей у флорі та фауні різних географічних територій; *палеоекологія* займається реконструкцією вимерлих екосистем; *палеокліматологія* вивчає зледеніння, глобальні потепління, масові вимирання, що мали місце в далекому минулому.

Вивченням ДНК із залишків вимерлих організмів займається *палеогенетика*. Перша послідовність стародавньої ДНК, виділена з музейного зразка вимерлої квагги, була опублікована 1984 року групою науковців під керівництвом А. Вілсона. Дослідження мітохондріальної ДНК (мтДНК), проведені Нобелівським лауреатом С. Паабом, призвело до відкриттів геному неандертальців (*Homo neanderthalensis*), гомініна Денисова (*Homo denisovensis*), перенесення генів від цих нині вимерлих гомінінів до людини сучасної (*Homo sapiens*) після її міграції з Африки близько 70 000 років тому. Ці відкриття дали нове розуміння нашої еволюційної історії. У той час, коли *Homo sapiens* мігрував з Африки, щонайменше дві вимерлі популяції гомінідів населяли

Євразію: неандертальці жили в західній Євразії, тоді як денисівці заселяли східні частини континенту.

Порівняння скам'янілих решток різних шарів земної кори дало можливість виділити в історії Землі низку етапів з властивими кожному з них групами організмів. Відклади, утворені протягом цих етапів, покладені в основу стратиграфічної шкали, а самі етапи — в основу геохронологічної шкали.

Що вивчає еволюційна філогенія?

ЕВОЛЮЦІЙНА ФІЛОГЕНІЯ займається вивченням шляхів історичного розвитку живої природи.

Основними завданнями філогенії є дослідження еволюційних зв'язків, реконструкція походження і послідовності еволюційних перетворень, визначення основних закономірностей філогенезу груп та надання даних для побудови філогенетичної системи органічного світу.

Методи досліджень. Вихідним методом для досліджень філогенезу був метод «потрійного паралелізму», що базується на знаннях порівняльної анатомії, ембріології та палеонтології. Сучасна еволюційна філогенія використовує дані генетики, біохімії, молекулярної біології, мікробіології, інформатики та багатьох інших наук. Важливу інформацію для науковців дають методи *молекулярної філогенії*, що досліджують філогенетичні зв'язки інформаційних молекул різних організмів. У 1960–1970-х роках виникла *мікробна філогенія*, і вчені почали створювати філогенетичні дерева на основі нуклеїнових кислот і секвенування білків. Було з'ясовано, що для встановлення еволюційних зв'язків між бактеріями, археями та еукаріотами найбільше значення має рРНК. Причина в тому, що ці молекули виникли на ранніх етапах життя і є в усіх організмів.

Результати досліджень еволюційної філогенії найширше використовуються в біосистематиці для класифікації організмів, в біогеографії — для вивчення поширення, в етології — для дослідження еволюції поведінки, в медицині — для розуміння шляхів виникнення хвороботворних мікроорганізмів і т. ін.

Біологія + Еволюція *Завдяки палеогеноміці вчені дізналися, що взагалі в геномі сучасної людини існує приблизно 20 % генів неандертальців (наприклад, руде волосся, непереносимість лактози, швидке утворення тромбів, низький зріст, стійкість імунної системи). Втім, жодна людина не має всіх 20 % одночасно: ці гени розподілені різною мірою між різними народностями. Як називається такий біологічний процес перенесення генетичної інформації між різними видами?*



Які основні закономірності еволюційної філогенії?

Зіставлення характеру історичного розвитку різних таксономічних груп дозволило встановити певні правила макроеволюції:

Правило незворотності еволюції, згідно з яким *еволюція є незворотною, і організми не можуть знову повернутися до минулого предкового стану*.

Правило прогресуючої спеціалізації. *Якщо група вже стала на шлях певної спеціалізації, її подальший розвиток буде продовжуватися у напрямку поглиблення набутих властивостей*. Наприклад, якщо в ході еволюції якась група рептилій дала початок птахам з їхніми адаптаціями до польоту, то саме ці пристосування й розвиватимуться надалі у цій групі тварин.

Правило походження від неспеціалізованих предків. *Нові великі таксони звичайно беруть початок не від спеціалізованих представників предкових груп, а від порівняно неспеціалізованих*. Так, ссавці виникли не від досконалих форм рептилій, а від примітивних. Рід *Homo* започаткували не високорозвинені та пристосовані до певних конкретних умов середовища антропоморфні примати (шимпанзе чи горили), а набагато давніші неспеціалізовані предкові форми.

Правило адаптивної радіації. *Філогенез будь-якої групи зумовлює її поділ на окремі філогенетичні стовбури, які розходяться у різних адаптивних напрямках внаслідок пристосування до відмінних умов середовища*. Наприклад, різні варіанти видоутворення, формування ідіоадаптацій тощо.

Коротко про головне

- **ПАЛЕОНТОЛОГІЯ** — *це наука, що вивчає вимерлі організми за їхніми скам'янілими рештками та слідами життєдіяльності.*
- **ЕВОЛЮЦІЙНА ФІЛОГЕНІЯ** (від. грец. *phylon* — рід і *genesis* — породжую) — *наука, що вивчає шляхи історичного розвитку біорізноманіття Землі.*
- Зіставлення характеру історичного розвитку різних таксономічних груп організмів дозволило встановити деякі загальні ознаки їх еволюції.

Діяльність

Навчальне завдання. Моделювання змісту теми. ПОХОДЖЕННЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ.

Розвивальне завдання. Графічна модель. Галузі застосування знань. Історичний розвиток.

Ціннісне завдання. Презентація навчального продукту на одну із тем (див. додаток до підручника).

Результат

Очікувані результати навчання (Учень / учениця...)
• *Узагальнює знання та формулює висновок*: про **ПАЛЕОНТОЛОГІЮ** та **ЕВОЛЮЦІЙНУ ФІЛОГЕНІЮ**
• *Застосовує навички* **ІНФОРМУВАННЯ** *та конструює:* інфографіку про закономірності історичного розвитку життя
• *Виявляє ставлення на рівні індивідуальності та створює:* проєкт на основі ціннісних уявлень про **РУХ**

Саморозвиток

КОМПЕТЕНТНІСНА РОБОТА 14. ПОХОДЖЕННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ та ...

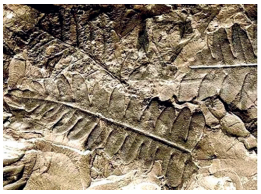
СТОРІНКА ІЛЮСТРАЦІЙ

ФОСІЛІЇ (від лат. *fossilis* — викопний), ***викопні рештки організмів, скам'янілості*** — залишки об'єктів колишніх геологічних епох, виявлені людьми при розкопках, або тих, що оголилися в результаті ерозії.




Іл. 125. Строматоліти Західної Австралії (затока Шарк) та Африки (територія Марокко)

Іл. 126. Скам'янілості деревоподібних папоротей із карбону





Іл. 127. Трілобіти — тварини кембрійського періоду із сегментованим панциром. У них вперше з'являється складний зір. Відомо близько 10 тисяч викопних видів

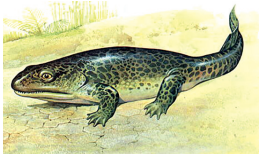
Іл. 128. Ракоскорпіони — викопний ряд членистоногих, які існували упродовж всього палеозою і були першими мешканцями суходолу. Окремі представники досягали 2 м у довжину, але розміри більшості видів не перевищували 20 см. На прикладі еволюції ракоскорпіонів добре прослідковується перехід від водного життя до життя на суходолі

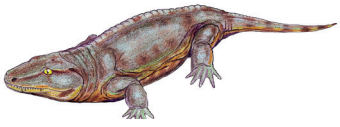




Іл. 129. Щиткові риби, або плакодерми – найпримітивніші серед щелепоротих тварин. Дунклеостей – жив у девоні, довжина більше 6 м

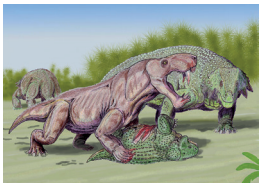
Іл. 130. Лабіринтодонти – стародавні амфібії, розміри яких сягали 5 м. Представник — іхтіостега





Іл. 131. Котилозаври — найдавніші і найпримітивніші плазуни, виникли від стегоцефалів у карбоні палеозойської ери, а вимерли — в тріасі мезозойської. Представник — сеймурія

Іл. 132. Звірозубі ящери, або Теріодонти (Theriodontia) — вимерлі плазуни, які дали початок ссавцям. Мали ознаки, характерні для ссавців: кінцівки під тулубом, зуби диференційовані, діафрагма, ймовірно, вже з'явилися волосяний покрив і м'які губи. Представник – іностранцевія



УЗАГАЛЬНЕННЯ КУРСУ

БІОЛОГІЧНА КАРТИНА СВІТУ — це система узагальнених знань про живу природу, що формується на основі наукових фактів, гіпотез, теорій та закономірностей. Ця цілісна система уявлень формується в процесі пізнання й охоплює фундаментальні узагальнення про біорізноманіття, структуру, функціонування, зовнішні та внутрішні взаємозв'язки, розмноження й розвиток біологічних систем, еволюцію та походження життя на Землі. У єдності з *фізичною, хімічною, географічною, геологічною, астрономічною* вона є важливою складовою **природничої картини світу**. Разом із мовною та соціальною складовими вони є фундаментальними аспектами загальнонаукової картини світу, призначення якої полягає в «*об'єднанні уявлень про три основні сфери буття — неживу природу, органічний світ і соціальне життя — в цілісну наукову картину на основі базисних принципів, які мають загальнонауковий статус*».

Основні узагальнення сучасної біологічної картини світу на основі фундаментальних принципів природничої

МАТЕРІАЛЬНА ЄДНІСТЬ ПРИРОДИ

ЖИВА ПРИРОДА — *це частина природи, складниками якої є різноманітні форми існування життя та біологічні явища*. Найзагальнішими властивостями форм життя є *системна організація, відкритість, упорядкованість, самовідтворення, саморегуляція та самооновлення*. Особливостями біологічних явищ є *участь форм життя, різноманітність та складність, взаємозв'язок між собою та з навколишнім середовищем*. Єдність живої та неживої природи полягає в їхній взаємозалежності та єдиному хімічному складі, оскільки різні форми життя не можуть існувати без компонентів неживої природи, а неживі об'єкти зазнають впливу живого.

ЗАГАЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК ЯВИЩ

ПОТІК РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЇ — *це сукупність процесів, що здійснюють надходження, перетворення і видалення речовин, енергії та інформації у природних системах*. Фізичні, хімічні, географічні, геологічні, біологічні процеси потоку речовин, енергії та інформації тісно взаємопов'язані на різних структурних рівнях природи та відбуваються згідно з універсальними законами природи. Це *закони збереження та перетворення енергії, збереження маси*.

СИСТЕМНІСТЬ

БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ — *це сукупність взаємопов'язаних структурних і функціональних компонентів, найзагальнішими особливос-*

тями яких є відкритість, упорядкованість та рівневість. Сучасне розуміння біосистем ґрунтується на структурно-функціональному підході, згідно з яким системи мають структурні компоненти, певні функції та взаємозв'язки, що визначають їхню **біологічну організацію**. Основними типами біологічних систем є клітина, організм, популяція, вид, екосистема та біосфера. Відмінності біосистем пов'язані з принципом емерджентності, прояви якого спостерігаються у структурній, функціональній та етологічній організації на кожному з рівнів.

РІЗНОМАНІТНІСТЬ

Різноманітність як принцип організації матерії проявляється в **ієрархічних рівнях** — від найпростіших до найскладніших, що існують як у неживій, так і в живій природі. У неживій матерії це різноманітність елементів, сполук, мінералів, а в живій — це **БІОРІЗНОМАНІТТЯ**. Воно формується завдяки еволюції та існує на різних рівнях організації: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційно-видовому, екосистемному та біосферному. Основними типами біорізноманіття, є генетичне, видове та екосистемне. Визначальною причиною різноманіття живої природи є *природні умови*, а точніше їхня багатогранність і мінливість у просторі і часі.

САМООРГАНІЗАЦІЯ

Самоорганізація як принцип існування природних систем полягає в сукупності процесів, спрямованих на впорядкування структури та функцій системи завдяки внутрішнім процесам без визначального зовнішнього втручання. **САМООРГАНІЗАЦІЯ БІОСИСТЕМ** — це система взаємопов'язаних процесів саморегуляції для збереження динамічної сталості; самооновлення для утворення нових складових частин замість пошкоджених чи втрачених; самовідтворення для наступності існування в часі.

ЕВОЛЮЦІОНІЗМ

Принцип еволюціонізму природних систем стверджує, що **всі природні системи** (від Всесвіту до живих організмів) перебувають у **постійному історичному розвитку завдяки еволюційним** процесам. **БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ** — *це сукупність процесів, що забезпечують зміни живої природи під час історичного розвитку.* Основною рушійною силою цього процесу є природний добір. Результатом біологічної еволюції є адаптованість живого, утворення нових видів та ускладнення живих форм.

Властивості біологічних систем у найзагальнішому вигляді відображають такі фундаментальні положення, як АКСІОМИ БІОЛОГІЇ (від грец. *axioma* — загальноприйняте).

1. Усі живі організми являють собою єдність фенотипу й програми для його побудови (генотипу), яка передається спадково з покоління в покоління (аксіома А. Вейсмана).
2. Генетична програма створюється матричним шляхом. Як матриця, на якій вибудовується ген майбутнього покоління, використовується ген попереднього покоління (аксіома М. К. Кольцова).
3. У процесі передавання з покоління в покоління генетичні програми з різних причин змінюються випадково й нецілеспрямовано, і лише за збігом обставин такі зміни можуть виявитися вдалими в конкретному середовищі (1-а аксіома Ч. Дарвіна).
4. Випадкові зміни генетичних програм у процесі становлення фенотипу багаторазово посилюються (аксіома М. В. Тимофєєва-Ресовського).
5. Багаторазово посилені зміни генетичних програм зазнають добору, який здійснюють умови зовнішнього середовища (2-а аксіома Ч. Дарвіна).

ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Тема 1. Біологічні системи, закономірності організації

§ 1.3. Неклітинні форми життя. Віруси. *Практична робота 1.* Дослідження різноманітності вірусів.

Тема 2. Єдність хімічного складу біологічних систем

§ 2.4. Вуглеводи. *Лабораторна робота 2.* Вивчення властивостей вуглеводів.

Тема 3. Інформаційні молекули живого – білки та нуклеїнові кислоти

§ 3.3. Каталітична функція білків *лабораторна робота 3.* Вивчення властивостей ферментів.

Тема 4. Генетична інформація – основа самоорганізації біосистем

§ 4.2. Ген. Генетичний код. Експресія генів. *Практична робота 4.* Розв'язування вправ: «властивості генетичного коду».

Тема 5. Клітина – елементарна біологічна система

§ 5.3. Цитоплазма. *Лабораторна робота 5.* Рух цитоплазми.

Тема 6. Організм як біологічна система

§ 6.3. Багатоклітинні організми. *Практична робота 6.* Найзагальніші особливості організації багатоклітинних (на прикладі: горох посівний, печериця садова, хрущ травневий).

Тема 7. Обмін речовин, енергії та інформації – фундаментальна властивість біологічних систем

§ 7.3. Пластичний обмін. Біосинтез білків. *Практична робота 7.* Розв'язування елементарних вправ на тему: «етапи біосинтезу білків».

Тема 8. Індивідуальний розвиток і розмноження – прояви самовідтворення організмів

§ 8.3. Постембріогенез. *Практична робота 8.* Вивчення постембріонального розвитку комах.

Тема 9. Закономірності спадковості та мінливості організмів

§ 9.2. Закономірності успадкування ознак. *Практична робота 9.* Складання схем успадкування ознак.

Тема 10. Середовище існування та адаптації організмів

§ 10.3. Адаптації організмів водного середовища існування. *Практична робота 10.* Виявлення структурних адаптацій гідробіонтів (на прикладі риб).

Тема 11. Популяція – основна функціональна одиниця екосистем

§ 11.3. Біотична взаємодія популяцій. *Практична робота 11.* Види симбіотичних взаємодій.

Тема 12. Екосистеми – основа функціонування біосфери

§ 12.2. Функціонування екосистем. *Практична робота 12.* Розв'язування вправ. Трофічна структура екосистем.

Тема 13. Біологічна еволюція – умова існування життя на землі

§ 13.3. Мікроеволюція. *Практична робота 13.* Дослідження різноманітності адаптацій організмів.

Тема 14. Походження життя та філогенез живої природи

§ 14.3. Еволюція еукаріотів *практична робота 14.* Порівняння філогенезу про- та еукаріотів.

Орієнтовний перелік тем для створення навчальних продуктів

Тема 1. БІОСИСТЕМИ, ЗАКОНОМІРНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ

1. *Презентація*. «Учітеся, брати мої! Думайте, читайте, І чужому научайтесь, – Свого не цурайтесь» (Тарас Шевченко). Значення науки для пізнання живої природи.
2. *Схема організації дослідження*. Внутрішньопопуляційна мінливість розмірів черепашки равлика великого звичайного.
3. *Схема організації дослідження*. Видове різноманіття хвойних декоративних рослин у міських парках.
4. *Аналіз досліджень*. Бактерії, які розщеплюють PET (поліетилентерефталат) – пластик, що використовується для виготовлення пляшок.
5. *Дослідницьке повідомлення*. The United Nations Environment Programme (UNEP). Яке значення цієї програми ООН з довкілля?
6. *Нарис*. Чому XXI століття називають добою перетворення Homo technocraticus на Homo ecologicus?
7. *Дослідницький опис*. Собор Святої родини у Барселоні й біологічні знання.
8. *Аналіз експериментів*. Нобелівські премії з фізіології й медицини (1907, 2015) та малярія.

Тема 2. ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЖИВОГО

1. *Переклад*. What Is Biosolar Leaf Technology?
2. *Інформативне повідомлення*. *Екотрофологія* – наука про екологічно безпечне харчування.
3. *Інформативне дослідження*. Біоелементна медицина й найпоширеніші біоелементози.
4. *Презентація*. Кухонна сіль: користь та шкода для організму людини.
5. *Портрет*. Глюкоза – «видатна» сполука живої природи.
6. *Інформативне пояснення*. Ефірні олії та рослини.
7. *Інформативне пояснення*. Меланін та забарвлення тварин.
8. *Аналіз*. «Ex nihilo nihil fit» (Лукрецій Тіт Кар «Про природу речей»).

Тема 3. ІНФОРМАЦІЙНІ БІОМОЛЕКУЛИ – БІЛКИ ТА НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

1. *Переклад*. What is proteomics?
2. *Прогнозування*. Синтетична біологія й екологічні продукти – від м'яса до біопалива і будівельних матеріалів.
3. *Фоторепортаж*. Істоти, здатні до світіння, фермент люцифераза та біолюмінесценція.
4. *Есе*. Павутина та матеріали нового покоління.
5. *Літературне дослідження*. «Енеїда» та спермацет.
6. *Повідомлення*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1959) та синтез РНК і ДНК.
7. *Повідомлення*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1962) та структура ДНК.
8. *Повідомлення*. Нобелівська премія з хімії (2017) та кріоелектронна мікроскопія.

Тема 4. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ – ОСНОВА САМООРГАНІЗАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

1. *Аналіз проблеми*. Як геноміка може змінити життя людини?
2. *Аналіз проблеми*. Що впливає на достовірність ПЛР-тесту на COVID-19?
3. *Повідомлення*. Проєкт «Геном людини».
4. *Аналіз статті*. Теломери та старіння. Чому ми не живемо до 125 років?
5. *Презентація*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1969) та генетичний код.
6. *Презентація*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1983), кукурудза та стрибаючі гени.
7. *Прогнозування*. Навіщо потрібні синтетичні гени?
8. *Повідомлення*. Що таке генетична безпека?

Тема 5. КЛІТИНА – ЕЛЕМЕНТАРНА БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

1. *Дослідження*. Будова яйцеклітини перепілки.
2. *Інформативне дослідження*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (2013), везикулярний транспорт і цукровий діабет.
3. *Науковий опис*. Велетенські нейрони з гігантськими аксонами у кальмара *Doryteuthis pealeii*.
4. *Інформативне дослідження*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (2016), аутофагія й розумне голодування.
5. *Дослідницький аналіз*. Як восьминоги змінюють забарвлення тіла? (http://www.funny-games.biz/videos/78-octopus.html).
6. *Інформативне дослідження*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (2019) й адаптація клітин до нестачі кисню.

Тема 6. ОРГАНІЗМ ЯК БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

1. *Інформативне повідомлення*. Гістотехнології – перспективи використання в медицині.
2. *Інформативне пояснення*. 3D-біопринтінг – що це таке?
3. *Інформативний опис*. Технологія мікроклонального розмноження рослин і сучасне рослинництво.
4. *Інформативне дослідження*. Суіс-органні препарати (СОП) в медицині.
5. *Рекламне повідомлення*. Комп'ютерна томографія й дослідження органів.
6. *Електронна презентація*. Оксид Нітрогену й серцево-судинна система.
7. *Інформативне пояснення*. Селен земної кори та імунна система.
8. *Інформативне дослідження*. Технологія «орган – на – чіпі» – в чому суть?

Тема 7. ОБМІН РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЇ – ФУНДАМЕНТАЛЬНА ВЛАСТИВІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

1. *Есе*. Електрика у світі тварин.
2. *Казка*. Як тварини «утворюють» світло?
3. *Повідомлення*. Метаболом – молекулярне «дзеркало» здоров'я людини.

4. *Інформативне дослідження*. Чому тварини впадають у сплячку?
5. *Переклад статті*. Brown adipose tissue.
6. *Інформативне дослідження*. Як «розмовляють» рослини?
7. *Презентація*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1922) та утворення тепла у м'язах.
8. *Презентація*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1947) та перетворення глікогену.

Теми 8. ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК І РОЗМНОЖЕННЯ – ПРОЯВИ САМОВІДТВОРЕННЯ ОРГАНІЗМІВ

1. *Презентація*. Модельні об'єкти біології розвитку.
2. *Інформативне пояснення*. Як нематода *Caenorhabditis elegans* допомагає у дослідженні старіння?
3. *Аналіз проблеми*. Чи можуть бути створені біороботи зі стовбурових клітин?
4. *Реферативне повідомлення*. Омолодження (ревіталізація) організмів – міф чи реальність?
5. *Аналіз проблеми*. Медуза *Turritopsis nutricula* і біологічне безсмертя.
6. *Аналіз проблеми*. Які причини масового розмноження саранових?
7. *Реферативне повідомлення*. Гіпотези старіння.
8. *Пошук*. Які завдання *Ukrainian Collection of Microorganisms* (UCM)?

Тема 9. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ ТА МІНЛИВОСТІ

1. *Презентація*. Грегор Мендель. Його роль у розвитку генетичної науки.
2. *Повідомлення*. Міжнародний проєкт «Геногрaфія» (The Genographic project).
3. *Медичне дослідження*. Дослідження генів найпоширеніших в Україні спадкових захворювань людини (Постанова НАНУ від 06.10.2010).
4. *Мистецьке дослідження*. Картина Рафаеля Санті «Сікстинська Мадонна» й спадкове захворювання папи Сікста IV.
5. *Дослідження*. Успадкування груп крові за системою АВ0 у моїй сім'ї.
6. *Дослідження*. Складання власного родоводу.
7. *Аналіз статті*. Чому ми всі різні: розповідь поведінкового генетика (*https://health.ucu.edu.ua/news/chomu-my-vsi-rizni-rozpovid-povedinkovogo-genetyka/*).
8. *Аналіз досліджень*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (1946), мутації та рентгенівське випромінювання.

Тема 10. СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ТА АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ

1. *Переклад статті*. Climate change adaptation.
2. *Прогнозування*. Глобальне потепління та адаптації організмів.
3. *Інформативне доведення*. «Хочеш бути з рибою, бережи птахів». Доведіть справедливість твердження.
4. *Есе*. «Прощай, морська корово із Командорських островів!» (Л. Костенко). Чому зникла морська корова?
5. *Дослідження*. Чому жук-сонечко перебігає по долоні на кінець піднятого пальця?
6. *Інформативний пошук*. Магнітне поле Землі і біонавігація.

Тема 11. ПОПУЛЯЦІЯ – ОСНОВНА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ЕКОСИСТЕМ

1. *Фоторепортаж*. Чому риби чи птахи збираються в зграї?
2. *Моделювання*. Динаміки чисельності популяцій «хижак-жертва».
3. *Нарис*. Чому під горіхом квіти не ростуть?
4. *Аналіз проблеми*. Основні гіпотези, що пояснюють масове розмноження комах.
5. *Казка*. Як раки-самітники подружилися з актиніями?
6. *Аналіз досліджень*. Кольорова мінливість хутра вивірки звичайної.

Тема 12. ЕКОСИСТЕМИ – ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОСФЕРИ

1. *Фоторепортаж*. «Ми не побачимо їх вже ніколи...»
2. *Повідомлення*. Пермакультура в присадибному господарстві.
3. *Рекомендації*. Допомога довкіллю, або «зелене життя».
4. *Аналіз статті*. Хто ж забезпечує планету киснем?
5. *Презентація*. Реліктові види рослин України.
6. *Дослідження*. Виявлення антропогенного впливу в екосистемах своєї місцевості.

Тема 13. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ – УМОВА ІСНУВАННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

1. *Презентація*. Жорж Леопольд Кюв'є та його закон анатомічної кореляції.
2. *Презентація*. Жан-Батист Ламарк і перша еволюційна гіпотеза.
3. *Презентація*. Навколосвітня подорож Ч. Дарвіна (1831–1836) і теорія природного добору.
4. *Презентація*. Іван Іванович Шмальгаузен – видатний теоретик еволюційного вчення.
5. *Аналіз експериментів*. Індустріальний меланізм.
6. *Дослідження*. Чому *рак річковий вузькопалий* та *рак річковий широкопалий* – різні види одного роду?
7. *Повідомлення*. Нобелівська премія з фізіології та медицини (2022) та еволюція людини.
8. *Дослідницький аналіз*. Що вивчає новий напрям науки «ево-дево» (англ. evolutionary developmental biology)?

Тема 14. ПОХОДЖЕННЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИВОЇ ПРИРОДИ

1. *Інформативне повідомлення*. Метеорити й гіпотеза панспермії.
2. *Аналіз*. Теорія симбіогенезу і виникнення еукаріотичних клітин.
3. *Фоторепортаж*. Значення бурштину для досліджень історичного розвитку.
4. *Презентація*. Різноманітність динозаврів.
5. *Інформативне дослідження*. Комета чи астероїд знищили динозаврів?
6. *Інформативне пояснення*. Скам'янілості, або фосилії – як виникли?
7. *Фоторепортаж*. Викопні перехідні форми.
8. *Аналіз наукової літератури*. За що відповідає ген FOX P2 (англ. Forkhead box P2).

ЗМІСТ

Як працювати з підручником? 3

Розділ III. ЗАКОНОМІРНОСТІ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Тема 1. БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

§ 1.1. Біологічні системи 5
§ 1.2. Біорізноманіття 8
§ 1.3. Неклітинні форми життя. Віруси 11
§ 1.4. Клітинні форми життя. Бактерії. Археї 14
§ 1.5. Клітинні форми життя. Еукаріоти 17
Сторінка компетентності. Кластер-компетикум. Біорізноманіття 20
§ 1.6. Біосистеми та наукові дослідження 21

Тема 2. ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ БІОСИСТЕМ

§ 2.1. Хімічний склад біологічних систем 24
§ 2.2. Біонеорганічні сполуки 27
§ 2.3. Біоорганічні сполуки 30
§ 2.4. Вуглеводи 33
§ 2.5. Ліпіди 36
§ 2.6. Хімічний склад живого та наукові дослідження 39

Тема 3. ІНФОРМАЦІЙНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО — БІЛКИ Й НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

§ 3.1. Інформаційні молекули живого 42
§ 3.2. Білки 45
§ 3.3. Ферменти 48
§ 3.4. Нуклеїнові кислоти 51
§ 3.5. ДНК та РНК 54
§ 3.6. Інформаційні молекули та наукові дослідження 57

Тема 4. ГЕНЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ — ОСНОВА САМООРГАНІЗАЦІЇ БІОСИСТЕМ

§ 4.1. Генетична (спадкова) інформація 60
§ 4.2. Ген. Генетичний код. Експресія генів 63
§ 4.3. Геномний ступінь організації генетичної інформації 66
§ 4.4. Хромосомний ступінь організації спадкової інформації 69
§ 4.5. Каріотип 72
§ 4.6. Генетична інформація та наукові закономірності 75
Сторінка компетентності. Кластер-компетикум. Генетична інформація 78

Тема 5. КЛІТИНА — ЕЛЕМЕНТАРНА БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

§ 5.1. Клітина 79
§ 5.2. Структурна організація клітини. Поверхневий апарат 82
§ 5.3. Цитоплазма 85
§ 5.4. Ядро клітини 88
§ 5.5. Функціональна організація клітин 91
§ 5.6. Клітина та наукові дослідження 94
Сторінка компетентності. Кластер-компетикум. Життєдіяльність нейрона 97

Тема 6. ОРГАНІЗМ ЯК БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА
§ 6.1. Організм 98
§ 6.2. Одноклітинні організми 101
§ 6.3. Багатоклітинні організми 104
§ 6.4. Тканини багатоклітинних організмів 107
§ 6.5. Органи та системи органів багатоклітинних організмів 111
§ 6.6. Організм та наукові дослідження 114

Тема 7. ОБМІН ЕНЕРГІЇ, РЕЧОВИН ТА ІНФОРМАЦІЇ — ФУНДАМЕНТАЛЬНА ВЛАСТИВІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ
§ 7.1. Обмін енергії, речовин та інформації 117
§ 7.2. Енергетичний обмін організмів 120
§ 7.3. Пластичний обмін. Біосинтез білків 123
§ 7.4. Пластичний обмін. Фото- та хемосинтез 126
§ 7.5. Інформаційний обмін 129
§ 7.6. Обмін речовин, енергії, інформації та наукові дослідження 132

Тема 8. ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК І РОЗМНОЖЕННЯ — ПРОЯВИ САМОВІДТВОРЕННЯ ОРГАНІЗМІВ
§ 8.1. Індивідуальний розвиток організмів 135
§ 8.2. Ембріогенез 138
§ 8.3. Постембріогенез 141
§ 8.4. Розмноження організмів 144
§ 8.5. Поділ клітин як основа розмноження 147
§ 8.6. Онтогенез, розмноження та наукові дослідження 150

Тема 9. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ ТА МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ
§ 9.1. Спадковість організмів 153
§ 9.2. Закономірності успадкування ознак 156
§ 9.3. Взаємодія генів. Зчеплене успадкування ознак 159
§ 9.4. Мінливість. Неспадкова мінливість 162
§ 9.5. Спадкова мінливість 165
§ 9.6. Спадковість, мінливість та наукові дослідження 168

Тема 10. СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ ТА АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ
§ 10.1. Середовище існування організмів 171
§ 10.2. Адаптація організмів 174
§ 10.3. Адаптації організмів водного середовища існування 177
§ 10.4. Адаптації організмів наземно-повітряного середовища існування 180
§ 10.5. Адаптації організмів ґрунтового та гостального середовищ існування 183
§ 10.6. Середовища існування, адаптація організмів та наукові дослідження 186

Тема 11. ПОПУЛЯЦІЯ — ОСНОВНА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ЕКОСИСТЕМ
§ 11.1. Популяція ... 189
§ 11.2. Екологічна характеристика популяцій ... 192
§ 11.3. Біотична взаємодія популяцій ... 195
Сторінка ілюстрацій ... 198
§ 11.4. Динаміка популяцій ... 199
§ 11.5. Життєздатність популяцій ... 202
§ 11.6. Популяції та наукові дослідження ... 205

Тема 12. ЕКОСИСТЕМА — ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОСФЕРИ
§ 12.1. Екосистеми ... 208
§ 12.2. Функціонування екосистеми ... 211
§ 12.3. Стабільність екосистеми ... 214
§ 12.4. Біосфера ... 217
§ 12.5. Біосфера та антропогенний вплив ... 220
§ 12.6. Екосистеми, біосфера та наукові дослідження ... 223
Сторінка ілюстрацій ... 226

Тема 13. БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ — УМОВА ІСНУВАННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ
§ 13.1. Біологічна еволюція ... 227
§ 13.2. Еволюційні чинники ... 230
§ 13.3. Мікроеволюція ... 233
§ 13.4. Видоутворення ... 236
§ 13.5. Макроеволюція ... 239
§ 13.6. Еволюція та наукові дослідження ... 242
Сторінка компетентності. Кластер-компетикум. Біологічна еволюція .. 245

Тема 14. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИВОЇ ПРИРОДИ НА ЗЕМЛІ
§ 14.1. Походження живої природи на землі ... 246
§ 14.2. Філогенез вірусів та прокаріотів ... 250
§ 14.3. Філогенез еукаріотів ... 253
§ 14.4. Філогенез справжніх грибів та архепластид ... 256
§ 14.5. Філогенез тварин та людини ... 260
§ 14.6. Історичний розвиток життя на землі та наукові дослідження .. 265
Сторінка ілюстрацій ... 268

Узагальнення курсу ... 269

Теми практичних та лабораторних робіт ... 272

Додаток.
Орієнтовний перелік тем для створення навчальних продуктів ... 273

Навчальне видання

СОБОЛЬ Валерій Іванович

БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано державним коштом. Продаж заборонено

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам «Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

Для оформлення підручника використано матеріали, що знаходяться у вільному доступі в мережі «Інтернет»

Формат 70x100 1/16. Ум. друк. арк. 22,79.
Обл.-вид. арк. 22,10. Наклад 43 113 пр. Зам. № 026

ТОВ «Видавництво АБЕТКА». Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції від 09.02.2018 р. Серія ДК №6002
32300, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Князів Коріатовичів, 9а
Тел.: 0984253404, 0501931724; e-mail: abetka2017@ukr.net, http://abetka.in.ua

Надруковано у ПП «Юнісофт». 61036, м. Харків, вул. Морозова, 13 б,
www.unisoft.ua. Свідоцтво ДК №3461 від 14.04.2009 р. Зам. № 340/04

ISBN 978–617–8497–06–4