

Л.І. Остапченко, П.Г. Балан,  
В.П. Поліщук



# БІОЛОГІЯ

# 9



Л.І. ОСТАПЧЕНКО, П.Г. БАЛАН,  
В.П. ПОЛІЩУК

# БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України*



Київ  
«Генеза»  
2017

УДК 57(075.3)  
О-76

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*  
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 20.03.2017 № 417)

**Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Експерти, що здійснили експертизу підручника під час проведення конкурсного відбору проектів підручників для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України»:

*Степанов С.О.*, учитель-методист Богуславської загальноосвітньої школи І–ІІІ ступенів № 2 Богуславської районної ради Київської області;

*Шагієва Р.Р.*, методист кабінету природничо-математичних предметів, технологій Рівненського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти;

*Данилович Ю.В.*, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна Національної академії наук України.

**Остапченко Л.І.**

О-76 Біологія : підруч. для 9-го кл. загальноосвіт. навч. закл. / Л.І. Остапченко, П.Г. Балан, В.П. Поліщук. – Київ : Генеза, 2017. – 256 с. : іл.

ISBN 978-966-11-0847-8.

Підручник відповідає навчальній програмі «Біологія, 6–9 класи» для загальноосвітніх навчальних закладів. За його допомогою учні ознайомляться з досягненнями таких біологічних наук, як біохімія, цитологія, гістологія, генетика, екологія тощо, дізнаються про загальні закономірності живої природи та різні рівні організації живої матерії, узагальнять знання, набуті впродовж попередніх років навчання.

УДК 57(075.3)

ISBN 978-966-11-0847-8

© Остапченко Л.І., Балан П.Г.,  
Поліщук В.П., 2017  
© Видавництво «Генеза»,  
оригінал-макет, 2017



## *ДОРОГІ ДЕВ'ЯТИКЛАСНИЦІ ТА ДЕВ'ЯТИКЛАСНИКИ!*

Протягом попередніх років навчання ви ознайомилися з різноманітним світом організмів: бактерій, рослин, грибів, тварин. Ви також докладно вивчали будову та процеси життєдіяльності людини як біосоціальної істоти.

У 9-му класі ви ознайомитеся з досягненнями біологічних наук, які вивчають хімічний склад організмів, будову та функціонування клітин і тканин, особливості індивідуального розвитку, закономірності спадковості та мінливості. Ви дізнаєтеся про загальні закономірності, притаманні різним представникам живої природи, та різні рівні організації живої матерії; узагальните знання, набуті впродовж попередніх років навчання.

Набуті знання допоможуть вам краще зорієнтуватися у складному, різноманітному й надзвичайно цікавому світі живих істот, які вас оточують, зрозуміти їхні взаємозв'язки із середовищем життя. Сподіваємося, ви збагнете надзвичайну потребу оберігати навколишнє природне середовище та поліпшувати його стан, охороняти та раціонально використовувати природні ресурси. Вам буде цікаво дізнатися про сучасні досягнення біотехнології, генної та клітинної інженерії, адже від їхнього розвитку залежить вирішення нагальних проблем людства: забезпечення продовольством, розроблення нових лікарських препаратів, заходів з охорони навколишнього природного середовища, збільшення тривалості життя людини.

Важливою складовою уроку біології є лабораторні дослідження, лабораторні та практичні роботи. Вони допоможуть вам самостійно засвоїти систему знань, сформувати спеціальні та практичні вміння. Формуванню навичок самостійної роботи, умінь пошуку потрібної інформації в додаткових літературних джерелах слугуватимуть навчальні проекти.

Крім основного матеріалу, підручник містить і додатковий, певним чином виокремлений у тексті. Це цікаві та корисні відомості з різних галузей біології.

Отже, успіху вам у пізнанні складного та цікавого світу живих організмів! Сподіваємося, що знання, які ви здобудете, вивчаючи біологію, стануть вам у пригоді в подальшому житті.

*Автори*





# ВСТУП

У вступі ви дізнаєтесь про:

- систему біологічних наук;
- основні методи досліджень у біології;
- рівні організації живої матерії;
- значення біології в житті людини та основні завдання біологічних наук на сучасному етапі.

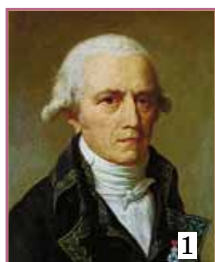
## §1. БІОЛОГІЯ – КОМПЛЕКСНА НАУКА ПРО ЖИВУ ПРИРОДУ. РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ. ОСНОВНІ МЕТОДИ БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

*Пригадайте*, що таке біологічні системи. Які ознаки притаманні рослинам, грибам, бактеріям і тваринам? За допомогою яких методів досліджують одноклітинні та багатоклітинні організми? Що таке популяція, екосистема, колообіг речовин?

**Біологія – комплексна наука про живу природу.** Ви вже знаєте, що біологія досліджує різні прояви життя. Як самостійна природнича наука біологія зародилася ще до нашої ери (*пригадайте*, які вчені стояли біля її витоків), а її назву запропонували 1802 року незалежно один від одного французький учений Жан-Батіст Ламарк і німецький – Готфрід Рейнхольд Тревіранус (мал. 1).

Протягом попередніх років навчання у школі ви вже ознайомилися з основами таких біологічних наук, як ботаніка, мікологія, зоологія, анатомія й фізіологія людини та ін. Цього навчального року ви дізнаєтесь про досягнення інших біологічних наук: біохімії, цитології, вірусології, біології індивідуального розвитку, генетики, екології, еволюційного вчення тощо (мал. 2). Дані цих і багатьох інших біологічних наук дають змогу вивчати закономірності, притаманні всім живим організмам.

Протягом попередніх років ви також ознайомилися з **основними властивостями живої матерії** на прикладі бактерій, рослин, грибів, тварин та організму людини. Узагальнимо їх.



1



2

Мал. 1. 1. Жан-Батіст Ламарк (1744–1829).  
2. Готфрід Рейнхольд Тревіранус (1766–1837)

Живі організми – це цілісні біологічні системи, здатні до самооновлення, саморегуляції та самовідтворення.

Клітина є елементарною одиницею будови, життєдіяльності та розвитку живої матерії.

### Активізуйте свої знання



Кожна жива істота, або організм, складається з окремих часточок – клітин.

Організми відрізняються від тіл неживої природи співвідношенням хімічних елементів, що входять до їхнього складу (у складі всіх живих істот переважають чотири хімічні елементи: Гідроген, Карбон, Нітроген та Оксиген).

Живій матерії притаманний обмін речовинами та енергією з навколишнім середовищем. Отже, будь-який організм є *відкритою системою*.

Кожна біологічна система здатна до саморегуляції. Це найголовніша умова підтримання *гомеостазу*.

Характерна риса організмів – здатність до рухів.

Живій матерії притаманна *подразливість* – здатність сприймати подразники зовнішнього та внутрішнього середовища й певним чином на них реагувати.

Усім біологічним системам притаманна здатність до самовідтворення, або *розмноження*.

Організми здатні також до росту та розвитку. Завдяки *росту* вони збільшують свої розміри та масу. *Розвиток* – це якісні зміни, пов'язані з набуттям нових рис будови та особливостей функціонування.

Біологічні системи здатні до адаптацій. Нагадаємо, що *адаптаціями* називають виникнення пристосувань у живих систем у відповідь на зміни, які відбуваються в зовнішньому чи внутрішньому середовищах.

<b>Біологія – система наук про життя на різних рівнях його організації; вивчає живі організми та узагальнює закономірності, притаманні всім організмам; її завдання – пізнання суті життя</b>	
Молекулярна біологія	вивчає процеси, що відбуваються в живих системах на молекулярному рівні
Цитологія	наука про будову та процеси життєдіяльності клітин
Гістологія	наука про будову та функції тканин
Біотехнологія	прикладна наука, яка розробляє та впроваджує у виробництво промислові методи з використанням живих організмів і біологічних процесів
Ембріологія	наука про зародковий етап індивідуального розвитку організмів
Біологія індивідуального розвитку	наука про закономірності розвитку організмів від зародження до смерті
Вірусологія	наука про неклітинні форми життя – віруси
Генетика	наука про закономірності спадковості та мінливості, механізми передачі спадкової інформації від батьків нащадкам
Селекція	прикладна наука про створення нових сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів
Екологія	наука про взаємозв'язки організмів між собою та умовами середовища життя
Еволюційне вчення	наука, яка встановлює закономірності історичного розвитку живої матерії на нашій планеті
Палеонтологія	наука, яка досліджує вимерлі організми
Філогенія	наука про конкретні шляхи та етапи історичного розвитку різних груп живих організмів
Систематика	наука про видову різноманітність сучасних і вимерлих живих істот
Ботаніка	наука про рослини
Мікологія	наука про гриби
Зоологія	наука про тварин
Бактеріологія	наука про прокаріотичні організми – археї та бактерії
Анатомія	наука, яка досліджує форму, будову окремих органів, систем органів та організму в цілому. Підрозділи анатомії: <b>анатомія рослин, тварин та людини</b>
Фізіологія	наука про процеси життєдіяльності організмів. Підрозділи фізіології: фізіологія рослин, тварин, людини

Мал. 2. Коротка характеристика основних біологічних наук.

Завдання. Поміркуйте, які з біологічних наук, зазначених на схемі, найбільше пов'язані між собою



Мал. 3. Рівні організації живої матерії: 1 – молекулярний (відбуваються біохімічні реакції, кодується спадкова інформація); 2 – клітинний (клітини складаються з молекул); 3 – організмний (багатоклітинні організми складаються з клітин); 4 – популяційно-видовий (популяції складаються з окремих особин, а види – з популяцій); 5 – екосистемний (екосистеми складаються з різних видів); 6 – біосферний (біосфера – сукупність усіх екосистем планети)

**Рівні організації живої матерії.** Жива матерія може перебувати на різних рівнях організації, що поступово сформувалися у процесі еволюції: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційно-видовому, екосистемному й біосферному (мал. 3).

На **молекулярному рівні** відбуваються біохімічні процеси й перетворення енергії в біологічних системах, а також зберігається, змінюється і реалізується спадкова інформація. На молекулярному рівні існують елементарні біологічні системи, наприклад віруси. Цей рівень організації живої матерії досліджують *молекулярна біологія, біохімія, генетика, вірусологія*.

**Клітинний рівень** характеризується тим, що клітина – це біологічна система, здатна до самостійного функціонування та самовідтворення. У кожній клітині як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів відбувається обмін речовин і перетворення енергії, зберігається та реалізується спадкова інформація. Клітини здатні до розмноження. Клітинний рівень організації живої матерії вивчають *цитологія, гістологія*.

**Організмний рівень.** У багатоклітинних організмів під час індивідуального розвитку клітини спеціалізуються за будовою та виконуваними функціями, часто формуючи *тканини*. З тканин формуються *органи*. Різні органи взаємодіють між собою в процесі обміну речовин та перетворення енергії, формуючи *системи органів*. Цим забезпечується функціонування цілісного організму як інтегрованої біологічної системи (в одноклітинних організмів організмний рівень організації збігається з клітинним). Організмний рівень організації живої матерії вивчає багато наук: *ботаніка, зоологія, мікологія, бактеріологія* та ін.

**Популяційно-видовий рівень.** Усі організми належать до певних *біологічних видів*. Організми одного виду мають спільні особливості будови та процесів життєдіяльності, подібні екологічні вимоги до середовища життя. Вони здатні залишати плодючих нащадків. Сукупність особин одного виду, що тривалий час існує більш або менш відокремлено від інших подібних угруповань цього виду, утворює *популяцію*.

**Екосистемний рівень.** Популяції різних видів, які населяють спільну територію, взаємодіють між собою та із чинниками неживої природи, входять до складу надвидових біологічних систем – *екосистем*. Для екосистемного рівня характерні постійні потоки енергії між популяціями різних видів, а також постійний обмін речовиною між живою та неживою частинами екосистем, тобто *колообіг речовин*.

**Біосферний рівень.** Усі екосистеми нашої планети разом утворюють *біосферу* – частину оболонки Землі, населених живими організмами. Біосфера становить єдину глобальну екосистему нашої планети. Надорганізмні рівні організації живої матерії – популяції, екосистеми та біосферу в цілому – вивчає *екологія*.

**Основні методи біологічних досліджень.** Живу матерію на різних рівнях організації досліджують також



різними методами. Основні з них – порівняльно-описовий, експериментальний, моніторинг і моделювання.

**Порівняльно-описовий метод** започаткував видатний давньогрецький учений Арістотель. Ним користуються, описуючи нові для науки види організмів, процеси чи явища. Однак часто замало просто описати новий вид організмів, процес, явище тощо. Щоб установити своєрідність об'єкта досліджень, процесу або явища, їх потрібно порівняти з іншими подібними об'єктами, процесами чи явищами. Наприклад, відкриття нових для науки видів неможливе без аналізу їхньої подібності та відмінностей від близьких форм. Порівняння об'єктів дослідження можливе лише в межах певного рівня організації (наприклад, порівняння певної молекули з іншими молекулами, клітини з іншими клітинами, виду з іншими видами тощо).

**Експериментальний метод** полягає в тому, що дослідники активно втручаються в будову об'єктів досліджень, перебіг різних процесів, явищ і спостерігають наслідки такого втручання. Експерименти бувають польові та лабораторні. *Польові експерименти* здійснюють у природних умовах: наприклад, на експериментальних ділянках вивчають дію певних речовин на ріст рослин, випробовують заходи боротьби зі шкідниками, досліджують вплив господарської діяльності людини на природні екосистеми тощо. *Лабораторні експерименти* проводять у спеціально обладнаних приміщеннях (*лабораторіях*). У таких дослідженнях часто використовують піддослідні організми, яких учені штучно розводять та утримують.

**Моніторинг** – постійне стеження за перебігом певних процесів в окремих популяціях, екосистемах, біосфері в цілому чи за станом певних біологічних об'єктів. Моніторинг дає змогу визначати стан певних об'єктів, популяцій, екосистеми та біосфери в цілому, прогнозувати можливі негативні зміни, аналізувати їхні наслідки і своєчасно розробляти заходи щодо їхньої охорони.

Наприклад, здійснюючи моніторинг умісту карбон(IV) оксиду (вуглекислого газу) в атмосфері, можна припустити, як це впливатиме на зміни клімату нашої планети.

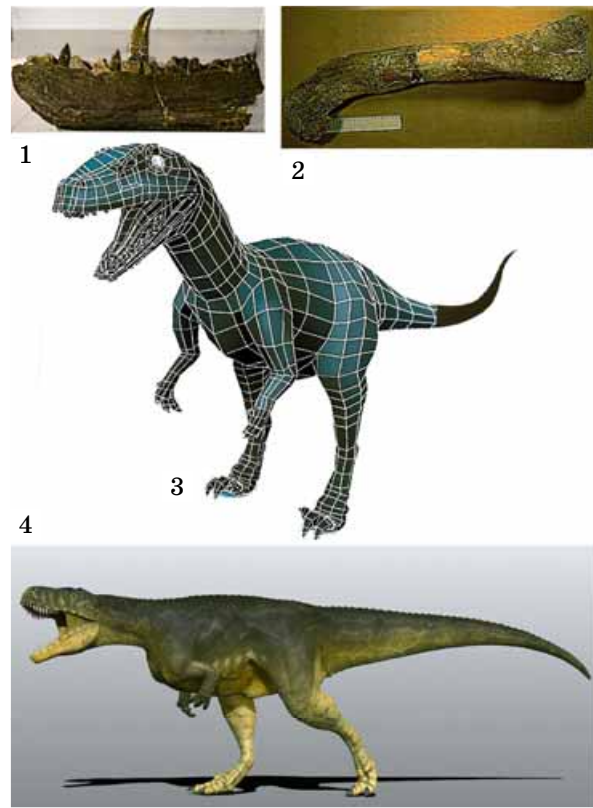
**Моделювання** – метод дослідження та демонстрування структур, функцій, процесів за допомогою їхньої спрощеної імітації (мал. 4). Моделювання є обов'язковим етапом багатьох наукових досліджень, бо дає змогу вивчати об'єкти та процеси, які неможливо безпосередньо спостерігати чи відтворювати експериментально. За допомогою моделювання вчені прогнозують можливі наслідки різних процесів або явищ, створюють певні ідеальні об'єкти чи явища й порівнюють з ними реальні. Результати, отримані за допомогою згаданих методів, обробляють, використовуючи математично-статистичний аналіз.

**Математичне моделювання в біології** – сукупність математичних методів аналізу складних кількісних взаємозв'язків і закономірностей у біологічних системах. Його здійснюють за допомогою комп'ютерної техніки, яка дає змогу зберігати величезні обсяги інформації і швидко їх обробляти з використанням спеціальних програм. За допомогою математичного моделювання, наприклад, можна вивчати взаємозв'язки організмів у екосистемах

**Рівні організації життя** – ієрархічно підпорядковані рівні організації біологічних систем, що відображають ступінь їх ускладнення в процесі еволюції. Усі рівні організації живої матерії взаємопов'язані між собою: нижчі рівні організації живої матерії входять до складу вищих

## Цікаво знати

Під час проведення палеонтологічних досліджень учені часто виявляють лише окремі кістки (або навіть фрагменти кісток) тварин, які мешкали в колишні геологічні епохи. Використовуючи сучасні комп'ютерні технології, учені можуть створювати повні 3D моделі таких істот.



Мал. 4. 1 – фрагмент нижньої щелепи хижого динозавра мегалозавра, який пересувався на задніх кінцівках (жили в середині юрського періоду (181–169 млн років тому); частини скелетів знайдені в Англії, Франції та Португалії); 2 – стегнова кістка мегалозавра; 3 – один з етапів створення тривимірної моделі мегалозавра; 4 – відтворений вигляд мегалозавра

## ЕТАПИ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Послідовно висувають робочу гіпотезу та формулюють запитання, відповіді на які повинна дати створювана модель

Розробляють відповідний математичний апарат; за його допомогою отримують певні дані

Порівнюють одержані дані з результатами спостережень та експериментів, перевіряючи правильність моделі

(як-от, залежність чисельності популяції рослиноїдної тварини від чисельності популяції хижака, залежність змін чисельності популяцій від кліматичних змін чи впливу діяльності людини).

**Статистичний метод.** Маса зібраних фактів, не оброблених статистично, всебічно не проаналізованих, не дає змоги виявити всю інформацію, яка в цих фактах міститься, встановити певні закономірності. Математична обробка потрібна для визначення ступеня достовірності отриманих результатів і правильного їхнього узагальнення. Застосування математично-статистичних методів визначило перетворення біології з описової науки на точну, яка базується на чіткому математичному аналізі одержаних даних.

Статистично достовірну закономірність у біології можна вважати **правилом** або **науковим законом**. **Біологічні закони** – закономірності, що зазвичай не мають винятків і можуть тлумачитись лише певним чином (*пригадайте закони, які ви вивчали з інших предметів*). Із часом ви ознайомитеся з основними біологічними законами, зокрема екологічними та законами спадковості.

**Значення біології у житті людини.** Біологія нині відіграє надзвичайно важливу роль в існуванні людського суспільства. Результати біологічних досліджень потрібні для:

- ✓ збереження здоров'я людини, а також лікування та профілактики захворювань свійських тварин;
- ✓ забезпечення людини продовольством;
- ✓ збереження та поліпшення навколишнього природного середовища й раціонального використання природних ресурсів.

За участі вчених-біологів досягнуто значного прогресу у своєчасному діагностуванні різноманітних захворювань людини, свійських тварин і культурних рослин, їхній профілактиці та лікуванні. Так, використовуючи біологічно активні речовини, які виробляють різноманітні організми, дослідники створюють сучасні ефективні ліки – антибіотики, гормони тощо. Для цього застосовують такі методи, як генетична (генна) та клітинна інженерія. Сучасні дослідження в галузі молекулярної біології та генетики дали змогу розшифрувати склад генетичної інформації багатьох організмів і визначити, де у молекулах ДНК розташовані ті чи інші гени, а також з'ясувати їхні функції. Це може допомогти виявляти дефектні гени, які спричиняють спадкові захворювання, та замінювати їх на нормальні копії.

Біологія – наука, покликана своїми дослідженнями переконати людей у важливості дбайливого ставлення до природи, потребі жити за її законами, не намагаючись їх змінити в будь-який спосіб. Сучасна екологія є теоретичною базою для охорони навколишнього природного середовища. Завдяки досягненням у галузі біотехнології створено сучасні методики, які дають змогу використовувати різні види мікроорганізмів для очищення навколишнього середовища від забруднення.

Біологія має тісні зв'язки з іншими природничими та гуманітарними науками (мал. 5).

Біологію не даремно називають провідною наукою XXI ст. Без сучасних досягнень біології неможливий прогрес

## Основні напрями застосування результатів сучасних біологічних досліджень

Забезпечення населення планети продовольством

Охорона здоров'я людини та свійських тварин

Охорона навколишнього середовища та збереження видо- різноманіття організмів

<b>Науки, що виникли в результаті взаємодії біології з іншими науками</b>	
<b>Біохімія</b>	наука про хімічний склад живих організмів і хімічні процеси, які в них відбуваються; виникла унаслідок взаємодії біології з хімією
<b>Біофізика</b>	наука про фізичні процеси, які перебігають у біологічних системах різного рівня організації та про вплив на біологічні об'єкти різних фізичних чинників; виникла внаслідок взаємодії біології з фізикою
<b>Біогеографія</b>	наука про поширення живих організмів; результат взаємодії біології з географією
<b>Соціоекологія</b>	вивчає закономірності взаємодії людського суспільства та навколишнього природного середовища; виникла внаслідок взаємодії екології з гуманітарними науками
<b>Антропология</b>	наука про походження та еволюцію людини як особливого біосоціального виду; виникла внаслідок взаємодії біології людини з гуманітарними науками
<b>Медицина</b>	наука про здоров'я людини та його збереження, запобігання захворюванням, самі захворювання, методи їхньої діагностики та лікування; використовує дані біологічних наук про людину (анатомії, фізіології, генетики людини тощо)
<b>Космічна біологія</b>	вивчає особливості функціонування живих істот в умовах космічних апаратів; сформувалася завдяки успіхам різних природничих наук (фізики, математики, кібернетики, хімії та інших)
<b>Біоніка</b>	досліджує особливості будови та життєдіяльності організмів з метою створення різних технічних систем і приладів
<b>Радіобіологія</b>	наука про вплив різних видів іонізуючого випромінювання на живі системи різних рівнів

Мал. 5. Приклади взаємозв'язків біології з іншими науками.  
Завдання. Використовуючи різні джерела інформації, доповніть схему

аграрних наук, охорони здоров'я, біотехнології тощо. Утім, хоча біологія і досягла значних успіхів у вивченні живої природи, перед нею ще багато невирішених проблем. Можливо, саме вам пощастить розкрити невідомі таємниці життя на нашій планеті.

### Ключові терміни та поняття:

біологія, рівні організації живої матерії, моніторинг, описовий та експериментальний методи, моделювання.

### Перевірте здобуті знання

1. Хто і коли запропонував термін «біологія»? 2. Які основні біологічні науки ви знаєте? 3. З якими іншими науками взаємодіє біологія? 4. Яке значення біології для існування людського суспільства? 5. Які ви знаєте рівні організації живої матерії? 6. Які ви знаєте методи досліджень у біології?

### Поміркуйте

1. Які винаходи людства сприяли розвитку біології?
2. Чим можна пояснити різноманітність рівнів організації живої матерії?

### Обговоріть у групах

Використовуючи різноманітні джерела інформації, схарактеризуйте основні етапи розвитку біології.

## Коротко про головне

Біологія – комплекс наук, які досліджують різні прояви життя. Сучасна біологія має тісні зв'язки як з іншими природничими науками, так і з гуманітарними.

Жива матерія може перебувати на різних рівнях організації: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційно-видовому, екосистемному і біосферному. Усі рівні організації живої матерії взаємопов'язані між собою.

Живу матерію на тих чи інших рівнях організації досліджують різними методами: порівняльно-описовим, експериментальним, за допомогою моніторингу та моделювання.

Отримані внаслідок досліджень результати обробляють за допомогою математично-статистичного аналізу.



## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Назвіть прізвища вчених, які запропонували термін «біологія»: а) К. Лінней і Ж.-Б. Ламарк; б) Т. Шванн і М. Шлейден; в) Ж.-Б. Ламарк і Г.Р. Тревіранус; г) Ч. Дарвін і К. Бер.
2. Укажіть, як називають здатність біологічних систем зберігати відносну сталість складу та властивостей свого внутрішнього середовища: а) фагоцитоз; б) метаболізм; в) гомеостаз; г) адаптація.
3. Укажіть біологічні системи, які перебувають на молекулярному рівні організації живої матерії: а) гриби; б) рослини; в) ціанобактерії; г) віруси.
4. Визначте найвищий рівень організації живої матерії: а) популяційно-видовий; б) біосферний; в) організмівий; г) екосистемний.
5. Назвіть метод, який учені застосовують, описуючи нові види: а) експериментальний; б) порівняльно-описовий; в) математичне моделювання; г) екологічний моніторинг.
6. Назвіть біологічні системи, яким властивий організмівий рівень організації живої матерії: а) екосистеми; б) дріжджі; в) популяції; г) віруси.
7. Назвіть біологічні системи, які належать до надорганізмівих біологічних систем: а) вольвокс; б) віруси; в) популяції; г) форамініфери.

*Утворіть логічні пари*

8. Установіть відповідність між об'єктами, процесами та явищами й рівнями організації живої матерії, яким вони відповідають.
- |                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| 1 поділ клітини                    | <b>А</b> молекулярний |
| 2 глобальний колообіг речовин      | <b>Б</b> клітинний    |
| 3 жаба гостроморда                 | <b>В</b> організмівий |
| 4 вірус імунодефіциту людини (ВІЛ) | <b>Г</b> екосистемний |
|                                    | <b>Д</b> біосферний   |

*Запитання з відкритою відповіддю*

9. Що спільного та відмінного в будові та функціонуванні клітин одноклітинних організмів і клітин, які входять до складу тих чи інших тканин?
10. Що спільного та відмінного в проявах подразливості в багатоклітинних рослин і багатоклітинних тварин?



# ТЕМА 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- хімічний склад живих організмів;
- властивості й функції неорганічних сполук живих організмів;
- молекулярний рівень організації живої матерії;
- органічні речовини;
- будову, властивості та функції основних груп органічних сполук: ліпідів, вуглеводів, білків, нуклеїнових кислот, біологічно активних речовин;
- зв'язок між будовою молекул органічних речовин та їхніми функціями; роль органічних сполук у забезпеченні життєдіяльності організмів.

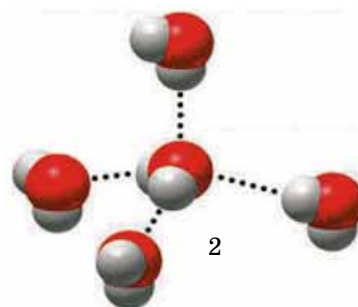
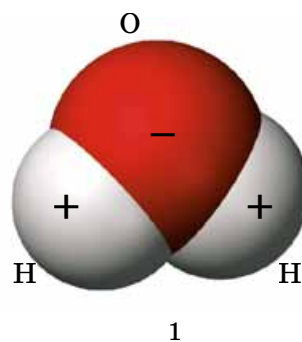
## §2. ВОДА, ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ ТА ФУНКЦІЇ У СКЛАДІ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ. ІНШІ НЕОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

*Пригадайте*, що спільного між живою та неживою природою. Який хімічний зв'язок називають ковалентним?

Ви вже знаєте, що науку, яка вивчає хімічний склад живих організмів, будову, властивості та роль виявлених у них сполук, шляхи їхнього виникнення та перетворення, називають *біологічною хімією*, або *біохімією*. Одне з головних завдань біохімії – з'ясування механізмів регуляції життєдіяльності клітин та організму в цілому, які забезпечують єдність процесів обміну речовин і перетворення енергії в організмі.

Серед усіх хімічних сполук виняткова роль у забезпеченні процесів життєдіяльності організмів належить воді. Вода утворює основу внутрішнього середовища організмів. У водному середовищі відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії. Вода бере безпосередню участь у реакціях розщеплення органічних сполук. Уміст води в організмах становить 60–70 %, а в деяких випадках до 98 % (як-от, у медуз). Цитоплазма більшості клітин містить приблизно 80 % води.

**Структура, властивості та функції води.** Воді притаманні унікальні хімічні й фізичні властивості. Вам відомо, що молекула води ( $H_2O$ ) складається з двох атомів Гідрогену, сполучених з атомом Оксигену *ковалентними зв'язками* (мал. 6, 1). На полюсах молекули води є позитивний і негативний заряди, тобто вона *полярна*. Завдяки цьому дві сусідні молекули води зазвичай взаємно притягуються за рахунок сил електростатичної взаємодії між негативним зарядом атома Оксигену однієї молекули та позитивним зарядом атома Гідрогену іншої. При цьому виникає *водневий зв'язок* (мал. 6, 2), який у 15–20 разів слабший за ковалентний. Коли вода перебуває в рідкому стані, її молекули безперервно рухаються, і водневі зв'язки постійно то розриваються, то виникають знову. Докладніше про водневий зв'язок ви незабаром дізнаєтесь на уроках хімії.



Мал. 6. 1. Молекула води складається з атома Оксигену та двох атомів Гідрогену (масштабна модель).

2. Схема утворення водневих зв'язків між молекулами води (позначені крапками)

## Цікаво знати

Утворення кристаликів льоду в клітинах організмів руйнує клітинні структури. Це призводить до загибелі клітин і всього організму. Саме тому ссавців і людину неможливо заморозити, а потім – розморозити без утрати здатності відновити процеси життєдіяльності.

## Цікаво знати

Вода під впливом розчинених у ній речовин може змінювати свої властивості, зокрема точку температури замерзання і кипіння, що має важливе біологічне значення. Наприклад, у клітинах рослин з настанням зими підвищується концентрація розчинів вуглеводів, членистоногих – гліцерину, риб – білків тощо. Це знижує температуру, за якої вода переходить у твердий стан, що запобігає промерзанням. Уявіть: серед комах відомі мухи-льодовичники (мал. 7), здатні зберігати активність на сніговому покриві (вони мешкають і в Україні).



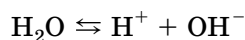
Мал. 7. Муха-льодовичник (ряд Скорпіонові мухи)

🌿 **Теплоємність** – кількість тепла, потрібна для нагрівання тіла або середовища на 1 °С.

Частина молекул води формує водну оболонку навколо деяких сполук (наприклад, білків), запобігаючи їхній взаємодії. Таку воду називають *зв'язаною*, або *структурованою* (4–5 % загальної кількості води в організмах). Решта 95–96 % води має назву *вільної*: вона не пов'язана з іншими сполуками.

*Залежно від температури середовища вода здатна змінювати свій стан.* За зниження температури вода з рідкого стану може переходити у твердий, а за підвищення – у газуватий.

*Молекулам води притаманна здатність до іонізації*, коли вони розщеплюються на йони Гідрогену та гідроксид-іону. При цьому між молекулами води та йонами встановлюється динамічна рівновага:



*Вода визначає фізичні властивості клітин* – їхній об'єм і внутрішньоклітинний тиск (*тургор*). Порівняно з іншими рідинами, у неї відносно високі температури кипіння, плавлення та випаровування, що зумовлене взаємодією між сусідніми молекулами води.

*Вода – універсальний розчинник.* Тому всі речовини поділяють на такі, що добре розчиняються у воді (*гідрофільні*, або полярні), та нерозчинні (*гідрофобні*, або неполярні). До гідрофільних сполук належить багато кристалічних солей, наприклад кухонна сіль (NaCl), а також глюкоза, фруктоза тощо. Вони часто містять полярні (частково заряджені) групи, здатні взаємодіяти з молекулами води. Гідрофобні речовини (майже всі ліпіди, деякі білки) містять неполярні групи, які не взаємодіють з молекулами води ( $-\text{CH}_2$ ,  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ). Такі сполуки розчиняються переважно в неполярних розчинниках (хлороформ, бензол).

Проникнення речовин у клітину та виведення з неї продуктів життєдіяльності можливе здебільшого в розчиненому стані.

*Вода також бере участь у транспорті різних сполук* в організмах. Розчини органічних і неорганічних речовин рослини транспортують по провідних тканинах або міжклітинниках. У тварин таку функцію виконують кров, лімфа, тканинна рідина тощо.

*Вода бере участь у складних біохімічних перетвореннях.* Наприклад, за участі води розщеплюються органічні сполуки з приєднанням до місць розривів йонів  $\text{H}^+$  та  $\text{OH}^-$ . Перебіг багатьох біологічних процесів можливий саме завдяки утворенню й руйнуванню водневих зв'язків.

*З водою пов'язана здатність організмів регулювати свій тепловий режим.* Їй властива висока теплоємність, тобто здатність поглинати тепло за незначних змін власної температури. Завдяки цьому вода запобігає різким змінам температури у клітинах та організмі в цілому за різких її коливань у навколишньому середовищі. Оскільки на випаровування води витрачається багато теплоти, організми в такий спосіб захищають себе від перегрівання (наприклад, випаровування води в рослин, потовиділення у ссавців, випаровування вологи зі слизових оболонок тварин).



Завдяки високій теплопровідності *вода забезпечує рівномірний розподіл теплоти між тканинами та органами організму* через кровообіг, лімфообіг, циркуляцію рідини порожнини тіла у тварин, рух розчинів по тілу рослин тощо.

**Елементарний хімічний склад живих організмів.** З-понад 120 різних типів атомів хімічних елементів в організмах виявляють понад 60. Одні з них є обов'язковими в усіх організмів, інші – лише в окремих (див. таблицю 1).

Хімічні елементи, частка яких становить майже 99,9 %, наприклад, Гідроген, Карбон, Нітроген, Оксиген, Кальцій, Калій, Натрій, Ферум, Магній, Сульфур, Хлор, Фосфор, належать до **макроелементів**. Близько 60 хімічних елементів – до **мікроелементів** (Йод, Кобальт, Манган, Купрум, Молібден, Цинк тощо), адже їхній уміст у клітині становить лише від  $10^{-12}$  % до  $10^{-3}$  %. Гідроген, Карбон, Нітроген та Оксиген називають **органогенними елементами**, оскільки саме їх найбільше у складі органічних сполук (сумарна частка становить майже 98 % хімічного вмісту живих істот).

Хімічні елементи, що містяться в клітині, входять до складу органічних і неорганічних сполук або перебувають у вигляді йонів.

В організмах не виявлено жодного з хімічних елементів, якого б не було в неживій природі. Це одне зі свідчень **Єдності живої і неживої природи**.

### Хімічні елементи у складі біологічних систем

H, C, N, O, Ca, K, Fe, Mg, Na, S, P, Cl  
МАКРОЕЛЕМЕНТИ

I, Co, Mn, Cu, Zn, Mo тощо  
МІКРОЕЛЕМЕНТИ

Таблиця 1

### Деякі хімічні елементи у складі організмів та їхнє біологічне значення

Елемент і його символ	Уміст від маси клітини, %	Біологічне значення
Оксиген (O)	65–75	Входить до складу молекул води, багатьох неорганічних та органічних сполук; кисень, який під час дихання надходить в організм живої істоти, забезпечує окиснення різних органічних сполук
Карбон (C)	15–18	Входить до складу молекул усіх органічних і багатьох неорганічних сполук. Завдяки CO <sub>2</sub> відбувається повітряне живлення здатних до фотосинтезу автотрофних організмів: вони використовують Карбон для синтезу власних органічних речовин
Гідроген (H)	8–10	Входить до складу молекул води, інших неорганічних та органічних сполук
Нітроген (N)	1,5–3,0	Входить до складу білків, нуклеїнових кислот, АТФ та деяких інших біомолекул. Атоми Нітрогену входять до складу мінеральних сполук, які вбирають з ґрунту рослини. З атмосфери його можуть засвоювати бульбочкові бактерії, деякі ціанобактерії. Нітроген входить до складу полісахариду хітину – складової клітинної оболонки грибів, кутикули членистоногих, що надає їм додаткової міцності
Фосфор (P)	0,2–1,0	Входить до складу деяких білків, нуклеїнових кислот, інших біомолекул; солі ортофосфатної кислоти – компонент скелетів різних тварин. Ортофосфатна кислота бере участь у синтезі АТФ (універсального накопичувача енергії в клітині). Нестача сполук Фосфору негативно позначається на формуванні скелета, синтезі багатьох важливих органічних речовин. Сполуки Фосфору сприяють швидшому дозріванню плодів і забезпечують зимостійкість рослин

Елемент і його символ	Уміст від маси клітини, %	Біологічне значення
Калій (K)	0,15–0,4	Один з основних позитивно заряджених йонів живих організмів; бере участь у забезпеченні транспорту сполук через клітинні мембрани, регуляції роботи серця (підвищена концентрація йонів Калію послаблює її); створенні електричного потенціалу на мембранах клітин
Сульфур (S)	0,15–0,2	Входить до складу білків (зокрема, кератину) і деяких інших органічних речовин. Залишки сульфатної кислоти, приєднуючись до нерозчинних у воді сполук, забезпечують їхню розчинність. Це сприяє виведенню таких речовин у розчиненому стані з клітин і організму
Хлор (Cl)	0,05–0,1	Основний негативно заряджений йон організмів; входить до складу хлоридної кислоти (складової шлункового соку людини і багатьох тварин), плазми крові. Хлоридна кислота створює кисле середовище в шлунку хребетних тварин і людини, забезпечуючи активність ферментів шлункового соку
Кальцій (Ca)	0,04–2,0	Входить до складу зубів, кісток і черепашок; у йонній формі бере участь у регуляції обміну речовин, скорочень скелетних м'язів, діяльності серця (підвищена концентрація йонів Кальцію її посилює); необхідний для забезпечення зсідання крові у людини та ссавців. Нестача сполук Кальцію у дітей може спричинити викривлення кісток – рахіт
Магній (Mg)	0,02–0,03	Як небілкова частина входить до складу певних ферментів. Атом Магнію входить до складу молекули хлорофілу. За нестачі цього хімічного елемента порушуються процеси фотосинтезу
Натрій (Na)	0,02–0,03	Один з провідних внутрішньоклітинних позитивно заряджених йонів; бере участь у забезпеченні транспорту сполук через клітинні мембрани; входить до складу плазми крові: сталий уміст натрій хлориду (0,9 %) у плазмі крові – необхідна складова підтримання гомеостазу нашого організму
Ферум (Fe)	0,01–0,015	Входить до складу деяких біомолекул (дихального пігменту – гемоглобіну, білка м'язів – міоглобіну, який зв'язує кисень, що приносить кров, складних ферментів тощо)
Цинк (Zn)	0,0003	Компонент деяких ферментів і гормонів (цинк потрібний для утворення гормонів підшлункової залози)
Купрум (Cu)	0,0002	Входить до складу деяких ферментів, дихального пігменту деяких безхребетних тварин – гемоціаніну. Купрум потрібен для процесів кровотворення
Йод (I)	0,0001	Є складовою гормонів щитоподібної залози (тироксину, трийодтироніну). Недостатнє надходження Йоду в організм людини з їжею чи водою може спричинити порушення синтезу цих гормонів
Флуор (F)	0,0001	Входить до складу емалі зубів, надаючи їй міцності. Нестача цього елемента в організмі призводить до руйнування емалі зубів – карієсу

## **Коротко про головне**

Вода утворює основу внутрішнього середовища організмів, у якому відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії. Вода бере безпосередню участь у реакціях розщеплення органічних сполук.

## **Ключові терміни та поняття:**

макроелементи, мікроелементи, водневий зв'язок, гідрофільні, гідрофобні сполуки.

## **Перевірте здобуті знання**

1. Яка будова молекули води? 2. Чому воду вважають універсальним розчинником? 3. Які властивості води як основи внутрішнього середовища живих організмів? 4. Яка роль води в процесах обміну

речовин у живих організмах? 5. Які сполуки належать до гідрофільних, а які – до гідрофобних? 6. На які групи поділяють хімічні елементи залежно від їхнього відсоткового вмісту в складі живих істот? 7. Які хімічні елементи відносять до макроелементів? Наведіть приклади їхніх функцій у складі живих істот.

### Поміркуйте

1. Чому вчені вважають, що життя на нашій планеті виникло саме у водному середовищі? 2. Про що може свідчити той факт, що в організмах живих істот не трапляються хімічні елементи, яких би не було в неживій природі?

### Творче завдання

Використовуючи різні джерела інформації, підготуйте повідомлення про воду як важливий природний ресурс.

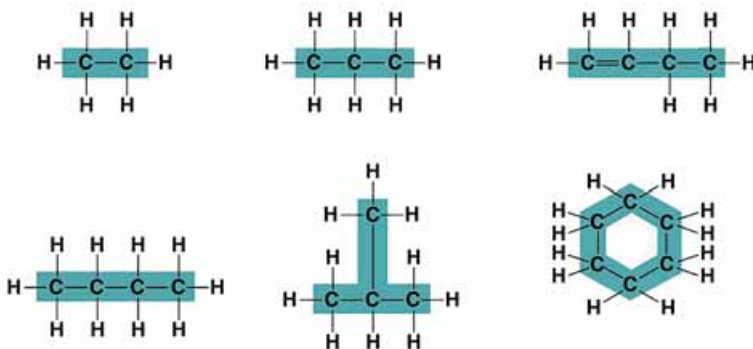
## §3. ПОНЯТТЯ ПРО ОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ. ЛІПІДИ ТА ВУГЛЕВОДИ

*Пригадайте*, які елементи відносять до органогенних. Чим відрізняються між собою гідрофільні та гідрофобні сполуки? Які функції жирів у живих організмах? Які функції в організмі людини виконують гормони кори надниркових залоз і статеві гормони? Що таке глікокалікс?

Ви вже знаєте з курсу хімії, що всі хімічні сполуки поділяють на неорганічні та органічні (*пригадайте*, чим вони відрізняються).

**Органічні речовини** – це сполуки Карбону з іншими елементами, що виникли в живих істотах. У складі органічних сполук переважають органогенні хімічні елементи: Гідроген, Оксиген, Нітроген і Карбон. Ковалентно зв'язані атоми Карбону утворюють ланцюжки, кільця або ряди кілець – так званий **скелет молекули** (мал. 8).

До складу клітин входять різні органічні сполуки: ліпиди, вуглеводи, білки, нуклеїнові кислоти тощо. Їхні молекули можуть мати високу молекулярну масу, складаючись з великої кількості однакових чи різних за хімічною будовою ланок (простих молекул) – **мономерів**. Такі сполуки називають **біополімерами** або **макромолекулами**. Наприклад, молекули білків складаються із залишків амінокислот; молекули нуклеїнових кислот – із залишків нуклеотидів, а складних вуглеводів (полісахаридів) – із залишків моносахаридів (*див. таблицю 2*).



Мал. 8. Скелети різних органічних сполук, утворені атомами Карбону. Зверніть увагу, кожен атом Карбону може утворювати чотири ковалентних зв'язки з іншими атомами та сполуками

Вода визначає фізичні властивості клітин – їхній об'єм і внутрішньоклітинний тиск (тургор).

Вода – універсальний розчинник. Речовини, здатні добре розчинятися у воді, називають гідрофільними (полярними), нерозчинні у воді – гідрофобними (неполярними).

Вода відіграє важливу роль у транспорті різних сполук, бере участь у складних біохімічних перетвореннях, процесах терморегуляції організмів.

Хімічний склад живих організмів, на відміну від об'єктів неживої природи, відносно сталий.

Залежно від вмісту в організмах хімічні елементи поділяють на макро- (до 99,9 %) та мікроелементи (менш ніж 0,1 %). До макроелементів належать: Гідроген, Карбон, Нітроген, Оксиген, Кальцій, Калій, Натрій, Ферум, Магній, Сульфур, Хлор, Фосфор. Близько 60 хімічних елементів належать до групи мікроелементів (Йод, Кобальт, Манган, Купрум, Молібден, Цинк тощо).



Мал. 9. Данилевський Олександр Якович (1983–1923)

### Цікаво знати

**Данилевський Олександр Якович** – відомий біохімік, фармаколог і фізіолог, якого вважають одним із засновників біохімії (мал. 9). Народився в м. Харкові, де навчався в Харківському університеті (тепер – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна). Основні напрями його наукових досліджень – хімія білків (зокрема, ферментів) та питання раціонального харчування.

### Основні типи органічних сполук, що входять до складу організмів

Органічні сполуки	Складові	Функція
Ліпіди: жири	Залишки триатомного спирту гліцеролу і жирних кислот	Структурна, енергетична, захисна, регуляторна
воски	Залишки одноатомних спиртів і жирних кислот	
стероїди	Поліциклічні гідрофобні спирти	
Біополімери: полісахариди	Моносахариди	Структурна, енергетична
білки	Амінокислоти	Структурна, енергетична, захисна, каталітична (ферментативна), сигнальна, рухова, регуляторна, транспортна
нуклеїнові кислоти	Нуклеотиди	Кодування та зберігання спадкової інформації, участь у біосинтезі білка

Особливу групу органічних сполук становлять *біологічно активні речовини*: ферменти, гормони, вітаміни тощо. Вони впливають на процеси обміну речовин і перетворення енергії. Багато з них забезпечують гуморальну регуляцію процесів життєдіяльності різноманітних істот.

Огляд основних класів органічних сполук почнемо з ліпідів.

**Різноманітність ліпідів.** Ліпіди – переважно гідрофобні органічні сполуки, які розчиняються в неполярних розчинниках (ефірі (етері), хлороформі, ацетоні та ін.).

Серед ліпідів розрізняють прості та складні. До **простих ліпідів** належать речовини, які побудовані зі сполучених між собою залишків жирних кислот і спиртів, наприклад жири та воски.

**Жири** – складні речовини, утворені триатомним спиртом гліцеролом і трьома залишками жирних кислот. Вони відкладаються у вигляді жирових включень у рослинних і тваринних клітинах (наведіть приклади організмів, у клітинах яких відкладаються жири).

**Воски** виконують здебільшого захисну функцію. У ссавців віск виділяють сальні залози шкіри: він надає шкірі еластичності та зменшує зношення волосяного покриву. У водоплавних птахів віск виділяє куприкова залоза, розташована над основою хвоста. Її секрет надає пір'яному покриву водовідштовхувальних властивостей. Восковий шар вкриває листки наземних рослин (мал. 10, 1) і поверхню зовнішнього скелета членистоногих – мешканців суходолу, запобігаючи надлишковому випаровуванню води з поверхні тіла. Добре розвинені восковидільні залози є в черевці медоносних бджіл-робітниць. Як ви пам'ятаєте, з воску бджоли будують свої стільники (мал. 10, 2).

**Складні ліпіди** – сполуки, які утворюються внаслідок взаємодії молекул простих ліпідів з іншими речовинами. До них належать ліпопротеїди (сполуки ліпідів і білків), гліколіпіди (ліпідів і вуглеводів), фосfolіпіди (ліпідів і ортофосфатної кислоти).



Мал. 10. Воски вкривають поверхню плодів і входять до складу кутикули листків (1); з восків медоносна бджола будує стільники (2)



**Стероїди** – біологічно активні речовини тваринного, рідше – рослинного походження. Стероїдну природу, зокрема, мають статеві гормони людини – естрогени (жіночі) та андрогени (чоловічі), а також гормони надниркових залоз (кортикостероїди). Один з найвідоміших стероїдів – *холестерин*. В організмі людини він слугує попередником під час синтезу статевих гормонів. Холестерин синтезується у печінці і, як вам уже відомо, входить до складу жовчі.

**Функції ліпідів.** Одна з найважливіших функцій ліпідів – *енергетична*. У разі повного розщеплення 1 г жирів виділяється 38,9 кДж енергії.

Не менш важлива *будівельна*, або *структурна, функція* ліпідів. Так, фосfolіпіди є важливою складовою клітинних мембран (мал. 11). У цих сполук одна частина виявляє гідрофільні властивості, інша – гідрофобні.

**Резервна функція** полягає в тому, що ліпіди містяться в цитоплазмі клітин у вигляді включень (наприклад, клітини жирової тканини, насіння соняшника тощо). Запаси жирів в організмі можуть використовуватись по-різному. По-перше, як резервні поживні речовини. По-друге, як *джерело метаболічної води*: під час окиснення 1 г жирів утворюється майже 1,1 г води.

Запаси жиру в організмі можуть виконувати й *захисну функцію*. Зокрема, захищають внутрішні органи від механічних ушкоджень. Накопичуючись у підшкірній жировій клітковині тварин – мешканців прохолодного клімату (китів, тюленів, пінгвінів та ін.), жири захищають організм від дії низьких температур (*теплоізоляційна функція*). Ця функція жирів зумовлена їхньою низькою теплопровідністю.

Важлива й *регуляторна функція ліпідів*. Ліпідну природу мають деякі біологічно активні речовини: стероїдні гормони, вітаміни групи D. Вони беруть участь у регуляції життєвих функцій організмів: обміну речовин у тварин і людини, процесу линяння у комах тощо.

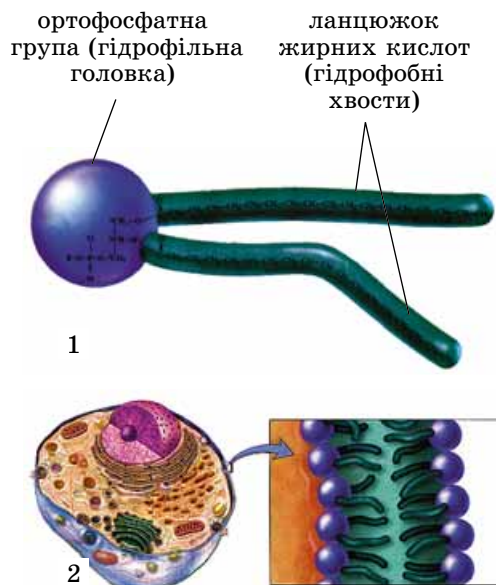
**Будова та властивості вуглеводів.** Вуглеводи – це сполуки, у яких співвідношення елементів С, Н, О здебільшого відповідають формулі  $(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n)$ , де  $n$  дорівнює трьом і більше. У клітинах тварин вуглеводи містяться в незначній кількості (близько 1 % сухої маси, у клітинах печінки та м'язів – до 5 %). У рослинних клітинах їхній уміст значно більший (до 60–90 %).

Залежно від кількості мономерів, що входять до складу молекул, вуглеводи поділяють на моносахариди, олігосахариди та полісахариди.

**Моносахариди** здебільшого мають загальну формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ . Вони можуть містити від 3 до 10 атомів Карбону. У природі найпоширеніші моносахариди, що містять 5 (рибоза і дезоксирибоза) та 6 атомів Карбону (глюкоза, фруктоза та ін.) тощо (мал. 12). Моносахариди мають солодкий присмак, добре розчиняються у воді.

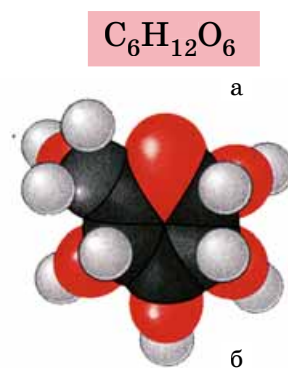
**Олігосахариди** – полімерні вуглеводи, у яких моносахаридні ланки (від двох до десяти) з'єднані ковалентним зв'язком.

Досить поширені *дисахариди*, утворені сполученням залишків двох молекул моносахаридів. Приклади дисахаридів: мальтоза (солодовий цукор), сахароза (бурюковий або тростинний цукор), лактоза (молочний цукор),

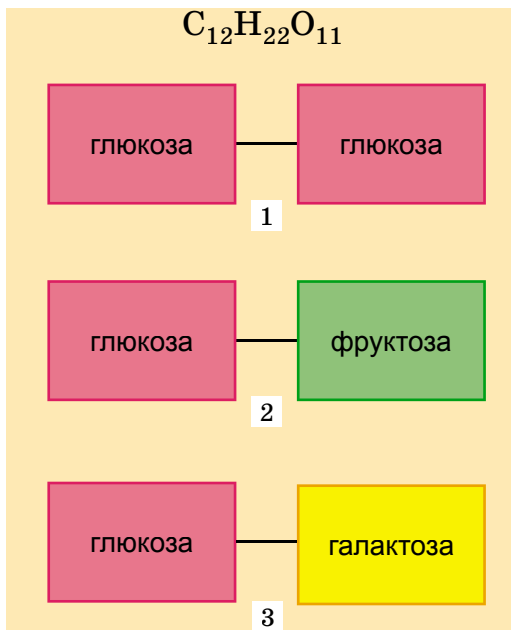


Мал. 11. 1. Будова молекули фосfolіпіду. 2. Розташування фосfolіпідів у складі клітинної мембрани

**Запам'ятаємо:** моносахариди, до складу яких входить п'ять атомів Карбону, називають пентозами, а шість – гексозами.



Мал. 12. Моносахарид глюкоза: а – молекулярна формула; б – просторова модель



Мал. 13. Схема будови дисахаридів  $C_{12}H_{22}O_{11}$ : 1 – мальтоза; 2 – сахароза; 3 – лактоза

## Коротко про головне

Органічними сполуками називають речовини, скелет яких утворений атомами Карбону, між якими утворюються міцні ковалентні зв'язки.

До складу клітин входять різні органічні сполуки: ліпіди, вуглеводи, білки, нуклеїнові кислоти тощо. Часто їхні молекули мають високу молекулярну масу, тому їх називають макромолекулами. Високомолекулярні органічні сполуки у складі біологічних систем, які складаються з великої кількості однакових чи різних за хімічною будовою ланок (простих молекул – мономерів), називають біополімерами.

Ліпіди – переважно гідрофобні органічні сполуки. Вони виконують важливі біологічні функції: енергетичну; будівельну, або структурну; резервну; захисну; регуляторну.

Вуглеводи – сполуки Карбону та води, що здебільшого відповідають формулі  $(CH_2O)_n$ , де  $n$  дорівнює трьом і більше. Залежно від кількості мономерів їх поділяють на моносахариди, олігосахариди та полісахариди. Функції вуглеводів: енергетична; резервна; будівельна (структурна); захисна.

трегалоза (грибний цукор) (мал. 13). Вони мають солодкий присмак і також добре розчиняються у воді.

**Полісахариди** – це біополімери, молекулярна маса деяких з них може сягати кількох мільйонів. Приклади полісахаридів: крохмаль, целюлоза, глікоген, пектин, лігнін, хітин та ін. Вони майже не розчиняються у воді й не мають солодкого присмаку.

Вуглеводи можуть вступати у зв'язок з іншими сполуками. Такі вуглеводи називають складними. Приклади: глікопротеїди (сполуки вуглеводів з білками), гліколіпіди (сполуки вуглеводів з ліпідами).

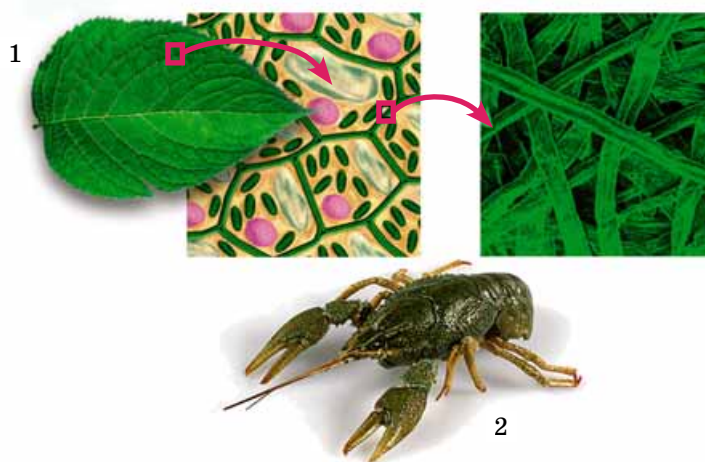
**Функції вуглеводів у біологічних системах.** **Енергетична функція:** під час розщеплення 1 г полісахаридів або олігосахаридів до моносахаридів виділяється енергія – 17,6 кДж.

**Резервна функція:** полісахариди можуть відкладатись у клітинах про запас, найчастіше у вигляді зерен. У клітинах рослин відкладається крохмаль, у клітинах тварин і грибів – глікоген. Ці запасні сполуки є резервом поживних речовин та енергії.

**Будівельна (структурна) функція:** вуглеводи входять до складу певних клітинних структур. Так, нітрогенумісний полісахарид хітин є у складі зовнішнього скелета членистоногих і клітинної оболонки справжніх грибів; клітинні оболонки рослин утворені із целюлози (мал. 14). Клітинні оболонки рослин і грибів, які містять полісахариди, захищають уміст клітин та підтримують їхню форму.

До складу надмембранних структур клітин тварин (глікокаліксу) входять вуглеводи, пов'язані з білками та ліпідами.

**Захисна функція:** полісахариди пектини здатні зв'язувати деякі токсини та радіонукліди, запобігаючи потрапленню їх у кров. Гепарин, який запобігає зсіданню крові, синтезує один з різновидів лейкоцитів. Крім того, гепарин підвищує проникність судин, стійкість організму до нестачі кисню, впливу вірусів і токсинів, знижує рівень цукру в крові. Тому його застосовують як лікувальний препарат.



Мал. 14. Будівельна (структурна) функція вуглеводів: 1 – целюлоза у складі клітинних оболонок рослин; 2 – хітин у складі кутикули членистоногих

### Ключові терміни та поняття:

органічні сполуки, макромолекули, біополімери, мономер, ліпіди, вуглеводи, моносахариди, олігосахариди, полісахариди.

### Перевірте здобуті знання

1. Чим органічні сполуки відрізняються від неорганічних? 2. Які ви знаєте основні класи органічних сполук? 3. Що таке ліпіди? Які основні групи ліпідів ви знаєте? 4. Які властивості та функції ліпідів у живих організмах? 5. Що таке вуглеводи? Які ви знаєте основні класи вуглеводів? 6. Які властивості та основні функції вуглеводів в організмах різних істот? 7. Які вуглеводи та ліпіди належать до складних?

### Поміркуйте

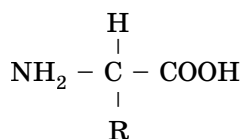
1. В організмі верблюдів відкладаються значні запаси жиру, що слугує джерелом метаболічної води. Але ці тварини мешкають у спекотних пустелях, де температура вдень може сягати до +40 °С і вище. Сині кити здебільшого мешкають у прохолодних водах і значні запаси підшкірного жиру захищають їхнє тіло від переохолодження. Чим відрізнятиметься характер розподілу жирових відкладень у тілі цих тварин? 2. Чому паразити внутрішніх органів тварин і людини (наприклад, кишечнику) часто запасують велику кількість глікогену, на відміну від тих видів, які мешкають на покривах хазяїна, у кровоносній чи дихальній системах?

## §4. БІЛКИ: БУДОВА ТА ВЛАСТИВОСТІ

*Пригадайте*, що таке макромолекули, мономер і біополімер. Яка роль білків у житті організмів? Що таке гемоглобін і ферменти, які їхні функції?

Серед органічних сполук білки відіграють провідну роль. Вони часто переважають у клітинах і в кількісному відношенні: приміром, у клітинах тварин становлять до 40–50 % сухої маси, а рослин – до 20–35 %.

**Будова білків.** Білки – високомолекулярні нітрогенумісні біополімери, мономерами яких є залишки амінокислот. **Амінокислоти** – це органічні кислоти, що містять **аміногрупу** ( $-\text{NH}_2$ ), якій притаманні лужні властивості, та **карбоксильну групу** ( $-\text{COOH}$ ) з кислотними властивостями. Ці групи, як і атом Гідрогену, зв'язані з одним і тим самим атомом Карбону. Є у складі амінокислот і групи, якими вони різняться. Їх називають **радикалами** (R-групами). У різних амінокислот вони неоднакові за хімічною будовою. Загальна формула амінокислоти має вигляд:



Загалом відомо понад 100 амінокислот, але до складу білків входить лише 20 стандартних, які є майже в усіх білках. Різні комбінації цих 20 амінокислот забезпечують нескінченну різноманітність білкових молекул (число можливих варіантів – близько  $2 \cdot 10^{18}$ ). Зокрема, в організмі людини трапляється понад 5 млн типів білкових молекул. Молекула кожного певного білка характеризується специфічним складом і послідовністю амінокислотних залишків, які надають їй неповторних функціональних властивостей.



Мал. 15. Палладін Олександр Володимирович (1885–1972)

### Цікаво знати

**Палладін Олександр Володимирович** – всесвітньвідомий український біохімік (мал. 15). Засновник української школи біохіміків. Основні наукові праці присвячені біохімії нервової системи і м'язової діяльності, харчування, біохімії вітамінів. У роки Другої світової війни під його керівництвом було почато розроблення ліків, які сприяли припиненню кровотечі та якнайшвидшому загоюванню ран, зокрема синтезовано новий водорозчинний аналог вітаміну К, названий вікасолем. У 1921 р. організував науково-дослідну кафедру біохімії в Харківському медичному інституті, що в 1925 р. була перетворена в Український біохімічний інститут (нині – Інститут біохімії НАН України ім. О. В. Палладіна).

### Цікаво знати

Назва амінокислоти часто відображає назву субстрату, з якого її було виділено, або певні її властивості. Наприклад, аспарагін уперше виявлено в рослині аспарагусі (холодок), гліцин названо завдяки солодкому присмаку (від грец. *глікос* – солодкий).



Назви стандартних (основних) амінокислот та їхні скорочені позначення (не для запам'ятовування)

Повна назва амінокислоти	Скорочена назва амінокислоти	Повна назва амінокислоти	Скорочена назва амінокислоти
Аланін	Ала	Лейцин	Лей
Аргінін	Арг	Лізин	Ліз
Аспарагін	Асп	Метіонін	Мет
Аспарагінова кислота	Асп	Пролін	Про
Валін	Вал	Серин	Сер
Гістидин	Гіс	Тирозин	Тир
Гліцин	Глі	Треонін	Тре
Глутамін	Глн	Триптофан	Три
Глутамінова кислота	Глу	Фенілаланін	Фен
Ізолейцин	Іле	Цистеїн	Цис



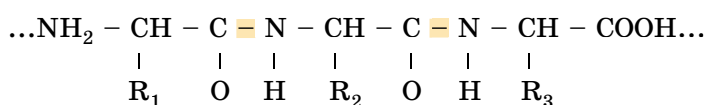
Мал. 16. Парнас Яків Оскарович (1884–1949)

### Цікаво знати

**Парнас Яків Оскарович** – відомий український учений-біохімік (мал. 16). Досліджував питання обміну вуглеводів і ферментативних процесів, на яких ґрунтується скорочення м'язів. Один з відомих організаторів біохімічної науки в Україні: з його ініціативи було засновано Інститут медичної хімії при Львівському університеті (тепер – Львівський національний університет імені Івана Франка).

Амінокислоти поділяють на замінні та незамінні. *Замінні амінокислоти* організму людини і тварин здатні синтезуватися з продуктів обміну речовин. Натомість *незамінні амінокислоти* в організмі людини і тварин не синтезуються, вони надходять разом з їжею. Їх синтезують рослини, гриби, бактерії. Білки, які містять усі незамінні амінокислоти, називають *повноцінними*, на відміну від *неповноцінних*, до складу яких не входять окремі незамінні амінокислоти.

Залишки амінокислот у складі білків сполучені між собою міцним ковалентним зв'язком, який виникає між карбоксильною групою однієї амінокислоти та аміногрупою іншої. Цей тип зв'язку називають *пептидним* (від грец. *пептон* – зварений). Завдяки такому міцному зв'язку утворюється сполука, що складається із залишків двох амінокислот – *дипептид*. Структури, які складаються з великої кількості залишків амінокислот (від 6–10 до декількох десятків), належать до *поліпептидів* (пептидний зв'язок позначено кольором):

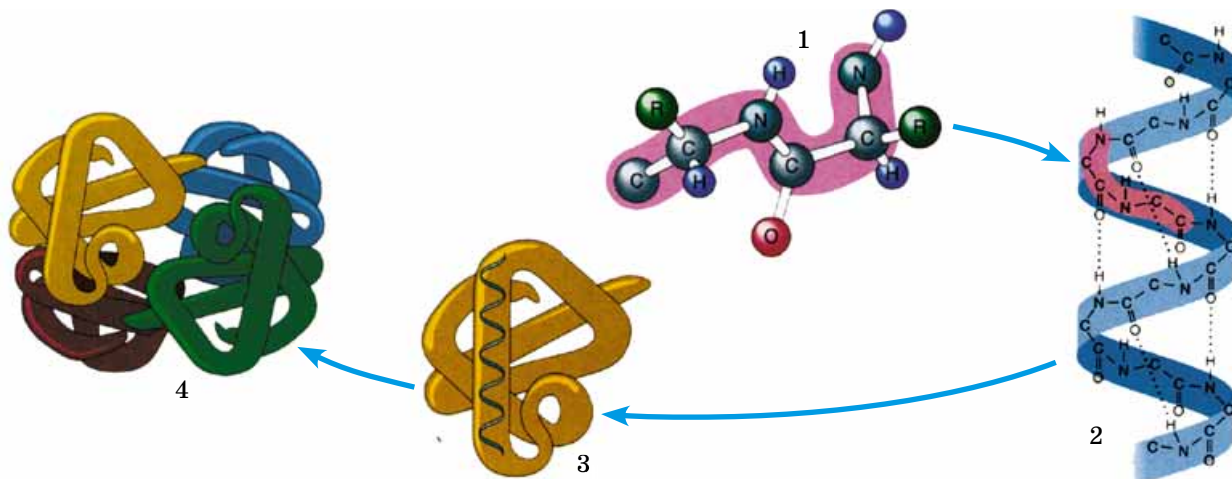


Поліпептиди з високою молекулярною масою (від 6000 до кількох мільйонів) називають **білками**. Вони складаються з одного або декількох поліпептидних ланцюгів і можуть містити до кількох тисяч амінокислотних залишків.

**Рівні просторової організації білків.** Відомо чотири рівні просторової організації білків: первинний, вторинний, третинний і четвертинний (мал. 17).

**Первинну структуру білків** визначає певна послідовність амінокислотних залишків, з'єднаних за допомогою пептидних зв'язків (мал. 17, 1). Така структура зумовлює властивості та функції білкової молекули.





Мал. 17. Рівні просторової організації білкових молекул: 1 – первинний; 2 – вторинний; 3 – третинний; 4 – четвертинний

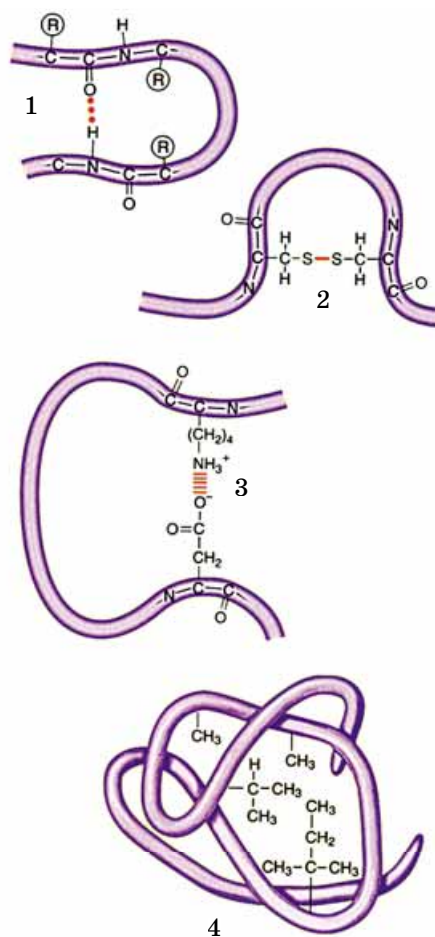
Для виконання специфічних функцій молекула білка має набути **вторинної структури**, частково чи повністю скрутитися в спіраль завдяки водневим зв'язкам, які виникають між атомами Гідрогену NH-групи одного витка спіралі та Оксигену CO-групи іншого витка спіралі (мал. 17, 2). Хоча водневі зв'язки значно слабші за пептидні, однак разом вони формують досить міцну структуру.

**Третинна структура** зумовлена здатністю поліпептидної спіралі закручуватися певним чином у грудку, або **глобулу**, завдяки зв'язкам, що виникають між залишками амінокислоти цистеїну (мал. 17, 3). Це так звані дисульфідні зв'язки. Підтримання третинної структури забезпечують гідрофобні, електростатичні та інші взаємодії, а також водневі зв'язки (мал. 18). Гідрофобні взаємодії – це сили взаємного тяжіння між неполярними ділянками молекул у водному середовищі. Гідрофобні залишки усяких амінокислот у водному середовищі зближуються, наче «злипаються», та стабілізують структуру білка. Глобулярна структура додатково стабілізується **йонними взаємодіями**, які виникають між позитивно та негативно зарядженими хімічними групами.

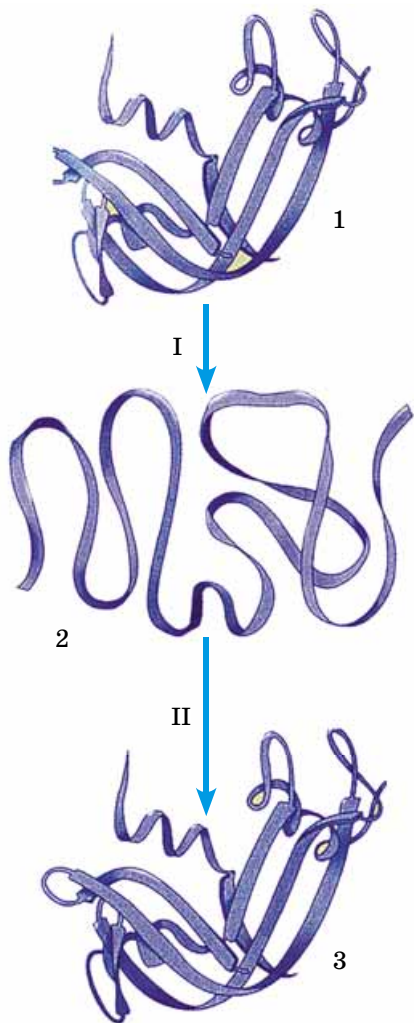
**Четвертинна структура** білків виникає, коли об'єднуються кілька глобул. Наприклад, молекула гемоглобіну складається із чотирьох залишків молекул білка міоглобіну (мал. 17, 4). Підтримання четвертинної структури забезпечують гідрофобні, електростатичні та інші взаємодії, а також водневі зв'язки.

Залежно від хімічного складу білки поділяють на прості та складні. **Прості**, або **протеїни**, складаються лише з амінокислотних залишків, а **складні**, або **протеїди**, у молекулах містять також небілкові компоненти – залишки ортофосфатної та нуклеїнових кислот, вуглеводів, ліпідів, атоми Феруму, Цинку, Купруму тощо.

**Властивості білків.** Функціональні властивості білків зумовлені їхнім амінокислотним складом і просторовою структурою. За формою молекул розрізняють **фібрилярні** (ниткоподібні) та **глобулярні** (кулясті). Фібрилярні білки зазвичай нерозчинні у воді й виконують структурну (наприклад, кератин входить до складу волосся людини або шерсті тварин) або рухову (скоротливі білки) функції. Натомість глобулярні білки здебільшого водорозчинні та



Мал. 18. Зв'язки, які підтримують просторові організації білкової молекули: 1 – водневі; 2 – дисульфідні; 3 – йонні взаємодії; 4 – гідрофобні взаємодії



Мал. 19. Денатурація (I) та ренатурація (II) білкової молекули: 1, 3 – активні молекули білка, 2 – неактивна молекула білка

## Коротко про головне

Білки – високомолекулярні біополімери, мономерами яких є залишки амінокислот. Двадцять стандартних амінокислот можуть сполучатись між собою в різних поєднаннях за допомогою пептидного зв'язку (різновиду ковалентного). Відомо чотири рівні просторової організації білків (конформації): первинний, вторинний, третинний і четвертинний.

Одна з основних властивостей білків – їхня здатність до денатурації та ренатурації (зміни та відновлення своєї природної структури). Необоротний процес порушення первинної структури білків називають деструкцією.

виконують в організмі інші функції: наприклад, гемоглобін забезпечує транспорт газів, пепсин – розщеплення білків їжі, імуноглобулін (антитіла) – захисну.

Одна з основних властивостей білків – їхня здатність під впливом різних чинників (дія концентрованих кислот і лугів, високої температури тощо) змінювати свою структуру і властивості. Процес порушення природної структури білків, який супроводжується розгортанням білкової молекули без зміни її первинної структури, називають **денатурацією** (мал. 19). Здебільшого денатурація необоротна. Але якщо на початкових стадіях денатурації припиняється дія чинників, що призвели до неї, білок може відновити свій початковий стан. Це явище називають **ренатурацією**. В організмі оборотна денатурація часто пов'язана з виконанням певних функцій білковими молекулами: забезпеченням рухів, передачею до клітини сигналів із зовнішнього середовища, прискоренням біохімічних реакцій тощо. Необоротний процес руйнування первинної структури білків називають **деструкцією**.

### Ключові терміни та поняття:

поліпептиди, глобулярні та фібрилярні білки, протеїни, протеїди, денатурація, ренатурація, деструкція.

### Перевірте здобуті знання

1. Яка будова амінокислот? 2. Що таке поліпептиди та білки? 3. Які амінокислоти називають замінятними та незамінними? 4. Яка будова білків? Як амінокислоти сполучаються в поліпептидний ланцюг? 5. Що таке прости та складні білки? 6. Які ви знаєте рівні просторової організації білків? 7. Які властивості притаманні білкам? 8. Як властивості білків залежать від їхньої просторової структури?

### Поміркуйте

1. Що спільного та відмінного в процесах денатурації та деструкції? 2. Яку роль у житті організмів відіграє здатність молекул білка до денатурації? 3. Чому відсутність у раціоні білків тваринного походження негативно впливає на життєдіяльність організму людини?

## §5. ФУНКЦІЇ БІЛКІВ

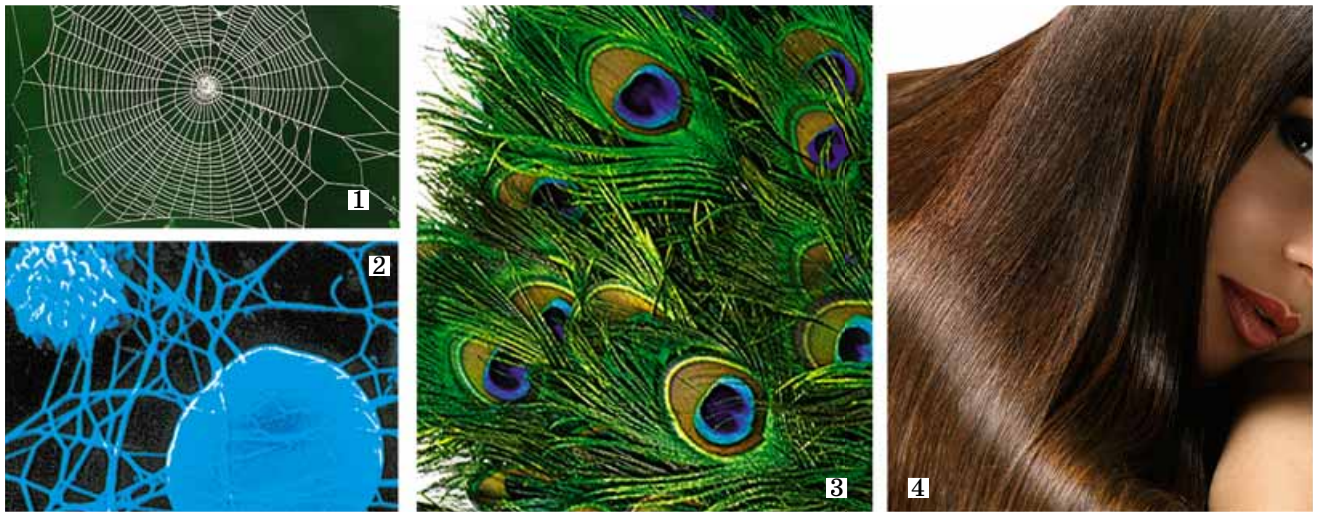
*Пригадайте*, які ви знаєте органели. Що таке ендосперм, хромосоми, антитіла та антигени? Що таке катіони та аніони? Із чого складаються глікопротеїди? Які клітини належать до еукаріотичних?

Різноманітність білкових молекул визначає різноманітність їхніх функцій в організмах.

**Будівельна, або структурна, функція** полягає в тому, що білки є складовим компонентом клітинних мембран. З білків складаються структури скелета клітин, які закріплюють у певному положенні органели або ж забезпечують їхнє пересування по клітині. Білки також входять до складу майже всіх клітинних структур.

*Пригадайте*: головним компонентом хрящів і сухожил'я є пружний і міцний білок колаген. Білок еластин, що міститься у зв'язках, має здатність розтягуватись. Пружності кісткам надає білок осеїн; кератин входить до складу похідних шкіри тварин (таких як кігті, нігті, роги, копита, волоски), надаючи їм





Мал. 20. Структури, до складу яких входять білки: 1 – павутиння; 2 – кров'яний згусток (тромб); 3 – пера павича; 4 – волосся людини

міцності. Головним компонентом шовкових ниток і павутиння є білок фіброїн (мал. 20).

**Енергетична функція білків** полягає в тому, що за повного розщеплення 1 г білків у середньому вивільняється 17,2 кДж енергії.

**Захисна функція білків.** Структури, до складу яких входять білки (кутикула членистоногих, кістки, хрящові утвори), запобігають ушкодженню клітин, органів і організму в цілому. Білки (імуноглобуліни, інтерферони) захищають організм від проникнення ззовні сторонніх сполук і хвороботворних мікроорганізмів.

### Активізуйте свої знання



Імуноглобуліни (або *антитіла*), які утворюються в організмі хребетних тварин – спеціалізовані білки, здатні «розпізнавати» та знешкоджувати бактерії, віруси, сторонні для організму сполуки (антигени). Інтерферон – це білок, який пригнічує розмноження вірусів.

Білки крові (наприклад, тромбопластин, тромбін, фібриноген) беруть участь у процесах її зсідання, утворення тромбів, запобігаючи крововтратам при ушкодженні стінок кровоносних судин (мал. 20, 2). Захисну функцію можуть виконувати й деякі ферменти, наприклад лізоцим, який міститься у слині, слизових оболонках, слізній рідині, виконує роль неспецифічного антибактеріального бар'єра.

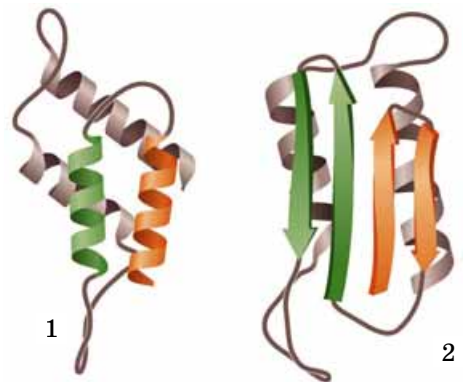
**Сигнальна функція білків** полягає у тому, що окремі складні білки (глікопротеїди) клітинних мембран здатні «розпізнавати» специфічні хімічні сполуки і певним чином на них реагувати. Зв'язуючи їх або змінюючи свою структуру, вони тим самим передають сигнали про ці речовини на інші ділянки мембрани або всередину клітини. Ця функція білків забезпечує важливу властивість клітин – подразливість.

**Скоротувальна, або рухова, функція білків.** Деякі білки забезпечують здатність клітин, тканин чи цілого організму змінювати форму, рухатись. Наприклад, скоротливі білки актин і міозин, які входять до складу м'язових клітин, забезпечують їхню здатність до

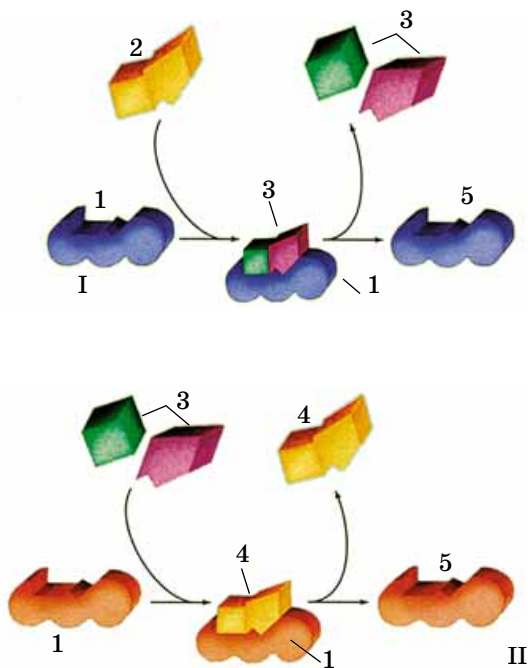
### Цікаво знати



**Пріони** – білкові інфекційні частинки, які становлять небезпеку для багатьох представників тваринного світу, а також для людини. Приклад захворювань, які вони можуть спричиняти: губкоподібна енцефалопатія – хронічна хвороба, що виснажує копитних, міопатії та інші захворювання людини тощо. Білковим молекулам, з яких утворені пріони, притаманні незвичні біологічні властивості. Вважають, що пріони є звичними для клітини білками, структура яких змінилася внаслідок змін спадкового матеріалу (мал. 21). Проникаючи до інших клітин (нервової системи, лімфоцитів тощо) і впливаючи на процеси формування їхніх білків, пріони зумовлюють появу в них подібних інфекційних агентів, не змінюючи їхній амінокислотний склад.



Мал. 21. Нормальний білок (1); пріонний білок (2)



Мал. 22. Механізм дії ферментів.

I. Фермент (1) тимчасово сполучається з речовиною (2) і забезпечує її розщеплення на простіші сполуки (3).

II. Фермент (1) вступає у тимчасовий комплекс із двома молекулами (3) і забезпечує їхню реакцію з утворенням складнішої речовини (4). Після реакції структура ферменту не змінюється (5), і він готовий забезпечувати нові реакції

## Коротко про головне

Білкові молекули в організмах здійснюють різноманітні важливі функції: будівельну, або структурну; енергетичну; захисну (імуноглобуліни (антитіла), інтерферони, деякі ферменти); сигнальну; скорочувальну, або рухову; резервну; транспортну; функцію антифризу; регуляторну; каталітичну).

Прості ферменти становлять собою білкові молекули, які складаються лише з амінокислотних залишків. Складні ферменти, крім білкової частини, містять і небілкову. Ферментативна реакція перебігає в  $10^6$ – $10^{12}$  разів швидше, ніж у середовищі без ферментів.

скорочення. Скоротливий білок тубулін входить до складу джгутиків і війок клітин еукаріотів.

**Резервна функція білків.** Білки, що відкладаються про запас, можуть слугувати резервом поживних речовин для організму (білки в яйцеклітинах тварин, клітинах ендосперму рослин). Ці білки зародок споживає на перших етапах свого розвитку.

**Транспортна функція білків.** Ви вже знаєте, що гемоглобін – дихальний пігмент крові людини, хребетних і багатьох безхребетних тварин. Його молекули здатні утворювати нестійкі сполуки з киснем і транспортувати його до всіх органів і клітин, забезпечуючи процеси клітинного та тканинного дихання.

Білки, вбудовані в плазматичну мембрану, забезпечують транспорт речовин у клітину та з клітини назовні.

## Цікаво знати

У безхребетних тварин (наприклад, деяких ракоподібних) функцію зв'язування газів здійснює дихальний пігмент білкової природи – гемоціанін. Замість Феруму він містить два атоми Купруму. Приєднуючи кисень, гемоціанін надає крові таких тварин блакитного кольору (як-от, в омарів, мечохвостів).

**Функція протистояння несприятливим температурам.** У плазмі крові деяких риб містяться білки, що запобігають їй замерзанню в умовах низьких температур.

**Регуляторна функція.** Білкову природу мають певні гормони та нейрогормони, які регулюють активність обміну речовин, процеси росту і розвитку організмів.

**Функція прискорення реакцій** притаманна особливим білкам – **ферментам**, або **ензімам**, що впливають на перебіг біохімічних реакцій. Одні з ферментів забезпечують розщеплення певних сполук, інші – синтез (мал. 22). Ферменти бувають простими та складними. *Прості ферменти* – це білкові молекули (пепсин, трипсин тощо), які складаються лише з амінокислотних залишків. *Складні ферменти*, крім білкової частини, містять ще й небілкову.

## Ключові терміни та поняття:

ферменти (ензими), імуноглобуліни, інтерферони.

## Перевірте здобуті знання

1. У чому полягає захисна функція білків? Наведіть приклади.
2. Чим визначається рухова функція білків? 3. Які функції виконують ферменти? 4. На яких властивостях білків ґрунтується здатність організмів сприймати подразники?

## Поміркуйте

У результаті ферментативних реакцій, на відміну від безферментних, не утворюються побічні продукти, тобто спостерігається майже 100 %-й вихід кінцевого продукту. Яке це має значення для нормального функціонування організму?

## Обговоріть у групах

Використовуючи різноманітні джерела інформації та знання, одержані на уроках з основ здоров'я, обґрунтуйте необхідність вживання людиною різноманітних продуктів харчування.



## ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### Вивчення властивостей ферментів

**Мета:** ознайомитися з дією ферментів на перебіг біохімічних реакцій.

**Обладнання і матеріали:** штатив з пробірками, градуйовані піпетки, крапельниці, колба, скляні палички, термостат, водяна баня, розчин Люголя, дистильована вода, стакан із льодом, водяний 0,2 %-й розчин крохмалю.

**Завдання.** Вивчіть дію ферменту слини (амілази) на крохмаль.

1. Сполосніть ротову порожнину 2–3 рази водою, потім прополощіть 50 мл дистильованої води протягом 3–5 хвилин і зберіть розчин слини в колбу.

2. Пронумеруйте дві пробірки і внесіть у них по 2 мл розчину крохмалю (див. схему досліду I).

3. У пробірку № 1 додайте 0,5 мл розчину слини, який містить фермент амілазу (розщеплює крохмаль), а в пробірку № 2 – 0,5 мл дистильованої води (див. схему досліду II).

4. Пробірки № 1 і 2 після перемішування витримайте 15 хв при температурі +38 °С (яка є оптимальною для дії амілази). Після цього додайте до їхнього вмісту 2–3 краплі розчину Люголя. У пробірці, де була слина, спостерігається знебарвлення розчину внаслідок розщеплення крохмалю ферментом слини амілазою, а де її не було – зберігається синьо-фіолетове забарвлення (див. схему досліду III).



## §6. НУКЛЕІНОВІ КИСЛОТИ. ВЛАСТИВОСТІ ТА ФУНКЦІЇ РНК

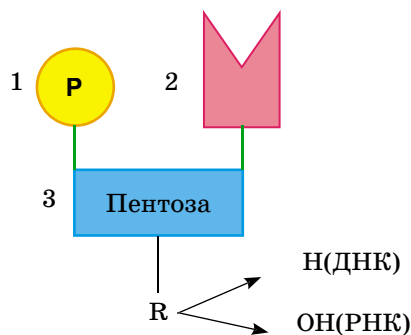
Пригадайте, які сполуки називають біополімерами. Які існують рівні просторової організації білкових молекул?

Ви пам'ятаєте, що всі живі істоти здатні зберігати спадкову інформацію і передавати її нащадкам під час розмноження. Цю функцію виконують нуклеїнові кислоти. Певні види нуклеїнових кислот беруть участь у реалізації спадкової інформації.

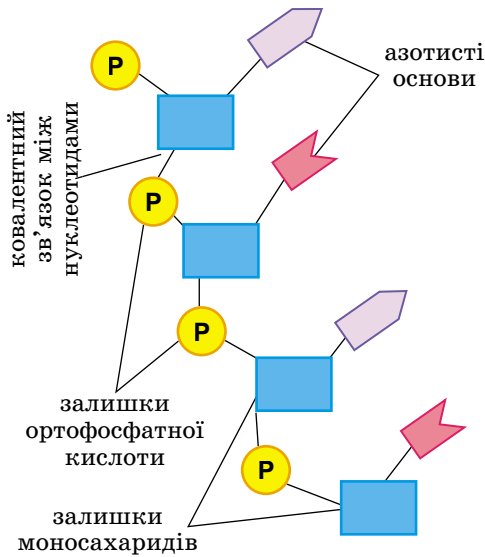
**Нуклеїнові кислоти** – складні високомолекулярні біополімери, мономерами яких є **нуклеотиди**. Число нуклеотидів у складі однієї молекули нуклеїнової кислоти може становити від 200 до 200 млн. Уперше нуклеїнові кислоти виявили в ядрі клітин, звідки й походить назва цих сполук (від лат. *нуклеус* – ядро). Але згодом їх виявили й у інших частинах клітини.

Молекула нуклеотиду складається з трьох частин: залишків нітрогенумісної (азотистої) основи, п'ятиуглецевого моносахариду (пентози) та ортофосфатної кислоти (мал. 23). Залежно від виду пентози, що входить до складу нуклеотиду, розрізняють два типи нуклеїнових кислот: **дезоксирибонуклеїнову (ДНК)** і **рибонуклеїнову (РНК)**. До складу ДНК входить залишок дезоксирибози, а РНК – рибози.

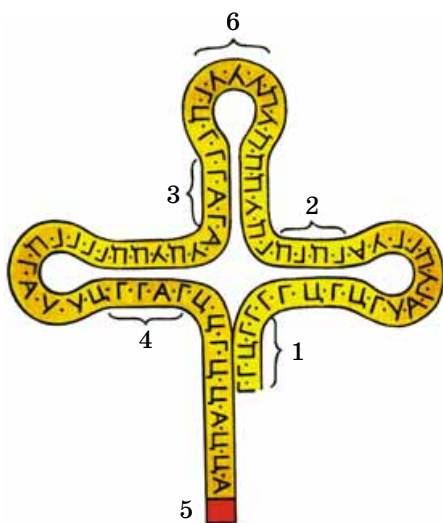
У молекулах ДНК і РНК містяться залишки різних азотистих основ. У молекулі ДНК – залишки нуклеотидів з аденіном (скорочено позначається літерою **А**), гуаніном (**Г**),



Мал. 23. Схема будови нуклеотиду: 1 – залишок ортофосфатної кислоти; 2 – залишок азотистої основи; 3 – залишок моносахариду (пентоза); у молекулі дезоксирибози на відміну від рибози замість гідроксильної групи (OH) – атом Гідрогену (H)



Мал. 24. Схема будови нуклеїнової кислоти



Мал. 25. Будова тРНК: 1–4 – ділянки з'єднання нуклеотидів за допомогою водневих зв'язків; 5 – ділянка, до якої приєднується амінокислота; 6 – антикодон

цитозином (Ц) та тиміном (Т); у молекулі РНК – з аденином (А), гуаніном (Г), цитозином (Ц) та урацилом (У).

У складі нуклеїнових кислот окремі нуклеотиди з'єднані між собою у ланцюг за допомогою ковалентних зв'язків, які виникають між залишком пентози одного нуклеотиду та залишком ортофосфатної кислоти іншого (мал. 24). Біологічні властивості нуклеїнових кислот зумовлені послідовністю розташування нуклеотидів у ланцюзі. Подібно до білків, ця послідовність становить собою первинну структуру нуклеїнових кислот. Складніші рівні організації молекул нуклеїнових кислот – вторинна і третинна – підтримуються за рахунок нековалентних взаємодій (зокрема, водневих зв'язків).

**Типи РНК.** Молекули РНК клітин прокаріотів та еукаріотів складаються з одного ланцюга. Існують три основні типи РНК, які відрізняються за місцем розташування у клітині, розмірами та функціями.

**Матрична, або інформаційна, РНК (мРНК, або іРНК)** становить собою копію певної ділянки молекули ДНК. Така молекула переносить спадкову інформацію від молекули ДНК до місця синтезу поліпептидного ланцюга, а також бере безпосередню участь у його збиранні.

**Транспортна РНК (тРНК)** має найменші розміри серед усіх молекул РНК (складається з 70–90 нуклеотидів). Вона приєднує амінокислоти і транспортує їх до місця синтезу білкових молекул. Там молекула тРНК «впізнає» відповідну ділянку мРНК. Ця ділянка – **кодон** – послідовність з трьох нуклеотидів, яка кодує одну з амінокислот. Таким чином визначається порядок розташування амінокислотних залишків у молекулі білка, що синтезується.

Транспортна РНК за формою нагадує листок конюшини. Така структура зумовлена тим, що в певних ділянках молекули тРНК (4–7 послідовних ланок) між комплементарними нуклеотидами виникають водневі зв'язки. Біля верхівки «листка конюшини» містяться три нуклеотиди, або **триплет**, який відповідає певній амінокислоті. Цей триплет називають **антикодон**. Біля основи молекули ДНК є ділянка, до якої завдяки ковалентному зв'язку приєднується відповідна амінокислота (мал. 25).

**Рибосомна РНК (рРНК)** входить до складу особливих органел клітини – рибосом (про їхню будову ви дізнаєтесь з § 11). Разом з білками рибосом вона виконує структурну функцію, забезпечуючи певне просторове розташування молекул рРНК та тРНК під час біосинтезу білкової молекули. У клітинах еукаріотів рРНК синтезується в ядерці.

### Цікаво знати

Молекули РНК можуть також виконувати функції своєрідних ферментів. Їх називають **рибозими**. Вони діють подібно до ферментів білкової природи. Багато рибозимів здатні каталізувати власне розщеплення або розщеплення інших молекул РНК. Крім того, рибозимом є активна частина рибосоми – органели, яка бере участь у синтезі білкової молекули. 1989 р. за встановлення каталітичних властивостей РНК двоє американських учених – Томас Роберт Чек та Сідні Олтман – отримали Нобелівську премію в галузі хімії.



Нуклеїнові кислоти – високомолекулярні біополімери, мономерами яких є нуклеотиди. Молекула нуклеотиду складається із залишків трьох сполук: азотистої основи, п'ятивуглецевого моносахариду (пентози) та ортофосфатної кислоти.

Розрізняють два типи нуклеїнових кислот: дезоксирибонуклеїнову (ДНК) і рибонуклеїнові (РНК). До складу ДНК входить залишок пентози дезоксирибози, до складу РНК – рибози. У молекулах РНК містяться чотири типи нуклеотидів: з аденіном (А), гуаніном (Г), цитозином (Ц) та урацилом (У). У молекулі ДНК також трапляються чотири типи нуклеотидів, але замість урацилу – тимін (Т).

Існують три основних типи РНК, які відрізняються за місцем розташування в клітині, розмірами та функціями: матрична, або інформаційна, РНК (мРНК, або іРНК), транспортна РНК (тРНК) та рибосомна РНК (рРНК).



Мал. 26. Мішер Йоганн Фрідріх (1844–1895)

### Цікаво знати

**Мішер Йоганн Фрідріх** – швейцарський біолог (мал. 26), 1869 року відкрив ДНК, виділивши її з ядер лейкоцитів. Тому спочатку цю нову сполуку він назвав нуклеїн (від лат. *nucleus* — ядро), але згодом, коли були встановлені кислотні властивості ДНК, стали застосовувати назву «нуклеїнова кислота». Й. Ф. Мішер встановив і хімічний склад ДНК. Згодом молекули ДНК виявили і в інших органелах клітини (мітохондріях і пластидах).

Молекули РНК використовують і в лікувальній практиці та селекції. Для цього створюють так звані антисенсорні молекули РНК. Молекули антисенсорної РНК мають склад нуклеотидів, який відповідає послідовності нуклеотидів певної молекули мРНК (сенсорна РНК). Така сенсорна РНК кодує білки, шкідливі для організму або небажані для селекціонера. Під час введення у клітину антисенсорної РНК її нуклеотиди зв'язуються з нуклеотидами сенсорної РНК. Це блокує біосинтез білків, які кодуються сенсорною молекулою мРНК. Наприклад, застосовуючи антисенсорні технології, можна послабити симптоми ВІЛ-інфекції (ВІЛ – вірус імунодефіциту людини).

Молекули РНК можуть спричиняти захворювання рослин. Такі неклітинні форми життя називають **віроїдами**. Їх відкрив 1971 року Теодор Дінер, який вивчав інфекційне захворювання картоплі, відоме під назвою «веретеноподібність бульб». З'ясувалося, що інфекцію спричиняла невеличка одноланцюгова молекула РНК. Подальші детальні дослідження дали змогу встановити, що ця РНК має форму замкненого ланцюга.

Генетичний матеріал віроїду не кодує жодного білка, його основна задача – самовідтворення в клітині хазяїна. Віроїди знайдено тільки в рослин: у людини, тварин і бактерій схожих збудників не виявлено.

### Ключові терміни та поняття:

нуклеотиди, нуклеїнові кислоти, РНК, триплет, антикодон.

### Перевірте здобуті знання

1. Які особливості будови нуклеїнових кислот? Які є типи нуклеїнових кислот? 2. Які ви знаєте види РНК? 3. Яка будова та функції молекул мРНК (іРНК)? 4. Як будова тРНК пов'язана з її функціями? 5. Які функції молекул рРНК?

### Поміркуйте

У яких процесах, що відбуваються в клітині, беруть участь молекули РНК?

## §7. БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ФУНКЦІЇ ДНК

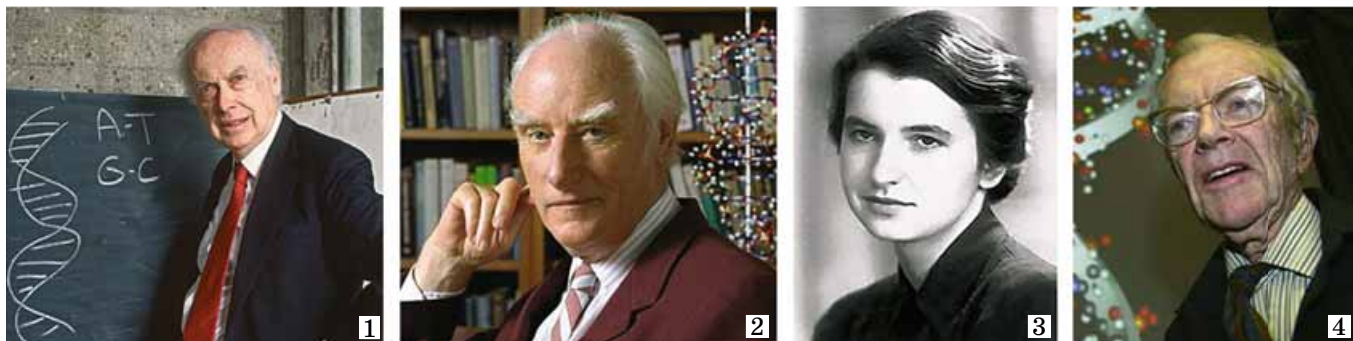
*Пригадайте*, у яких структурах клітини зберігається спадкова інформація. Що таке мономери, біополімери? Які організми належать до еукаріотів і прокаріотів? Які процеси називають денатурацією, ренатурацією та деструкцією?

**Будова ДНК.** Молекули ДНК у клітинах еукаріотів містяться в ядрі, пластидах і мітохондріях, у клітинах прокаріотів – в особливих ділянках цитоплазми. Розшифрування структури ДНК має свою історію. 1950 року американський учений Ервін Чаргафф (1913–2002) та його колеги виявили певні закономірності кількісного вмісту азотистих основ у молекулі ДНК:

*по-перше*, кількість нуклеотидів, що містять аденін, у будь-якій молекулі ДНК дорівнює числу нуклеотидів, що містять тимін ( $A = T$ ), а число нуклеотидів з гуаніном – числу нуклеотидів із цитозином ( $G = C$ );

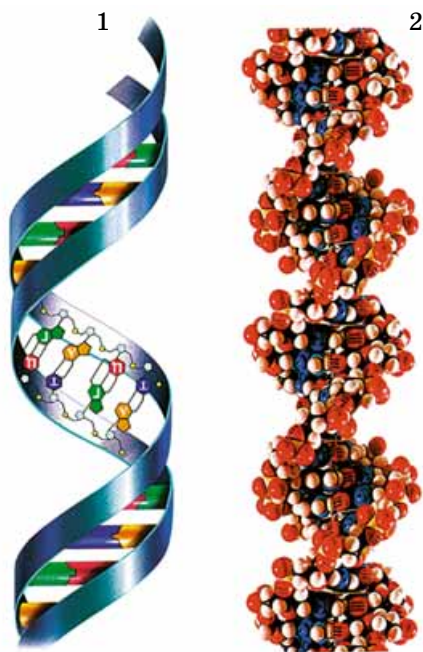
*по-друге*, сума нуклеотидів з аденіном і гуаніном дорівнює сумі нуклеотидів з тиміном і цитозином ( $A + G = T + C$ ).





Мал. 27. 1. Джеймс Дьюї Уотсон (народ. 1928 р.) – американський біолог, лауреат Нобелівської премії в галузі фізіології і медицини 1962 р. (разом з Ф. Кріком та М. Уїлкінсом) за відкриття структури молекули ДНК. 2. Френсіс Гаррі Комптон Крік (1916–2004) – британський біолог, лауреат Нобелівської премії в галузі фізіології і медицини 1962 р. за відкриття структури молекули ДНК. 3. Розалінда Франклін (1920–1958) – англійська вчена, відома своїми дослідженнями в галузі вивчення структури молекул ДНК. 4. Моріс Г'ю Фредерік Уїлкінс (1916–2004) – англійський фізик і молекулярний біолог, лауреат Нобелівської премії в галузі фізіології і медицини 1962 р. Разом з Р. Франклін застосовував методи рентгенографії при дослідженні структури молекул ДНК

**Комплементарність** (від лат. *complementum* – доповнення) – просторова відповідність між молекулами або їхніми частинами, що уможливорює взаємодію між ними та утворення хімічних зв'язків.



Мал. 28. Молекула ДНК: 1 – схема будови; 2 – просторова модель. Зверніть увагу, обидва ланцюги ДНК закручені навколо спільної осі, а також один навколо одного

Це відкриття сприяло встановленню 1953 р. Джеймсом Уотсоном та Френсісом Кріком (мал. 27) просторової структури ДНК (мал. 28). Молекула ДНК складається з двох ланцюгів нуклеотидів, які сполучаються між собою за допомогою водневих зв'язків. Ці зв'язки виникають між двома нуклеотидами, які ніби доповнюють один одного за розмірами, при цьому розміри А і Г дещо більші, ніж Т і Ц. Тому залишок аденіну (А) нуклеотиду одного ланцюга молекули ДНК завжди сполучається із залишком тиміну (Т) нуклеотиду іншого ланцюга (між ними виникає два водневих зв'язки), а гуаніну (Г) – із цитозином (Ц) (між ними виникає три водневих зв'язки).

Чітка відповідність нуклеотидів у двох ланцюгах ДНК має назву **комплементарність**. Взаємодіючи між собою, два ланцюги нуклеотидів молекули ДНК формують закручену праворуч спіраль діаметром приблизно 2 нм (1 нм (нанометр) дорівнює  $1 \cdot 10^{-6}$  мм). Відстань між сусідніми комплементарними парами азотистих основ становить 0,34 нм, а крок спіралі дорівнює 3,4 нм і містить близько десяти пар основ. Так виникає вторинна структура молекули ДНК, тоді як первинна – це певна послідовність залишків нуклеотидів, розташованих у вигляді ланцюга.

Молекули ДНК у клітині становлять компактні структури. Наприклад, довжина ДНК найбільшої хромосоми людини становить близько 10 см, але вона скручена таким чином, що вміщується у хромосомі завдовжки 5 мкм. Це відбувається завдяки тому, що дволанцюгова спіраль ДНК зазнає подальшого просторового ущільнення, формуючи третинну структуру – суперспіраль. Така будова характерна для ДНК хромосом еукаріотів і зумовлена взаємодією між ДНК та ядерними білками. Зокрема, комплекси ДНК з білками входять до складу структур ядра клітини – хромосом. У ядерній зоні клітин прокаріотів молекула ДНК має кільцеву будову та з білками не сполучається.

**Властивості ДНК.** Так само як і молекули білків, молекули ДНК здатні до денатурації та ренатурації. За певних умов (дія кислот, лугів, високої температури тощо) водневі зв'язки між комплементарними азотистими основами різ-



них ланцюгів молекули ДНК розриваються. При цьому молекула ДНК повністю або частково розпадається на окремі ланцюги, і, відповідно, втрачає свою біологічну активність. Після припинення дії негативних чинників структура молекули може відновлюватись завдяки поновленню водневих зв'язків між комплементарними нуклеотидами.

Важлива властивість молекул ДНК – їхня **здатність до самоподвоєння**. Це явище називають **реплікацією**. Воно ґрунтується на принципі комплементарності: послідовність нуклеотидів у новоствореному ланцюзі визначається їхнім розташуванням у ланцюзі материнської молекули ДНК. При цьому материнська молекула ДНК слугує **матрицею**.

Реплікація ДНК – напівконсервативний процес, тобто дві дочірні молекули ДНК містять по одному ланцюгу, успадкованому від материнської молекули, і по одному, – синтезованому заново (мал. 29). Завдяки цьому дочірні молекули ДНК є копією материнської. Це явище забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської молекули ДНК дочірнім.

**Функції ДНК.** Основні функції ДНК – це **кодування, збереження спадкової інформації та її передача дочірнім клітинам під час розмноження**. Зокрема, окремі ланцюги молекули ДНК слугують матрицею для синтезу різних типів молекул РНК (мал. 30). Цей процес називають **транскрипцією**.

Одиницею спадковості всіх організмів є **ген** – ділянка молекули ДНК (у деяких вірусів – РНК). Ген містить спадкову інформацію про структуру певного білка або нуклеїнової кислоти (докладніше організацію спадкового матеріалу різних груп організмів ми розглянемо у § 20).

Функціонально ген – цілісна одиниця спадковості, бо будь-які порушення його будови змінюють закодовану в ньому інформацію або призводять до її втрати. Гени поділяють на **структурні**, які кодують структуру білків і рибонуклеїнових кислот, та **регуляторні**, що слугують місцем приєднання ферментів та інших біологічно активних речовин. Регуляторні гени впливають на активність структурних і беруть участь у процесах подвоєння ДНК та переписування спадкової інформації на молекули РНК.

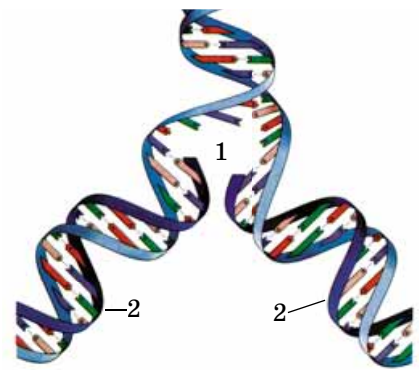
Сукупність усієї генетичної інформації, закодованої в генах певної клітини або цілісного організму, має назву **генотип**. Це цілісна інтегрована система, де окремі гени взаємодіють між собою.

Кількість генів у різних організмів значно коливається. Найпростіший організований спадковий матеріал вірусів, у якому від одного до кількох сотень структурних генів. Спадковий матеріал прокаріотів має складнішу будову і включає як структурні, так і регуляторні гени. Спадковий матеріал еукаріотів ще складніший: кількість ДНК у їхньому ядрі більша, а отже, більша й кількість структурних і регуляторних генів.

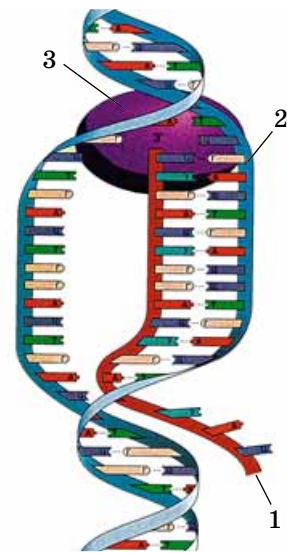
Дослідження спадкового матеріалу різноманітних організмів показало, що кількість ДНК у їхньому ядрі перевищує потрібну для кодування всіх структурних генів у 8–10 разів. Причини цього явища різні. *По-перше*, ДНК містить чимало послідовностей, кожна з яких повторюється до сотень тисяч разів. *По-друге*, значна частина ДНК взагалі не несе генетичної інформації. *По-третьє*, є велика

## Цікаво знати

У 1952 р. Дж. Уотсон та Ф. Крік, використовуючи правила Е. Чаргаффа та рентгенограми Розалінди Франклін і Моріса Уїлкінса, побудували просторову модель молекули ДНК. Дж. Уотсон відомий також тим, що з 1989 по 1992 р. був організатором і керівником проекту «Геном людини», завдяки якому було розшифровано послідовність нуклеотидів молекул ДНК людини. Дж. Уотсон став першою людиною у світі, чий геном був повністю розшифрований.



Мал. 29. Процес реплікації – самоподвоєння молекули ДНК: за участі ферменту розшиваються водневі зв'язки (1) і на кожному ланцюзі материнської молекули за принципом комплементарності добудовується дочірній (2)



Мал. 30. Транскрипція – синтез молекули РНК (1) на одному з ланцюгів молекули ДНК (2). Ці процеси забезпечує специфічний фермент (3)

🌱 Інформація про амінокислотну послідовність у складі білка, закодована за певними правилами у вигляді послідовності нуклеотидів нуклеїнової кислоти, має назву **генетичний код**.

## Коротко про головне

Молекула ДНК складається з двох ланцюгів нуклеотидів, які сполучаються між собою за допомогою водневих зв'язків. Чітка відповідність нуклеотидів у ланцюгах ДНК, між якими виникають водневі зв'язки, має назву «комплементарність».

Молекули ДНК здатні до денатурації та ренатурації, а також деструкції. Вони також здатні до самоподвоєння (реплікації).

Основні функції ДНК – це кодування, збереження спадкової інформації та її передача дочірнім клітинам під час розмноження.

Сукупність генетичної інформації, закодованої в генах певної клітини або цілісного організму, має назву «генотип».

Гени поділяють на структурні, які кодують структуру білків і рибонуклеїнових кислот, та регуляторні, що слугують місцем приєднання ферментів та інших біологічно активних речовин.

## Активізуйте свої знання

Як окремі клітини, так і цілісні організми належать до *відкритих біологічних систем*. Це означає, що їхнє існування можливе лише завдяки постійному надходженню з навколишнього середовища поживних речовин разом із запасеною в них енергією, їхнім перетворенням з виділенням енергії та виведенню назовні продуктів життєдіяльності. Значна частина енергії, що виділяється, слугує для підтримання теплового балансу організмів. Сукупність згаданих процесів має назву *обмін речовин*, або *метаболізм*.

кількість регуляторних генів. Було доведено, що ген складається з окремих блоків (частин). Одні з них копіюються в мРНК і несуть інформацію про структуру певних сполук, а інші – ні.

## Цікаво знати

Раніше вважали, що гени займають лише чітко визначене положення у складі молекули нуклеїнової кислоти. Але у 60-х роках ХХ сторіччя було виявлено явище, яке вражає уяву: переміщення фрагментів ДНК з однієї ділянки до іншої. Якщо такий фрагмент опиняється у кодуєчій послідовності нуклеотидів іншого гена, то цей ген втрачає свою функцію. Отже, існують генетичні програми, які зумовлюють перебування окремих ділянок молекули ДНК.

## Ключові терміни та поняття:

реплікація, транскрипція, ген, гени структурні та регуляторні, генотип.

## Перевірте здобуті знання

1. Які особливості будови ДНК? 2. Що спільного і відмінного в будові молекул ДНК і РНК? 3. Яка просторова структура молекули ДНК? 4. У чому полягають функції ДНК у клітині? 5. Що таке ген і генотип? 6. Які є типи генів?

## Поміркуйте

Які зв'язки будуть насамперед руйнуватись унаслідок дії на молекулу ДНК різних чинників: між сусідніми нуклеотидами, що входять до складу одного ланцюга, або між комплементарними нуклеотидами різних ланцюгів? Відповідь обґрунтуйте.

## **§8. ПОНЯТТЯ ПРО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ. АТФ**

*Пригадайте* будову нуклеотидів. Яке фізіологічне значення процесів дихання? Що таке метаболізм і гомеостаз? Що таке енергія з точки зору фізики? Що таке ферменти, складні та прості білки? Які процеси називають окисними, а які – відновними? Які сполуки називають пентозами?

Сукупність реакцій синтезу, які забезпечують розвиток клітин та організмів, поновлення їхнього хімічного складу, називають **пластичним обміном**. На здійснення цих процесів витрачається певна кількість енергії. Процеси розщеплення складних речовин до простіших супроводжуються виділенням енергії. Їх називають **енергетичним обміном**.

Процеси синтезу потрібних організму сполук і процеси їхнього розщеплення – це різні сторони єдиного процесу обміну речовин і перетворення енергії в живих організмах – **метаболізму**. Завдяки процесам обміну речовин і перетворення енергії забезпечується підтримання гомеостазу за змін умов навколишнього середовища.

**Автотрофи, гетеротрофи та міксотрофи.** Для організмів, які населяють нашу планету, основним джерелом енергії є сонячне світло, завдяки якому прямо чи опосередковано задовольняються їхні енергетичні потреби (мал. 31). *Пригадайте*: організми, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають **автотрофа-**



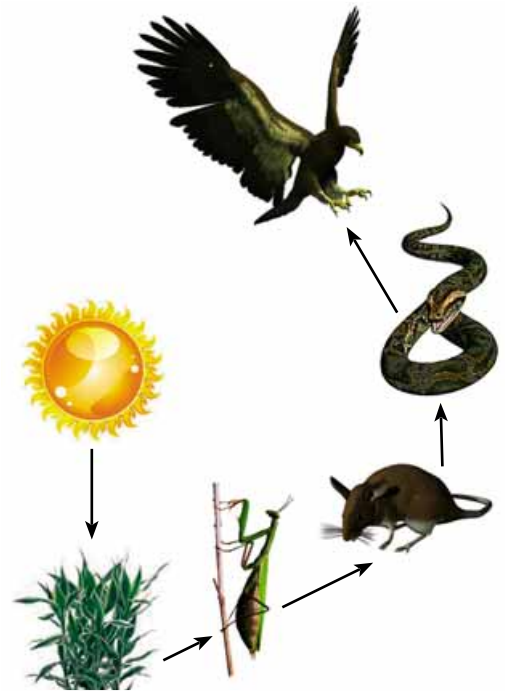
**ми** (від грец. *аутос* – сам і *трофе* – споживати) (мал. 32. А). При цьому одні з них здатні до фотосинтезу. Їх називають **фототрофними** (від грец. *фотос* – світло і *трофе*). До них належать зелені рослини, деякі бактерії (наприклад, ціанобактерії). Енергію світла, яку вони вбирають з довкілля, ці організми використовують для забезпечення власних процесів життєдіяльності або ж накопичують її у вигляді енергії хімічних зв'язків синтезованих ними сполук.

Інші автотрофні організми для синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію, яка вивільняється під час здійснення хімічних реакцій (деякі бактерії: нітрифікуючі, залізо- та сіркобактерії). Їх називають **хемотрофними** (від грец. *хемо* – хімічний і *трофе*).

Гриби, більшість тварин і бактерій належать до **гетеротрофів** (від грец. *гетерос* – різний і *трофе*) (мал. 32. Б). Для них джерелом енергії є органічні сполуки, утворені іншими організмами. Ці органічні сполуки вони отримують з їжею (живі організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності). Існують і **міксотрофи** (від грец. *міксис* – змішування і *трофе*) – організми зі змішаним типом живлення (росичка, омела, хламідомонада, евглена зелена; мал. 32. В). Такі організми здатні не лише синтезувати органічні сполуки з неорганічних, а й поглинати готові органічні речовини. Як ви пам'ятаєте, росичка здатна «полювати» на дрібних тварин – комах і ракоподібних.

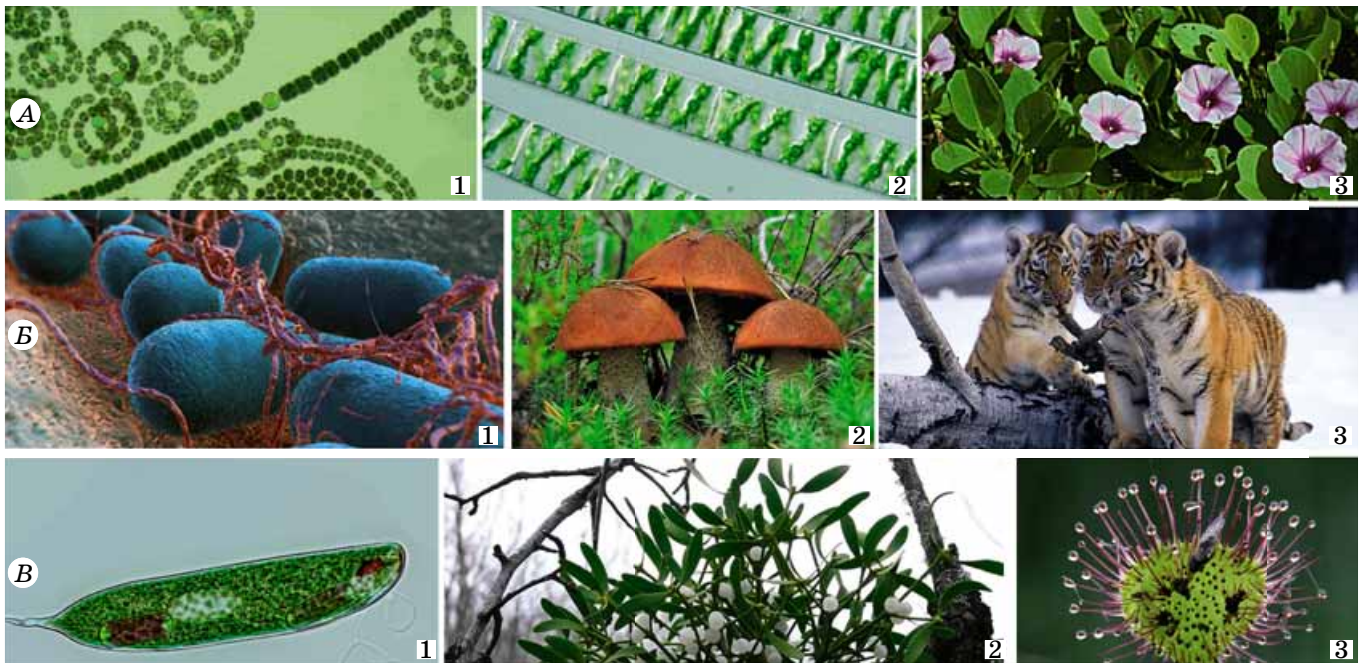
**АТФ та її функції.** Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ) – сполука, яка за своїм складом є нуклеотидом. Молекула АТФ складається із залишків азотистої основи (аденіну), пентози (рибози) та трьох залишків ортофосфатної кислоти (мал. 33). Ця речовина має незвичні для інших органічних сполук хімічні властивості.

**Запам'ятаємо:** процеси пластичного обміну ще називають *анаболізмом*, або *реакціями асиміляції*, а процеси енергетичного – *катаболізмом*, або *реакціями дисиміляції*.



Мал. 31. Сонячне світло – основне джерело енергії для живих організмів.

**Завдання.** Поясніть роль рослин у забезпеченні енергією інших мешканців нашої планети



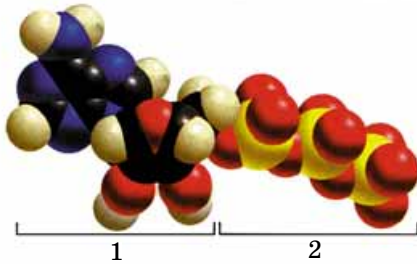
Мал. 32. А. Автотрофні організми: 1 – ціанобактерії; 2 – зелені водорості; 3 – квіткові рослини.

Б. Гетеротрофні організми: 1 – гетеротрофні бактерії; 2 – гриби; 3 – тварини.

В. Міксотрофні організми: 1 – евглена зелена; 2 – омела; 3 – росичка



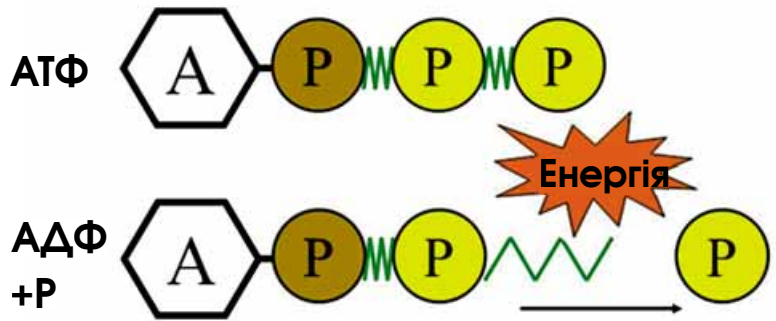
Молекули АТФ слугують універсальним хімічним акумулятором енергії в клітинах, за їхньої участі відбуваються всі процеси метаболізму.



Мал. 33. Будова молекули АТФ:  
1 – аденозин (сполука, що складається із залишку аденіну та пентози); 2 – триортофосфат (три залишки ортофосфатної кислоти)

Це два високоенергетичних хімічних зв'язки, які виникають між послідовно розміщеними залишками ортофосфатної кислоти, у яких запасується значна кількість енергії.

Якщо за участі відповідного ферменту відщеплюється один залишок ортофосфатної кислоти, то АТФ перетворюється на **аденозіндифосфатну кислоту (АДФ)**, при цьому звільняється близько 42 кДж енергії (мал. 34). Якщо ж відщеплюються два залишки молекул ортофосфатної кислоти, АТФ перетворюється на **аденозінмонофосфатну кислоту (АМФ)**. При цьому вивільняється 84 кДж енергії.



Мал. 34. Перетворення молекул АТФ під час енергетичного обміну: енергія звільняється внаслідок відщеплення від молекули АТФ залишку ортофосфатної кислоти

Отже, у разі приєднання до АМФ залишку ортофосфатної кислоти запасується близько 42 кДж енергії. При цьому утворюється молекула АДФ. Також 42 кДж енергії запасується за умови приєднання ще одного залишку ортофосфатної кислоти до молекули АДФ. Молекула АДФ таким чином перетворюється на молекулу АТФ. Енергія, яка вивільняється в процесі розщеплення молекул АТФ, використовується для синтезу потрібних організму сполук, підтримання певної температури тіла, забезпечення інших процесів життєдіяльності.

#### Ключові терміни та поняття:

пластичний обмін (анаболізм, реакції асиміляції), енергетичний обмін (катаболізм, реакції дисиміляції), автотрофи, гетеротрофи, міксотрофи, АТФ.

#### Перевірте здобуті знання

1. Що таке метаболізм, пластичний та енергетичний обмін?
2. Які організми називають автотрофами, міксотрофами та гетеротрофами?
3. Які джерела енергії використовують автотрофні організми?
4. Яка структура молекули АТФ?
5. У чому полягає роль АТФ у перетворенні енергії в клітині?

#### Поміркуйте

1. Чому життя неможливе без перетворень енергії?
2. Чому під час окиснення органічних сполук вивільняється енергія?

### Коротко про головне

Сукупність процесів надходження до біологічних систем з навколишнього середовища поживних речовин, енергії, їхні перетворення та виведення з них продуктів життєдіяльності має назву «обмін речовин», або «метаболізм».

В організмах одночасно відбуваються процеси пластичного та енергетичного обміну.

Організми, які здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають автотрофами. Для гетеротрофів джерелом енергії є органічні сполуки, утворені іншими організмами. Міксотрофи – організми зі змішаним типом живлення.

Молекула аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ) складається із залишків азотистої основи (аденіну), пентози (рибози) та трьох залишків ортофосфатної кислоти. Між залишками молекул ортофосфатної кислоти виникають два високоенергетичних хімічних зв'язки.

## Розв'язання елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот

Дані, потрібні для розв'язання вправ: мінімальна відносна молекулярна маса амінокислоти становить приблизно 100, мінімальна відносна молекулярна маса нуклеотиду – 345, мінімальна відносна довжина окремого нуклеотиду – 0,34 нм. Одна амінокислота кодується послідовністю з трьох нуклеотидів (триплетом). Розв'язуючи задачі, пам'ятаємо: у складі молекули ДНК нуклеотиди з різних її ланцюгів сполучаються за принципом комплементарності (А–Т та Г–Ц), у складі молекул РНК замість нуклеотиду з тиміном (Т) присутній нуклеотид з урацилом (У).

**Вправа 1.** Молекула білка складається з 200 амінокислотних залишків. Визначте довжину ділянки одного з ланцюгів молекули ДНК, яка відповідає гену, що кодує цей білок, враховуючи, що 300 нуклеотидів у складі даного гена амінокислоти не кодують.

**Приклад розв'язку вправи.** 1. Якщо молекула білка складається з 200 амінокислотних залишків, то їх кодують  $200 \times 3 = 600$  нуклеотидів. 2. До цього числа додаємо ще 300 некодуючих нуклеотидів:  $600 + 300 = 900$ . 3. Визначаємо довжину ділянки, яка кодує даний білок, перемноживши число нуклеотидів на довжину одного нуклеотиду:  $900 \times 0,34 \text{ нм} = 306 \text{ нм}$ .

**Відповідь:** довжина ділянки одного з ланцюгів молекули ДНК, яка відповідає гену, що кодує цей білок, становить 306 нм.

**Вправа 2.** Довжина ділянки одного з ланцюгів молекули ДНК клітини бактерії становить 238 нм. Визначте кількість амінокислотних залишків у молекулі білка, яку кодує дана ділянка молекули ДНК.

**Вправа 3.** Молекулярна маса білка становить 60 000. Визначте кількість нуклеотидів, що входять до складу ділянки молекули ДНК із цим геном.

**Вправа 4.** Дослідження показали, що 24 % загальної кількості нуклеотидів молекули мРНК припадає на гуанін (Г), 38 % – на урацил (У), 22 % – на цитозин (Ц) та 16 % – на аденін (А). Визначте відсотковий уміст азотистих основ молекули ДНК, на якій була синтезована ця молекула мРНК.

**Приклад розв'язку вправи.** 1. Визначаємо за принципом комплементарності відсотковий уміст азотистих основ того ланцюга, на якому була синтезована дана молекула мРНК:

Молекула мРНК: Г – 24 %, У – 38 %, Ц – 22 % та А – 16 %.

Перший ланцюг ДНК: Ц – 24 %, А – 38 %, Г – 22 % та Т – 16 %.

Другий ланцюг ДНК: Г – 24 %, Т – 38 %, Ц – 22 % та А – 16 %.

2. Вираховуємо відсотковий уміст азотистих основ молекули ДНК, на якій була синтезована ця молекула мРНК: Ц – 23 % ( $24 + 22 / 2 = 23$ ), Г – 23 % ( $24 + 22 / 2 = 23$ ), А – 27 % ( $38 + 16 / 2 = 27$ ), Т – 27 % ( $38 + 16 / 2 = 27$ ).

**Відповідь:** до складу молекули ДНК входять 23 % нуклеотидів із цитозином, 23 % нуклеотидів з гуаніном, 27 % нуклеотидів з аденіном та 27 % нуклеотидів з тиміном.

**Вправа 5.** Відомо, що молекула мРНК складається з 1535 нуклеотидів. Зі скількох амінокислотних залишків складатиметься білкова молекула, яка кодується цією молекулою мРНК?

**Вправа 6.** Визначте нуклеотидний склад ділянки молекули ДНК, якщо молекула мРНК, синтезована на одному з її ланцюгів, має такий нуклеотидний склад: УАГГУЦГААЦГУ.

**Вправа 7.** Нуклеотидний склад одного з ланцюгів ДНК такий: ГЦТААЦЦГАТАЦГГ. На іншому ланцюзі цієї молекули синтезується молекула мРНК. Визначте її нуклеотидний склад.

**Вправа 8.** Обидва ланцюги молекули ДНК складаються з 2250 нуклеотидів. Визначте кількість амінокислотних залишків у складі молекули білка, яка синтезується на одному з ланцюгів цієї молекули ДНК.

**Вправа 9.** Гормон підшлункової залози глюкагон складається з 29 амінокислотних залишків. Скільки триплетів входить до складу гена, який кодує цю молекулу?

**Вправа 10.** Молекулярна маса кодуючих триплетів молекули ДНК становить 20 700. Визначте кількість амінокислотних залишків, які входять до складу цієї молекули білка.

**Вправа 11.** Визначте молекулярну масу білкової молекули, яка кодується ділянкою молекули ДНК завдовжки 102 нм.

**Вправа 12.** Визначте довжину гена, який кодує білок, що складається зі 125 амінокислотних залишків.

**Вправа 13.** Один з ланцюгів молекули ДНК має такий вигляд: ГЦГ ГГТ ГГА ТАА ЦТА ГЦЦ. Який вигляд матиме другий ланцюг цієї молекули, синтезований під час її самоподвоєння?

**Вправа 14.** Нуклеотидний склад молекули мРНК такий: ААЦГУУЦЦАГЦУ. Визначте нуклеотидний склад ланцюга ДНК, який протилежний ланцюгу, на якому синтезована ця молекула мРНК.

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Укажіть елемент, який входить до складу гормонів щитоподібної залози: а) Купрум; б) Бор; в) Йод; г) Кобальт.
2. Укажіть назву сполук, розчинних у воді: а) гідрофобні; б) гідрофільні; в) органічні; д) неорганічні.
3. Назвіть сполуку, нерозчинну у воді: а) віск; б) глюкоза; в) фруктоза; г) тростинний цукор.
4. Укажіть сполуки, під час розщеплення яких виділяється найбільше енергії: а) ліпіди; б) вуглеводи; в) білки; г) вітаміни.
5. Назвіть сполуку, яка передає спадкову інформацію з ядра до місця синтезу білкової молекули: а) ДНК; б) мРНК; в) рРНК; г) тРНК.
6. Визначте сполуки, які забезпечують прискорення біохімічних реакцій: а) ДНК; б) гормони; в) вітаміни; г) ферменти.
7. Укажіть, як амінокислотні залишки сполучаються в поліпептидний ланцюг: а) завдяки водневим зв'язкам; б) завдяки ковалентним зв'язкам; в) завдяки гідрофобним взаємодіям; г) завдяки йонним взаємодіям.
8. Укажіть, який вигляд може мати вторинна структура білків: а) глобула; б) декілька сполучених між собою амінокислотних залишків; в) спіраль; г) ланцюг амінокислотних залишків.
9. Зазначте сполуку, до складу якої входить нуклеотид тимін: а) віск; б) ДНК; в) мРНК; г) тРНК.
10. Назвіть сполуку, яка належить до біополімерів: а) глюкоза; б) мРНК; в) жири; г) дезоксирибоза.
11. Укажіть хімічний елемент, що належить до органогенних: а) Карбон; б) Ферум; в) Сульфур; г) Фосфор.
12. Назвіть сполуки, до складу яких входять залишки ортофосфатної кислоти: а) білки; б) моносахариди; в) АТФ; г) жири.

*Утворіть логічні пари*

13. Установіть відповідність між хімічними елементами та сполуками, до складу яких вони входять.

- |               |                                      |
|---------------|--------------------------------------|
| 1 Ферум (Fe)  | <b>A</b> гормон щитоподібної залози  |
| 2 Магній (Mg) | <b>B</b> молекула хлорофілу          |
| 3 Купрум (Cu) | <b>B</b> гормони підшлункової залози |
| 4 Йод (I)     | <b>Г</b> молекула гемоглобіну        |
|               | <b>Д</b> молекула гемоціаніну        |

14. Установіть відповідність між біополімерами та їхніми мономерами.

- |                |                                |
|----------------|--------------------------------|
| 1 полісахариди | <b>A</b> жирні кислоти         |
| 2 білки        | <b>B</b> нуклеотиди з тиміном  |
| 3 ДНК          | <b>B</b> амінокислоти          |
| 4 РНК          | <b>Г</b> нуклеотиди з урацилом |
|                | <b>Д</b> моносахариди          |

15. Визначте кількість енергії, яка виділяється під час розщеплення відповідних органічних сполук.

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| 1 1 г білків              | <b>A</b> 17,2 кДж |
| 2 1 г жирів               | <b>B</b> 42 кДж   |
| 3 перетворення АТФ на АДФ | <b>B</b> 38,9 кДж |
| 4 перетворення АТФ на АМФ | <b>Г</b> 126 кДж  |
|                           | <b>Д</b> 84 кДж   |

16. Установіть відповідність між типами нуклеїнових кислот та їхніми функціями.

- |        |  |
|--------|--|
| 1 ДНК  | <b>A</b> структурна: входять до складу   |
| 2 мРНК | субодиниць рибосом   |
| 3 тРНК | <b>B</b> енергетична   |
| 4 рРНК | <b>B</b> зберігання спадкової інформації   |
|        | <b>Г</b> транспорт амінокислотних залишків до місця синтезу білкової молекули      |
|        | <b>Д</b> передача спадкової інформації від ядра до місця синтезу білкової молекули |



Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей

17. Назвіть особливості, притаманні різним рівням структурної організації білкових молекул.

Первинний	Вторинний	Третинний
1 проста послідовність амінокислотних залишків	1 проста послідовність амінокислотних залишків	1 проста послідовність амінокислотних залишків
2 мають вигляд спіралі	2 мають вигляд спіралі	2 мають вигляд спіралі
3 мають вигляд глобули	3 мають вигляд глобули	3 мають вигляд глобули

18. Назвіть функції, які виконують у клітині молекули органічних сполук.

ДНК	Білки	АТФ
1 кодування спадкової інформації	1 каталітична	1 енергетична
2 енергетична	2 кодування спадкової інформації	2 структурна (будівельна)
3 каталітична	3 передача спадкової інформації до місця синтезу інших органічних молекул	3 транспорт амінокислот

19. Назвіть сполуки, у складі яких трапляються згадані типи хімічних зв'язків.

Високоенергетичні	Водневі	Дисульфідні
1 АТФ	1 молекула води	1 мРНК
2 ДНК	2 АТФ	2 третинна структура білків
3 полісахариди	3 вторинна структура білків	3 АТФ

#### Запитання з відкритою відповіддю

20. Порівняйте властивості та функції ліпідів і вуглеводів.
21. Що спільного й відмінного між процесами деструкції та денатурації?
22. Чому провідна роль у процесах перетворення енергії у тваринних організмах належить вуглеводам, хоча під час розщеплення 1 г жирів енергії виділяється вдвічі більше?
23. Який зв'язок існує між структурою молекули води та її властивостями?
24. Які з хімічних сполук відіграють роль у підтриманні енергетичного балансу організму? Відповідь обґрунтуйте.
25. Чим визначається специфічність дії ферментів? Відповідь обґрунтуйте.
26. Що спільного та відмінного в будові та функціях різних типів нуклеїнових кислот?
27. Як структура ДНК пов'язана з її властивостями і функціями в живих організмах?
28. Чому деякі тварини – мешканці спекотних місцевостей запасають багато жиру? Відповідь обґрунтуйте.
29. Які з органічних сполук живих організмів відіграють захисну роль? Відповідь обґрунтуйте.
30. Чому організм людини не може повноцінно існувати за умов споживання лише рослинної їжі? Відповідь обґрунтуйте.
31. Що спільного та відмінного між структурою АТФ та нуклеотидів у складі різних типів нуклеїнових кислот?
32. Які з білків відіграють захисну роль? Відповідь обґрунтуйте.
33. Чому активність ферментів може проявлятися лише за певних умов? Відповідь обґрунтуйте.
34. Які закономірності кількісного вмісту залишків нітрогеновмісних основ у молекулі ДНК дали підставу для встановлення її просторової структури? Відповідь обґрунтуйте.
35. Як структура молекули тРНК пов'язана з її функціями? Відповідь обґрунтуйте.



## ТЕМА 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- основні методи вивчення клітин;
- особливості клітинного рівня організації живої матерії;
- будову еукаріотичних і прокаріотичних клітин, спільні та відмінні риси їхньої організації.



Мал. 35. Роберт Гук (1), сконструйований ним мікроскоп (2), зріз через корок (3)



Мал. 36. Антоні ван Левенгук (1), сконструйований ним мікроскоп (2)

### §9. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН. ТИПИ МІКРОСКОПІЇ

Пригадайте будову світлового мікроскопа. У чому полягають правила роботи з ним?

**Яка наука вивчає клітини?** Клітини, їхню будову та процеси життєдіяльності досліджує наука **цитологія**. Вона бере початок з відкриття, яке 1665 р. здійснив англійський дослідник **Роберт Гук** (мал. 35). За допомогою сконструйованого власноруч мікроскопа він розглянув оболонки клітин корка й запропонував термін *клітина*.

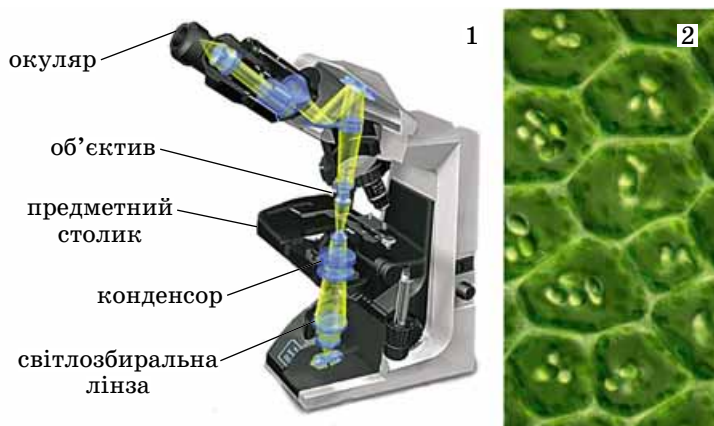
1702 р. голландський дослідник **Антоні ван Левенгук** (мал. 36), також за допомогою мікроскопів власної конструкції, відкрив бактерії, одноклітинні твариноподібні організми (інфузорії та ін.), описав деякі клітини багатоклітинних тварин (еритроцити та сперматозоїди).

**Які методи застосовують у сучасній цитології?** Сучасні дослідження в галузі цитології спрямовані насамперед на вивчення найдрібніших органел і структур, їхніх функцій у клітині. Адже удосконалені збільшувальні прилади й новітні технології відкривають нові перспективи перед дослідниками. Нині щодалі більше розвиваються дослідження в галузі клітинної інженерії.

Першим приладом, який дав змогу вивчати клітини, був **світловий (оптичний) мікроскоп**. Розгляньте малюнок 37 і пригадайте будову світлового мікроскопа. Методи досліджень, які здійснюють за допомогою цього приладу, називають *світловою мікроскопією*.

Метод світлової мікроскопії ґрунтується на тому, що через прозорий чи напівпрозорий об'єкт дослідження проходять промені світла, які згодом потрапляють до системи лінз об'єктива та окуляра (мал. 37). Ці лінзи збільшують об'єкт дослідження, при цьому кратність збільшення можна визначити як добуток збільшень об'єктива й окуляра. Наприклад, якщо лінзи окуляра забезпечують збільшення в 10 разів, а об'єктива – в 40, то загальне збільшення об'єкта досліджень становитиме 400 разів. Сучасні світлові мікроскопи можуть забезпечувати збільшення до 2–3 тис. разів. Удосконалити свої навички роботи зі світловим мікроскопом ви зможете під час виконання лабораторної роботи (див. с. 61).

**Метод електронної мікроскопії.** Клітинні структури найдрібніших розмірів (мембрани тощо) були відкриті та вивчені за допомогою *електронного мікроскопа*, винайденого у першій половині XX ст. Електронний мікроскоп



Мал. 37. 1. Схематична будова і принцип роботи світлового мікроскопа. Завдання. Зверніть увагу на хід променів світла від його джерела до системи лінз об'єктива та окуляра. 2. Клітини рослини у полі зору світлового мікроскопа

здатний збільшувати зображення об'єктів дослідження до 500 тис. і більше разів (мал. 39). Конструкція електронного мікроскопа дещо нагадує конструкцію світлового, але замість променів світла в ньому застосовують потік електронів, які рухаються в магнітному полі. Роль лінз при цьому виконують електромагніти, здатні змінювати напрямок руху електронів, збирати їх у пучок (фокусувати) й спрямовувати його на об'єкт дослідження.

Частина електронів, проходячи через об'єкт дослідження, може відхилитись, розсіюватись, поглинатись, взаємодіяти з об'єктом або проходити крізь нього без змін. Пройшовши через досліджуваний об'єкт, електрони потрапляють на люмінесцентний екран, спричиняючи його нерівномірне свічення, або на особливий фотоматеріал, за допомогою якого зображення можна фотографувати.

За допомогою методу сканувальної електронної мікроскопії можна вивчати поверхні клітин, окремих органел тощо (мал. 40). При цьому потік електронів не проходить крізь об'єкт дослідження, а відбивається від його поверхні.

У живих клітинах вивчають процеси їх життєдіяльності (рух цитоплазми, поділ тощо). Тонкощі клітинної будови вивчають на певним чином оброблених клітинах.



Мал. 39. 1. Сучасний електронний мікроскоп. 2. Фото хлоропластів у клітині, зроблене за допомогою електронного мікроскопа

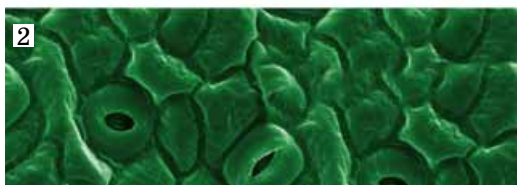


Мал. 38. 1. Маттіас Якоб Шлейден (1804–1881). 2. Теодор Шванн (1810–1882)

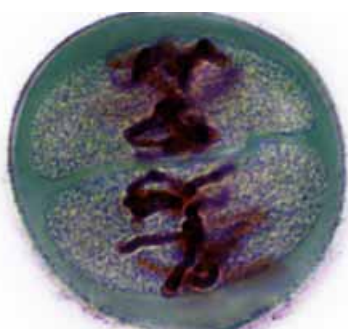
### Цікаво знати

Німецький ботанік **Маттіас Якоб Шлейден** (мал. 38) описував роль ядра в рослинній клітині. Німецький цитолог і фізіолог **Теодор Шванн**, ознайомившись із працями М. Шлейдена та порівнюючи їх з результатами власних досліджень тваринних клітин, сформулював основні положення клітинної теорії: усі живі організми складаються з клітин; клітини тварин і рослин подібні за будовою та хімічним складом.





Мал. 40. 1. Сучасний сканувальний мікроскоп. 2. Фото шкірки листка, зроблене за допомогою сканувального мікроскопа



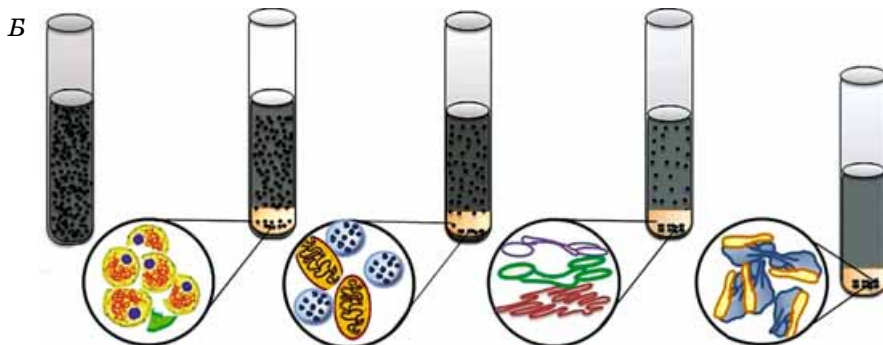
Мал. 41. Обмін ділянками між хромосомами, виявлений за допомогою методу мічених атомів (пояснить суть цього методу)

Для цього клітини необхідно попередньо зафіксувати певними речовинами (спирт, формалін тощо), швидким заморожуванням або висушуванням. Окремі структури фіксованих клітин зафарбовують особливими барвниками та виготовляють мікроскопічні препарати, які можуть зберігатися тривалий час. Щоб за допомогою електронного сканувального мікроскопа сфотографувати поверхні клітини або окремих органел, їх покривають металічним пилом, наприклад золотим.

**Метод культури клітин** дає змогу вченим постійно мати у своєму розпорядженні клітини різних типів. При цьому живі клітини утримують і розмножують на штучних поживних середовищах (наприклад, виготовлених з агару – речовини, яку добувають із червоних водоростей). Змінюючи компоненти поживного середовища, можна спостерігати, як різні сполуки впливатимуть на ріст і розмноження клітин, інші їхні властивості. Культури клітин використовують у медицині, ветеринарії та службі захисту рослин для перевірки впливу різноманітних хімічних препаратів, вірусів, одноклітинних організмів, отримання біологічно активних речовин (лікарських препаратів, біостимуляторів тощо).

**Метод мічених атомів** дає змогу з'ясувати місце та перебіг певних фізико-хімічних явищ у клітині. Для цього до клітини вводять речовину, в якій один з атомів певного хімічного елемента (Карбону, Фосфору тощо) заміщений його радіоактивним ізотопом. За допомогою особливих приладів, здатних виявляти ізотопи, можливо прослідкувати за міграцією цих речовин у клітині, їхніми перетвореннями, виявити місце та характер тих чи інших біохімічних процесів. Наприклад, за допомогою цього методу було доведено, що під час особливого поділу клітини (детальніше про нього ви дізнаєтеся з § 24) хромосоми однієї пари можуть обмінюватися своїми ділянками (мал. 41).

**Метод центрифугування** використовують для вивчення різних структур клітин. При цьому клітини попередньо подрібнюють і в особливих пробірках поміщають у *центрифугу* – прилад, здатний розвивати швидкі оберти. Оскільки різні клітинні структури мають неоднакову щільність, за дуже швидких обертів центрифуги вони осідають шарами: щільніші структури – швидше і тому опиняться знизу, а менш щільні – зверху (мал. 42). Ці шари розділяють і вивчають окремо.



Мал. 42. А. Центрифуга. Б. Метод центрифугування: послідовні стадії осідання структур клітини залежно від їхньої маси



## Коротко про головне

Для дослідження клітин використовують різноманітні методи: світлову та електронну мікроскопію, метод мічених атомів, центрифугування тощо.

Клітини можна досліджувати як живими, так і в зафіксованому стані. Для того щоб постійно мати матеріал для вивчення клітин певних типів, застосовують метод культури клітин.

Цитологічні методи широко застосовують для діагностики різноманітних захворювань людини, свійських тварин та культурних рослин, визначення фізіологічного стану організмів.

**Застосування цитологічних методів у діагностиці захворювань.** Цитологічні методи широко застосовують для діагностики різноманітних захворювань людини, свійських тварин та культурних рослин, визначення фізіологічного стану організмів. Так, в **онкології** (наука, яка вивчає причини виникнення, розробляє засоби діагностики та лікування ракових захворювань) ці методи використовують для виявлення злоякісних і доброякісних пухлин, діагностики передракових станів і первісних стадій цих захворювань. Для цього виявляють аномальні клітини та вивчають їхню здатність до швидкого розмноження. Розроблено цитологічні методики розпізнавання захворювань крові, травної системи, нирок, легень, шкіри тощо. Наприклад, значне збільшення кількості еритроцитів свідчить про небезпечну хворобу – еритроцитоз, а лейкоцитів – про білокрів'я (лейкоз). Уперше припущення про те, що хвороби людини пов'язані з патологічними змінами в будові та функціонуванні клітин, висунув німецький учений Рудольф Вірхов ще у XIX ст.

### Ключові терміни та поняття:

світлова (оптична) та електронна мікроскопія.

### Перевірте здобуті знання

1. За допомогою яких методів вивчають клітини? 2. У чому полягає метод світлової мікроскопії? 3. Чим відрізняються принципи роботи світлового та електронного мікроскопів? 4. Які структури виявляють за допомогою сканувального мікроскопа? 5. Розкрийте суть методу мічених атомів. 6. З якою метою використовують метод культури клітин? 7. Яка роль цитологічних методів у діагностиці різних захворювань?

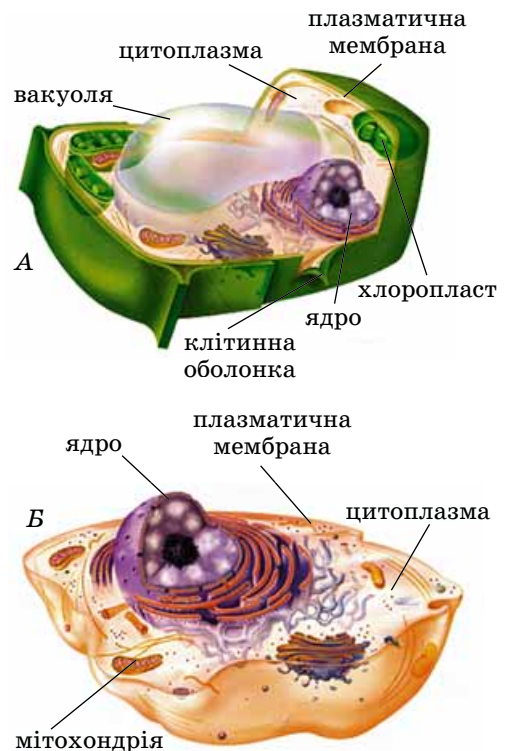
## §10. СТРУКТУРА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ

*Пригадайте*, що таке дифузія, гідрофільність і гідрофобність. Що таке імунітет, антитіла та антигени? Що таке денатурація? Яка будова та функції молекул АТФ? Що таке фагоцитоз?

Ви вже знаєте, що **клітина є структурно-функціональною одиницею живих істот**. Це означає, що на клітинному рівні організації живої матерії повністю проявляються всі основні властивості живого: обмін речовин і перетворення енергії, здатність до росту, розмноження, руху, подразливості, збереження і передача спадкової інформації нащадкам тощо.

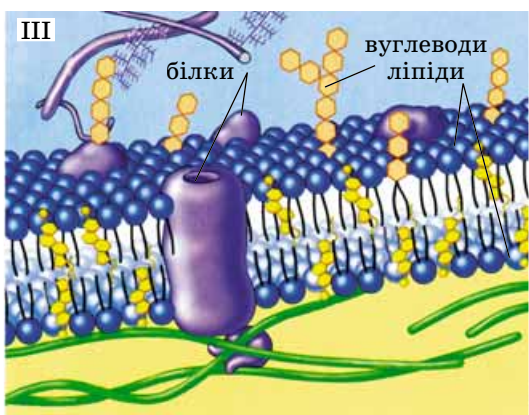
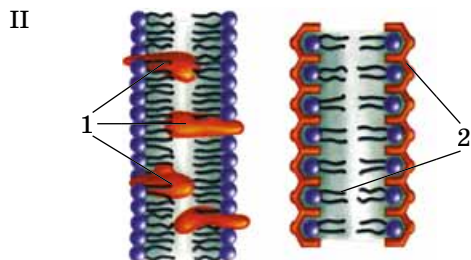
*Пригадайте*: залежно від наявності ядра всі організми поділяють на прокаріотів та еукаріотів. Клітини прокаріотів (наприклад бактерій) не мають ядра. Про будову їхніх клітин ви дізнаєтеся з § 15.

Клітини еукаріотів – грибів, рослин і тварин – обов'язково мають ядро. Незважаючи на багатоманітність форм, організація клітин усіх цих організмів підпорядкована одним закономірностям (мал. 43). Внутрішній уміст кожної клітини оточує поверхневий апарат, до складу якого входить клітинна мембрана. Внутрішнє середовище клітини між клітинною мембраною та ядром – це **цитоплазма**. У ній розташовані постійні

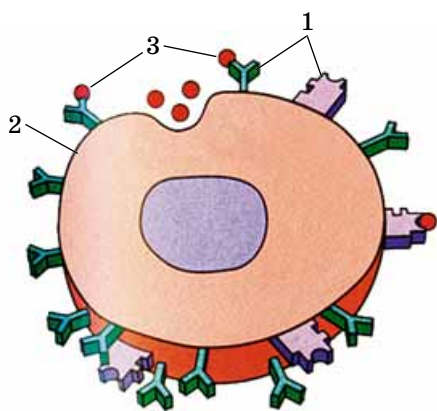


Мал. 43. Моделі внутрішньої будови еукаріотичних клітин: А. Рослинної. Б. Тваринної. **Завдання.** Розгляньте малюнок і пригадайте, які органели клітин тварин і рослин вам відомі з попередніх курсів біології та які їхні функції





Мал. 44. Будова плазматичної мембрани: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема розташування в мембрані білків (1) і ліпідів (2). III. Рідинно-мозаїчна модель будови плазматичної мембрани



Мал. 45. Захисна функція клітинної мембрани: антитіла (1) у складі мембрани (2) зв'язують антигени (3) і запобігають їхньому проникненню в клітину

клітинні структури *органели*. Кожна з органел забезпечує відповідні процеси життєдіяльності клітини. Непостійні структури – *включення* – це запасні сполуки чи кінцеві продукти обміну речовин.

**Поверхневий апарат.** До поверхневого апарату належать плазматична мембрана, надмембранні та підмембранні структури. До складу **плазматичної мембрани** (її ще називають **плазмалемою**) входять насамперед ліпіди, білки та вуглеводи (мал. 44). Молекули ліпідів розташовані у два шари: їхні гідрофільні «голівки» (ортофосфатні групи) обернені до зовнішнього та внутрішнього боку мембрани. Гідрофобні «хвости», що складаються з ланцюжків жирних кислот, обернені всередину (мал. 44. II).

Білки є головним функціональним компонентом клітинних мембран. Одні з молекул білків розташовані або на зовнішній, або на внутрішній поверхні мембран, тому їх називають **поверхневими**. Інші молекули білків перетинають подвійний шар ліпідів.

Вуглеводи входять до складу мембран виключно у вигляді комплексних сполук із молекулами білків або ліпідів.

Така модель будови біологічних мембран дістала назву **рідинно-мозаїчної** (мал. 44. III). Назва пояснюється тим, що приблизно 30 % ліпідів мембран міцно пов'язані з внутрішніми білками в єдині комплексні сполуки, тоді як решта ліпідів перебувають у рідкому стані. Тому білково-ліпідні комплекси наче «вкраплені» у рідку ліпідну масу, нагадуючи мозаїку.

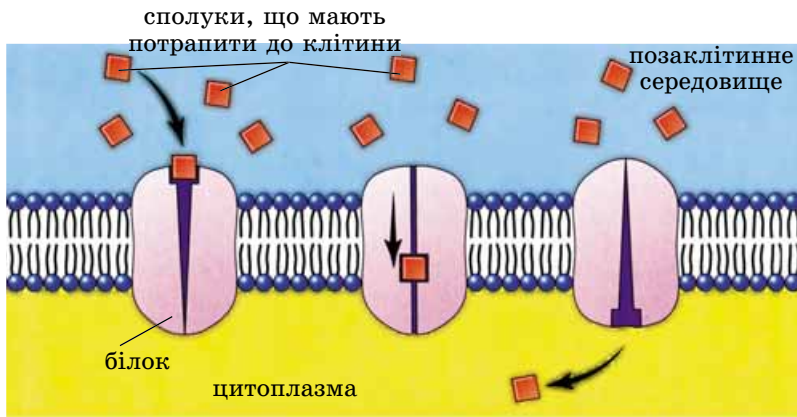
Молекули, які входять до складу мембран, здатні до переміщень. Завдяки цьому мембрани швидко поновлюються за незначних пошкоджень. Плазматичні мембрани можуть розтягуватися та стискатися, наприклад під час змін форми або руху клітин, утворювати вирости, зморшки, мікроворсинки, які набагато збільшують поверхню клітини.

**Функції клітинної мембрани.** Клітинна мембрана виконує насамперед **захисну функцію**: оберігає внутрішнє середовище клітини від несприятливих впливів. Зокрема, серед мембранних білків є такі, що здатні зв'язувати антигени (речовини, які клітина сприймає як чужорідні) і тим самим запобігати їхньому проникненню в клітину. Отже, плазматична мембрана є однією з ланок захисних реакцій організму – імунітету (мал. 45).

**Транспортна функція.** Клітинна мембрана характеризується напівпроникністю: одні сполуки можуть швидко проходити крізь неї, інші – повільніше або взагалі не можуть її перетнути. Сполуки, які потрібні для життєдіяльності клітин, а також продукти обміну речовин перетинають плазматичну мембрану за допомогою пасивного або активного транспорту.

**Пасивний транспорт** забезпечує вибіркоче проникнення речовин через мембрани. При цьому молекули переміщуються завдяки різниці концентрації речовин по обидва боки мембрани: з ділянки, де їхня концентрація висока, у ділянку, де їхня концентрація нижча. На здійснення пасивного транспорту витрачається небагато енергії або ж вона не витрачається взагалі. Пасивний транспорт забезпечують різні механізми. Зокрема, за





Мал. 46. Полегшена дифузія. Тільки після взаємодії з білком мембрани сполука надходить до цитоплазми

допомогою дифузії у клітину надходять вода та розчинені в ній речовини.

Якщо мембрана вільно пропускає молекули однієї речовини та затримує частинки іншої, то відбувається *однобічна дифузія* лише тієї речовини, яка здатна проходити крізь мембрану. *Полегшена дифузія* – перетинання мембрани певними молекулами за допомогою мембранних білків-переносників, які пронизують мембрану (мал. 46). Ці білки взаємодіють з певними молекулами на одній з поверхонь мембрани і внаслідок зміни своєї просторової структури транспортують їх на інший бік.

**Активний транспорт** речовин через клітинні мембрани, на відміну від пасивного, пов'язаний зі значними витратами енергії, накопиченої у молекулах АТФ.

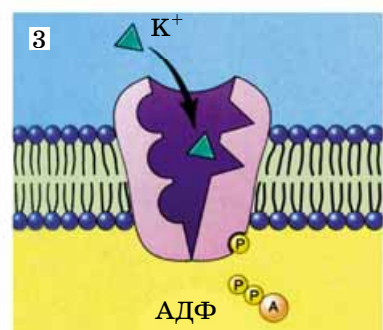
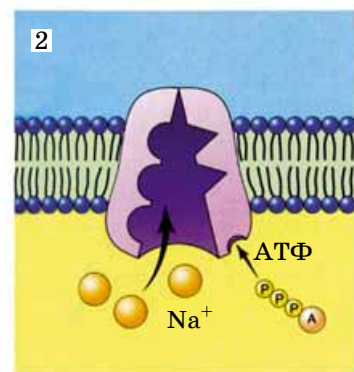
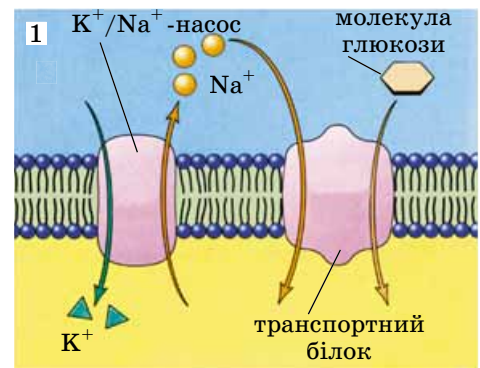
Один з механізмів активного транспорту речовин через мембрани назвали *калій-натрієвим насосом* (мал. 47). Він пов'язаний з тим, що концентрація йонів Калію всередині клітини вища, ніж ззовні, а йонів Натрію – навпаки. Завдяки такій різниці концентрацій унаслідок дифузії йони Натрію надходять у клітину, а Калію – виводяться з неї. Але концентрація цих йонів у живій клітині й поза нею ніколи не вирівнюється, оскільки існує особливий механізм, завдяки якому йони Натрію виводяться («відкачуються») з клітини, а Калію – надходять («закачуються») до неї. Існування механізму калій-натрієвого насоса доводить той факт, що у відмерлих або заморожених клітинах концентрація йонів Калію і Натрію з обох боків плазматичної мембрани швидко вирівнюється. Активний транспорт йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  застосовується для підтримання електричної збудливості нервових і м'язових клітин, полегшує транспорт у клітину моносахаридів, амінокислот, йонів Кальцію.

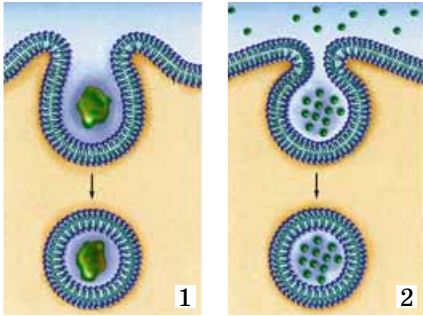
До механізмів транспорту речовин через мембрани належить також *цитоз*. Розрізняють два основних види цитозу: фаго- і піноцитоз (мал. 48).

**Фагоцитоз** (від грец. *фагос* – поїрати) – активне захоплення твердих мікроскопічних об'єктів (частинки

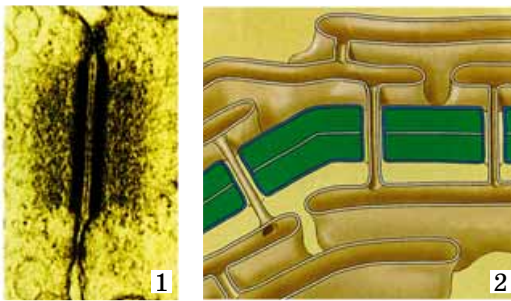
Мал. 47. 1. Загальна схема, що ілюструє активний транспорт за участі калій-натрієвого насоса. 2. Йони  $\text{Na}^+$  виводяться з клітини, де їхня концентрація нижча, ніж у зовнішньому середовищі. 3. Йони  $\text{K}^+$  «закачуються» в клітину, де їхня концентрація вища, ніж у позаклітинному середовищі

**Запам'ятаємо:** біологічне значення калій-натрієвого насоса полягає в тому, що завдяки йому енергетично сприятливе пересування йонів Натрію в клітину полегшує енергетично несприятливий транспорт низькомолекулярних сполук (глюкози, амінокислот тощо). У цих процесах беруть участь особливі транспортні білки, що входять до складу клітинних мембран.

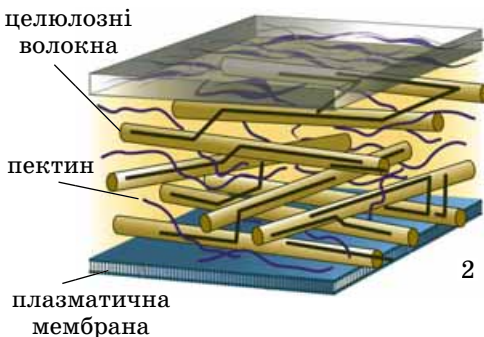
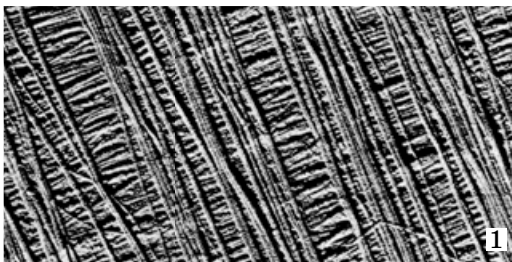




Мал. 48. Схематичне зображення цитозу: 1 – фагоцитоз; 2 – піноцитоз



Мал. 49. Міжклітинні контакти: 1 – тісні контакти між плазматичними мембранами двох клітин тварин; 2 – контакти між клітинами рослин



Мал. 50. Клітинна оболонка рослинної клітини: 1 – фото, зроблене за допомогою сканувального мікроскопа; 2 – схема будови

органічних сполук, дрібних клітин та ін.) (мал. 48, 1). До фагоцитозу здатні певні типи тваринних клітин. *Пригадайте*: за допомогою фагоцитозу захоплюють їжу деякі одноклітинні організми (як-от амеби) та клітини багатоклітинних тварин (наприклад, травні клітини гідри). Спеціалізовані клітини багатоклітинних тварин за допомогою фагоцитозу здійснюють захисну функцію (наприклад, макрофаги). Вони захоплюють і перетравлюють хвороботворні мікроорганізми.

**Піноцитоз** (від грец. *πίνο* – п'ю) – процес поглинання клітиною рідини разом з розчиненими або завислими в ній сполуками за рахунок вп'ячування мембрани (мал. 48, 2). Піноцитозні пухирці потім відщеплюються від мембрани з її внутрішнього боку.

**Сигнальна функція клітинних мембран.** У складі клітинної мембрани є білки, здатні у відповідь на дію різних факторів навколишнього середовища змінювати свою просторову структуру, передаючи сигнали до клітини. Такі особливості будови плазматичної мембрани забезпечують подразливість організмів.

### Цікаво знати

З молекулами, що входять до складу мембрани, можуть взаємодіяти віруси. Якщо така взаємодія відбулася – вірус проникає до клітини, якщо не відбулася – ні. Саме на цьому базується створення лікарських препаратів проти вірусних інфекцій: вони спрямовані на те, аби унеможливити взаємодію вірусних частинок з відповідними молекулами у складі мембран.

**Функція забезпечення міжклітинних контактів** у багатоклітинних організмів. У місцях контакту двох тваринних клітин мембрани кожної з них здатні утворювати складки або вирости. Вони надають міжклітинному сполученню особливих міцності та пружності, щільно зв'язуючи клітини (мал. 49, 1). Клітини рослин сполучаються між собою завдяки утворенню мікроскопічних міжклітинних каналців, устелених мембраною і заповнених цитоплазмою (мал. 49, 2).

Плазматичні мембрани також беруть участь у рості та поділі клітин.

**Надмембранні комплекси** клітин складаються зі структур, розташованих над плазматичною мембраною. Як ви пам'ятаєте, у рослин і грибів – це клітинна оболонка, у клітин тварин – глікокалікс.

**Клітинна оболонка** рослин включає зібрані в пучочки нерозчинні у воді волоконця полісахариду целюлози (мал. 50), занурені у своєрідний каркас (матрикс). Залежно від типу тканин і виконуваних ними функцій, до складу клітинної оболонки рослин можуть входити й інші вуглеводи, а також ліпіди, білки, неорганічні сполуки ( $\text{SiO}_2$ , карбонати та ортофосфати кальцію тощо). Наприклад, оболонки клітин корка або судин у рослин з віком просочуються жироподібною речовиною. Унаслідок цього вміст клітини відмирає, що сприяє виконанню ними опорної або провідної функцій. Клітинні оболонки здатні дерев'яніти, тобто проміжки між волокнами целюлози заповнює складна полімерна сполука лігнін, який надає оболонкам додаткової міцності.



У різних груп справжніх грибів до складу клітинної оболонки, крім целюлози, входить нітрогеновмісний полісахарид хітин, який підвищує її міцність, глікоген, темні пігменти (меланіни) та інші сполуки.

Опорна функція клітинної оболонки полягає в підтриманні форми клітини. Клітинна оболонка забезпечує міжклітинні контакти між клітинами рослин.

**Глікокалікс** – це поверхневий дуже тоненький шар, що складається зі сполук білків і ліпідів з вуглеводами (мал. 51). Він нездатний підтримувати форму клітини, але забезпечує безпосередній зв'язок клітин з навколишнім середовищем. До складу глікокаліксу входять рецепторні молекули, здатні сприймати подразники довкілля. Він бере участь у вибіркового транспорту речовин всередину клітини та назовні (пропускає чи не пропускає молекули залежно від їхніх розмірів, заряду тощо). Крім того, глікокалікс забезпечує зв'язок між клітинами в багатоклітинних тварин.

**Підмембранні комплекси клітин** – це різноманітні структури білкової природи: мікронитки і мікротрубочки, які утворюють *цитоскелет* – своєрідний скелет клітини. Докладніше про нього ви дізнаєтеся з наступного параграфа.

### Ключові терміни та поняття:

поверхневий апарат клітини, рідинно-мозаїчна модель будови клітинних мембран, пасивний і активний транспорт, фагоцитоз, піноцитоз, глікокалікс.

### Перевірте здобуті знання

1. З яких сполук складаються біологічні мембрани? 2. Що собою становить рідинно-мозаїчна модель будови біологічних мембран? 3. Які основні функції плазматичної мембрани? 4. Як відбувається транспорт речовин через плазматичну мембрану? 5. Що спільного та відмінного між процесами фагоцитозу і піноцитозу? 6. Завдяки чому плазматична мембрана здійснює захисну функцію? 7. Що входить до складу клітинної оболонки рослин і грибів? Які її функції? 8. Що таке глікокалікс? Які його функції?

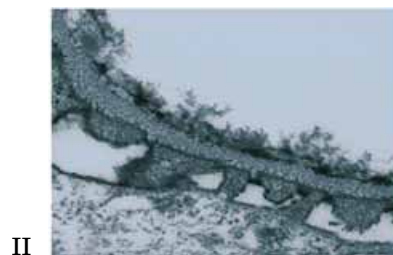
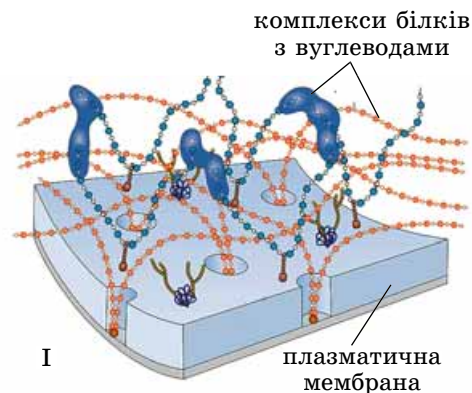
### Поміркуйте

1. Яке значення має рухливість молекул білків у біологічних мембранах для здійснення їхніх функцій? 2. Що спільного та відмінного у будові та функціях клітинної оболонки та глікокаліксу? 3. Одноклітинна водорість хламідомонада і представник одноклітинних тварин – евглена зелена – мають багато спільних особливостей будови клітини і процесів життєдіяльності. Які саме особливості будови оболонки їхніх клітин дають змогу віднести хламідомонаду до рослини, а евглену зелену – до твариноподібних організмів?

## §11. СТРУКТУРА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: ЦИТОПАЗМА, РИБОСОМИ, ОРГАНЕЛИ РУХУ, КЛІТИННИЙ ЦЕНТР

*Пригадайте* з курсу хімії, який розчин називають колоїдним. Що таке золь і гель? Які бувають типи РНК? Які органели руху трапляються в одноклітинних еукаріотів? Як відбувається процес фагоцитозу?

**Що таке цитоплазма?** Внутрішній уміст клітини, за винятком ядра, називають **цитоплазмою** (від грец. *китос* – клітина та *плазма* – виліплене, сформоване). Це



Мал. 51. I. Схема будови глікокаліксу, розташованого над плазматичною мембраною. II. Електронно-мікроскопічне фото глікокаліксу



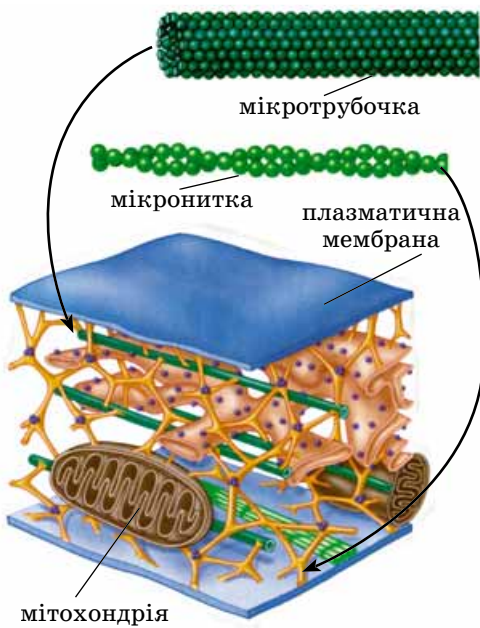
### Коротко про головне

Усі клітини обмежені плазматичною мембраною, яка забезпечує обмін речовин із навколишнім середовищем, а в багатоклітинних організмів – взаємодію клітин між собою. Усі різноманітні мембранні структури клітин складаються насамперед з ліпідів і білків. Сучасна модель будови біологічних мембран дістала назву рідинно-мозаїчної.

Клітинна мембрана виконує різноманітні функції: захисну, забезпечення процесів обміну речовин з навколишнім середовищем, сигнальну, транспорту речовин, контактів із сусідніми клітинами тощо. Різні сполуки, необхідні для життєдіяльності клітин, а також продукти обміну речовин перетинають плазматичну мембрану за допомогою механізмів пасивного чи активного транспорту.

Над плазматичною мембраною у рослин і грибів розташована клітинна оболонка, у клітин тварин – глікокалікс. До підмембранних комплексів клітин належить цитоскелет, утворений з білкових структур.

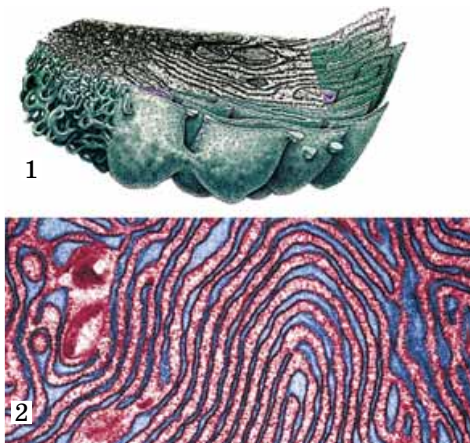




Мал. 52. Схема будови цитоскелета

### Цікаво знати

У клітинах багатьох одноклітинних твариноподібних організмів (інфузорії, евглени тощо) до підмембранних комплексів належить *пелікула*. Це ущільнений зовнішній шар цитоплазми, у якому можуть перебувати різні опорні структури (сплощені мішечки, оточені мембраною в інфузорій, білкові смужки в евглен тощо). Пелікула надає міцності оболонці клітини, забезпечуючи відносну сталість її форми.



Мал. 53. Система внутрішньоклітинних мембран еукаріотичної клітини: схема будови (1); фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа (2)

неоднорідний колоїдний розчин органічних і неорганічних речовин у воді – *цитозоль*. Уміст води може коливатись у значних межах, сягаючи в молодих клітинах до 90 %. З органічних сполук у цитоплазмі є різноманітні білки, амінокислоти, моно-, оліго- та полісахариди, ліпіди, різні типи РНК тощо. З неорганічних – катіони металів (зокрема,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ), аніони карбонатної та ортофосфатної кислот, аніони  $\text{Cl}^-$  та ін.

Цитозоль може перебувати в рідкому (*золь*) або драглистому (*гель*) стані. При цьому різні його ділянки можуть одночасно бути у різних станах. Перехід цитозолю з одного стану в інший забезпечує амебоїдний рух клітин за допомогою несправжніх ніжок, а також процеси фаго- та піноцитозу. Фізичний стан цитозолю впливає на швидкість перебігу біохімічних процесів: що він гущіший, то повільніше відбуваються біохімічні реакції.

Цитозоль об'єднує в єдину функціональну біологічну систему всі клітинні структури і забезпечує їхню взаємодію. У цитозолі відбуваються транспорт різних сполук, процеси обміну речовин. Цитозоль перебуває в постійному русі. Ви можете самостійно спостерігати за ним, увівши до живої клітини забарвлені сполуки.

Цитоплазма як внутрішнє середовище клітини характеризується відносною сталістю будови та властивостей. Внутрішній простір еукаріотичної клітини строго впорядкований.

**Цитоскелет**, або внутрішньоклітинний скелет, – це система білкових утворів – мікротрубочок і мікрониток (мал. 52). Він виконує опорну функцію, а також сполучає всі компоненти клітини: її поверхневий апарат, структури цитоплазми, ядро. Елементи цитоскелета сприяють закріпленню органел у певному положенні та їхньому переміщенню в клітині.

**Мікронитки** – це тонкі ниткоподібні структури, які складаються зі скоротливих білків, переважно актину (*пригадайте*: актин – складова м'язових клітин) (мал. 52). Вони пронизують цитоплазму й можуть утворювати пелети під плазматичною мембраною. Пучки мікрониток прикріплені одним кінцем до певної структури (наприклад, плазматичної мембрани), а іншим – до органели тощо.

**Мікротрубочки** – порожнисті циліндричні білкові структури (мал. 52). Вони беруть участь у формуванні веретена поділу еукаріотичних клітин, входять до складу війок, джгутиків тощо. Мікротрубочки забезпечують переміщення органел і макромолекул по клітині. При цьому пучки мікротрубочок одним кінцем прикріплюються до однієї структури чи молекули, а другим – до іншої.

**Внутрішньоклітинні мембрани.** Усі клітини сформовані системою *біологічних мембран* (*біомембран*), які відіграють важливу роль у забезпеченні їхнього нормального функціонування. Внутрішнє середовище клітини поділене внутрішньоклітинними мембранами на окремі функціональні ділянки (мал. 53).

Така система мембран необхідна для розміщення певних речовин (ферментів, пігментів та ін.), а також розділення просторово несумісних процесів обміну речовин і перетворення енергії, захисту певних ділянок

## Цікаво знати

У деяких одноклітинних тварин є особливі внутрішньоклітинні структури, які виконують опорну функцію. Як і включення, це конструкції певної форми, розташовані в цитозолі й не обмежені від неї мембранами. Наприклад, морські одноклітинні тварини радіолярії мають химерний внутрішньоклітинний скелет (у вигляді дірчастих куль, вкладених одна в одну, корон тощо), який складається із  $\text{SiO}_2$  або  $\text{SrSO}_4$  (мал. 54).

клітини від дії травних ферментів тощо. У біологічних мембранах відбуваються процеси, пов'язані зі сприйняттям інформації, яка надходить із навколишнього середовища, формуванням і передачею збудження, перетворенням енергії, захистом від проникнення хвороботворних мікроорганізмів та іншими проявами життєдіяльності клітин, органів і організму в цілому. Внутрішньоклітинні мембрани (одна, дві чи більша їхня кількість) оточують різноманітні органели.

**Органели** (від грец. *органон* – орган, інструмент) – постійні клітинні структури клітини. Кожна з органел забезпечує відповідні процеси життєдіяльності клітини (живлення, рух, синтез певних сполук, зберігання й передачу спадкової інформації тощо).

На відміну від органел, клітинні *включення* – непостійні структури. Вони можуть зникати і знову з'являтися у процесі життєдіяльності клітини. Включення – це запасні сполуки чи кінцеві продукти обміну речовин.

**Яка будова та функції рибосом?** Обов'язковими органелами будь-яких клітин є **рибосоми** (від *рибонуклеїнова кислота* та грец. *сома* – тільце). Це немембранні органели, які беруть участь у біосинтезі білків у клітині. Рибосоми мають вигляд сферичних тілець, що складаються з двох різних за розмірами частин – *субодиниць*: великої та малої (мал. 55). Кожна із субодиниць містить рРНК і молекули білків, які взаємодіють між собою. Субодиниці рибосом можуть роз'єднуватися після завершення синтезу білкової молекули і знову сполучатися між собою перед початком цього процесу.

Структурні компоненти рибосом утворюються в ядрі за участі ядерця: на молекулі ДНК синтезується рРНК, яка сполучається з рибосомними білками, що надходять сюди із цитоплазми. Після цього утворені субодиниці рибосом виходять за межі ядра в цитоплазму. Рибосоми є і в таких органелах, як мітохондрії та пластиди. Але їхні розміри дрібніші, ніж у тих, які містяться у цитоплазмі клітини.

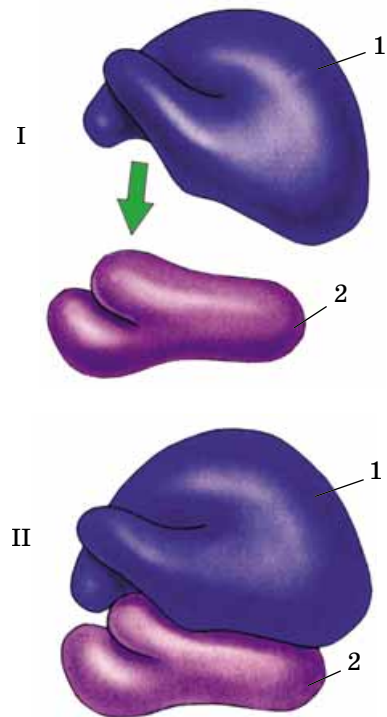
## Цікаво знати

Кількість рибосом у клітині залежить від інтенсивності процесів біосинтезу білків. Наприклад, у хребтних тварин найбільше рибосом виявлено в клітинах печінки, червоного кісткового мозку, де ці процеси відбуваються досить активно.

**Які органели руху трапляються в клітинах еукаріотів?** У клітин багатьох одноклітинних і багатоклітинних

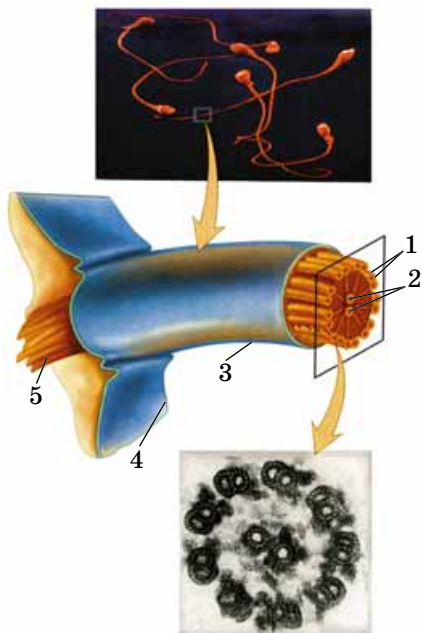


Мал. 54. Внутрішньоклітинні мінеральні скелети радіолярій

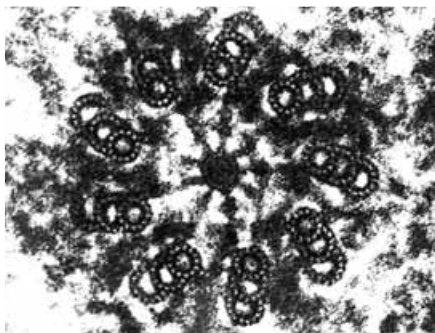


Мал. 55. Будова рибосоми. I. Роз'єднані велика (1) та мала (2) субодиниці. II. Велика (1) та мала (2) субодиниці у складі рибосоми

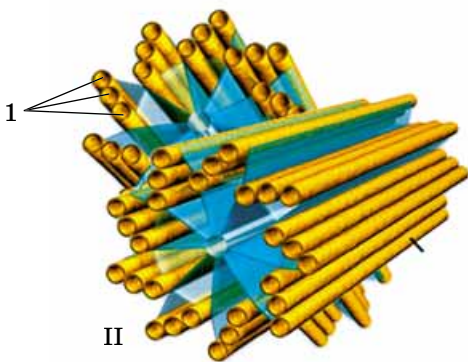




Мал. 57. Зріз через вільну частину джгутика: 1 – групи з двох мікротрубочок, розташовані по периферії джгутика; 2 – пара центральних мікротрубочок; 3 – мембрана, що оточує вільну частину джгутика; 4 – плазматична мембрана, що оточує клітину; 5 – базальне тільце

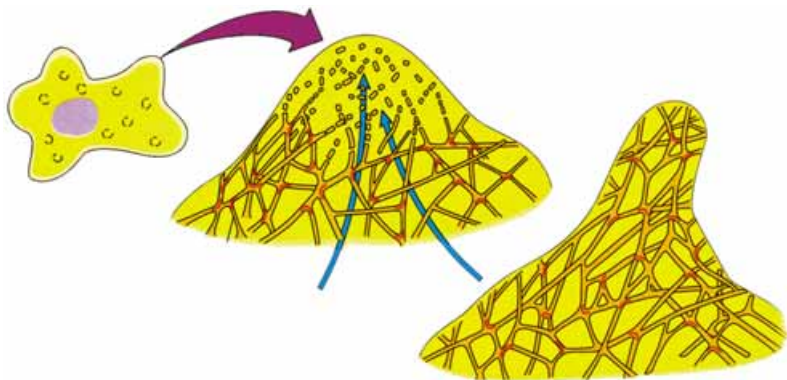


I



II

Мал. 58. Будова клітинного центру:  
I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа.  
II. Схеми будови центріолей:  
1 – групи мікротрубочок по три у кожній



Мал. 56. Схема утворення псевдоподії (стрілками зазначено напрямок руху цитоплазми). Зверніть увагу: під час утворення псевдоподії збільшується число мікротрубочок

організмів наявні органели руху. Це псевдоподії, джгутики і війки.

Псевдоподії (від грец. *псевдос* – несправжній і *подос* – нога) – непостійні вирости цитоплазми. Вони виникають завдяки руху цитоплазми: там, де вона рухається назовні, утворюється виріст клітини, оточений плазматичною мембраною (мал. 56). Як ви пам'ятаєте, псевдоподії не лише забезпечують пересування клітини, а й захоплення твердих частинок – процеси фагоцитозу (наприклад, макрофаги за допомогою псевдоподій знешкоджують хвороботворні мікроорганізми).

Джгутики та війки трапляються у деяких одноклітинних організмів (хламідомонада, евглени, інфузорії), а також деяких типів клітин багатоклітинних (епітелій дихальних шляхів ссавців, сперматозоїди тварин, вищих спорових рослин тощо). Джгутики і війки мають вигляд тоненьких виростів цитоплазми (діаметром приблизно 0,25 мкм), укритих плазматичною мембраною. В середині цих органел розташована складна система з мікротрубочок (мал. 57).

Рух джгутиків і війок здійснюється за рахунок вивільнення енергії АТФ, при цьому сусідні пари мікротрубочок неначе ковзають одна відносно одної. Робота війок загалом нагадує веслування і, зазвичай, скоординована (наприклад, в інфузорій). Для джгутиків характерний гвинтоподібний або хвилеподібний рух. Робота джгутиків і війок не лише забезпечує пересування клітин, а й надходження частинок їжі до поверхні клітини разом з потоками води, які вони створюють (наприклад, рух джгутиків травних клітин гідри). Джгутики і війки можуть також виконувати чутливу (наприклад, у війчастих червів) і захисну (війки епітелію носової порожнини) функції.

**Клітинний центр (центросома)** – органела, яка складається з двох **центріолей**, розташованих у світлій ущільненій ділянці цитоплазми (мал. 58). Центріолі мають вигляд циліндра, який складається з дев'яти комплексів мікротрубочок, по три в кожному. У період між двома поділами клітини центріолі пов'язані із зовнішньою поверхнею ядерної оболонки. Вони є в клітинах багатьох багатоклітинних тварин, але відсутні в клітинах вищих рослин, деяких грибів, водоростей та одноклітинних



тварин. Їхня функція полягає в тому, що ці структури беруть участь у поділі клітини.

Клітинний центр бере участь у формуванні мікротрубочок цитоплазми, джгутиків і війок.

### Ключові терміни та поняття:

цитозоль, рибосоми, псевдоподії, джгутики, війки, центріолі.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке цитоплазма? 2. Який склад і функції цитозолю? 3. Яка будова рибосом? Які їхні функції? 4. Де і як утворюються рибосоми? 5. Що таке псевдоподії? Які їхні функції? 6. Що спільного і відмінного в будові та роботі джгутиків і війок? Які їхні функції? 7. Що таке клітинний центр? Які його функції?

### Поміркуйте

Які клітини організму людини мають псевдоподії, джгутики або війки? Які їхні функції?

## §12. СТРУКТУРА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: ЕНДОПЛАЗМАТИЧНА СІТКА, КОМПЛЕКС ГОЛЬДЖІ, ЛІЗОСОМИ, ВАКУОЛІ

*Пригадайте* будову та функції рибосом. Які органели клітин еукаріотів оточені однією мембраною? Які вакуолі трапляються в клітинах прісноводних одноклітинних організмів, клітинах багатоклітинних рослин і тварин? Що таке піноцитоз і фагоцитоз?

Ви вже знаєте, що внутрішній вміст еукаріотичної клітини впорядкований системою мембран.

**Яка будова та функції ендоплазматичної сітки?** Ендоплазматична сітка (мал. 59) становить собою систему порожнин у вигляді мікроскопічних каналців та їхніх потовщень (так званих цистерн). Вони обмежені клітинною мембраною та сполучаються між собою. Розрізняють два різновиди ендоплазматичної сітки: зернисту та незернисту. *Зерниста, або гранулярна, ендоплазматична сітка* дістала свою назву тому, що на її мембранах розташовані рибосоми. Мембрани зернистої ендоплазматичної сітки можуть сполучатися з плазматичною мембраною.

На мембранах *незернистої, або агранулярної, ендоплазматичної сітки* рибосом немає.

## Коротко про головне

Внутрішній вміст клітини, за винятком ядра, називають цитоплазмою. Її основу складає прозорий неоднорідний колоїдний розчин органічних і неорганічних речовин – цитозоль. Як внутрішнє середовище клітини він об'єднує в єдину функціональну біологічну систему всі клітинні структури і забезпечує їхню взаємодію.

Елементи цитоскелета сприяють закріпленню у певному положенні органел і їхньому переміщенню в клітині.

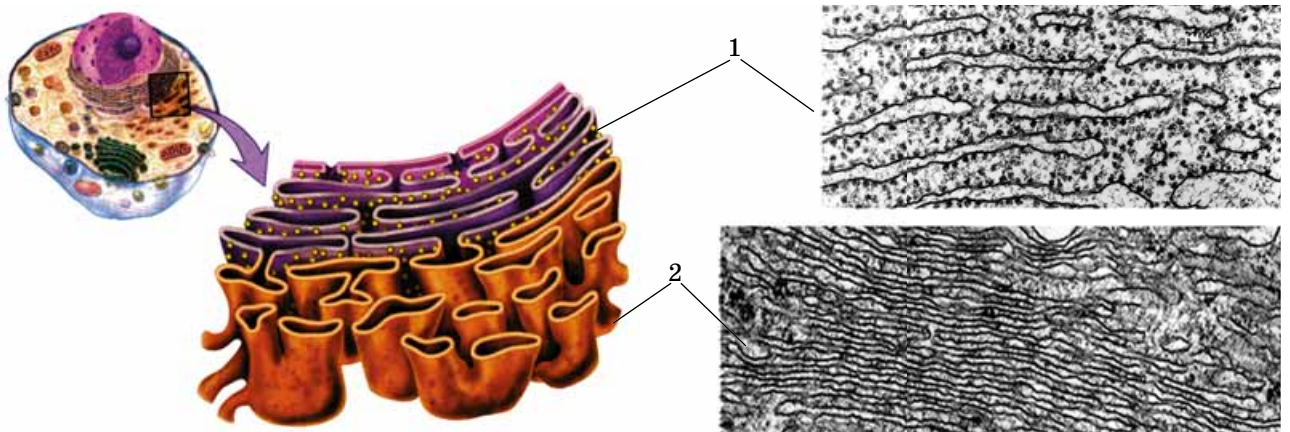
Внутрішнє середовище клітини поділене внутрішньоклітинними мембранами на окремі функціональні ділянки.

Немембранні органели клітин – рибосоми – беруть участь у біосинтезі білків у клітині. Вони складаються з великої та малої субодиниць. Кожна субодиниця містить рРНК і молекули білків, які взаємодіють між собою.

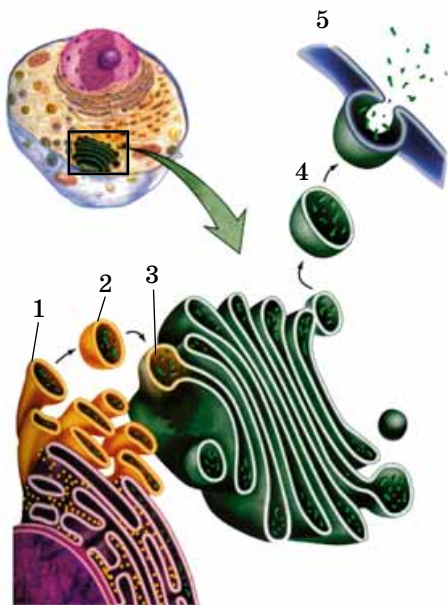
До органел руху клітини належать псевдоподії (несправжні ніжки), джгутики і війки.

Клітинний центр – органела, яка складається з двох центріолей, розташованих зазвичай поблизу ядра.

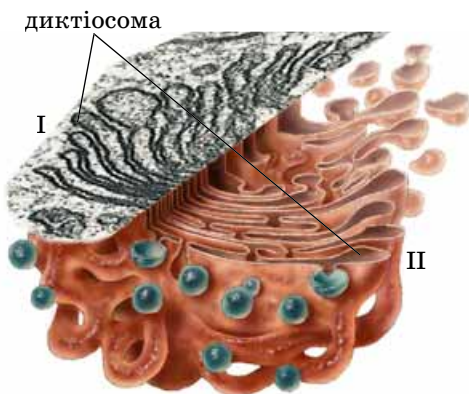
Центріолі беруть участь у формуванні веретена поділу клітин.



Мал. 59. Ендоплазматична сітка: 1 – зерниста; 2 – незерниста



Мал. 60. Білки утворюються на мембранах ендоплазматичної сітки, а потім у складі пухирців, оточених мембраною (1), відокремлюються від ендоплазматичної сітки (2) і прямують до комплексу Гольджі (3). Далі пухирці, оточені мембраною (4), відокремлюються від комплексу Гольджі та прямують до плазматичної мембрани (5)



Мал. 61. Комплекс Гольджі.  
I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа.  
II. Схема будови

**Запам'ятаємо:** одна з основних функцій комплексу Гольджі – накопичення і зміна речовин, їхнє пакування в мембранні пухирці.

Різновиди ендоплазматичної сітки – зерниста та незерниста – мають просторові та функціональні зв'язки: їхні мембрани безпосередньо переходять одна в одну.

Одна з основних функцій зернистої ендоплазматичної сітки – забезпечення біосинтезу білків. Ці процеси відбуваються на її мембранах за участі рибосом (докладніше про механізм синтезу білків ви дізнаєтеся з § 22). Синтезовані білки можуть накопичуватись у порожнинах зернистої ендоплазматичної сітки, розподілятися між різними ділянками клітини або виводитися з неї назовні (мал. 60). Крім того, зерниста ендоплазматична сітка бере участь у синтезі компонентів клітинних мембран, зокрема зовнішньої мембрани оболонки ядра в період між двома поділами клітини.

На мембранах незернистої ендоплазматичної сітки синтезуються ліпіди, вуглеводи, деякі гормони, які можуть накопичуватись в її порожнинах. У порожнинах незернистої ендоплазматичної сітки (наприклад, у клітинах печінки) накопичуються і знешкджуються отруйні для організму сполуки, які згодом виводяться з клітини.

Ендоплазматична сітка просторово і функціонально пов'язана з комплексом Гольджі (мал. 60).

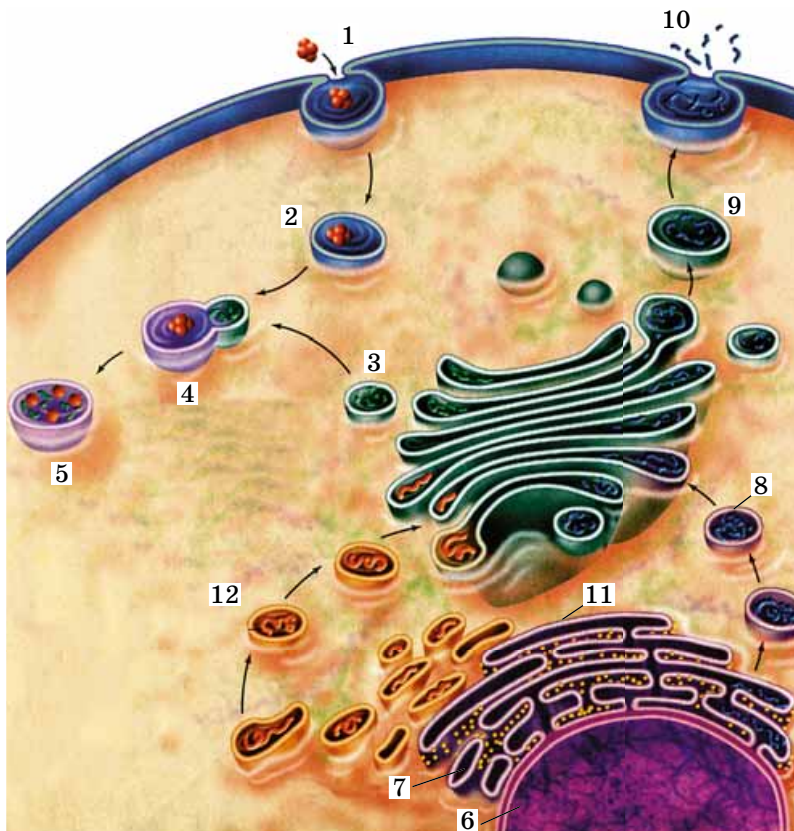
**Комплекс Гольджі** – одна з обов'язкових органел еукаріотичних клітин. Її основною структурною одиницею є купка пласких мішечків, оточених мембранами, – **диктіосома**. Поруч розташовані пухирці та каналці (мал. 61). До одного з полюсів мішечків комплексу Гольджі постійно підходять пухирці, які відокремлюються від ендоплазматичної сітки і містять речовини, що там утворилися. Зливаючися з мішечками комплексу Гольджі, ці пухирці віддають їм свій вміст. З іншого полюсу мішечків відокремлюються пухирці, наповнені різними речовинами (мал. 60, 4).

Функції комплексу Гольджі різноманітні. Насамперед у цій органелі накопичуються і певним чином змінюються деякі сполуки (наприклад, білки, які можуть сполучатись з вуглеводами або ліпідами). Речовини, які надійшли до мішечків комплексу Гольджі сортуються за хімічним складом і призначенням. Відсортовані молекули переходять з одних мішечків до інших і згодом у вигляді пухирців, оточених мембраною, відокремлюються від цієї органели. Відокремлені пухирці транспортуються за допомогою мікротрубочок і можуть віддавати свій вміст іншим органелам. Або ж вони зливаються з плазматичною мембраною, видаляючи свій вміст з клітини (див. мал. 60).

Комплекс Гольджі бере участь у формуванні деяких органел клітин еукаріотів, зокрема лізосом. У вигляді пухирців, оточених мембраною, лізосоми відокремлюються від цієї органели. А ферменти, які входять до складу лізосом, синтезуються на мембранах зернистої ендоплазматичної сітки (мал. 62).

**Лізосоми** (від грец. *лізіс* – розчинення) – органели у вигляді мікроскопічних пухирців, оточених мембраною. Вони містять різноманітні ферменти, здатні розщеплювати різні сполуки (білки, вуглеводи, ліпіди тощо). У клітині можуть бути різні види лізосом, які відрізняються особливостями будови і функціями.





Мал. 62. Просторові зв'язки між ендоплазматичною сіткою, комплексом Гольджі та плазматичною мембраною:

- 1 – процес фагоцитозу (частинки їжі оточуються плазматичною мембраною);
- 2 – частинки їжі, оточені мембраною, надходять у цитоплазму;
- 3 – від комплексу Гольджі відокремлюється лізосома;
- 4 – лізосома зливається з пухирцем, що містить частинки їжі;
- 5 – утворюється травна вакуоля;
- 6 – ядро клітини;
- 7 – зерниста ендоплазматична сітка;
- 8 – транспортний міхурець, що містить білки;
- 9 – екскреторний міхурець підходить до мембрани;
- 10 – вміст екскреторного міхурця виводиться з клітини;
- 11 – незерниста ендоплазматична сітка;
- 12 – міхурець з ліпідами прямує до комплексу Гольджі

Одні з лізосом, зливаючися з піноцитозними або фагоцитозними пухирцями, беруть участь у формуванні **травних вакуоль**. При цьому активуються ферменти і вміст травної вакуолі перетравлюється. Таким чином, лізосоми забезпечують процеси внутрішньоклітинного травлення.

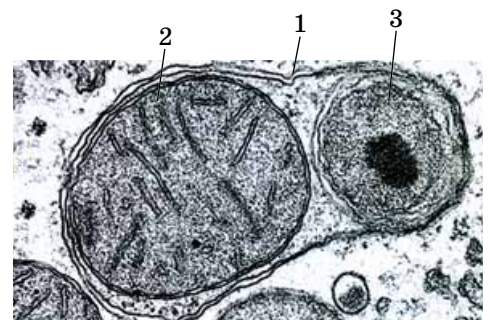
Ще один тип лізосом бере участь у перетравленні окремих компонентів клітин (мал. 63), цілих клітин або їхніх груп. Лізосоми можуть здійснювати і захисну функцію – перетравлювати хвороботворні мікроорганізми.

**Вакуолі** (від лат. *вакуус* – порожній) – органели клітини, які мають вигляд порожнин, оточених мембраною і заповнених рідиною. Бувають різні види вакуоль. Про утворення **травних вакуоль**, у яких перетравлюються поживні речовини і мікроорганізми, що надходять у клітину, ми вже згадували (див. мал. 62, 4, 5).

**Вакуолі рослинних клітин** утворюються з пухирців, які відокремлюються від ендоплазматичної сітки. Згодом дрібні вакуолі зливаються в більші, які можуть охоплювати майже весь об'єм цитоплазми (мал. 64, I). Такі вакуолі заповнені **клітинним соком** – водним розчином органічних і неорганічних сполук. Функції вакуоль клітин рослин різноманітні: вони підтримують внутрішньоклітинний тиск, забезпечуючи збереження форми клітин, у них містяться запасні поживні речовини, кінцеві продукти обміну або пігменти. Червоні, сині, жовті тощо пігменти, які розчиняються у клітинному соку, зумовлюють забарвлення певних типів рослинних клітин (червоний колір плодів вишні, коренеплодів редису, пелюсток тощо). Завдяки напівпроникності через мембрани

### Цікаво знати

Лізосоми можуть брати участь і у процесах позаклітинного травлення. Наприклад, у гриба нейроспори вони наближуються до плазматичної мембрани та виводять назовні свій вміст – ферменти.



Мал. 63. Лізосома (1), у якій перетравлюються мітохондрія (2) та пероксисома (3), термін життя яких вичерпано





Мал. 64. I. Вакуоля в рослинній клітині: 1 – вакуоля з клітинним соком; 2 – ядро; 3 – хлоропласти. II. Будова скоротливої вакуолі інфузорії-туфельки (1)



вакуоль відбувається транспорт речовин із цитозолю в їхню порожнину і навпаки.

У клітинах прісноводних одноклітинних тварин і водоростей є **скоротливі вакуолі** – вкриті мембраною пухирці, здатні змінювати свій об'єм, виводячи свій вміст назовні. Це пов'язано з тим, що в прісній воді концентрація солей значно нижча, ніж у цитоплазмі. Тому, згідно з фізичними законами, вода з навколишнього середовища надходить до клітини, підвищуючи тиск усередині неї. Стінки вакуоль скорочуються завдяки скоротливим білкам, які входять до складу їхніх оболонок. Таким чином, скоротливі вакуолі регулюють внутрішньоклітинний тиск, виводячи надлишок води з клітини і запобігаючи її руйнуванню.

### Цікаво знати

Найскладніша будова скоротливих вакуоль в інфузорії (наприклад, інфузорії-туфельки). Вони складаються зі скоротливого резервуара, який відкривається назовні порою (мал. 64. II). До нього впадають довгі тоненькі привідні каналці, до яких надходять водні розчини із цитоплазми. Спочатку скорочуються стінки каналців, проштовхуючи рідину до резервуара. Через певний час скорочується і сам резервуар.

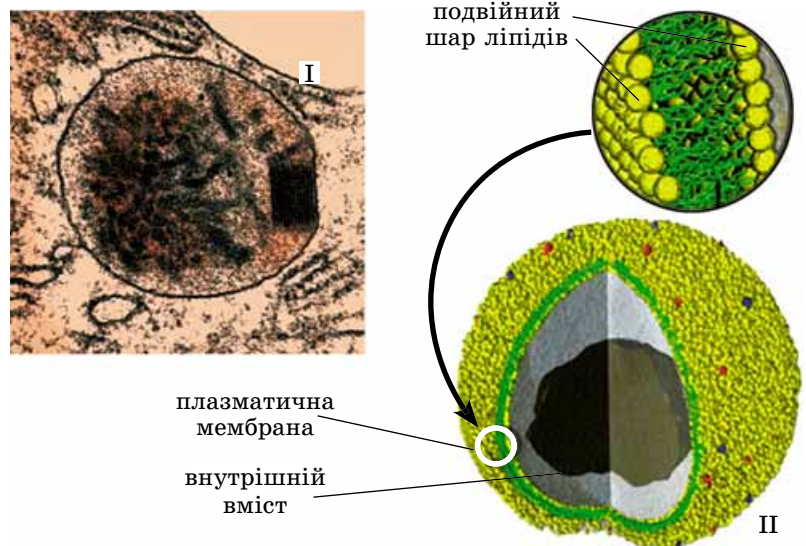
### Коротко про головне

Ендоплазматична сітка – система порожнин у вигляді мікроскопічних каналців та їхніх потовщень. Розрізняють зернисту та незернисту ендоплазматичну сітку. Функція зернистої ендоплазматичної сітки – участь у біосинтезі білків. На мембранах незернистої ендоплазматичної сітки синтезуються ліпіди, вуглеводи, деякі гормони.

Комплекс Гольджі включає купку пласких мішечків, оточених мембранами, – диктіосому, поруч з ними розташовані пухирці та каналці. Функції комплексу Гольджі: накопичення і зміна речовин, їхнє пакування у мембрани, транспорт пухирців по клітині або виведення за її межі. Комплекс Гольджі бере участь у формуванні лізосом, скоротливих вакуоль тощо.

Лізосоми – мікроскопічні пухирці, оточені мембраною, містять різноманітні ферменти, здатні розщеплювати різні сполуки, забезпечуючи процеси внутрішньоклітинного травлення.

**Пероксисоми** (від грец. *пери* – навколо, лат. *окси* – Оксиген та грец. *сома* – тіло), або **мікротільця** (мал. 65), – органели кулястої форми, оточені мембраною. У них містяться різноманітні ферменти, зокрема ті, що забезпечують перетворення жирів на вуглеводи. Крім того, пероксисоми містять ферменти, здатні розщеплювати гідроген пероксид  $H_2O_2$  до кисню та води. Оскільки гідроген пероксид – токсична для клітини сполука, то цей процес має захисне значення.



Мал. 65. Пероксисома: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема будови

### Ключові терміни та поняття:

ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі, пероксисоми.

### Перевірте здобуті знання

1. Що спільного та відмінного в будові та функціях зернистої та незернистої ендоплазматичної сітки? 2. Які особливості будови та функцій комплексу Гольджі? 3. Які функції лізосом у клітині? 4. Які ви знаєте типи вакуоль? Які їхні функції? 5. Що таке пероксисоми? Яка їхня роль у клітині?

### Поміркуйте

У чому полягає просторовий і функціональний зв'язок між окремими одномембранними органелами клітин?

## §13. СТРУКТУРА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: МІТОХОНДРІЇ І ПЛАСТИДИ

*Пригадайте* функції хлоропластів. Які види пластид ви знаєте? Які організми називають анаеробами? Які особливості забарвлення хлоропластів у різних представників водоростей? Чим вони зумовлені? Що таке АТФ?

Мітохондрії і пластиди – органели клітин еукаріотів, поверхневий апарат яких зазвичай складається з двох мембран, розділених міжмембранним простором. З іншими органелами клітини мітохондрії та пластиди просторово не пов'язані. Спільними їхніми функціями є участь в енергетичному обміні клітини.

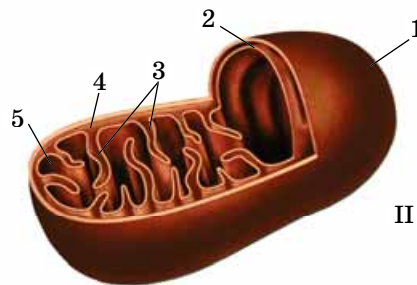
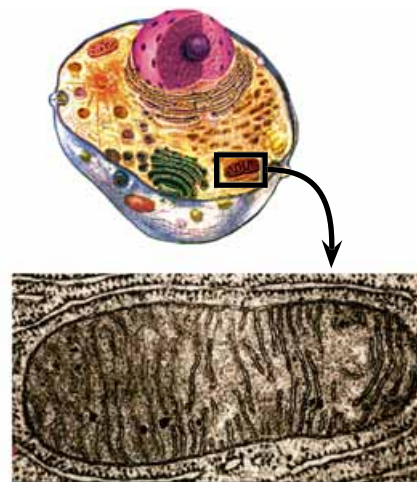
**Мітохондрії** (від грец. *митос* – нитка і *хондріон* – зерно) є своєрідними генераторами енергії в клітині. Вони мають вигляд кулястих тілець, паличок, ниток (мал. 66). Число цих органел у клітинах різних типів може коливатись від 1 до 100 000 і більше й залежить від того, наскільки активно в клітині відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії.

Зовнішня мембрана мітохондрій гладенька, вона відмежовує цю органелу від цитозолю. Внутрішня мембрана утворює вгини всередину органел – **кристи** (мал. 66). Кристи мають вигляд дископодібних, трубчастих чи пластинчастих утворів, вони часто розгалужуються. На внутрішній мембрані, оберненій всередину мітохондрії, є особливі грибоподібні білкові утвори – **АТФ-соми** (мал. 67). Вони містять комплекс ферментів, необхідних для синтезу АТФ.

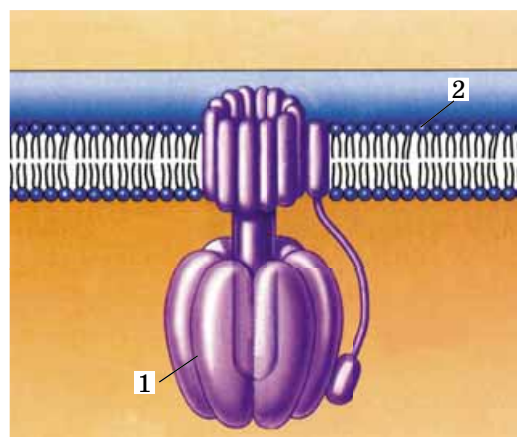
Внутрішній простір мітохондрій заповнений напіврідкою речовиною – **матриксом**. Там містяться рибосоми, молекули ДНК, мРНК, тРНК тощо. У матриксі синтезуються білки, що входять до складу внутрішньої мембрани мітохондрій.

Основна функція мітохондрій – синтез АТФ. Цей процес відбувається за рахунок енергії, яка вивільняється під час окиснення органічних сполук.

**Пластиди** (від грец. *пластидес* – виліплений, сформований) – органели клітин рослин і деяких одноклітинних тварин (наприклад, евглени зеленої). Відомо три типи пластид – хлоропласти, хромопласти, лейкопласти, які різняться за забарвленням, особливостями будови та функціями.



Мал. 66. Будова мітохондрії:  
I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа.  
II. Схема будови: 1 – зовнішня мембрана; 2 – внутрішня мембрана; 3 – кристи; 4 – міжмембранний простір; 5 – матрикс



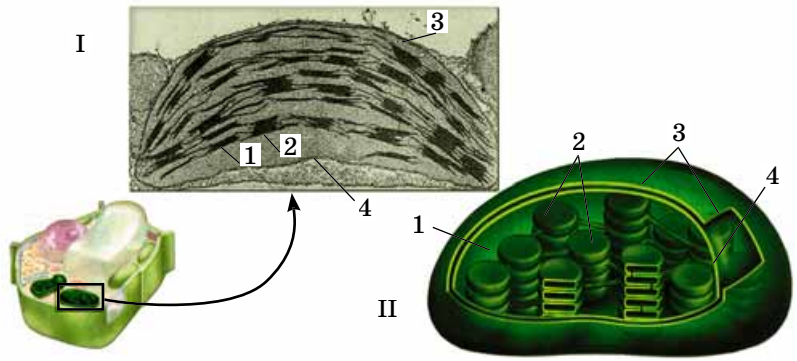
Мал. 67. Схема будови АТФ-соми – структури, до складу якої входять ферменти, що забезпечують синтез молекул АТФ: 1 – АТФ-сома; 2 – внутрішня мембрана мітохондрії



У клітинах певних груп водоростей (червоних, бурих тощо) колір хлоропластів може бути не зеленим. Це пояснюється тим, що у них, крім хлорофілу, є й інші пігменти – червоні, жовті, бурі тощо.

У хлоропластах, як і в мітохондріях, синтезуються молекули АТФ. З мембранами тилакоїдів пов'язані грибоподібні білкові утвори – АТФ-соми.

У клітинах водоростей хлоропласти можуть мати вигляд чаші, незамкненого пояса, спірально закручених стрічок тощо (мал. 69).



Мал. 68. Внутрішня будова хлоропласта:  
I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа.  
II. Схема будови: 1 – строма; 2 – грани тилакоїдів;  
3 – зовнішня мембрана; 4 – внутрішня мембрана

**Хлоропласти** (від грец. *хлорос* – зелений) – пластиди, зазвичай забарвлені в зелений колір завдяки наявності пігменту хлорофілу (мал. 68). З курсу біології 6 класу ви знаєте, що в них відбуваються процеси фотосинтезу. Хлоропласти можуть мати різну форму (мал. 69).

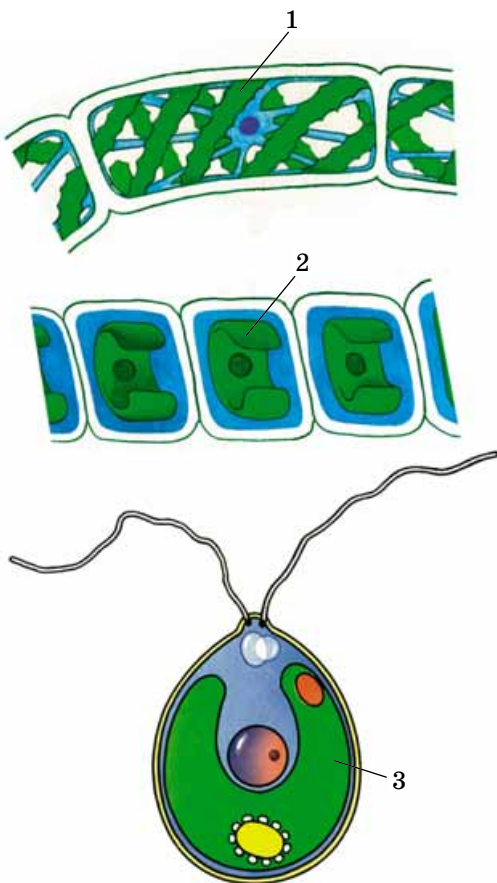
Як і в мітохондрій, зовнішня мембрана хлоропластів гладенька, а внутрішня утворює вирости, спрямовані всередину органели. Речовина, що заповнює внутрішній простір хлоропласта, має назву *строма* (мал. 68). З внутрішньою мембраною пов'язані структури – *тилакоїди*. Це плоскі цистерни, оточені мембраною. Дрібні тилакоїди зібрані в *грани*, що нагадують стоси монет. У тилакоїдах містяться основні (хлорофіли) та допоміжні (каротиноїди) пігменти, а також усі ферменти, потрібні для здійснення фотосинтезу. У стромі хлоропластів є молекули ДНК, різні типи РНК, рибосоми, зерна запасного полісахариду (переважно крохмалю).

**Лейкопласти** (від грец. *лейкос* – безколірний) – безбарвні пластиди різноманітної форми, у яких запасуються деякі сполуки (крохмаль, білки тощо). У стромі лейкопластів містяться ферменти, які забезпечують синтез і розщеплення запасних речовин. Лейкопласти можуть бути повністю заповнені зернами крохмалю.

**Хромопласти** (від грец. *хроматос* – колір, фарба) – пластиди, забарвлені в різні кольори (жовтий, червоний, фіолетовий). Забарвлення їм надають пігменти (переважно каротиноїди), які в них накопичуються. Оскільки хлорофіл у хромопластах відсутній, зеленого забарвлення вони не мають. Хромопласти надають певного забарвлення пелюсткам квіток, плодам, листкам тощо. Внутрішня система мембран у хромопластах відсутня або утворена окремими тилакоїдами.

Пластиди одного типу здатні перетворюватись на пластиди іншого. Так, лейкопласти можуть перетворюватись на хлоропласти або хромопласти. Під час старіння листків, стебел, дозрівання плодів у хлоропластах руйнується хлорофіл, спрощується будова внутрішньої мембранної системи, і вони перетворюються на хромопласти. Хромопласти є кінцевим етапом розвитку пластид: на пластиди інших типів вони не перетворюються.

**У чому полягає автономія мітохондрій і хлоропластів у клітині?** Хлоропласти та мітохондрії, на відміну від



Мал. 69. Різна форма хлоропластів у клітинах зелених водоростей:  
1 – стрічкоподібні в клітинах спірогіри; 2 – у вигляді незамкненого кільця в клітинах улотрикса;  
3 – чашоподібний у клітині хламідомонади



інших органел, характеризуються певною мірою незалежним функціонуванням від інших структур клітини. Ці органели містять власну спадкову інформацію – кільцеву молекулу ДНК, а також здатні синтезувати власні білки. Вони не виникають з інших мембранних структур клітини, а розмножуються поділом.

### Ключові терміни та поняття:

строма (матрикс), кристи, ламели, тилакоїди.

### Перевірте здобуті знання

1. Яка будова поверхневого апарату мітохондрій і пластид? 2. Як будова мітохондрій пов'язана з їхніми функціями? 3. Які ви знаєте типи пластид? 4. Яка будова хлоропластів? 5. Які функції хлоропласти виконують у клітині? 6. Яка будова і функції лейкопластів і хромопластів? 7. Які взаємні переходи можливі між пластидами різних типів? 8. Чому функціонування мітохондрій і хлоропластів у клітині відносно незалежне від інших її структур?

### Поміркуйте

Висловіть припущення, про що можуть свідчити особливості будови і властивостей мітохондрій і хлоропластів.

## §14. ЯДРО: БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ

*Пригадайте* функції ядра клітини. Що таке хромосоми? Що таке ген? Які будова і функції нуклеїнових кислот? Що вивчає наука систематика? Які білки називають глобулярними, а які – фібрилярними? Які рослини називають однодомними та дводомними? Яка будова та функції рибосом?

**Ядро** – обов'язкова складова будь-якої еукаріотичної клітини. У ньому зберігається спадкова інформація. Ядро регулює процеси життєдіяльності клітин. Лише деякі типи клітин еукаріотів у зрілому стані позбавлені ядра. Це, зокрема, еритроцити більшості ссавців, ситоподібні трубки вищих рослин. У таких клітинах ядро формується на початкових етапах розвитку, а потім руйнується. Втрата ядра супроводжується нездатністю клітини до розмноження.

У багатьох клітин є лише одне ядро, але є клітини, які містять декілька або багато ядер (інфузорії, форамініфери, деякі водорості, гриби, посмуговані м'язові волокна тощо).

Ядро складається з поверхневого апарату і внутрішнього середовища (матриксу) (мал. 70. I). **Поверхневий апарат ядра** утворений двома мембранами – зовнішньою та внутрішньою, між якими є заповнений рідиною щільноподібний простір. У деяких місцях зовнішня мембрана з'єднана із внутрішньою навколо мікроскопічних отворів – **ядерних пор** (мал. 70. II). Отвір пори заповнений білковими структурами. Зокрема, до складу цього комплексу входить білок-рецептор, здатний взаємодіяти з речовинами, які проходять через пору.

Поверхневий апарат ядра забезпечує регуляцію транспорту речовин, які проходять через нього. Із цитоплазми всередину ядра надходять синтезовані в ній білки. Нато-

## Коротко про головне

Зовнішня мембрана мітохондрій гладенька, а внутрішня утворює кристи. Основна функція мітохондрій – синтез АТФ.

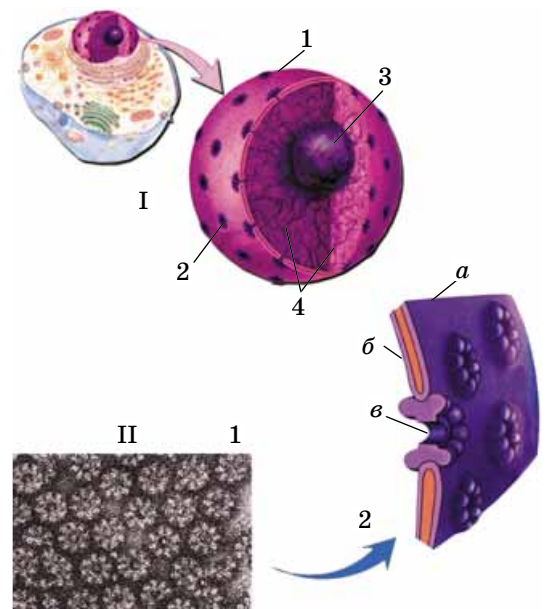
Пластиди – органели клітин рослин і деяких одноклітинних тварин.

Хлоропласти – пластиди зазвичай зеленого кольору, який визначається пігментом хлорофілом. У них відбуваються процеси фотосинтезу.

Лейкопласти – безбарвні пластиди різноманітної форми, у яких запасуються деякі сполуки.

Хромопласти – пластиди, що надають певного забарвлення пелюсткам квіток, плодам, листкам тощо.

Хлоропласти, як і мітохондрії, на відміну від інших органел, характеризуються певним ступенем автономії у клітині.

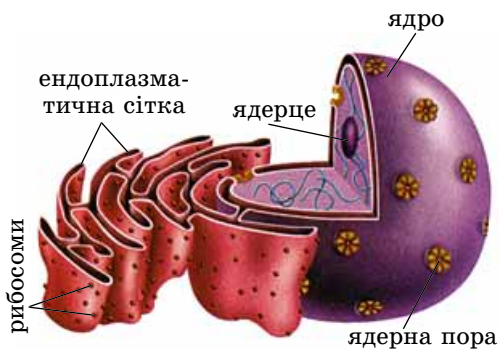


Мал. 70. I. Будова ядра: 1 – оболонка ядра; 2 – ядерна пора; 3 – ядерце; 4 – нитки хроматину.

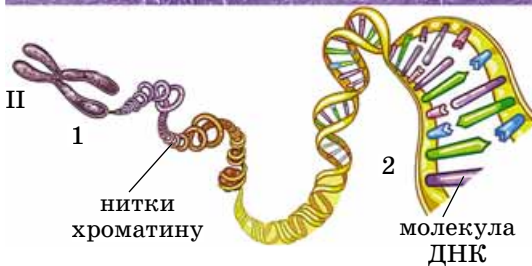
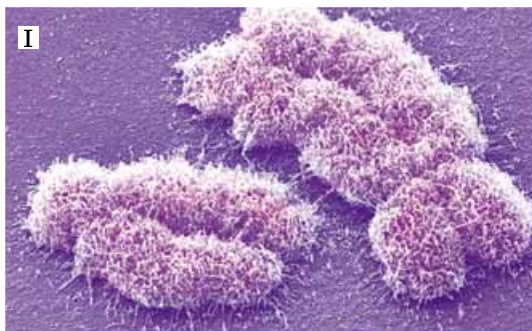
II. Поверхневий апарат ядра: 1 – мікрофотографія, зроблена за допомогою сканувального електронного мікроскопа (помітні ядерні пори); 2 – схема будови: а) зовнішня мембрана; б) внутрішня мембрана; в) ядерна пора

## Цікаво знати

Кожному типу клітин властиве постійне співвідношення між об'ємами ядра та цитоплазми (ядерно-цитоплазматичне співвідношення). Адже ядро певного об'єму може забезпечувати процеси біосинтезу білків лише у відповідному об'ємі цитоплазми. Тому в клітинах великих розмірів або з посиленою інтенсивністю обміну речовин часто є від двох до кількох тисяч ядер.



Мал. 71. Функціональний зв'язок ядра з іншими мембранними органелами



Мал. 72. I. Хромосоми людини (фото, зроблене за допомогою сканувального мікроскопа). II. Різні стани хроматину (схема): 1 - ущільнений; 2 - неущільнений

**Запам'ятаємо:** завдяки реалізації спадкової інформації, закодованої в молекулі ДНК, ядро регулює біохімічні, фізіологічні й морфологічні процеси, які відбуваються в клітині.

мість з ядра до цитоплазми транспортуються різні типи молекул РНК. Білки ядерної пори забезпечують впізнавання, сортування та транспорт різних сполук.

Поверхневий апарат ядра функціонально контактує з мембранами ендоплазматичної сітки (мал. 71). На поверхні зовнішньої ядерної мембрани може бути розташована велика кількість рибосом.

Внутрішнє середовище ядра – **ядерний матрикс** – складається з ядерного соку, ядерця і ниток хроматину (див. мал. 70). **Хроматин** (від грец. *хроматос* – фарба) – ниткоподібні структури ядра, утворені здебільшого з білків та нуклеїнових кислот. Під час поділу клітини нитки хроматину ущільнюються і з них формуються компактні тільця – **хромосоми** (мал. 72).

**Ядерний сік** (*каріоплазма*, або *нуклеоплазма*) за будовою та властивостями нагадує цитоплазму. У ньому є білкові фібрили (нитки), які утворюють особливий внутрішній скелет ядра. Він сполучає різні структури: ядерця, нитки хроматину, ядерні пори тощо. Білки матриксу забезпечують певне просторове розташування хромосом, а також впливають на їхню активність.

**Ядерця** – щільні структури, які складаються з комплексів РНК з білками, хроматину і гранул, які слугують попередниками складових рибосом (див. мал. 55). У ядрі може бути від одного до багатьох ядерць (наприклад, у яйцеклітинах риб), які формуються на особливих ділянках хромосом. Функції ядерця полягають в утворенні рРНК і складових рибосом, які згодом виходять у цитоплазму.

**Функції ядра.** Ядро зберігає спадкову інформацію і забезпечує її передачу від материнської клітини дочірнім. Крім того, воно є своєрідним центром керування процесами життєдіяльності клітини, зокрема, регулює процеси біосинтезу білків. Саме в ядрі з молекул ДНК на молекули мРНК переписується інформація про структуру білків. Згодом ця інформація передається до місця їхнього синтезу. В ядрі за участю ядерця утворюються складові рибосом.

## Цікаво знати

У деяких одноклітинних тварин, як-от інфузорії, є ядра двох типів: *генеративні* та *вегетативні*. Ядра першого типу забезпечують зберігання та передачу спадкової інформації, другого – регулюють процеси біосинтезу білків.

**Яка будова хромосом?** Основу хромосоми становить дволанцюгова молекула ДНК, зв'язана з ядерними білками (мал. 73). Крім того, до складу хромосом входять РНК та ферменти, необхідні для подвоєння молекул ДНК або синтезу молекул РНК.

Молекули ДНК у хромосомах розташовані певним чином. Ядерні білки утворюють особливі структури – **нуклеосоми** (від лат. *нуклеус* – ядро та грец. *сома* – тіло), навколо яких наче накручені нитки ДНК. Кожна нуклеосома складається з восьми білкових глобул. Особливі білки зв'язують нуклеосоми між собою. Така організація забезпечує компактне розміщення молекул ДНК у хромосомах, оскільки довжина цих молекул у

розгорнутому стані значно перевищує довжину хромосом. Наприклад, довжина хромосом під час поділу клітини в середньому становить 0,5–1 мкм, а розгорнутих молекул ДНК – декілька сантиметрів і більше. Таке пакування молекули ДНК дає їй змогу ефективно керувати процесами біосинтезу білків, процесами власного самоподвоєння, захищає від пошкоджень під час поділу клітини.

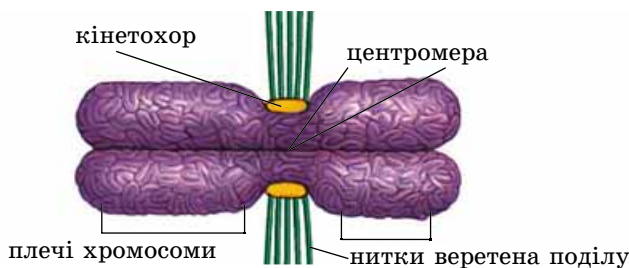
Кожна хромосома складається з двох поздовжніх частин – **хроматид**, що з'єднані між собою у ділянці, яку називають **зоною первинної перетяжки (центромерою)** (мал. 74). Вона поділяє хромосоми на дві ділянки – **плечі**. На центромері формується білкова структура – **кінетохор** (грец. *кінео* – рухаюсь та *хорео* – іду вперед). Під час поділу клітини до кінетохора приєднуються нитки веретена поділу, що забезпечує впорядкований розподіл окремих хроматид або цілих хромосом між дочірніми клітинами.

Кожна з хроматид містить по молекулі ДНК з подібним набором спадкової інформації. Під час поділу клітини хроматиди розходяться до дочірніх клітин, а в період між двома поділами – число хроматид знову подвоюється. Це відбувається завдяки здатності молекул ДНК до самоподвоєння. **Пригадайте:** хромосоми містять гени – ділянки молекули ДНК, із закованою інформацією про будову молекул білка або РНК.

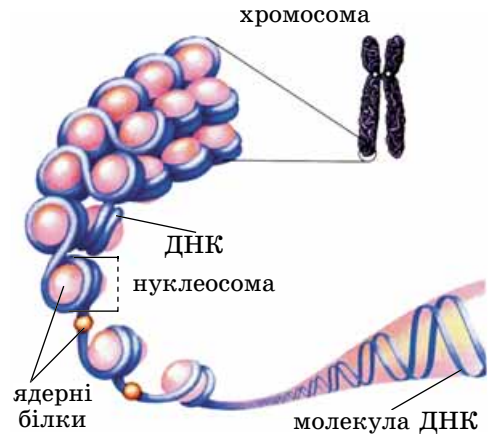
### Цікаво знати

Кінцеві ділянки хромосом мають назву **теломери** (мал. 75). Вони захищають молекулу ДНК. Щоразу, коли самі хромосоми подвоюються в період між поділами клітини, їхні кінцеві ділянки не подвоюються. Якби не теломери, які не мають у своєму складі активних генів, то під час кожного поділу клітини хромосоми швидко б втрачали важливу генетичну інформацію. Адже з кожним поділом клітини хромосоми втрачають на своїх кінцях маленьку ділянку молекули ДНК (50–100 пар нуклеотидів) і тому вкорочуються. Лише в деяких типів клітин (наприклад, стовбурових) утрачена ділянка теломер відновлюється за допомогою особливого ферменту. Учені вважають, що вкорочення теломер є однією з причин процесу старіння.

**Що таке каріотип?** Клітини кожного виду тварин, рослин, грибів мають певний набір хромосом. Сукупність ознак хромосомного набору (кількість хромосом, їхня форма і розміри) називають **каріотипом** (від грец.



Мал. 74. Схема будови хромосоми



Мал. 73. Взаємодія ядерних білків і молекул ДНК у складі нитки хроматину

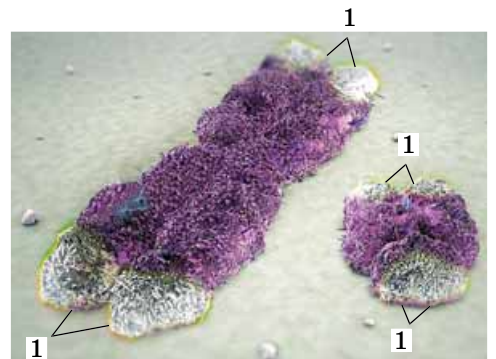


### Запам'ятаємо:

підрахувати кількість хромосом та розглянути особливості їхньої будови за допомогою мікроскопа можливо лише під час поділу клітини. У період між послідовними поділами хромосоми розкручуються до ниток хроматину.

### Цікаво знати

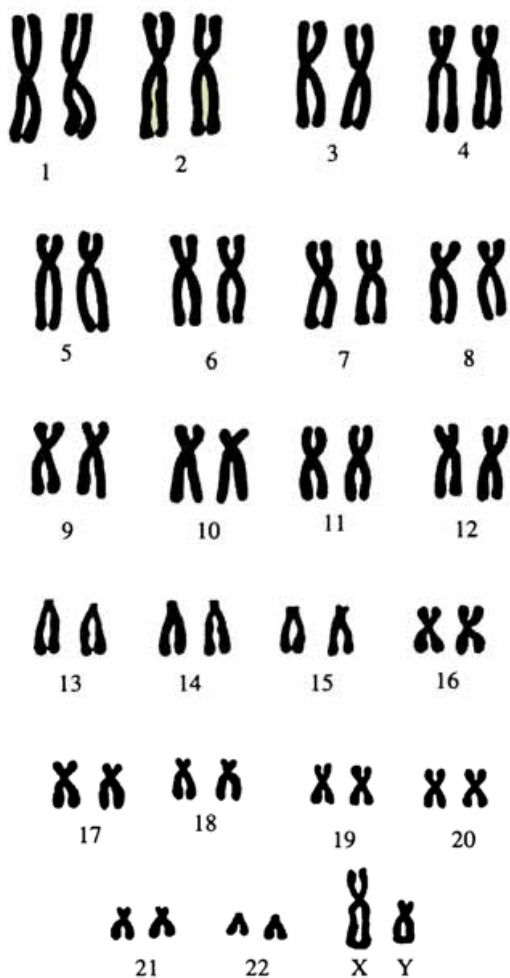
Деякі хромосоми мають ще і вторинну перетяжку, де розташовані гени, які відповідають за утворення ядерця.



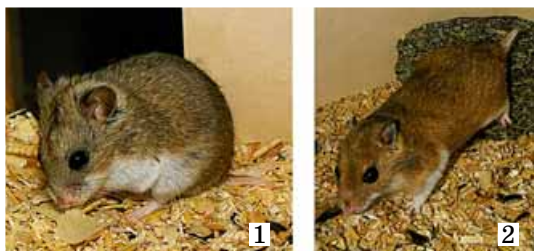
Мал. 75. Теломери (1) на кінцях хромосом



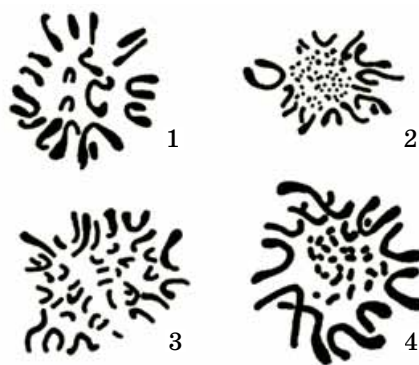
Якщо кількість гомологічних хромосом перевищує дві, то такі хромосомні набори належать до **поліплоїдних** (від грец. *поліс* – численний): триплоїдних ( $3n$ ), тетраплоїдних ( $4n$ ) тощо.



Мал. 77. Каріотип людини (чоловіка) (цифрами позначено пари гомологічних хромосом)



Мал. 78. Два види хом'яків: китайський (1) та даурський (2), які подібні зовні, але різняться за особливостями каріотипу



Мал. 76. Каріотипи різних тварин: 1 – мухи; 2 – курки; 3 – кішки; 4 – саламандри

каріон – ядро горіха і *типос* – форма) (мал. 76). Кожному виду притаманний свій каріотип. Наприклад, у нестатевих клітинах мухи-дрозофіли всього 8 хромосом (4 пари), людини – 46 (23 пари), у морських одноклітинних тварин – радіолярій – до 1600.

Постійність каріотипу забезпечує існування видів. Особливий каріотип особин одного виду дає їм змогу паруватися між собою, залишати життєздатних нащадків і зазвичай унеможливорює їхнє парування з особинами інших. Якщо ж таке парування і відбувається, то нащадки або взагалі не утворюються, або ж вони нежиттєздатні чи нездатні до розмноження.

Хромосомний набір ядра може бути гаплоїдним, диплоїдним або поліплоїдним. У **гаплоїдному** (від грец. *гаплоос* – поодинокий) **наборі** (його умовно позначають  $1n$ ) усі хромосоми відрізняються одна від одної за будовою. У **диплоїдному** (від грец. *диплоос* – подвійний) **наборі** ( $2n$ ) кожна хромосома має парну, подібну за розмірами та особливостями будови; їх називають **гомологічними**. Відповідно хромосоми, які не належать до певної пари, не гомологічні одна до одної.

У роздільностатевих тварин і дводомних рослин в особин однієї зі статей хромосоми однієї з пар різняться між собою, тоді як в особин іншої – вони подібні. Це **статеві хромосоми**, які ще називають **гетерохромосомами** (від грец. *гетерос* – інший). Хромосоми інших пар, які подібні у всіх особин, називають **нестатевими**, або **аутосомами** (від грец. *аутос* – сам). Так, у хромосомному наборі жінки – дві *X-хромосоми*, а чоловіка – одна *X-хромосома* та одна *Y-хромосома* (мал. 77). Зрозуміло, якщо аутосоми мають подібний набір генів, то в *X-* та *Y-*хромосомах він різний.

### Цікаво знати

Будову каріотипу застосовують у систематиці організмів для розпізнавання близьких за будовою видів, яких важко розпізнати за особливостями зовнішньої будови. Так, два близькі види хом'яків (китайський і даурський) дуже подібні за будовою і відрізняються лише за набором хромосом (відповідно 22 і 20 у диплоїдному наборі) (мал. 78). Крім того, вивчення каріотипу дає змогу встановлювати ступінь історичної спорідненості між організмами.

### Ключові терміни та поняття:

ядро, ядерце, хроматин, хромосоми, центромера, каріотип, аутосоми, гетерохромосоми.

### Перевірте здобуті знання

1. Із чого складається поверхневий апарат ядра? 2. Яка будова ядерної пори? Які її функції? 3. Що собою становить матрикс ядра? 4. Що таке хроматин? 5. Які будова та функції ядерця? 6. Що ви знаєте про функції ядра в клітині? 7. Що таке каріотип? Чим він характеризується?

### Поміркуйте

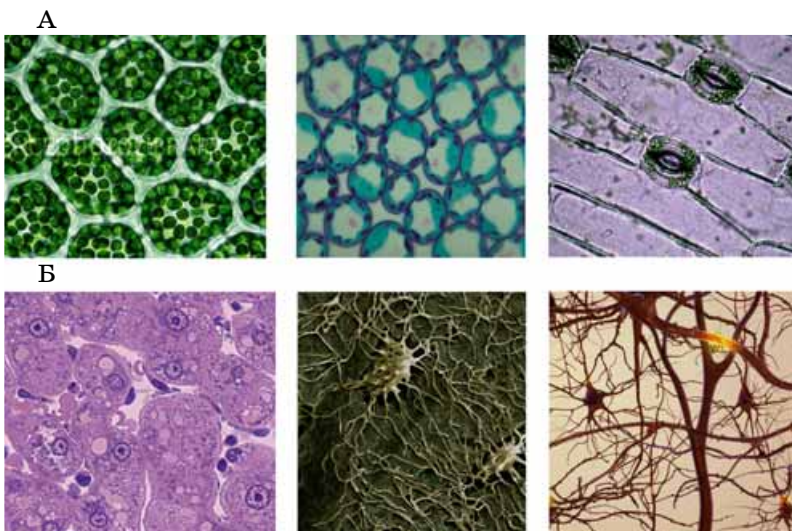
1. Чому еукаріотичні клітини, які втратили ядро, нездатні до поділу? 2. Чому існування видів залежить від стабільності їхніх каріотипів?

## §15. ТИПИ КЛІТИН ТА ЇХНЯ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА. БУДОВА ПРОКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ

*Пригадайте* будову і функції плазматичної мембрани. Що таке хромосоми, спори, інцистування? Які функції ДНК у клітині?

Ви вже знаєте, що існують організми одноклітинні та багатоклітинні. В одноклітинних істот клітина одночасно є цілісним самостійним організмом, який здійснює всі життєві функції, притаманні й багатоклітинним тваринам, рослинам і грибам. Тому клітина одноклітинних організмів часто організована складніше, ніж клітини багатоклітинних. Клітини багатоклітинних істот зазвичай спеціалізуються на здійсненні лише певних функцій. Вони можуть утворювати тканини, органи та системи органів. Отже, у багатоклітинних організмів клітини слугують елементарними складовими частинами тканин або органів. Функціонування таких організмів як цілісних біологічних систем можливе лише завдяки взаємодії клітин різних типів (мал. 79).

**Чим відрізняються за будовою клітини рослин, грибів і тварин?** Ви вже знаєте, що залежно від рівня організації клітини всі організми поділяють на дві групи – про-



Мал. 79. Різні типи еукаріотичних клітин: А. Рослин. Б. Тварин. **Завдання.** Розгляньте малюнок. Користуючися знаннями з біології, одержаними в попередніх класах, визначте ці клітини, тканини, до складу яких вони входять, залежність їхньої будови від виконуваних функцій

### Коротко про головне

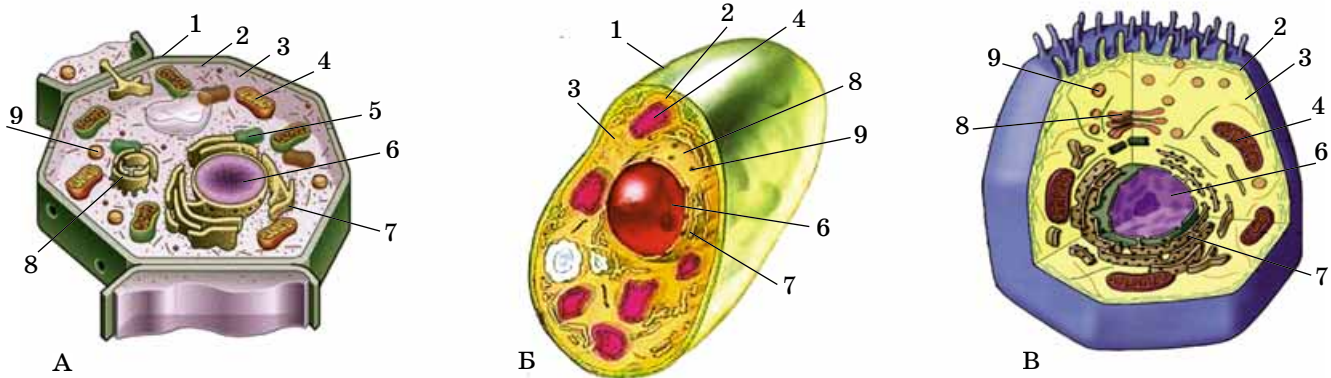
Ядро – обов'язкова складова будь-якої еукаріотичної клітини. Воно складається з поверхневого апарату і внутрішнього середовища – ядерного матриксу. Ядерний матрикс складається з ядерного соку, ядерця і ниток хроматину.

Хроматин – ниткоподібні структури ядра, утворені з білків і нуклеїнових кислот.

Кожна хромосома складається з двох хроматид, які сполучені між собою у ділянці первинної перетяжки.

Клітини кожного виду еукаріотів мають свій особливий набір хромосом – каріотип.





Мал. 80. Схематична будова клітин:

А. Рослин, Б. Грибів, В. Тварин:

1 – клітинна оболонка;

2 – плазматична мембрана;

3 – цитоплазма; 4 – мітохондрія;

5 – хлоропласт; 6 – ядро;

7 – ендоплазматична сітка;

8 – комплекс Гольджі; 9 – лізосома.

**Завдання.** Знайдіть органили спільні та відмінні для цих груп організмів

кариоти та еукариоти. Клітини прокариотів (бактерій, археїв) мають простішу будову (вони позбавлені ядра, більшості органел тощо). Клітини еукариотів – тварин, рослин і грибів – організовані складніше. Вони мають ядро, принаймні на певних етапах свого клітинного циклу. Цитоплазма поділена мембранами на окремі функціональні ділянки, містить різноманітні органили. Але в будові клітин різних представників еукариотів є й певні відмінності. Пригадаємо їх.

Розгляньте уважно на малюнку 80 схематичну будову клітин рослин, грибів і тварин, проаналізуйте таблицю 4 і зверніть увагу на основні відмінності між клітинами тварин, рослин і грибів.

Таблиця 4

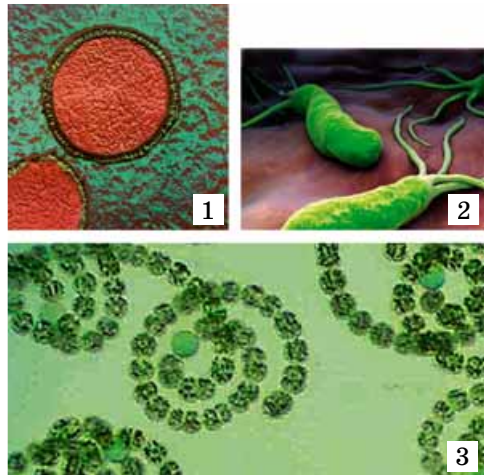
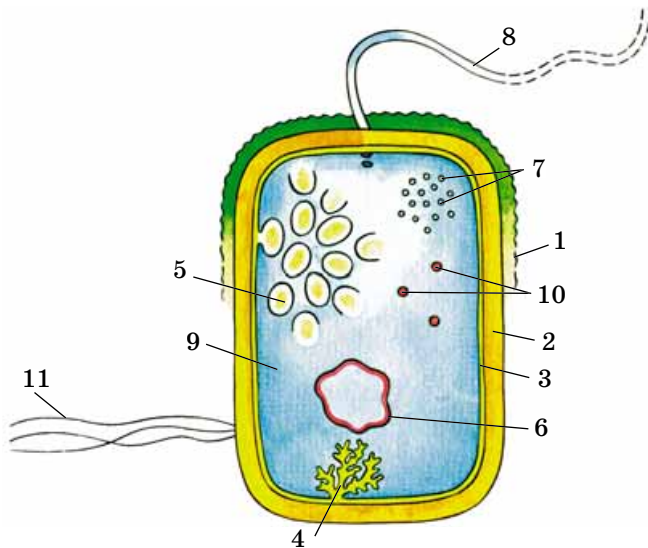
### Основні відмінності між клітинами тварин, рослин і грибів

Структури клітин	Тварини	Рослини	Справжні гриби
Клітинна оболонка	Відсутня, є глікокалікс	Є, до її складу входить полісахарид целюлоза	Є, до її складу входить, крім целюлози, полісахарид хітин
Плазматична мембрана	Є	Є	Є
Ядро	Є	Є	Є
Вакуолі з клітинним соком	Відсутні	Трапляються	Трапляються
Мітохондрії	Є	Є	Є
Хлоропласти	Відсутні, трапляються в окремих одноклітинних видів	Є	Відсутні
Органели руху	Є в певних типів клітин багатоклітинних і деяких одноклітинних	Є у клітинах деяких водоростей і сперматозоїдів вищих спорових рослин	Відсутні

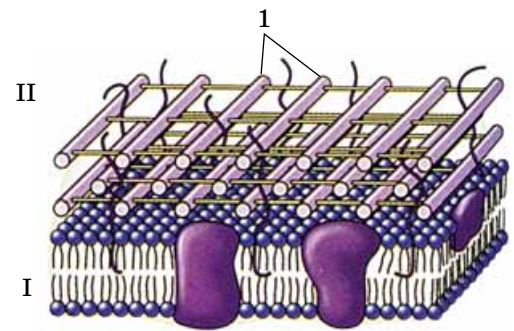


**Яка будова клітин прокаріотів?** Понад 2,5 млрд років тому, коли ще не було ані рослин, ані тварин, ані грибів, на нашій планеті існували лише **прокаріоти** (від лат. *pro* – перед, замість та грец. *каріон* – ядро). До них належать археї (нечисленна група прокаріотів), різні бактерії та ціанобактерії (мал. 81).

Як і клітини еукаріотів, клітини прокаріотів мають поверхневий апарат і цитоплазму, в якій розташовані нечисленні органели та різноманітні включення. У клітинах прокаріотів немає ядра й таких органел, як: мітохондрії, пластиди, ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, клітинний центр тощо (мал. 82). Така спрощена будова прокаріотів свідчить про давність їхнього походження.



Мал. 81. Представники прокаріотів: 1 – археї; 2 – бактерії роду *Хелікобактер*; 3 – ціанобактерії



Мал. 83. Схема будови клітинної оболонки прокаріотів: I – плазматична мембрана; II – клітинна оболонка: 1 – муреїн

Мал. 82. Схема будови клітини прокаріотів: 1 – капсула; 2 – клітинна оболонка; 3 – плазматична мембрана; 4 – складчасті в'ячування мембрани; 5 – фотосинтетичні мембрани; 6 – кільцева молекула ДНК; 7 – рибосоми; 8 – джгутик; 9 – цитоплазма; 10 – запасні поживні речовини; 11 – білкові вирости оболонки клітини

До складу поверхневого апарату клітин прокаріотів входить плазматична мембрана та клітинна оболонка (мал. 83). Будова клітинної оболонки прокаріотів (різних груп бактерій, ціанобактерій) досить складна. У бактерій вона складається з полімерної сполуки – муреїну. Ця сполука утворює сітчасту структуру, яка надає клітинній стінці жорсткості. У ціанобактерій до складу зовнішнього шару клітинної стінки входить полісахарид пектин та особливі скоротливі білки. Вони забезпечують особливий рух клітин – ковзання або обертання. Клітини ціанобактерій джгутиків не мають.

Сполуки з ліпідів і полісахаридів клітинної оболонки дають змогу клітинам бактерій прилипати до різних субстратів (клітин еукаріотів, емалі зубів тощо), а також злипатися між собою. Над клітинною оболонкою багатьох бактерій інколи розміщена захисна *слизова капсула*, що складається з полісахаридів. Вона не дуже міцно зв'язана з клітиною і легко руйнується під дією певних сполук.

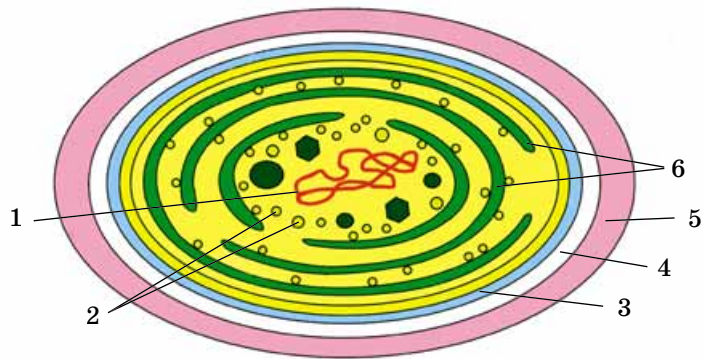
У цитоплазмі клітин прокаріотів є рибосоми та різноманітні включення (мал. 82). Але ці рибосоми дрібніші за

### Цікаво знати

До складу клітинної оболонки багатьох бактерій входить ще додаткова зовнішня мембрана, яка забезпечує надійний захист вмісту клітини. На такі бактерії не діють певні антибіотики (наприклад, пеніцилін, актиноміцин). Клітинна оболонка бактерій має антигенні властивості, тобто організм, у який потрапляє бактерія, сприймає її як чужорідне, невластиве йому. Завдяки цьому певні групи лейкоцитів упізнають хвороботворні бактерії й виробляють до них антитіла. (Пригадайте, як антитіла знешкоджують антигени.)

## Цікаво знати

У клітинах деяких бактерій (наприклад, ціанобактерій) фотосинтезуючі пігменти можуть міститися в кулястих замкнених мішкоподібних структурах, утворених вгинами плазматичної мембрани. Такі мішечки можуть бути розташовані поодиноці або ж зібрані в купки. У ціанобактерій ці структури називають тилакоїдами (мал. 84).



Мал. 84. Будова клітини ціанобактерії: 1 – кільцева молекула ДНК; 2 – рибосоми; 3 – плазматична мембрана; 4 – клітинна оболонка; 5 – слизова капсула; 6 – тилакоїди

## Цікаво знати

Невеликі за розмірами кільцеві молекули ДНК розташовані й у цитоплазмі клітин прокаріотів. Їх називають позахромосомними факторами спадковості – плазмідами.

## Коротко про головне

Клітини прокаріотів – бактерій і археїв – характеризуються простою будовою. Вони не мають ядра і багатьох органел (мітохондрій, пластид, ендоплазматичної сітки, комплексу Гольджі, лізосом, клітинного центру тощо).

Поверхневий апарат клітин прокаріотів включає плазматичну мембрану, клітинну стінку, іноді – слизову капсулу. У цитоплазмі клітин прокаріотів розташовані дрібні рибосоми та різноманітні включення. Замість ядра в клітинах прокаріотів є ядерна зона – нуклеоїд, де розташований спадковий матеріал – кільцева молекула ДНК. У прокаріотів, на відміну від еукаріотів, ДНК не пов'язана з ядерними білками.

Клітини деяких бактерій мають органели руху – один, декілька або багато джгутиків.

рибосоми клітин еукаріотів. Плазматична мембрана може утворювати гладенькі або складчасті вгини в цитоплазмі. На відміну від клітин еукаріотів, ці утвори не поділяють цитоплазми на відокремлені функціональні ділянки. На складчастих мембранних вгинах можуть розташовуватися дихальні ферменти, рибосоми, а на гладеньких – фотосинтетичні пігменти.

Замість ядра в клітинах прокаріотів є ядерна зона. Там розташований спадковий матеріал – кільцева молекула ДНК (мал. 82, 1; 84, 1), яка в певному місці прикріплена до плазматичної мембрани. У прокаріотів молекули ДНК не пов'язані з ядерними білками. Отже, типові хромосоми, які в клітинах еукаріотів розташовані в ядрі, у прокаріотів відсутні.

Клітини деяких бактерій мають органели руху – один, декілька або багато джгутиків. Джгутики можуть бути в декілька разів довші за саму клітину, проте їхній діаметр незначний. Тому у світловий мікроскоп вони не помітні. Джгутики прокаріотів лише зовні нагадують джгутики клітин еукаріотів. Їхня будова простіша: вони складаються з однієї трубочастої молекули особливого білка.

### Ключові терміни та поняття:

прокаріоти, археї.

### Перевірте здобуті знання

1. Що спільного та відмінного у будові клітин рослин, грибів і тварин?
2. Чим клітини прокаріотів за будовою відрізняються від клітин еукаріотів?
3. Яка будова поверхнього апарату клітин прокаріотів?
4. Які внутрішньоклітинні структури є у прокаріотів?

### Поміркуйте

1. Чим можна пояснити простішу будову клітин прокаріотів, порівняно з еукаріотами? Відповідь обґрунтуйте.
2. Чи можна припустити, що предками еукаріотичних клітин були прокаріотичні?

### Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин

**Мета:** вивчити особливості будови клітин прокариотів і еукаріотів; навчитися розпізнавати на схемах, постійних мікропрепаратах, мікрофотографіях прокариотичні та еукаріотичні клітини.

**Обладнання і матеріали та об'єкти дослідження:** мікроскопи, предметні й накривні скельця, пінцети, скляні й дерев'яні палички, препарувальні голки; постійні мікропрепарати бактерій, епітелію ротової порожнини, шкірки цибулі, гіфів гриба мукора; електронно-мікроскопічні фотографії клітин бактерій, тварин, рослин і грибів.

#### Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. При малому збільшенні мікроскопа на постійних мікропрепаратах знайдіть клітини бактерій, грибів, рослин, тварин.
3. За відсутності постійних мікропрепаратів виготовте тимчасові:
  - а) стерилізованою скляною або дерев'яною паличкою зніміть із поверхні зубів наліт навколо ясен, перенесіть його на предметне скло і накрійте накривним скельцем;
  - б) виготовте препарат епітелію ротової порожнини у краплині слини, для чого проведіть скляною паличкою по внутрішній поверхні щок, перенесіть мазок на предметне скло;
  - в) виготовте препарат шкірки м'ясистої луски цибулі, для чого перенесіть шкірку на предметне скло у краплину води та накрійте накривним скельцем;
  - г) зберіть зі шматка хліба або овочів цвіль білого кольору – грибницю мукора; розмістіть її на предметному склі та накрійте накривним скельцем.
4. Розгляньте при великому збільшенні мікроскопа клітини бактерій, грибів, рослин і тварин. Порівняйте особливості їхньої будови.
5. Роздивіться електронно-мікроскопічні фотографії клітин бактерій, грибів, рослин і тварин. Знайдіть клітинну стінку, плазматичну мембрану, ядро, ендоплазматичну сітку, комплекс Гольджі, мітохондрії, пластиди, вакуолі.
6. Зробіть висновки.

### ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Укажіть сполуки, з яких переважно складається плазматична мембрана: а) білки та вуглеводи; б) вуглеводи та ліпіди; в) білки та ліпіди; г) ліпіди і мінеральні солі.
2. Укажіть організми, клітини яких здатні до фагоцитозу: а) бактерії; б) справжні гриби; в) рослини; г) тварини.
3. Укажіть організми, до складу оболонки клітин яких входить глікокалікс: а) бактерії; б) гриби; в) рослини; г) тварини.
4. Укажіть сполуки, з яких переважно складаються хромосоми: а) білки та ліпіди; б) білки та ДНК; в) білки та РНК; г) ліпіди та РНК.
5. Назвіть прізвище вченого, який запровадив термін «клітина»: а) Р. Гук; б) Т. Шванн; в) М. Шлейден; г) Р. Вірхов.
6. Назвіть органели, яким притаманний певний ступінь автономії в клітині: а) лізосоми; б) комплекс Гольджі; в) мітохондрії; г) ендоплазматична сітка.
7. Зазначте органели, які регулюють внутрішньоклітинний тиск у клітинах одноклітинних прісноводних організмів: а) травні вакуолі; б) лізосоми; в) клітинний центр; г) скоротливі вакуолі.
8. Зазначте молекули нуклеїнових кислот, які входять до складу рибосом: а) мРНК; б) тРНК; в) рРНК; г) ДНК.
9. Назвіть структури, які наявні у хлоропластах: а) кристи; б) центріолі; в) тилакоїди; г) нуклеосоми.
10. Укажіть органели, які трапляються у клітинах прокариотів: а) комплекс Гольджі; б) рибосоми; в) ендоплазматична сітка; г) мітохондрії.
11. Назвіть клітини еукаріотів, які не мають ядер: а) еритроцити більшості ссавців; б) клітини епітелію; в) лейкоцити; г) нейрони.
12. Назвіть структури, які трапляються всередині ядра: а) субдиниці рибосом; б) тилакоїди; в) ламели; г) кристи.
13. Укажіть органели, здатні до самоподвоєння: а) рибосоми; б) хлоропласти; в) лізосоми; г) вакуолі з клітинним соком.
14. Назвіть органели, у яких міститься ДНК: а) рибосоми; б) мітохондрії; в) лізосоми; г) комплекс Гольджі.
15. Назвіть органели, які мають власні рибосоми: а) комплекс Гольджі; б) лізосоми; в) хлоропласти; г) травні вакуолі.



Утворіть логічні пари

16. Установіть відповідність між органелами та структурами клітин та організмами, у яких вони трапляються.

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1 нуклеоїд                                    | <b>A</b> клітини посмугованих м'язів  |
| 2 джгутик                                     | <b>B</b> еритроцити більшості ссавців |
| 3 ядра вегетативне та генеративне             | <b>B</b> евглена зелена               |
| 4 багато подібних за будовою і функціями ядер | <b>Г</b> інфузорія-туфелька           |
|   | <b>Д</b> ціанобактерії                |

17. Установіть відповідність між органелами клітин еукаріотів та особливостями їхньої будови.

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1 зерниста ендоплазматична сітка | <b>A</b> мають кристи   |
| 2 лізосоми                       | <b>B</b> здатні періодично змінювати свій об'єм, виводячи з клітини надлишок води |
| 3 комплекс Гольджі               | <b>B</b> основу становить купка пласких одномембранних мішечків                   |
| 4 мітохондрії                    | <b>Г</b> містять ферменти, здатні розщеплювати частинки їжі                       |
|                                  | <b>Д</b> на мембранах розташовані рибосоми  |

18. Установіть відповідність структур щодо певних органел клітин.

- |              |                             |
|--------------|-----------------------------|
| 1 диктіосома | <b>A</b> хлоропласти        |
| 2 кристи     | <b>B</b> клітинний центр    |
| 3 центріолі  | <b>B</b> мітохондрії        |
| 4 грани      | <b>Г</b> скоротливі вакуолі |
|              | <b>Д</b> комплекс Гольджі   |

19. Установіть відповідність між особливостями будови оболонки клітини та організмами, яким вони притаманні.

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| 1 глікокалікс                                    | <b>A</b> бактерії       |
| 2 клітинна стінка, до складу якої входить хітин  | <b>B</b> рослини        |
| 3 клітинна стінка, до складу якої входить муреїн | <b>B</b> тварини        |
|  | <b>Г</b> справжні гриби |

Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей

20. Охарактеризуйте будову та функції різних органел.

Клітинний центр	Лізосоми	Мітохондрії
1 оточений однією мембраною	1 оточені двома мембранами	1 оточені трьома мембранами
2 включає дві центріолі	2 містять гідролітичні ферменти	2 містяться лише в клітинах анаеробних організмів
3 трапляються у клітинах вищих рослин	3 трапляються у клітинах прокаріотів	3 мають власні молекули ДНК

21. Назвіть основні функції, притаманні органелам клітин еукаріотів.

Гранулярна (зерниста) ендоплазматична сітка	Лізосоми	Мітохондрії
1 перетравлення поживних речовин	1 синтез білків	1 синтез АТФ
2 синтез білків	2 синтез вуглеводів	2 фотосинтез
3 синтез АТФ	3 перетравлення поживних речовин	3 транспорт поживних речовин по клітині

22. Охарактеризуйте будову клітин різних організмів.

Бактерії	Рослини	Тварини
1 мають мітохондрії	1 до складу клітинної стінки входить хітин	1 зовнішній шар оболонки клітини – глікокалікс
2 мають клітинний центр	2 клітини містять вакуолі з клітинним соком	2 до складу клітинної стінки входить целюлоза
3 до складу клітинної стінки входить муреїн	3 можуть утворювати псевдоподії	3 джгутики складаються з однієї мікротрубочки

Запитання з відкритою відповіддю

23. Як відсутність ядра впливає на властивості клітини? Відповідь обґрунтуйте.  
 24. Чим можна пояснити, що деякі еукаріотичні клітини позбавлені ядра? Наведіть приклади таких клітин.  
 25. Яке значення має вивчення каріотипів організмів для систематики? Відповідь обґрунтуйте.  
 26. Що спільного та відмінного є між спадковим матеріалом клітин прокаріотів і еукаріотів?  
 27. Які з органел еукаріотичної клітини беруть участь у синтезі органічних сполук?



## ТЕМА 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- особливості обміну речовин та енергії в клітинах автотрофних і гетеротрофних організмів;
- особливості процесів пластичного обміну та перетворень енергії в живих істотах та їхнє значення для забезпечення життєдіяльності організмів;
- значення процесів дихання для забезпечення процесів обміну речовин;
- значення фотосинтезу для існування життя на нашій планеті.

### §16. ОБМІН РЕЧОВИН ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В КЛІТИНІ. БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ ДИХАННЯ

*Пригадайте*, що таке метаболізм і гомеостаз. Яка кількість енергії виділяється під час розщеплення білків, ліпідів і вуглеводів? Що таке енергія з точки зору фізики? Які функції ферментів? Які процеси називають окисними, а які – відновними? Яка будова і функції АТФ і мітохондрій? Як відбуваються процеси дихання у рослин, тварин і людини?

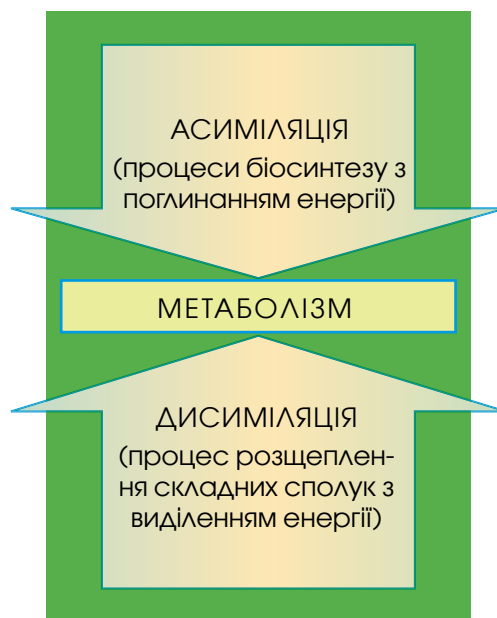
Ви вже знаєте, що процеси метаболізму – це складний ланцюг перетворень різноманітних сполук, починаючи від моменту надходження їх в організм або окрему клітину й закінчуючи видаленням кінцевих продуктів обміну речовин у зовнішнє середовище. Кінцевими продуктами розщеплення вуглеводів, жирних кислот та амінокислот зазвичай є вуглекислий газ та вода, які виводяться з організму. Для амінокислот додатковим продуктом розщеплення є *сечовина* – сполука, що містить Нітроген.

У § 8 ми вже згадували, що сукупність реакцій синтезу, які забезпечують розвиток клітин та організмів, поновлення їхнього хімічного складу, називають **пластичним обміном** (від грец. *пластос* – створений). Ці процеси ще називають **процесами асиміляції**. На їх здійснення витрачається певна кількість енергії. Джерелом цієї енергії є сонячне світло (для більшості автотрофів) або енергія хімічних зв'язків сполук, що містяться у поживних речовинах, які поглинаються з довкілля (для гетеротрофів). Прикладами реакцій асиміляції є процеси синтезу амінокислот, моносахаридів, жирних кислот, нуклеотидів, полісахаридів, білків, нуклеїнових кислот, АТФ тощо.

Сукупність реакцій розщеплення складних сполук в організмі до простіших, що супроводжуються виділенням енергії, називають **енергетичним обміном**, або **процесами дисиміляції**. Вони ґрунтуються на реакції безкисневого розщеплення складних сполук до простіших або на реакції окиснення.

Обмін речовин в окремих клітинах і всьому організмі неможливий без відповідних перетворень енергії. Енергія, що вивільняється внаслідок процесів дисиміляції, може переходити в різні форми: теплову, енергію світла (явище біоломінесценції: *пригадайте* жуків-світляків,

☞ Процес видалення з організму продуктів обміну має назву **екскреція**.





**Запам'ятаємо:** єдність та узгодженість процесів пластичного та енергетичного обмінів забезпечує функціонування організмів як цілісних біологічних систем, здатних до саморегуляції та самовідтворення.

### Цікаво знати



Під час газообміну з організму людини, крім вуглекислого газу, у навколишнє середовище з видихуваним повітрям виводяться вода (у вигляді пари) та близько 400 інших летких сполук.

яких ви неодноразово спостерігали літніми вечорами), механічну (забезпечує рухи тощо). Частина вивільненої енергії запасується у вигляді хімічних зв'язків, що виникають між залишками ортофосфатної кислоти в молекулах АТФ (*пригадайте* їхню будову та функції).

Процеси розщеплення сполук не завжди врівноважені процесами їхнього синтезу. Так, в організмах, які розвиваються, процеси синтезу переважають над процесами розщеплення. Завдяки цьому накопичуються необхідні сполуки і забезпечується ріст організмів.

Для більшості організмів, які населяють нашу планету, основним джерелом енергії є сонячне світло, завдяки якому прямо чи опосередковано задовольняються їхні енергетичні потреби. Але різні групи організмів можуть безпосередньо отримувати енергію ззовні різними шляхами.

### Активізуйте свої знання

**Автотрофи** здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних. *Фототрофи* використовують для цих процесів енергію світла. *Хемотрофи* для синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію, яка вивільняється під час здійснення хімічних реакцій окиснення неорганічних. Для **гетеротрофів** джерелом енергії є органічні сполуки, утворені іншими організмами. *Міксотрофи* здатні не лише синтезувати органічні сполуки з неорганічних, а й вбрати готові органічні речовини.

**У чому полягають процеси клітинного дихання?** *Пригадайте: дихання* – це сукупність процесів, які забезпечують надходження в організм кисню, використання його для окиснення органічних речовин у клітинах (білків, жирів, вуглеводів), а також видалення з організму вуглекислого газу, що утворився під час реакцій окиснення. Так здійснюється газообмін між організмом та навколишнім середовищем.

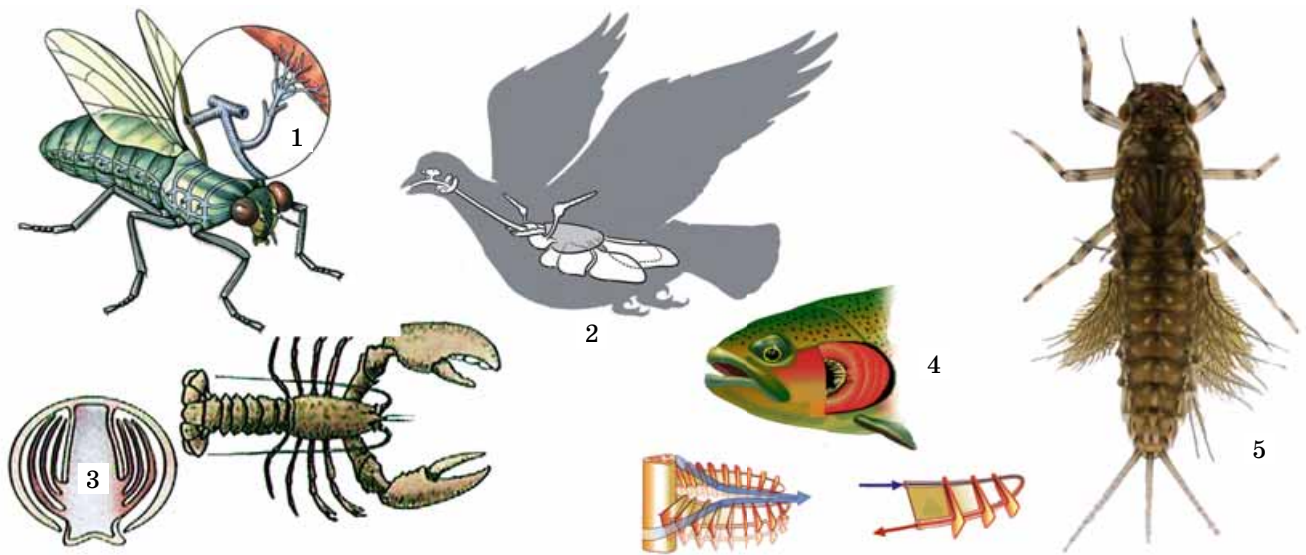
Минулого року на прикладі організму людини ви дізналися, що дихання об'єднує три групи різних фізіологічних процесів: *легеневу вентиляцію* (обмін газів, який відбувається в легенях між повітрям і кров'ю), *транспорт газів* кровоносною системою (у зв'язаному з гемоглобіном стані або розчинених у плазмі крові) від легень до всіх тканин тіла та *клітинне дихання* – використання кисню клітинами для реакцій вивільнення енергії. У результаті цих процесів утворюється вуглекислий газ, що виводиться з організму.

Фізіологічне значення клітинного дихання полягає у тому, що багаті на хімічну енергію сполуки за участю кисню окиснюються до простих, бідних на енергію ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), у результаті цього вивільняється енергія для забезпечення різноманітних процесів життєдіяльності. З процесами дихання нерозривно пов'язані процеси дисиміляції.

У більшості багатоклітинних тварин процеси дихання забезпечує спеціалізована дихальна система, завдяки якій кисень надходить в організм або з атмосферного повітря (*пригадайте*: трахеї комах, повітроносні шляхи та легені амфібій, рептилій, птахів і ссавців), або з води (зябра кільчастих червів, ракоподібних, молюсків, риб тощо) (мал. 85). У рослин процесам дихання сприяють







Мал. 85. Органи дихання тварин:

1 – трахеї комах; 2 – дихальна система птахів; 3 – зябра річкового рака; 4 – зябра риби; 5 – зябра личинки бабки. **Завдання.** Використовуючи знання, одержані на уроках біології у 7 класі, пригадайте будову органів дихання наведених організмів

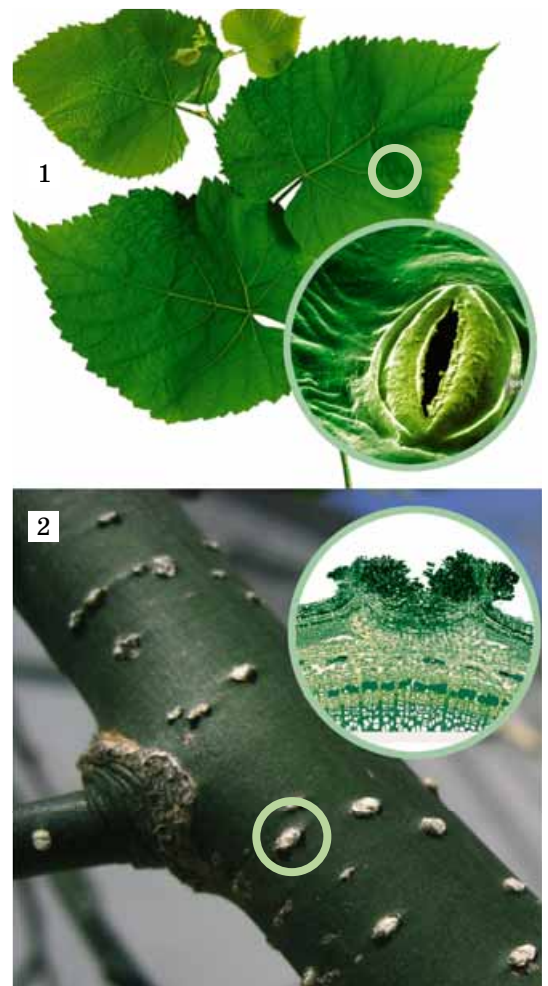
різні утвори: продихи у листків, сочевички на стовбурах (мал. 86). Кисень може надходити за допомогою дифузії через покриви багатоклітинних організмів (рослин, грибів, губок, жалких, плоских червів, нематод та ін.) або оболонки окремих клітин (у бактерій, рослин, одноклітинних тварин тощо).

З курсу біології 6 класу ви знаєте, що в процесі фотосинтезу рослини вбирають вуглекислий газ, а виділяють у довкілля кисень. Але одночасно з фотосинтезом вони й дихають, поглинаючи кисень та виділяючи вуглекислий газ. Процеси дихання, які відбуваються одночасно з фотосинтезом, називають **фотодиханням**.

Молекулярні механізми клітинного дихання в рослин і тварин загалом подібні.

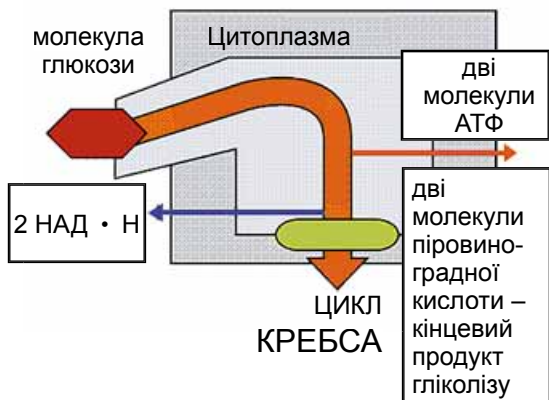
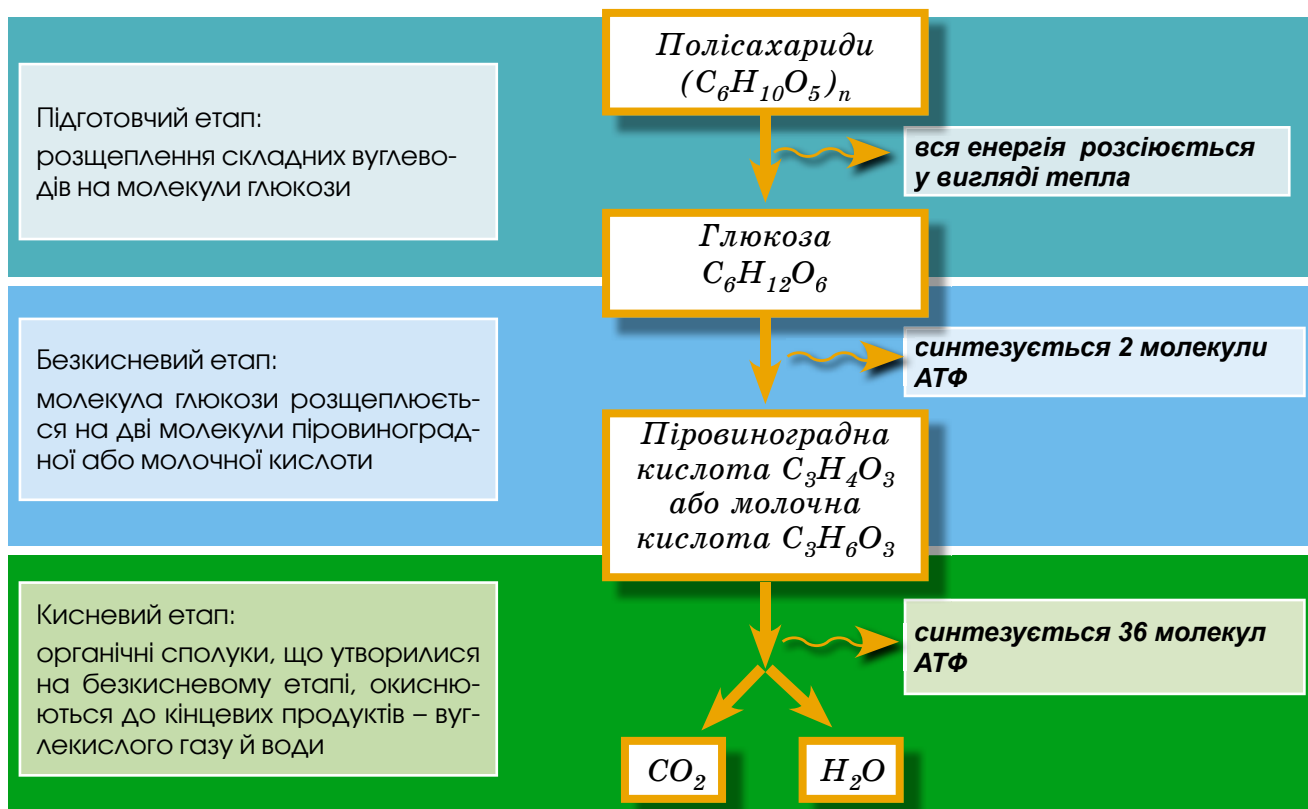
**Етапи енергетичного обміну.** Пригадайте: у біологічних системах енергія існує в різних формах, здатних перетворюватись одна в іншу, забезпечуючи нормальний перебіг процесів життєдіяльності. Вам також відомо, що частина енергії, яка виділяється під час розщеплення органічних речовин, розсіюється у вигляді тепла, підтримуючи певну температуру клітини або цілісного організму, а частина – запасається у вигляді високоенергетичних хімічних зв'язків певних сполук. Як ви пам'ятаєте, такою універсальною сполукою – накопичувачем енергії в клітинах – є аденозинтрифосфатна кислота (АТФ).

Енергетичний обмін відбувається в три послідовних етапи: підготовчий, безкисневий і кисневий. Початковий етап енергетичного обміну – **підготовчий** – перебігає в цитоплазмі клітин усіх організмів, а в більшості багатоклітинних тварин і людини – також і в порожнині органів травної системи. На підготовчому етапі складні органічні сполуки під дією ферментів розщеплюються на простіші: білки – до амінокислот, жири – до гліцеролу і жирних кислот, полісахариди – до моносахаридів, нуклеїнові кислоти – до нуклеотидів. Ці процеси супроводжуються вивільненням енергії, але її кількість незначна і вона розсіюється у вигляді тепла. Це тепло організми мо-



Мал. 86. Структури, які забезпечують дихання у рослин: 1 – продихи листків; 2 – сочевички

## ЕТАПИ КЛІТИННОГО ДИХАННЯ



Мал. 87. Схема, що ілюструє процеси анаеробного (безкисневого) етапу клітинного дихання: з молекули глюкози  $C_6H_{12}O_6$  без участі кисню утворюються дві молекули пірвіноградної кислоти  $C_3H_4O_3$

жуть використовувати для підтримання температури власного тіла.

За підготовчим етапом настає **безкисневий**, який відбувається в клітинах. Його ще називають **анаеробним** (від грец. *ан* – частинка, що означає заперечення, та *аер* – повітря), оскільки сполуки, які утворилися на попередньому етапі, зазнають подальшого багатоступеневого розщеплення, але без участі кисню. Анаеробне розщеплення (або *анаеробне дихання*) – найпростіша форма утворення та накопичення енергії в хімічних зв'язках молекул АТФ. Цей етап енергетичного обміну обов'язковий для всіх організмів – як анаеробів, так і аеробів.

Деякі мікроорганізми і безхребетні тварини (здебільшого паразити) не можуть використовувати кисень у процесах енергетичного обміну. Необхідну енергію вони отримують лише завдяки анаеробному розщепленню органічних сполук (тобто анаеробному диханню). Більшість організмів у процесах енергетичного обміну здатні використовувати кисень. Але в таких організмів кисневому етапу енергетичного обміну завжди передують безкисневий.

Найважливішим на безкисневому етапі енергетичного обміну в клітинах є розщеплення молекул глюкози на дві молекули *пірвіноградної* ( $C_3H_4O_3$ ) або *молочної* ( $C_3H_6O_3$ ) **кислоти**.

Процеси безкисневого розщеплення вуглеводів, або анаеробне дихання, узагальнено називають **гліколізом** (від грец. *глікис* – солодкий та *лізіс* – розщеплення) (мал. 87).

Під час гліколізу виділяється приблизно 200 кДж енергії. Частина її (майже 84 кДж) витрачається на синтез двох молекул АТФ, а решта – розсіюється у вигляді



Сукупність реакцій синтезу, які забезпечують розвиток клітин та організмів, поновлення їхнього хімічного складу, називають «пластичним обміном». Процеси розщеплення органічних речовин, що супроводжуються виділенням енергії, називають «енергетичним» обміном. Вони забезпечують енергією реакції синтезу складніших сполук з простих.

Завдяки процесам обміну речовин і перетворення енергії підтримується гомеостаз у разі змін умов навколишнього середовища.

Важливою ланкою енергетичного обміну є процеси дихання: надходження в організм кисню, розщеплення за його участю різних органічних сполук з виділенням енергії та виведення з організму вуглекислого газу.

Організми, які здійснюють розщеплення органічних сполук за участю кисню, називають «аеробними», а ті, що розщеплюють їх без участі кисню, – «анаеробними».

На підготовчому етапі енергетичного обміну складні органічні сполуки під дією ферментів розщеплюються на простіші. Ці процеси супроводжуються вивільненням енергії, що розсіюється у вигляді тепла.

Безкисневий, або анаеробний, етап енергетичного обміну відбувається в клітинах. Найважливішими процесами безкисневого етапу енергетичного обміну є процеси гліколізу. Під час цього етапу енергетичного обміну виділяється приблизно 200 кДж енергії, 35–40 % якої запасується в макроергічних зв'язках молекул АТФ.



**Запам'ятаємо:** кисневий етап енергетичного обміну можливий лише за умов наявності кисню. Тому недостатнє надходження кисню в клітини аеробних організмів здатне порушити процеси метаболізму та спричинити смерть.

тепла. Таким чином, процес гліколізу енергетично малоефективний: лише приблизно 35–40 % енергії, що виділяється, запасується в макроергічних зв'язках молекул АТФ. Це пояснюється тим, що кінцеві продукти гліколізу все ще містять у собі багато зв'язаної енергії.

Незважаючи на відносно низьку ефективність, гліколіз має важливе фізіологічне значення. Завдяки цьому процесові організми можуть отримувати енергію за умов нестачі кисню, а його кінцеві продукти (пірвіноградна і молочна кислоти) зазнають подальших ферментативних перетворень за наявності кисню. Проміжні продукти гліколізу використовуються для синтезу різних сполук.

### Цікаво знати



Аналогічними до гліколізу є процеси бродіння: молочно-кисле (яке здійснюють молочнокислі бактерії) та спиртове (яке забезпечують дріжджі та певні групи бактерій). У першому випадку кінцевим продуктом бродіння є молочна кислота, у другому – етиловий спирт. Ці процеси людина використовує в господарстві: молочнокисле – для консервування продуктів харчування (квашення овочів, сироваріння) з метою їхнього тривалого зберігання (молочна кислота пригнічує ріст і розмноження шкідливих мікроорганізмів), отримання кисломолочних продуктів (ряжанки, сметани), силосування рослинної маси для годування свійських тварин, промислового отримання молочної кислоти або спиртів.

Завершальним етапом енергетичного обміну є кисневий, який ми розглянемо у наступному параграфі.

### Ключові терміни та поняття:

пластичний та енергетичний обмін, клітинне дихання, гліколіз.

### Перевірте здобуті знання



1. Що таке пластичний та енергетичний обмін? 2. Яке значення АТФ у процесах енергетичного обміну? 3. Який зв'язок існує між процесами асиміляції та дисиміляції? 4. Які процеси називають «клітинним диханням»? 5. Схарактеризуйте підготовчий етап енергетичного обміну. 6. Які процеси відбуваються під час безкисневого етапу енергетичного обміну? 7. Яке значення процесів безкисневого етапу енергетичного обміну для забезпечення організму енергією?

### Поміркуйте



1. Чи всі автотрофні організми для синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію світла? 2. Чому життя неможливе без перетворень енергії?

## §17. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН. КИСНЕВИЙ (АЕРОБНИЙ) ЕТАП

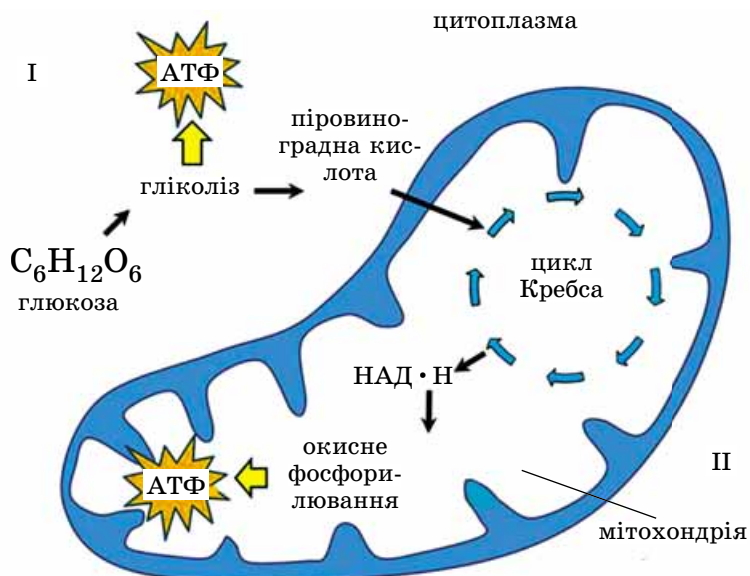
Пригадайте властивості макроергічних зв'язків. Які функції АТФ-сом?

**Кисневий етап енергетичного обміну** (або *аеробне дихання*) можливий лише в аеробних умовах, коли органічні сполуки, що утворилися на безкисневому етапі, окиснюються в клітинах до кінцевих продуктів – вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  та води  $\text{H}_2\text{O}$ . Процес біологічного



## Цікаво знати

Повна назва НАД – нікотинамід-аденіндинуклеотид. Вона спочатку здається неможливою для відтворення. Але спробуйте проаналізувати її складові, використовуючи свої знання з хімії. Ви переконаєтеся, це не так важко.



Мал. 88. Зв'язок між безкисневою (I) та кисневою (II) фазами енергетичного обміну

окиснення органічних сполук, пов'язаний з відщепленням від них атомів Гідрогену, відбувається в мітохондріях за участю певних ферментів. Завдяки процесам окиснення організм накопичує значну кількість енергії в макроергічних зв'язках молекул АТФ.

Отже, **тканинне, або клітинне, дихання** – це використання кисню тканинами та клітинами для окиснення органічних сполук з одночасним заощадженням енергії, потрібної для забезпечення процесів життєдіяльності (мал. 88).

**Роль циклу Кребса в кисневому (аеробному) етапі енергетичного обміну.** Важливе місце серед біохімічних перетворень, які відбуваються під час аеробного етапу енергетичного обміну, належить циклу біохімічних реакцій, так званому **циклу Кребса**. Цей цикл 1937 року відкрив англійський біохімік Ханс Адольф Кребс (мал. 89).

Реакції циклу Кребса відбуваються в матриксі мітохондрій і становлять собою послідовне перетворення органічних кислот. Під час цих перетворень від органічних кислот відщеплюються молекули  $CO_2$ , що залишають мітохондрії та зрештою виходять з клітини. У результаті кожного циклу Кребса як побічний продукт утворюється одна молекула АТФ. Але головним наслідком реакцій циклу є відщеплення від органічних кислот атомів Гідрогену, які передаються до сполук, що сприймають ці атоми, – акцепторів Гідрогену. Найважливішим акцептором Гідрогену є речовина НАД, приєднання до неї атому Гідрогену переводить її у відновлену форму ( $НАД \cdot H$ ) (знайдіть цей процес на малюнку 88).

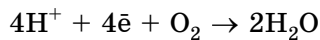
Під час окисно-відновних реакцій (докладніше про них ви дізнаєтеся на уроках хімії) електрони переносяться від **відновника** (сполуки-донора, яка їх постачає) до **окисника** (сполуки-акцептора, яка їх сприймає). Процес біологічного окиснення органічних сполук пов'язаний з відщепленням від них атомів Гідрогену. За участю специфічних ферментів ці атоми **окиснюються**, тобто втрачають електрони ( $e^-$ ). При цьому електрони, які звільни-



Мал. 89. Ханс Адольф Кребс (1900–1981) – лауреат Нобелівської премії в галузі медицини (1953)

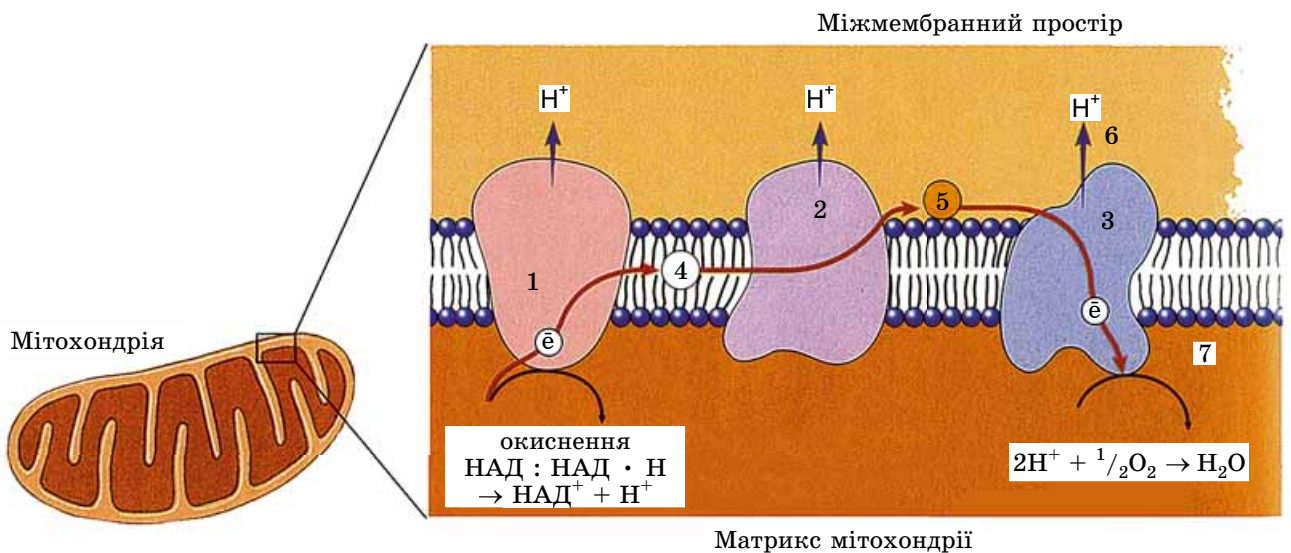
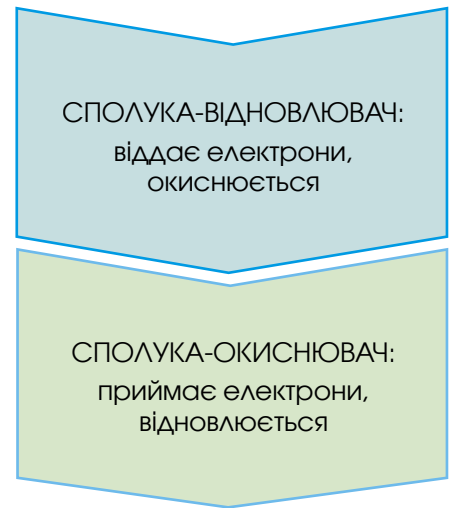
лися, за допомогою послідовного ряду сполук-переносників, розташованих у внутрішній мембрані мітохондрії, транспортуються до її внутрішньої поверхні, тоді як йони Гідрогену  $H^+$  накопичуються на зовнішній поверхні (мал. 90). Цей механізм дістав назву **дихальний ланцюг**, або **ланцюг перенесення електронів**. Унаслідок цих процесів на зовнішній поверхні мембрани концентрується позитивний заряд, а на внутрішній – негативний. Переносники електронів входять до складу ферментних комплексів, які каталізують окисно-відновні реакції.

Дихальний ланцюг починається в мітохондріях з окиснення  $НАД \cdot Н$  (головного продукту циклу Кребса) до  $НАД^+$  (окиснена форма), йонів  $H^+$  та двох електронів ( $e^-$ ). За участю цих електронів, двох йонів Гідрогену  $H^+$  та кисню  $O_2$  утворюється молекула води:



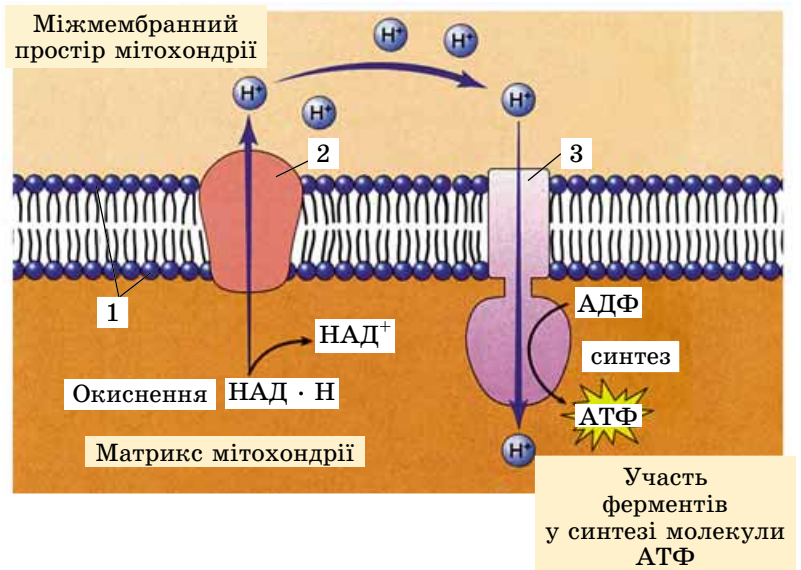
Отже, одночасно з перенесенням електронів ферментні комплекси дихального ланцюга перекачують йони Гідрогену  $H^+$  з внутрішнього середовища (матриксу) мітохондрій до простору між внутрішньою та зовнішньою мембранами мітохондрії. Таким чином, процес перенесення електронів супроводжується утворенням різниці концентрації йонів Гідрогену  $H^+$  з різних боків внутрішньої мембрани мітохондрій. При цьому йони  $H^+$  накопичуються в міжмембранному просторі, а електрони – на внутрішній поверхні внутрішньої мембрани мітохондрій (див. мал. 90). Така різниця концентрацій йонів Гідрогену  $H^+$  має потенціальну енергію, яка здатна виконувати корисну роботу: переміщення цих йонів з ділянки з високою концентрацією в ділянку з низькою концентрацією за допомогою звичайної дифузії може працювати на кшталт електричної батареї.

Внутрішня мітохондріальна мембрана є непроникною для йонів Гідрогену  $H^+$ . Їх переміщення можливе тільки



Мал. 90. Ланцюг перенесення електронів у внутрішній мембрані мітохондрії. Електрони ( $e^-$ ), яким надана енергія, транспортуються молекулами – мобільними переносниками (4) на зовнішню поверхню внутрішньої мембрани мітохондрії (5 – білкова сполука, що забезпечує подальший транспорт електронів). Три білкові молекули (1–3) використовують частину звільненої енергії електронів для перекачування йонів Гідрогену ( $H^+$ ) у простір між двома мембранами мітохондрії (6). Зрештою електрони взаємодіють з протонами та киснем, утворюючи воду (7)

Мал. 91. Молекула ферменту АТФ-синтетази забезпечує синтез АТФ під час кисневого етапу енергетичного обміну: 1 – внутрішня мембрана мітохондрії; 2 – молекула білка, що забезпечує транспорт йонів  $H^+$  у міжмембранний простір мітохондрії; 3 – АТФ-сома, до складу якої входить фермент АТФ-синтетаза (скорочено – АТФ-аза)



**Запам'ятемо:** ще одна назва клітинного дихання – **окисне фосфорилування**. Це спряження процесів окиснення (перенесення електронів по дихальному ланцюгу) і фосфорилування (утворення АТФ з АДФ і молекул ортофосфатної кислоти  $H_3PO_4$ ).

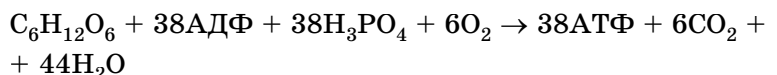
**Запам'ятемо:** основну роль у забезпеченні клітин енергією відіграє саме аеробний етап енергетичного обміну.

У процесі клітинного дихання енергія, яка міститься у вигляді хімічних зв'язків субстрату, що окиснюється, звільняється невеликими порціями. Це дає можливість клітині використовувати її більш повно, порівняно з тією енергією, яка звільняється під час безкисневого етапу.

через спеціальний канал. Він є структурним елементом особливого ферментного комплексу, який зовні дещо нагадує плодове тіло шапинкового гриба, АТФ-соми (див. мал. 67). Цей комплекс входить до складу внутрішньої мембрани мітохондрії, але одна з його частин перебуває у матриці цієї органели. У складі АТФ-соми є особливі ферменти (мал. 91, 3). За їхньою участю синтезуються молекули АТФ. Таким чином, відбувається спряження процесів окиснення (перенесення електронів по дихальному ланцюгу) і фосфорилування (утворення АТФ з АДФ та молекул ортофосфатної кислоти  $H_3PO_4$ ).

Окиснення двох молекул піровиноградної кислоти до  $H_2O$  та  $CO_2$  (у ході циклу Кребса та наступного окисного фосфорилування) супроводжується виділенням такої кількості енергії, яка забезпечує синтез 36 молекул АТФ. Ефективність заощадження енергії, що вивільняється під час окиснення органічних речовин у вигляді макроергічних зв'язків синтезованих молекул АТФ, наближається до 70 %. Отже, ефективність кисневого етапу енергетичного обміну значно вища, ніж безкисневого.

Якщо врахувати, що на етапі гліколізу синтезуються дві молекули АТФ, то енергії, яка виділяється внаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози під час здійснення як анаеробного, так і аеробного етапів, вистачає на утворення 38 молекул АТФ. Сумарне рівняння розщеплення глюкози має вигляд:



Слід зазначити, що синтез молекул АТФ під час безкисневого та насамперед кисневого етапів енергетичного обміну має важливе значення і для підтримання певного теплового балансу як окремих клітин, так і всього організму. Якби під час безкисневого розщеплення та окиснення різних сполук уся виділена енергія переходила в теплову (а на кисневому етапі більша її частина витрачається на синтез АТФ), це могло б зумовити денатурацію та деструкцію білків і нуклеїнових кислот.

Завершується енергетичний обмін виведенням кінцевих продуктів з організму.



## Ключові терміни та поняття:

аеробний (кисневий) етап енергетичного обміну, дихальний ланцюг (ланцюг перенесення електронів), окисне фосфорилування.

### Перевірте здобуті знання

1. Які процеси відбуваються під час кисневого етапу енергетичного обміну? 2. Які умови здійснення кисневого етапу енергетичного обміну? 3. Що таке дихальний ланцюг? Яка його роль у процесах кисневого етапу енергетичного обміну? 4. Скільки молекул АТФ синтезується під час кисневого етапу енергетичного обміну? 5. Скільки загалом молекул АТФ синтезується під час безкисневого та кисневого етапів енергетичного обміну?

### Поміркуйте

1. Чому при окисненні органічних сполук вивільняється енергія? 2. Чому розщеплення органічних сполук за присутності кисню виявляється енергетично ефективнішим, ніж за його відсутності?

## §18. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ПЛАСТИЧНОГО ОБМІНУ. ФОТОСИНТЕЗ: СВІТЛОВА ФАЗА

*Пригадайте*, чим характеризуються процеси асиміляції. Які організми відносять до автотрофів, гетеротрофів та міксотрофів? Що таке ферменти, гемоглобін, фотосинтез? Яка будова хлоропластів? Що таке тилакоїди? Які реакції належать до окисно-відновних?

### Біохімічні особливості процесів пластичного обміну.

Ми вже згадували, що *пластичним обміном* називають сукупність реакцій синтезу. Унаслідок цих процесів зі сполук, які надходять у клітину, утворюються необхідні для неї органічні речовини. Основні процеси пластичного обміну, або асиміляції, – це біосинтез білків, вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот. Також процеси асиміляції відбуваються і під час фотосинтезу та хемосинтезу. Проте слід пам'ятати, що під час фотосинтезу та хемосинтезу відбуваються й процеси, характерні для енергетичного обміну, – синтез молекул АТФ, які є акумуляторами енергії в клітині.

Як ви пам'ятаєте, жодна біохімічна реакція неможлива без участі ферментів. Як й інші біохімічні процеси, реакції пластичного обміну каталізуються відповідними ферментами. Під час асиміляції складні сполуки синтезуються з простіших. На це витрачається певна кількість енергії, накопиченої в ході реакцій енергетичного обміну.


Процеси асиміляції тісно пов'язані з процесами дисиміляції, адже продукти розщеплення різних сполук можуть використовуватися для синтезу нових, потрібних клітинам та цілісному організму. Продукти пластичного обміну застосовуються на оновлення хімічного складу клітин, забезпечення їхнього росту, а також на створення нових клітин, тканин та органів. Створені під час процесів асиміляції органічні сполуки слугують тим резервом, який може бути задіяний під час реакцій енергетичного обміну – їх розщеплення з виділенням енергії.

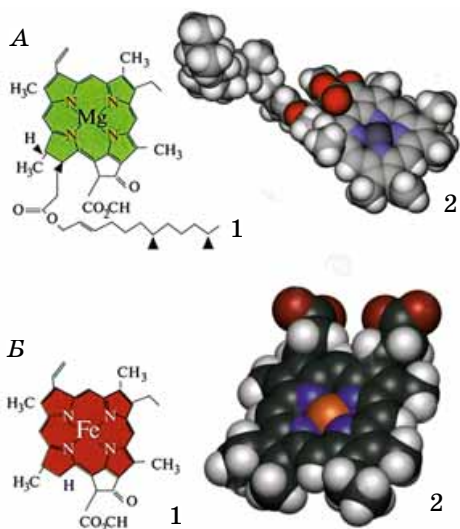
**Чим характеризується процес фотосинтезу?** Відомо багато біохімічних процесів, які відбуваються за участю

## Коротко про головне

Кисневий етап енергетичного обміну відбувається в мітохондріях. Унаслідок окисно-відновних реакцій органічні сполуки, які утворилися на попередньому, безкисневому, етапі, окиснюються до  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ . У внутрішній мембрані мітохондрій є особлива ферментна система, завдяки якій синтезуються молекули АТФ. Для цього використовується енергія, яка звільняється при перенесенні йонів  $\text{H}^+$  із зовнішньої поверхні внутрішньої мембрани мітохондрій на внутрішню.

Оскільки в процесі безкисневого (анаеробного) етапу енергетичного обміну утворюються дві молекули АТФ, а кисневого (аеробного) – 36, то енергії, яка виділяється внаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози, вистачає на утворення 38 молекул АТФ.

 **Запам'ятаємо:** процеси асиміляції спрямовані на утворення складних органічних сполук з простіших. Завдяки ним організми створюють як низькомолекулярні (амінокислоти, моносахариди, нуклеотиди тощо), так і високомолекулярні (як-от білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди) сполуки.



Мал. 92. Молекули хлорофілу (А) та гемоглобіну (В): 1 – структурні формули (для ознайомлення); 2 – масштабні моделі

**Запам'ятаємо:** фотосинтез ґрунтується на окисно-відновних реакціях, пов'язаних з перенесенням електронів від сполук, які їх постачають (сполук-донорів), до сполук, які їх сприймають (сполук-акцепторів).



Мал. 93. Джозеф Прістлі (1733–1804) – дослідник, який відкрив явище фотосинтезу

### Цікаво знати

Процес фотосинтезу відкрив англійський дослідник **Джозеф Прістлі** в 1771 р. (мал. 93). Завдяки його дослідженням стало відомим, що рослини здатні під час фотосинтезу вбирати вуглекислий газ і виділяти кисень.

живих істот, але серед них є один, без якого на нашій планеті життя існувати не може. Цей унікальний процес – **фотосинтез**: утворення органічних сполук з неорганічних завдяки перетворенню світлової енергії на енергію хімічних зв'язків синтезованих вуглеводів.

У клітинах рослин фотосинтез відбувається в хлоропластах, у яких містяться фотосинтезуючі пігменти – **хлорофіли**. За своєю структурою хлорофіл нагадує молекулу гемоглобіну, але в ній замість атома Феруму присутній атом Магнію (мал. 92). Хлорофіл, а також допоміжні пігменти (каротиноїди, забарвлені у червоний або жовтий колір), задіяні у фотосинтезі, розташовані в мембранах структур хлоропластів – тилакоїдів (див. мал. 68).

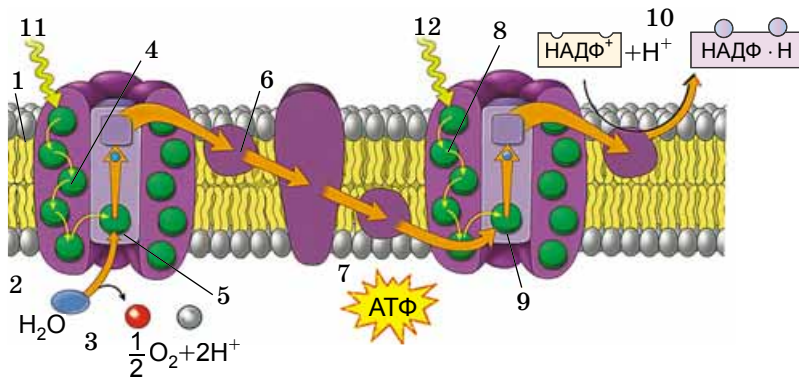
**Які виділяють фази фотосинтезу?** У процесі фотосинтезу виділяють дві послідовні фази: світлову та темнову. Світлова фаза дістала свою назву тому, що її реакції неможливі без участі світла. Для здійснення темної фази світло необов'язкове.

**Світлова фаза фотосинтезу** пов'язана з мембранами тилакоїдів. Вона розпочинається з поглинання кванта світла (фотона) молекулою хлорофілу. Поглинання фотона призводить до того, що електрон переходить у збуджений стан – на вищий енергетичний рівень.

Пігменти мембрани тилакоїдів, хлорофіли та допоміжні, зібрані у функціональні ансамблі, які називають **фотосистемами**. До одного такого ансамблю належить близько 200 молекул хлорофілів і 50 молекул каротиноїдів. Каротиноїди розширюють спектр дії фотосинтезу та беруть участь у передачі енергії на молекули хлорофілу. У процесі фотосинтезу в рослин, ціанобактерій та деяких одноклітинних тварин беруть участь дві фотосистеми – перша (I) і друга (II) (мал. 94).

Усі молекули хлорофілів здатні поглинати світло, але тільки дві з них беруть безпосередню участь у процесах перетворення енергії світла на хімічну енергію макроергічних зв'язків синтезованих молекул АТФ. Ці спеціалізовані молекули хлорофілу, пов'язані з особливими білками, утворюють **реакційний центр** (див. мал. 94, 5, 9). Реакційні центри є своєрідним пусковим механізмом фотосинтезу. Їхня функція – збирання світлової енергії та передача її до тих компонентів хлоропластів, де ця енергія перетворюється на енергію хімічних зв'язків синтезованих сполук.

Усі інші молекули пігментів, які належать до певної фотосистеми (крім двох, які беруть безпосередню участь у процесах перетворення світлової енергії на хімічну), виконують роль своєрідних світлозбиральних антен. Молекула пігменту, поглинаючи квант світла, збуджується і передає цю енергію сусідній молекулі – електрон першої молекули повертається до основного енергетичного стану, електрон другої – переходить на вищий енергетичний рівень. У результаті енергія збудження швидко мігрує по ансамблю світлозбиральних пігментів до реакційного центру фотосистеми. Електрон, що належить хлорофілу реакційного центру, отримуючи енергію збудження, здатен відірватись від молекули та потрапити на перший переносник електронів у ланцюзі їхнього транспорту.



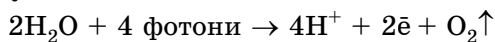
**Запам'ятаємо:** фотосистема – це одиниця організації пігментів та інших молекул, які беруть участь у процесах фотосинтезу й містяться в тилакоїдах хлоропластів.

**Запам'ятаємо:** фотоліз води – розщеплення молекул води на світлі за участю особливих ферментів з утворенням протонів (H<sup>+</sup>), електронів (e<sup>-</sup>) та молекулярного кисню (O<sub>2</sub>). Електрони використовуються на відновлення реакційного центру фотосистеми II, а молекулярний кисень виділяється в атмосферу.

Мал. 94. Ланцюг перенесення електронів під час світлової фази фотосинтезу: 1 – мембрана тилакоїда; 2 – внутрішній простір тилакоїда; 3 – завдяки фотолізу води звільняються електрони, які відновлюють фотосистему II; 4 – фотосистема II; 5 – реакційний центр фотосистеми II; 6 – ланцюг перенесення електронів; 7 – енергія, що звільнилася, частково використовується на синтез молекул АТФ; 8 – фотосистема I; 9 – реакційний центр фотосистеми I; 10 – відновлення НАДФ; 11 – квант світла, що потрапляє на фотосистему II; 12 – квант світла, що потрапляє на фотосистему I

Ланцюг перенесення електронів у мембрані тилакоїда є подібним до ланцюга перенесення електронів у внутрішній мембрані мітохондрій. Він складається з вбудованих у мембрану ферментних комплексів, які здійснюють послідовне перенесення електрона від молекули-донора до молекули-акцептора.

Обидві фотосистеми – фотосистеми I та II – пов'язані між собою через ланцюг перенесення електронів. У процесі фотосинтезу вони включаються послідовно – спочатку фотосистема II, а згодом – фотосистема I. Після втрати електрона реакційним центром фотосистеми I у її молекулі хлорофілу залишається так звана дірка. Вона заповнюється електроном, що переноситься від збудженого реакційного центру фотосистеми II (мал. 94). У свою чергу, «дірка», яка при цьому утворилася в реакційному центрі фотосистеми II, заповнюється електроном, джерелом якого є молекула води. Тому компонентом фотосистеми II є фоточутливий фермент, який під дією світла здійснює процес **фотолізу води**:



У фотосистемі I «збуджені» електрони можуть передаватися особливій сполуці – НАДФ. Взаємодіючи з протонами Гідрогену H<sup>+</sup>, що надходять з навколишнього середовища, ці електрони відновлюють її. Згодом ця відновлена сполука постачає Гідроген, необхідний для синтезу глюкози під час темної фази фотосинтезу (про неї йтиметься в наступному параграфі).

Під час світлової фази фотосинтезу синтезуються молекули АТФ. Механізм цих складних процесів такий. Транспорт електронів, який запускається світловими реакціями, спряжений з перекачуванням протонів H<sup>+</sup> через мембрану тилакоїдів у внутрішній простір цих структур хлоропластів. Натомість транспорт електронів здійснюється шляхом їх перенесення на зовнішній бік мембрани тилакоїдів. Так створюється різниця концентрацій протонів (H<sup>+</sup>) та електронів по обидва боки мембрани тилако-

### Цікаво знати

Ферментні комплекси, вбудовані в мембрану тилакоїдів, містять Ферум, без якого вони функціонувати не можуть. Якщо в рослину не надходять сполуки Феруму, то в неї розвивається захворювання хлороз: утворюються безбарвні листки, нездатні до фотосинтезу (мал. 95).



Мал. 95. Хлороз



## Цікаво знати



Повна назва НАДФ – нікотинамід-аденіндинуклеотидфосфат (спробуйте її проаналізувати, не для запам'ятовування). Ця сполука – компонент ферментів, присутніх в усіх живих клітинах, що забезпечують важливі окисно-відновні реакції енергетичного та пластичного обмінів.



**Запам'ятаємо:** основними подіями світлової фази фотосинтезу є синтез молекул АТФ та фотоліз води, внаслідок якого в атмосферу виділяється молекулярний кисень. Енергія, необхідна для синтезу молекул АТФ, звільняється завдяки перенесенню електронів та протонів через мембрану тилакоїдів та створенню різниці потенціалів по обидва її боки: на одній поверхні мембрани концентрується позитивний заряд, на другій – негативний.



## Коротко про головне

Процеси пластичного обміну, або асиміляції, є синтезом складніших сполук з більш простих. Усі ці реакції каталізуються відповідними ферментами та відбуваються з витратами енергії. Процеси пластичного обміну відбуваються і під час фотосинтезу.

У процесі фотосинтезу беруть участь дві фотосистеми – перша (I) і друга (II). Кожна з них має свій реакційний центр – особливі структури, до складу яких входять комплекси пігментів. Реакційні центри є своєрідним пусковим механізмом фотосинтезу.

Процес фотосинтезу відбувається у дві фази – світлову і темнову.

Основні процеси світлової фази: уловлення квантів світла, синтез АТФ, розщеплення води з виділенням з клітини молекулярного кисню та відновлення особливої сполуки – НАДФ.

їдів. Також зростає різниця електричних потенціалів: на зовнішній поверхні мембрани накопичується негативний електричний заряд, а на внутрішній – позитивний. Це зумовлює подальше перекачування протонів ( $H^+$ ) через канал у молекулі ферменту АТФ-синтетаза з внутрішньої поверхні мембрани тилакоїдів на зовнішню. При цьому вивільняється певна кількість енергії, частина якої запасється у макроергічних зв'язках синтезованих молекул АТФ. Як ви пригадуєте, ферменти АТФ-синтетази входять до складу особливих комплексів, розташованих у мембрані тилакоїдів.

Як ви могли помітити, під час світлової фази фотосинтезу переважають процеси, характерні для енергетичного обміну: заощадження енергії сонячного світла у вигляді макроергічних зв'язків молекул АТФ.

## Ключові терміни та поняття:

світлова фаза фотосинтезу, фотосистеми I та II, реакційний центр фотосистеми, фотоліз води.

## Перевірте здобуті знання



1. Які біохімічні особливості процесів пластичного обміну? 2. Схарактеризуйте процес фотосинтезу. 3. Які фази виділяють у процесі фотосинтезу? 4. Що таке фотосистема та її реакційний центр? 5. Які процеси відбуваються у світлову фазу фотосинтезу? 6. Що спільного між світловою фазою фотосинтезу та енергетичним обміном?

## Поміркуйте



Що спільного у перебігу процесів світлової фази фотосинтезу та кисневого (аеробного) етапу енергетичного обміну?

## §19. ФОТОСИНТЕЗ: ТЕМНОВА ФАЗА. ХЕМОСИНТЕЗ

Пригадайте, які процеси відбуваються у світлову фазу фотосинтезу. Які особливості клітин прокариотів? Які організми належать до фототрофів?

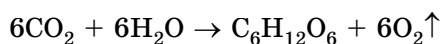
За світловою фазою фотосинтезу настає темнова. Саме під час темної фази з неорганічних сполук синтезуються вуглеводи.

Реакції **темної фази** фотосинтезу відбуваються у стромі хлоропластів без участі світла цілодобово. Вона починається з того, що особлива сполука фіксує молекулу  $CO_2$ , що надходить у хлоропласти з атмосферного повітря.

До молекули  $CO_2$  за допомогою певних ферментів приєднується Гідроген (який постачає відновлений протягом світлової фази НАДФ • Н). На здійснення реакцій темної фази витрачається енергія, яка була акумульована в макроергічних зв'язках молекул АТФ, синтезованих під час світлової фази. Через низку послідовних реакцій, також за участю специфічних ферментів, утворюються глюкоза та інші моносахариди. Згодом з них синтезуються полісахариди (наприклад, крохмаль, целюлоза та ін.).

Послідовність реакцій темної фази з'ясував американський учений М. Кальвін (мал. 96) зі своїми співробітниками. На його честь комплекс цих біохімічних реакцій назвали **циклом Кальвіна**.

Підсумкове рівняння обох фаз фотосинтезу має такий вигляд:



Вуглеводи, синтезовані під час реакцій темної фази, відіграють важливу роль у процесах енергетичного обміну, адже вони можуть не тільки окиснюватись, а й розщеплюватись без участі кисню. Отже, глюкоза, яка належить до моносахаридів, є формою акумуляції хімічної енергії: при її розщепленні та остаточному окисненні в мітохондріях звільняється енергія, що витрачається на потреби організму. Крім того, з глюкози в клітинах рослин можуть синтезуватися полісахариди (крохмаль, целюлоза тощо), які можуть відкладатися про запас.

**Які особливості процесів фотосинтезу в різних груп прокариотів?** У різних груп прокариотів процеси фотосинтезу можуть відбуватися по-різному. У ціанобактерій фотосинтез відбувається так само, як і в зелених рослин. У них задіяні дві фотосистеми – I та II. Під час світлової фази відбувається фотоліз води з виділенням молекулярного кисню. На відміну від ціанобактерій, у пурпурних бактерій і зелених сіркобактерій є лише одна фотосистема. Тому під час фотосинтезу в них кисень не виділяється.

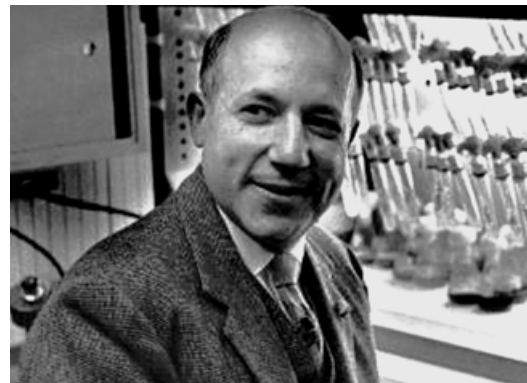
**Яке значення фотосинтезу для існування біосфери?** Завдяки фотосинтезу фотосинтезуючі організми вловлюють світлову енергію Сонця і перетворюють її на енергію хімічних зв'язків синтезованих ними вуглеводів. Коли організми-гетеротрофи (тварини, гриби тощо) споживають живих автотрофів або їхні рештки, то разом з їжею отримують і запасену в ній енергію. Тож існування біосфери можливе саме завдяки фотосинтезу.

Зелені рослини і ціанобактерії, вбираючи вуглекислий газ і виділяючи кисень, підтримують сталий газовий склад атмосфери. Крім того, під дією космічних променів кисень перетворюється на озон ( $O_3$ ), який формує озоновий шар (екран) атмосфери. Він поглинає короткохвильові (ультрафіолетові) космічні промені, які згубно діють на живу матерію. До того часу, коли він ще не був створений, життя могло існувати лише у воді, оскільки вода поглинає ультрафіолетові промені з короткою довжиною хвиль.

Отже, рослини є своєрідними посередниками в надходженні енергії сонячного світла до інших мешканців нашої планети, які не можуть її використовувати безпосередньо для процесів пластичного обміну. Уперше на це звернув увагу видатний учений К.А. Тімірязев (мал. 97), обґрунтувавши положення про космічну роль зелених рослин.

Саме завдяки фотосинтезу підтримується сталий вміст кисню в атмосфері. Кисень використовують у процесі дихання більшість організмів. Тому без перебільшення можемо стверджувати, що життя на нашій планеті без зелених рослин існувати не може. Рослини, таким чином, є універсальною біохімічною лабораторією зі створення органічних сполук з неорганічних (мал. 98).

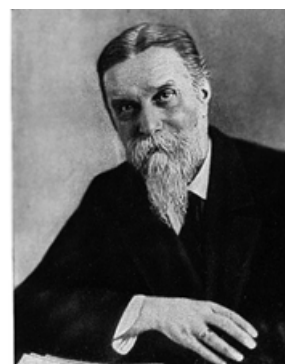
На процес фотосинтезу можуть впливати різні зовнішні чинники. Так, продуктивність фотосинтезу зростає за умов кращого водопостачання рослин, їхнього оптимального освітлення, забезпечення вуглекислим газом, завдяки селекції сортів, спрямованій на підвищення ефективності



*Мал. 96. Американський учений Мелвін Кальвін (1911–1997). Першим описав цикл біохімічних реакцій під час темної фази фотосинтезу. За свої дослідження отримав Нобелівську премію*

☀️ Процес надходження до клітин рослин  $CO_2$  називають повітряним живленням.

📌 **Запам'ятаємо:** процеси темної фази є прикладом реакцій пластичного обміну, або асиміляції.



*Мал. 97. Тімірязев Климент Аркадійович (1843–1920) – видатний учений у галузі фізіології рослин. Першим довів роль хлорофілу у процесах фотосинтезу й залежність інтенсивності процесів фотосинтезу від інтенсивності освітлення рослин. Сформулював положення про космічну роль зелених рослин*

## Цікаво знати

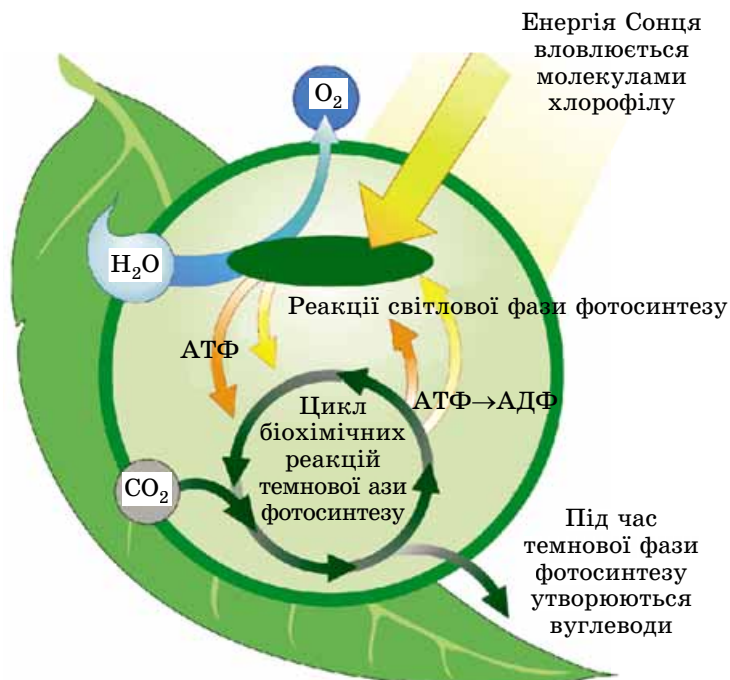
Якщо в ціанобактерій фотосинтезуючими пігментами є хлорофіли, то у пурпурних бактерій і зелених сіркобактерій – бактеріохлорофіли.

## Цікаво знати

Щорічно завдяки фотосинтезу на Землі утворюється приблизно 150 млрд тонн вуглеводів і виділяється понад 200 млрд тонн газоподібного кисню. Загалом рослини використовують для фотосинтезу лише до 2–5 % сонячної енергії, що досягає поверхні нашої планети. За рік рослинний світ Землі продукує близько  $10^{17}$  кДж енергії, що значно перевищує кількість енергії корисних копалин, яке споживає за рік людство. При цьому самі ці корисні копалини (нафта, газ та вугілля) – не що інше, як продукт фотосинтезу стародавніх рослин. Учені підраховали, що річна продуктивність фотосинтезу містить енергії майже у 10 разів більше, ніж необхідно для забезпечення потреб сучасного населення нашої планети.



Мал. 99. Сергій Миколайович Виноградський (1856–1953). Народився у м. Києві. Відкрив процес хемосинтезу. Досліджував процеси колообігу Нітрогену в природі



Мал. 98. Зелений листок – універсальна біохімічна лабораторія. Завдання. Простежте за зв'язками між світловою та темною фазами фотосинтезу

фотосинтезу тощо. Нестача вологи гальмує процес фотосинтезу, навіть за оптимальної інтенсивності освітлення й концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері. Швидкість реакцій темної фази зростає зі збільшенням температури, але за температури  $+30^\circ\text{C}$  і вище вона гальмується, а за надто високих температур процес фотосинтезу взагалі припиняється.

Крім фотосинтезуючих організмів, органічні сполуки з неорганічних можуть створювати й певні групи бактерій. Ці процеси вони здійснюють шляхом хемосинтезу.

**Що таке хемосинтез? Хемосинтезуючі організми, або хемотрофи** (від грец. *хемейя* – хімія та *трофе* – живлення), для синтезу органічних сполук використовують енергію, яка звільняється під час окиснення неорганічних сполук. До хемотрофних організмів належать різні групи бактерій: нітрифікуючі, метаноутворюючі, залізобактерії, безбарвні аеробні хемотрофні бактерії та інші. Процес хемосинтезу відкрив 1887 року наш співвітчизник – видатний мікробіолог С.М. Виноградський (мал. 99).

Бактерії-хемосинтетики послідовно окиснюють аміак до нітритів (солі нітритної кислоти), а згодом – до нітратів (солі нітратної кислоти). Значення цих процесів важко переоцінити, оскільки нітрати потрібні рослинам для повноцінного живлення. **Залізобактерії** отримують енергію за рахунок окиснення сполук двовалентного Феруму до тривалентного. **Безбарвні аеробні хемотрофні бактерії** окиснюють сірководень та інші сполуки Сульфуру до сульфатної кислоти.

**Яка роль хемотрофних організмів у природі?** Хемотрофні організми відіграють важливу роль у процесах колообігу певних хімічних елементів у природі. **Пригадайте: колообіг речовин** – це закономірна міграція певних сполук між живою (різні групи живих істот) і неживою природою.



вою частинами екосистем. При цьому багато процесів перетворення хімічних елементів у біосфері відбуваються лише за участю хемотрофних організмів. Крім того, хемотрофні організми здатні синтезувати органічні сполуки з неорганічних у тих частинах біосфери, куди не досягає сонячне світло. Залізобактерії беруть участь у створенні покладів залізних руд, які використовує людина.

### Ключові терміни та поняття:

темнова фаза фотосинтезу, цикл Кальвіна, космічна роль зелених рослин, хемосинтез, хемотрофні організми.

### Перевірте здобуті знання

1. Які процеси відбуваються під час темної фази фотосинтезу?
2. Які умови потрібні для здійснення темної фази фотосинтезу?
3. Чому процеси темної фази належать до реакцій пластичного обміну? 4. Чому без зелених рослин існування біосфери стало б неможливим? 5. Що таке хемосинтез? 6. Що спільного та відмінного між фототрофними та хемотрофними організмами? 7. Які організми здатні до хемосинтезу? 8. Яке біологічне значення процесу хемосинтезу?

### Поміркуйте

Що спільного і відмінного між процесами хемосинтезу і фотосинтезу?

## Коротко про головне

Процес фотосинтезу поєднує в собі риси енергетичного і пластичного обміну.

Реакції темної фази фотосинтезу відбуваються у внутрішньому середовищі хлоропластів цілодобово. За рахунок фіксації CO<sub>2</sub> та використання енергії АТФ у процесі циклу біохімічних реакцій синтезуються вуглеводи (як-от глюкоза).

Фотосинтезуючі організми вловлюють з космосу світлову енергію Сонця і перетворюють її на енергію хімічних зв'язків синтезованих вуглеводів. Ці сполуки споживають організми-гетеротрофи. Зелені рослини і ціанобактерії, вбираючи вуглекислий газ і виділяючи кисень, впливають і на газовий склад атмосфери.

Хемотрофи для синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію, яка звільняється під час окиснення неорганічних сполук.

## ТЕСТ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Укажіть органели, у яких міститься хлорофіл: а) мітохондрії; б) хлоропласти; в) вакуолі; г) комплекс Гольджі.
2. Укажіть кількість молекул АТФ, які синтезуються під час безкисневого етапу енергетичного обміну: а) 2; б) 4; в) 38; г) молекули АТФ не синтезуються.
3. Укажіть кількість молекул АТФ, які синтезуються під час кисневого етапу енергетичного обміну: а) 1 молекула; б) 4 молекули; в) 36 молекул; г) 38 молекул.
4. Виберіть фазу фотосинтезу, під час якої синтезуються молекули АТФ: а) темнова; б) світлова; в) як під час світлової, так і під час темної; г) у процесі фотосинтезу молекули АТФ не синтезуються.
5. Укажіть джерело енергії, яку використовують організми під час хемосинтезу: а) вивільняється при розщепленні органічних сполук; б) вивільняється при окисненні неорганічних сполук; в) вивільняється при розщепленні молекул АТФ; г) енергія світла.
6. Укажіть органели, у яких відбувається кисневий етап енергетичного обміну: а) мітохондрії; б) хлоропласти; в) комплекс Гольджі; г) вакуолі з клітинним соком.
7. Назвіть процеси, під час яких синтезуються молекули АТФ: а) світлова фаза фотосинтезу; б) темнова фаза фотосинтезу; в) підготовчий етап енергетичного обміну; г) світлова фаза хемосинтезу.
8. Назвіть умови, без яких процес фотосинтезу стає неможливим: а) відсутність вуглекислого газу в атмосфері; б) відсутність глюкози в клітинах; в) відсутність хромoplastів; г) відсутність мітохондрій.
9. Назвіть організми, які здійснюють хемосинтез: а) зелені рослини; б) тварини; в) гриби; г) нітрифікуючі бактерії.
10. Зазначте організми, які здійснюють фотосинтез: а) ціанобактерії; б) багатоклітинні тварини; в) гриби; г) нітрифікуючі бактерії.
11. Укажіть біохімічні процеси, які належать до пластичного обміну: а) дихання; б) окиснення органічних сполук; в) окиснення неорганічних сполук; г) хемосинтез.
12. Укажіть біохімічні процеси, які належать до енергетичного обміну: а) темнова фаза фотосинтезу; б) синтез білків; в) подвоєння ДНК; г) розщеплення органічних сполук без доступу кисню.
13. Укажіть походження електронів, за рахунок яких відновлюється фотосистема I: а) походять з фотосистеми II; б) власні, які повертаються на свій енергетичний рівень; в) звільняються при розщепленні молекули води; г) звільняються при розщепленні НАДФ.
14. Укажіть процес, під час якого виділяється молекулярний кисень: а) кисневий етап енергетичного обміну; б) світлова фаза фотосинтезу; в) темнова фаза фотосинтезу; г) анаеробне дихання.

*Утворіть логічні пари*

15. Установіть відповідність між етапами енергетичного обміну та кількістю молекул АТФ, які під час цих етапів синтезуються.

- |               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| 1 підготовчий | А 38 молекул                   |
| 2 безкисневий | Б 36 молекул                   |
| 3 кисневий    | В 2 молекули                   |
|               | Г молекули АТФ не синтезуються |

16. Установіть відповідність між біохімічними процесами та місцями їхнього перебігу.

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1 хемосинтез                | А тилакоїди                  |
| 2 світлова фаза фотосинтезу | Б строма хлоропластів        |
| 3 цикл Кребса               | В ядро                       |
| 4 темнова фаза фотосинтезу  | Г мітохондрії                |
|                             | Д клітини деяких прокариотів |

17. Визначте відповідність біохімічних процесів до певного типу метаболізму.

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1 реакції енергетичного обміну                       | А біосинтез білків    |
| 2 реакції пластичного обміну                         | Б фотосинтез          |
| 3 реакції як пластичного, так і енергетичного обміну | В розщеплення ліпідів |

*Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей*

18. Схарактеризуйте роль різних органел у метаболізмі клітини.

<b>Хлоропласти</b>	<b>Лізосоми</b>	<b>Мітохондрії</b>
1 забезпечення циклу Кребса	1 забезпечення світлової фази фотосинтезу	1 участь у підготовчому етапі енергетичного обміну
2 забезпечення циклу Кальвіна	2 забезпечення темної фази фотосинтезу	2 участь у безкисневому етапі енергетичного обміну
3 здійснення хемосинтезу	3 розщеплення складних сполук до простіших	3 участь у кисневому етапі енергетичного обміну

19. Охарактеризуйте енергетичний баланс різних етапів енергетичного обміну.

<b>Підготовчий</b>	<b>Безкисневий (анаеробний)</b>	<b>Кисневий (аеробний)</b>
1 синтезується 2 молекули АТФ	1 синтезується 2 молекули АТФ	1 синтезується 34 молекули АТФ
2 синтезується 4 молекули АТФ	2 синтезується 6 молекул АТФ	2 синтезується 36 молекул АТФ
3 молекули АТФ не синтезуються	3 синтезується 8 молекул АТФ	3 синтезується 38 молекул АТФ

20. Охарактеризуйте процеси метаболізму.

<b>Хемосинтез</b>	<b>Світлова фаза фотосинтезу</b>	<b>Темнова фаза фотосинтезу</b>
1 звільнення енергії внаслідок окиснення неорганічних сполук	1 синтез молекул АТФ	1 синтез молекул АТФ
2 звільнення енергії внаслідок окиснення органічних сполук	2 синтез глюкози з неорганічних сполук	2 синтез глюкози з неорганічних сполук
3 звільнення енергії внаслідок безкисневого розщеплення неорганічних сполук	3 звільнення енергії внаслідок окиснення неорганічних сполук	3 звільнення енергії внаслідок окиснення неорганічних сполук

*Запитання з відкритою відповіддю*

21. Як відбувається обмін речовин між клітиною та її навколишнім середовищем? Відповідь обґрунтуйте.
22. Які з органел еукаріотичної клітини беруть участь у синтезі органічних сполук?
23. Відомо, що в процесі повного розщеплення однієї молекули глюкози виділяється енергія, достатня для синтезу 38 молекул АТФ. Яка це кількість енергії, якщо врахувати, що на безкисневому етапі запасується приблизно 40 % енергії, а на кисневому – приблизно 55 %?



## ТЕМА 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- особливості організації генів і геномів прокаріотичних та еукаріотичних організмів;
- закономірності кодування спадкової інформації (генетичний код);
- механізми реалізації спадкової інформації в клітині (біосинтез білків і роль різних типів молекул РНК у цих процесах);
- клітинний цикл і механізми поділу еукаріотичних клітин (мітоз і мейоз);
- будову статевих клітин і процеси запліднення;
- закономірності зародкового та післязародкового розвитку організмів.

### §20. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ГЕНІВ І ГЕНОМІВ ПРОКАРІОТИЧНИХ ТА ЕУКАРІОТИЧНИХ ОРГАНІЗМІВ

*Пригадайте*, що таке ген, біополімери. Де у клітинах еукаріотів і прокаріотів зберігається спадкова інформація? Що таке денатурація та ренатурація? Яка будова та функції молекул ДНК та РНК? Що таке хромосоми, каріотип?

**Що таке гени? Які особливості їхньої будови?** Усім організмам притаманна універсальна властивість – **спадковість**, тобто здатність передавати свої ознаки та особливості індивідуального розвитку нащадкам. Одиницею спадковості всіх організмів є **ген** – ділянка молекули ДНК. Він кодує спадкову інформацію про структуру певного білка, нуклеїнової кислоти або виконує регуляторні функції.

Функціонально ген – цілісна одиниця спадковості, бо будь-які порушення його будови змінюють закодовану в ньому інформацію або призводять до її втрати. Розміри окремих генів можуть бути різними – від декількох десятків пар до десятків тисяч пар нуклеотидів.

*Пригадайте*: гени прокаріотів та еукаріотів, які кодують структуру інших молекул, називають **структурними**. Гени, які кодують особливі білки, що регулюють активність біохімічних процесів (активують або пригнічують) у клітині, називають **регуляторними**.

Гени еукаріотів мають **мозаїчну будову**: є ділянки генів, які кодують спадкову інформацію, і ділянки, які її не кодують (мал. 101). Ділянки гена, які кодують спадкову інформацію, називають **екзонами**, а ті, що не кодують, – **інтронами**. Кількість інтронів усередині генів різна: у гені гемоглобіну – 2, яєчного білка – 7, білка-колагену курки – 51.

**Яка організація геному в різних груп організмів?** Ви вже знаєте, що молекули ДНК, взаємодіючи з білками ядра, входять до складу хромосом (винятком є молекули ДНК, що містяться у мітохондріях і хлоропластах). Набір розташованих у ядрі хромосом називають **каріотипом**. Кожен ген займає певне положення в хромосомі – **локус**.

**Запам'ятаємо:** у послідовності нуклеотидів молекул ДНК записано спадкову інформацію про всі особливості клітини та організму.

#### Цікаво знати

Термін «ген» запропонував 1909 р. датський учений **В. Йогансен** (мал. 100).



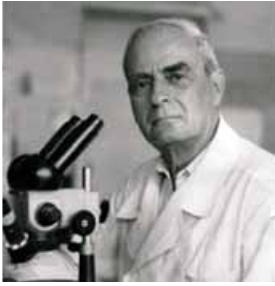
Мал. 100. Вільгельм Людвіг Йогансен (1857–1927). Ввів такі основоположні поняття в біології, як «ген», «генотип», «фенотип», «популяція»



Мал. 101. Екзонно-інтронна модель будови гена: ■ – інтрони; ■ – екзони

**Запам'ятаємо:** значення регуляторних генів полягає в тому, що, регулюючи біохімічні процеси в клітині, вони забезпечують пристосування до змін у середовищі, що її оточує.





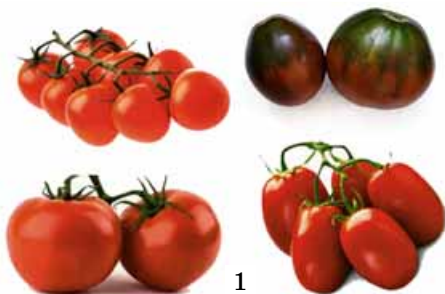
Мал. 102. Гершензон Сергій Михайлович (1906–1998); уперше встановив явище «стрибаючих» генів, досліджував фактори, які спричиняють зміни спадкового матеріалу – мутації (про них ви дізнаєтеся з § 37)

**Запам'ятаємо:** кожній негомолігичній хромосомі (тобто хромосомам з різних пар) притаманна своя група генів. Натомість у гомологічних хромосом подібний набір генів.

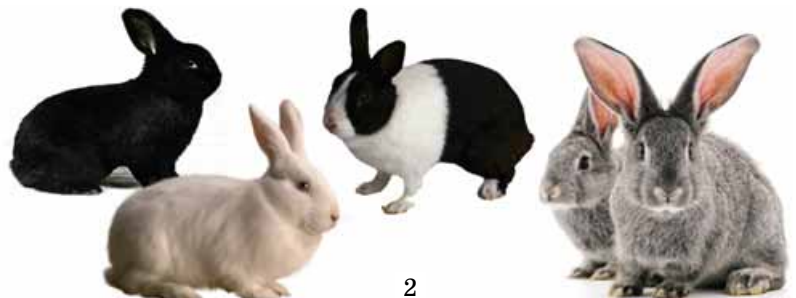
### Цікаво знати

Алелів певного гена може бути багато – до кількох десятків і більше. Наприклад, у конюшини є ген, який визначає нездатність до самозапилення, алелів якого нараховують близько 200.

**Запам'ятаємо:** певний ген визначає певну ознаку, наприклад колір очей людини. Алельні гени визначають різні варіанти цієї ознаки. Так, очі в людей можуть бути блакитними, карими, зеленими, сірими тощо. Отже, колір очей – це ознака, а конкретний їхній колір – це певний варіант ознаки.



1



2

Мал. 103. Варіанти ознак, які кодують алельні гени: 1 – форма плодів помідорів; 2 – забарвлення шерсті кролів

Гени розташовані у хромосомі по її довжині у лінійному порядку: один за одним. При цьому вони не перекриваються, тобто не накладаються один на одного.

### Цікаво знати

Раніше вважали, що гени займають лише чітко визначене місце у складі молекули нуклеїнової кислоти. Але в 60-х роках XX ст. учені з'ясували, що фрагменти ДНК здатні переміщуватися з однієї ділянки на іншу. Якщо такий фрагмент опиняється в кодуючій послідовності нуклеотидів певного гена, то цей ген втрачає свою функцію. Якщо ж такий «стрибаючий» ген опиняється поруч із іншим геном, то його функції можуть змінюватись. Отже, існують генетичні програми, які зумовлюють перебудову окремих ділянок молекули ДНК. Це урізноманітнює спадковий матеріал. Явище «стрибаючих» генів уперше виявив видатний український генетик **Сергій Михайлович Гершензон** (мал. 102).

Сукупність молекул ДНК, притаманних гаплоїдному набору хромосом, називають **геномом**. Сукупність генетичної інформації, закодованої в генах окремої диплоїдної чи поліплоїдної клітини або цілого організму, – **генотипом**.

У гомологічних хромосомах одні й ті самі гени займають ідентичні локуси. Вони кодують певні ознаки, припустімо форму плодів помідорів. Але плоди помідорів бувають кулястими, плоскими, сливоподібними, грушоподібними чи овальними (мал. 103, 1). Це тому, що певний ген може перебувати в різних варіантах. Такі різні варіанти одного гена називають **алелями**, а самі гени – **алельними**. Алельні гени розташовані в одному й тому самому локусі в гомологічних хромосомах.

У диплоїдного організму (2n) може бути або два однакових алеля певного гена, або різні. Різні алелі певного гена можуть по-різному впливати один на одного. Здебільшого один з алелів пригнічує прояв іншого. У цьому разі проявляється варіант ознаки, який визначається лише одним з двох різних алелів, інший варіант наче зникає. Рідше один з алельних генів лише частково пригнічує прояв іншого або ж не пригнічує взагалі.

Чи є біологічна доцільність того, що один ген може бути представлений багатьма алелями? Так, що більше існує алелів певного гена, то більше в популяціях трапляється різних варіантів певної ознаки. Наприклад, у кролів є кілька алелів, які визначають різне забарвлення шерсті: дике, шиншилове, гімалайське тощо. Бувають й кролі-альбіноси, позбавлені забарвлення (мал. 103, 2).



Мал. 104. Спадковий матеріал бактеріальної клітини: 1 – нуклеоїд; 2 – плазмиди

**Яка кількість генів у геномі різних організмів?** Дослідження різних представників прокаріотів та еукаріотів показали, що кількість генів у них значно коливається. *Пригадайте:* клітини прокаріотів – археїв і бактерій – не мають сформованого ядра. Їхній спадковий матеріал – кільцеподібна молекула ДНК – не відокремлена від цитоплазми мембранною оболонкою. Вона розташована у ядерній зоні цитоплазми – нуклеоїді (мал. 104, 1).

### Цікаво знати

Довжина кільцевої молекули ДНК кишкової палички становить близько 1,6 мм.

ДНК кишкової палички, наприклад, складається з 4,6 млн пар нуклеотидів, кількість структурних генів – приблизно 4100, ще близько 120 генів кодують молекули РНК. Крім того, вона містить велику кількість регуляторних генів, що впливають на активність структурних. Середній розмір гена бактерій – близько 950 пар нуклеотидів.

Як ви знаєте, у цитоплазмі клітин багатьох бактерій одночасно із кільцевою молекулою ДНК містяться невеличкі кільцеві молекули ДНК. Це *плазмиди* – позахромосомні фактори спадковості (мал. 104, 2). Вони зазвичай містять гени, які підвищують стійкість бактерій до несприятливих чинників довкілля, зокрема до антибіотиків. Плазмиди можуть передаватись від однієї клітини бактерій до іншої.

Значно складніше організований геном еукаріотів. Наприклад, у геномі людини близько 20 000–25 000 структурних генів (у птахів – до 30 000), ще понад 8000 генів кодують різноманітні молекули РНК (тРНК, рРНК тощо). Кількість ДНК у ядрі перевищує потрібну для кодування всіх структурних генів у 8–10 разів. Причини цього явища різні. По-перше, ДНК, розташована в ядрі еукаріотів, містить багато послідовностей, кожна з яких повторюється до сотень тисяч разів. По-друге, значна частина ДНК взагалі не несе генетичної інформації (*некодуючі ділянки*). Це, наприклад, послідовності нуклеотидів, які розділяють сусідні гени.

### Цікаво знати

У деяких випадках некодуючі ділянки молекули ДНК можуть становити 80–90 %, тоді як ті, що кодують структуру молекул білків чи РНК, – тільки 10–20 %.

З підвищенням рівня еволюційного розвитку розмір геному еукаріотів зростає переважно за рахунок саме некодуючих послідовностей. Так, гаплоїдний хромосомний набір нематоди містить близько 100 млн пар нуклеотидів, дрозофіли – 130 млн, курки – близько 1 млрд, ссавців

**Альбінізм** (від лат. *albus* – білий) – уроджена відсутність пігменту шкіри, волосяного покриву, пір'я, райдужки ока у тварин і людини. Альбінізм зумовлений нездатністю пігментних клітин шкіри утворювати темний пігмент меланін.

**Запам'ятаємо:** генотип – це цілісна інтегрована система, де окремі гени взаємодіють між собою.

### Коротко про головне

Клітини кожного виду еукаріотів мають свій особливий набір хромосом – каріотип. Сукупність генетичної інформації, закодованої в усіх генах певної клітини або цілісного організму, має назву «генотип». Сукупність молекул ДНК, притаманних гаплоїдному набору хромосом, називають «геномом».

Гени поділяють на структурні (кодують структуру білків і РНК) та регуляторні (впливають на активність структурних генів і беруть участь у процесах подвоєння ДНК і переписування спадкової інформації на молекули РНК). Структурні гени складаються з окремих блоків. Одні з них – екзони – копіюються в мРНК і несуть інформацію про структуру певних сполук, інші – інтрони – ні. З підвищенням рівня організації складність організації геному зазвичай підвищується.

(і в людини також) – приблизно 3,3 млрд пар нуклеотидів. Між видами, що належать до близьких систематичних груп, спостерігають високий ступінь подібності геномних нуклеотидних послідовностей. Так, геноми людини та миші однакові на 80 %, людини та шимпанзе – майже на 99 %. Порівняльний аналіз геномів різних організмів є важливим методом сучасної систематики, він дає змогу встановлювати ступінь їхньої спорідненості.

### Ключові терміни та поняття:

спадковість, ген, гени структурні та регуляторні, екзони, інтрони, каріотип, геном, генотип, локус, алельні гени, плазміди.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке спадковість? 2. Що таке ген і генотип? 3. Які є типи генів? 4. Яка будова структурних генів еукаріотів? 5. Поясніть сутність поняття «ознака» та її варіанти. 6. Які гени називають алельними?

### Поміркуйте

Що спільного та відмінного в поняттях «геном» і «генотип»?

## **§21. РОЛЬ РІЗНИХ ТИПІВ МОЛЕКУЛ РНК У КОДУВАННІ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ. ГЕНЕТИЧНИЙ КОД**

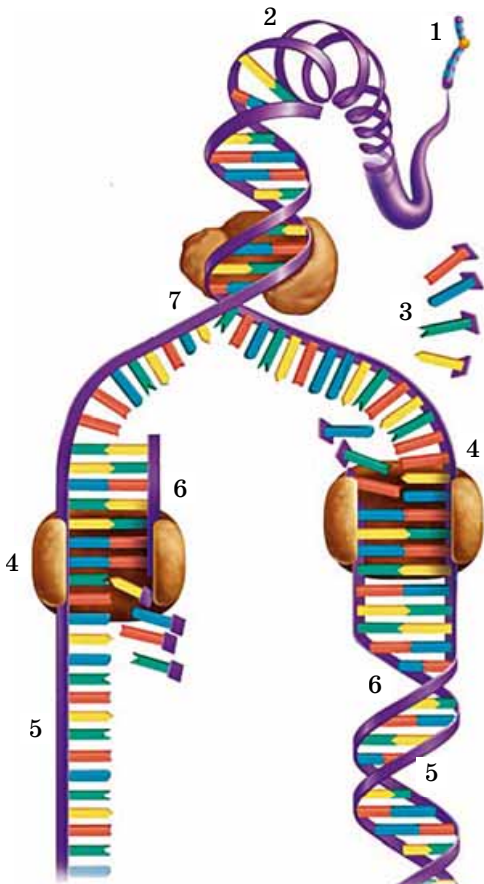
*Пригадайте*, які є типи молекул нуклеїнових кислот. У чому полягає принцип комплементарності? Яка будова білків? Яка будова ендоплазматичної сітки та рибосом? Що таке ген, яка будова генів еукаріотів? Яка будова та властивості мітохондрій і пластид?

Різні типи молекул нуклеїнових кислот відіграють певну роль у процесах кодування, зберігання й реалізації спадкового матеріалу. Провідна роль у цих процесах належить молекулам ДНК, які здатні до самоподвоєння. Цей процес забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської клітини дочірнім.

**Процес самоподвоєння молекул ДНК**, або **реплікація**, ґрунтується на принципі комплементарності: послідовність нуклеотидів у новоствореному ланцюзі молекули ДНК визначається розташуванням комплементарних нуклеотидів у ланцюзі материнської. Під час реплікації два ланцюги материнської молекули ДНК за участю відповідних ферментів розплітаються, і кожен з них стає матрицею для синтезу нового ланцюга. Спеціальний фермент забезпечує послідовне приєднання нуклеотидів до кінця ланцюга, що синтезується. Цей фермент каталізує також реакцію утворення ковалентного зв'язку між сусідніми нуклеотидами (мал. 105).

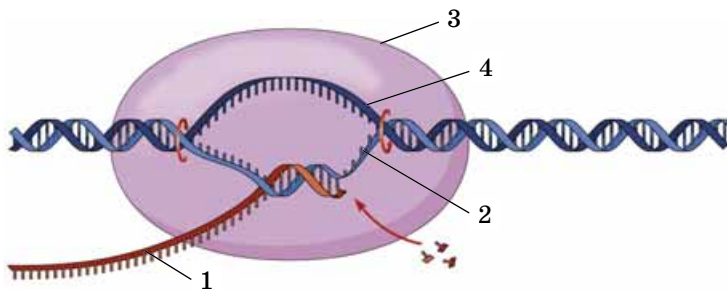
Тип нуклеотиду (один із чотирьох: **A**, **T**, **G** або **C**), що приєднується, визначається тим ланцюгом молекули ДНК, який слугує матрицею: приєднаний нуклеотид має бути комплементарним нуклеотиду, розташованому у відповідній точці матричного ланцюга. У результаті утворюються дві дочірні ідентичні молекули ДНК, кожна з яких є точною копією материнської (мал. 105).

Усі види РНК (мРНК, тРНК, рРНК) синтезуються також за принципом комплементарності на молекулах ДНК (мал. 106). Ці реакції забезпечують відповідні ферменти.



*Мал. 105. Процес реплікації молекули ДНК: за участю ферменту розширюються водневі зв'язки і на кожному материнському ланцюзі за принципом комплементарності добудовується дочірній (знайдіть їх на малюнку): 1 – хромосома; 2 – ферменти розплітають подвійну спіраль материнської молекули ДНК; 3 – вільні нуклеотиди; 4 – специфічний фермент; 5 – ланцюг материнської молекули ДНК слугує матрицею для синтезу нового; 6 – дочірній ланцюг; 7 – реплікаційна вилка*





Мал. 106. Синтез молекули мРНК (1) на одному з ланцюгів молекули ДНК (2). Ці процеси забезпечує специфічний фермент (3). Другий ланцюг ДНК (4) у цей час залишається неактивним

Отже, в біологічних системах певні біохімічні реакції мають особливості, коли одна молекула слугує основою – матрицею – для синтезу іншої. Так, молекула ДНК слугує матрицею для синтезу різних типів молекул РНК, молекула мРНК – білкових молекул. Такі біохімічні процеси називають **реакціями матричного синтезу**. Вони нагадують промислові методи, коли з однієї форми-матриці отримують багато деталей. Наприклад, за допомогою однієї матриці можна надрукувати багато банкнот або відкарбувати багато монет. Так само і під час реакцій матричного синтезу нові молекули утворюються згідно з планом будови молекули-матриці: мономер молекули, що синтезується, розміщуються в точній відповідності до розташування мономерів у молекулі-матриці.

Важливою властивістю молекул ДНК є їхня здатність до відновлення – **репарації**. Під час репарації ДНК виправляються пошкодження та помилки. Наприклад, помилки в послідовності нуклеотидів новосинтезованого ланцюга ДНК можуть виникати (з певною невисокою частотою) під час реплікації, коли нуклеотид виявляється некомплементарним нуклеотиду матриці. Молекули ДНК можуть пошкоджуватися під впливом різноманітних хімічних сполук (як деяких власних молекул клітини, так і таких, що потрапили ззовні), радіації, ультрафіолетового опромінення тощо. У таких випадках ферменти системи репарації зазвичай вирізають невеличку ділянку ланцюга з пошкодженням або помилковим нуклеотидом, після чого фермент ДНК-полімераза вбудовує нормальний фрагмент, використовуючи інший ланцюг як матрицю (мал. 107).

**Що таке генетичний код? Які його властивості?** У живих організмах утворюється величезна кількість різноманітних білків. Інформація про структуру кожного з них має зберігатись у клітинах. Єдина для всіх живих організмів система кодування спадкової інформації – **генетичний код** – зберігається у клітині у вигляді певної послідовності нуклеотидів молекул нуклеїнових кислот. Саме ця послідовність нуклеотидів і визначає порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі під час його синтезу.

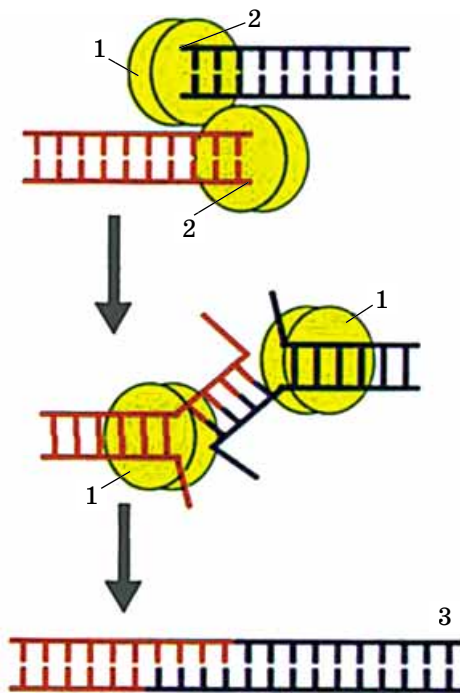
Учені виявили, що кожна амінокислота в поліпептидному ланцюзі кодується певною послідовністю з трьох нуклеотидів – так званим **триплетом**. Чотири різні нуклеотиди ДНК або РНК можуть утворювати 64 комбінації ( $4^3 = 64$ ). Тобто існує 64 різних триплети. Оскільки відомо лише 20 стандартних амінокислот, то можна припустити, що одна амінокислота може кодуватися кількома різними триплетами (див. таблицю 5). Встановлено, що більшість стандартних амінокислот (18 з 20) кодується

### Цікаво знати


Процес реплікації **напівконсервативний**: кожна з двох утворених дочірніх молекул ДНК отримує один ланцюг від материнської молекули, другий – синтезується на ньому за принципом комплементарності з вільних нуклеотидів. Саме завдяки цьому дочірні молекули ДНК є точною копією материнської.

### Цікаво знати

Крім ядра, у мітохондріях і хлоропластах еукаріотичних клітин відбувається реплікація відповідно мітохондріальної та хлоропластної ДНК. Подвоєння молекул ДНК передуює поділу цих органел.



Мал. 107. Процес репарації (виправлення) молекули ДНК: білки (1) розпізнають кінці пошкодженої молекули ДНК (2) і з'єднують їх; 3 – відновлений фрагмент молекули ДНК

 **Запам'ятаємо:** реакції матричного синтезу є основою однієї з головних властивостей біологічних систем – здатності до самовідтворення.

кількома триплетами (від двох до шести) і лише дві з них – одним.

Те, що одна амінокислота може кодуватись кількома триплетами має важливе біологічне значення, оскільки підвищує надійність генетичного коду. Отже, випадкова заміна залишку однієї азотистої основи в певному триплеті на інший не завжди супроводжуватиметься змінами в первинній структурі білка. У таблиці 5 знайдемо триплети, які кодують амінокислоту лейцин (ЛЕЙ). Припустімо, що в певній молекулі цю амінокислоту кодує триплет ЦУУ. Унаслідок змін у цьому триплеті останній нуклеотид (У) може замінюватися на інший, наприклад на А. Але триплет, що утворився – ЦУА, все одно кодуватиме амінокислоту лейцин.

За допомогою таблиці 5 можна визначити, яку саме амінокислоту кодує певний триплет. Перший нуклеотид у триплеті беруть з лівого вертикального стовпчика, другий – з верхнього горизонтального і третій – з правого вертикального. В місці перетину ліній міститься інформація про амінокислоту, яку слід визначити. Нагадуємо, що в таблиці наведено триплети мРНК, а не ДНК.

Таблиця 5

### ГЕНЕТИЧНИЙ КОД

Перша основа	Друга основа				Третя основа
	У	Ц	А	Г	
У	ФЕН	СЕР	ТИР	ЦИС	У
	ФЕН	СЕР	ТИР	ЦИС	Ц
	ЛЕЙ	СЕР	Стоп-кодон	Стоп-кодон	А
	ЛЕЙ	СЕР	Стоп-кодон	ТРИ	Г
Ц	ЛЕЙ	ПРО	ГІС	АРГ	У
	ЛЕЙ	ПРО	ГІС	АРГ	Ц
	ЛЕЙ	ПРО	ГЛН	АРГ	А
	ЛЕЙ	ПРО	ГЛН	АРГ	Г
А	ІЛЕ	ТРЕ	АСН	СЕР	У
	ІЛЕ	ТРЕ	АСН	СЕР	Ц
	ІЛЕ	ТРЕ	ЛІЗ	АРГ	А
	МЕТ	ТРЕ	ЛІЗ	АРГ	Г
Г	ВАЛ	АЛА	АСП	ГЛІ	У
	ВАЛ	АЛА	АСП	ГЛІ	Ц
	ВАЛ	АЛА	ГЛУ	ГЛІ	А
	ВАЛ	АЛА	ГЛУ	ГЛІ	Г

**Примітка.** У таблиці наведено (не для запам'ятовування) назви амінокислот, закодовані триплетами мРНК: аланіну (АЛА), аргініну (АРГ), аспарагіну (АСН), аспарагінової кислоти (АСП), валіну (ВАЛ), гістидину (ГІС), гліцину (ГЛІ), глутаміну (ГЛН), глутамінової кислоти (ГЛУ), ізолейцину (ІЛЕ), лейцину (ЛЕЙ), лізину (ЛІЗ), метіоніну (МЕТ), проліну (ПРО), серину (СЕР), тирозину (ТИР), треоніну (ТРЕ), триптофану (ТРИ), фенілаланіну (ФЕН) та цистеїну (ЦИС), МЕТ – стартовий триплет.



Важливими властивостями молекул ДНК є їхня здатність до самоподвоєння (реплікації) та виправлення пошкоджень і помилок (репарації). Основні функції ДНК – це кодування, збереження спадкової інформації та передача її дочірнім клітинам під час розмноження.

Особливий тип біохімічних реакцій, коли одна молекула слугує основою (матрицею) для синтезу іншої, дістав назву «реакції матричного синтезу».

Єдина для всіх живих організмів система збереження спадкової інформації дістала назву «генетичний код». Це певна послідовність нуклеотидів молекул нуклеїнових кислот. Вона визначає порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі під час його синтезу. Властивості генетичного коду такі: він триплетний, універсальний, однозначний (один триплет кодує лише одну амінокислоту), більшість амінокислот кодується декількома триплетами; зчитується зазвичай лише одним способом; має послідовності нуклеотидів, які не кодують спадкову інформацію, а лише розділяють певні гени; є триплети, що дають сигнал про початок синтезу білкової молекули, а також про його припинення.



**Запам'ятаємо:** синтез білкової молекули – це кінцева ланка процесу реалізації спадкової інформації.

Ще одна властивість генетичного коду полягає в тому, що кожний триплет кодує лише одну певну амінокислоту. Тобто *генетичний код однозначний*. Крім того, *генетичний код універсальний* – єдиний для всіх організмів: від бактерій до людини.

*Генетичний код не перекривається*, генетична інформація у прокариотів та еукаріотів зазвичай може зчитуватися лише в один спосіб. Послідовність нуклеотидів починає зчитуватися з певної точки в одному напрямку, що визначає порядок зчитування триплетів усього ланцюга нуклеотидів. Ця властивість забезпечує точне відтворення білкових молекул в особин різних поколінь. Початок процесу синтезу білкової молекули визначає триплет АУГ, тому його називають *стартовим*. Генетична інформація зчитується послідовно – крок за кроком (мал. 108). У генетичному коді є також три триплети (УАА, УАГ, УГА), кожний з яких сигналізує про припинення синтезу поліпептидного ланцюга, їх називають *стоп-кодонами*.

<u>АУГ</u>	<u>ЦЦА</u>	<u>ГАУ</u>	<u>ЦЦЦ</u>	<u>ГАА</u>	...	<u>УГА</u>
мет	про	асп	про	глу		стоп-кодон

Мал. 108. Зчитування генетичної інформації

Аналізуючи таблицю 6, ви звернули увагу на те, що триплети УАА, УАГ, УГА не кодують жодної амінокислоти, на відміну від триплету АУГ.

### Ключові терміни та поняття:

реплікація, реакції матричного синтезу, репарація молекул ДНК, генетичний код, триплет.

### Перевірте здобуті знання

1. Яка роль ДНК у кодуванні генетичної інформації? 2. Як відбувається реплікація молекул ДНК? 3. Як відбувається репарація молекул ДНК? 4. Що таке генетичний код і які його властивості? 5. Яке біологічне значення того факту, що більшість амінокислот, які входять до складу білків, закодовані не одним, а декількома триплетами? 6. Що таке реакції матричного синтезу? Яке їхнє біологічне значення?

### Поміркуйте

Яке значення для існування організмів має здатність ДНК до репарації?

## §22. БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ

*Пригадайте* будову білків. Які амінокислоти належать до заміінних, а які – до незамінних? Яка будова ендоплазматичної сітки та рибосом? Яка будова нуклеїнових кислот? Які є типи молекул РНК? Що таке ген? Яка функція рибосом та зернистої ендоплазматичної сітки?

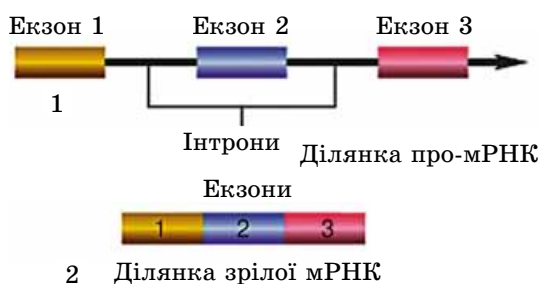
Як ви пам'ятаєте, генетичний код у клітині реалізується шляхом біосинтезу білкових молекул. Важлива роль у цих процесах належить різним типам молекул РНК: мРНК, рРНК та тРНК. Майже всі живі організми здатні синтезувати нуклеотиди у результаті послідовних ферментативних реакцій. Попередниками нуклеотидів, які входять до складу нуклеїнових кислот, є амінокислоти.



🌱 Процеси переписування спадкової інформації з молекули ДНК на молекулу мРНК називають **транскрипцією** (від лат. *транскриптіо* – переписування).

### Цікаво знати

Під час транскрипції на гені синтезується попередник мРНК (**про-мРНК**) – молекула, яка містить ділянки, що відповідають як ексонам, так й інтронам білкового гена. Потім інтрони вирізаються і кінці сусідніх екзонів зшиваються. Цей процес своєрідного «дозрівання» молекули мРНК називають **сплайсингом** (від англ. *сплайс* – склеювати кінці чогось) (мал. 109). Після завершення цього процесу утворюється зріла молекула мРНК без інтронів, яка з ядра надходить у цитоплазму клітини. Така молекула переносить спадкову інформацію від ДНК до місця синтезу білкової молекули – рибосоми. Там молекула мРНК виконує функцію матриці (звідки й походить її назва).



Мал. 109. Структура мРНК до (1) та після (2) процесу сплайсингу

📌 **запам'ятаємо:** молекула тРНК приєднує амінокислоту і транспортує її до місця синтезу білкової молекули. У транспорті комплексу молекула «тРНК – амінокислота» беруть участь мікротрубочки та мікронитки цитоплазми.

**Які процеси відбуваються під час біосинтезу білкових молекул?** Пригадайте: замінні амінокислоти можуть синтезуватись в організмі людини і тварин, незамінні – надходять до них лише з їжею. Білки їжі перетравлюються в органах травної системи, ці процеси завершуються в клітинах. Саме в клітинах з амінокислот синтезуються білки, властиві даному організмові. Рослини та деякі мікроорганізми здатні самі синтезувати всі необхідні їм амінокислоти.

Механізм біосинтезу білків з'ясовано у 50-ті роки ХХ ст. Як і біосинтез нуклеїнових кислот, він відбувається за принципом матричних реакцій. Утворення кожної з 20 стандартних (основних) амінокислот – складний багатоступеневий процес, який каталізує багато ферментів.

Початковий етап біосинтезу білкової молекули пов'язаний із синтезом молекули мРНК на молекулі ДНК (див. мал. 106). Особливий фермент роз'єднує подвійну спіраль ДНК, і на одному з її ланцюгів за принципом комплементарності синтезується молекула мРНК. Цей фермент забезпечує приєднання комплементарних нуклеотидів до ланцюга РНК, що синтезується. При цьому напроти нуклеотидів з аденином у складі матричного ланцюга ДНК в РНК включаються нуклеотиди з урацилом.

Наступні етапи біосинтезу білків мають назву **трансляція** (від лат. *трансляціо* – передача). Послідовність нуклеотидів у молекулі мРНК переводиться в послідовність амінокислотних залишків молекули білка, що синтезується. Так розшифровується інформація, записана в послідовності нуклеотидів мРНК.

Отже, молекули мРНК синтезуються лише на одному з ланцюгів молекули ДНК. При цьому послідовність нуклеотидів молекули мРНК *комплементарна* послідовності нуклеотидів ланцюга ДНК, на якому вона синтезована, і *збігається за послідовністю нуклеотидів* з іншим ланцюгом, який називають **кодуючим**, або **змістовним**:

АУГ\_ГЦГ\_АУЦ\_ЦГГ – ділянка мРНК

ТАЦ\_ЦГЦ\_ТАГ\_ГЦЦ – ланцюг ДНК, на якому здійснюється процес транскрипції

АТГ\_ГЦГ\_АТЦ\_ЦГГ – другий ланцюг ДНК – кодуючий, або змістовний

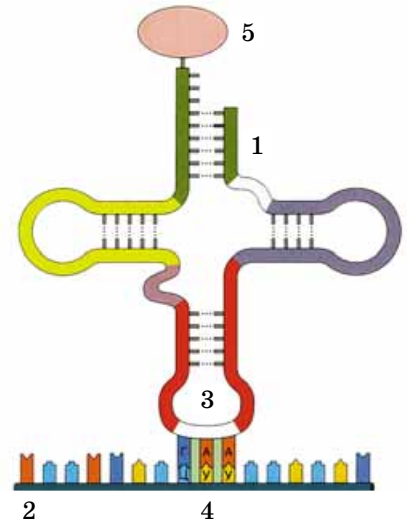
Спочатку в цитоплазмі кожна з амінокислот, які мають увійти до складу молекули білка, за участі специфічного ферменту ковалентним зв'язком приєднується до певної молекули тРНК (мал. 110; *пригадайте* будову молекули тРНК). Перебіг цього процесу потребує енергії, що зберігається у вигляді макроергічних зв'язків молекули АТФ.

Трансляція розпочинається з **ініціації**: мРНК зв'язується з рибосомою, а згодом – і з амінокислотним залишком, приєднаним до певної молекули тРНК. При цьому молекула мРНК опиняється між двома субодинамиціями рибосоми. *Пригадайте:* до складу субодинамиць рибосом входять молекули білків та рРНК. Структура молекули рРНК визначає будову та функціональну активність цієї органели. Разом з білками вона забезпечує певне просторове розташування молекул мРНК й тРНК під час біосинтезу білкової молекули.

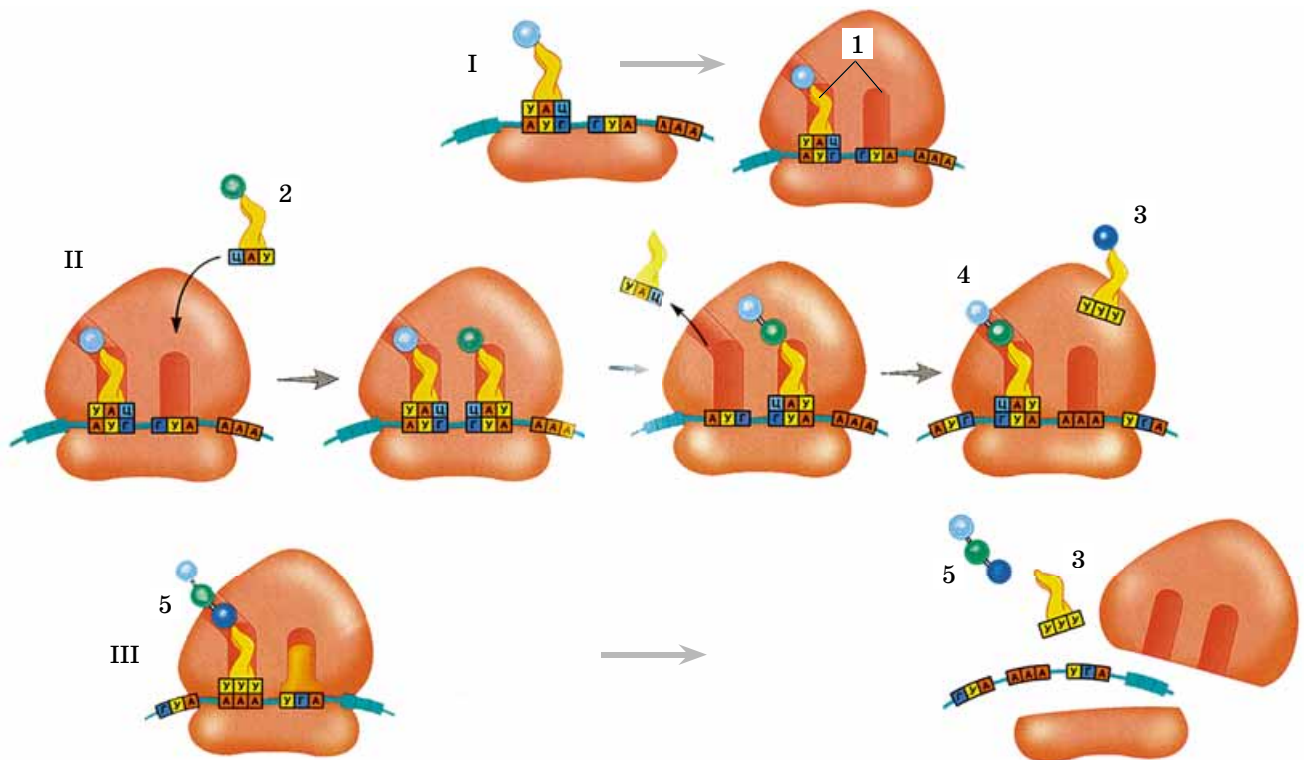
Спочатку рибосома зв'язується зі стартовим кодоном АУГ у складі мРНК. Такий комплекс готовий до початку синтезу молекули білка. При цьому **кодон** (певний триплет у складі молекули мРНК) впізнається **антикодоном** – комплементарним триплетом у складі тРНК (знайдіть їх на мал. 110).

На наступних етапах біосинтезу білка поліпептидний ланцюг подовжується завдяки тому, що амінокислотні залишки послідовно зв'язуються між собою за допомогою особливих міцних ковалентних (пептидних) зв'язків. При цьому кожний наступний кодон мРНК упізнається антикодоном молекули тРНК, а рибосома каталізує приєднання амінокислоти, яку несе тРНК, до поліпептидного ланцюга. Далі рибосома здійснює один крок уздовж молекули мРНК (цей крок дорівнює одному триплету) для взаємодії з наступною тРНК.

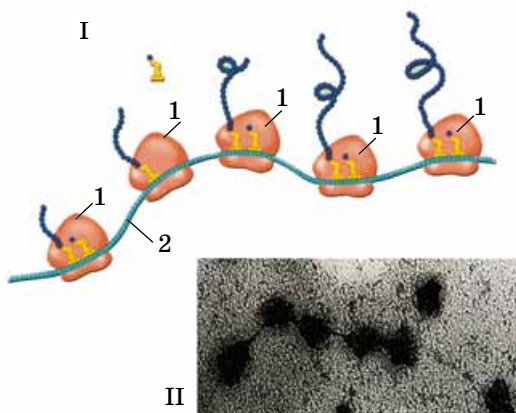
Основні операції трансляції забезпечує **функціональний центр рибосоми**. Його розміри відповідають довжині двох триплетів – у ньому водночас перебувають два сусідніх кодони мРНК та дві молекули тРНК (мал. 111). В одній частині функціонального центру антикодон тРНК впізнає кодон мРНК, а в іншій – амінокислота звільня-



Мал. 110. Взаємодія молекули тРНК (1) з молекулою мРНК (2). Антикодон (3) молекули тРНК взаємодіє з кодоном (4) молекули мРНК, 5 – амінокислота, яку транспортує молекула тРНК



Мал. 111. Етапи біосинтезу білків. I. Ініціація: мала субодиниця рибосоми сполучається з мРНК; тРНК з антикодоном УАЦ утворює комплементарну пару з кодоном АУГ молекули мРНК. Велика субодиниця рибосоми сполучається з малою, тРНК опиняється в одній з ділянок функціонального центру рибосоми (1). Інша ділянка залишається вільною. II. Синтез поліпептидного ланцюга. До другої ділянки функціонального центру рибосоми прямує ще одна молекула тРНК з антикодоном ЦАУ (2). Дві молекули тРНК одночасно перебувають у функціональному центрі рибосоми. Перша молекула тРНК залишає функціональний центр рибосоми; амінокислота, яку вона транспортувала, сполучається пептидним зв'язком з амінокислотою, яку транспортувала друга молекула тРНК. Рибосома просувається вперед і друга молекула тРНК опиняється у першій ділянці (4). До другої ділянки підходить третя молекула тРНК (3). Третій триплет приєднується до поліпептидного ланцюга (5). Рибосома залишається на одному з кодонів (УГА), який дає сигнал про припинення біосинтезу. III. Завершення синтезу білкової молекули. Синтезована молекула поліпептидного ланцюга (5) та молекула тРНК (3) звільняються. Велика та мала субодиниці рибосоми роз'єднуються



Мал. 112. Структура та функції полірибосоми. I. Декілька рибосом (1), об'єднані молекулою мРНК (2), утворюють полірибосому (полісому). II. Електронна мікрофотографія полірибосоми

**Запам'ятаємо:** завдяки об'єднанню окремих рибосом у полісоми за один і той самий проміжок часу синтезується більше молекул білків.

**Запам'ятаємо:** лише набувши певної просторової структури, молекула білка стає функціонально активною.

### Коротко про головне

Біосинтез білків – один з типів процесів пластичного обміну. Синтез кожної з 20 стандартних амінокислот – складний багатоступеневий процес, який каталізується багатьма ферментами.

Перший етап біосинтезу білків – транскрипція: синтез молекули мРНК на молекулі ДНК. Далі відбуваються процеси трансляції: послідовність нуклеотидів у молекулі мРНК переводиться в послідовність амінокислотних залишків молекули білка, що синтезується.

Процеси синтезу припиняються тоді, коли рибосома досягне триплету, який сигналізує про припинення синтезу поліпептидного ланцюга. На заключному етапі синтезований білок набуває своєї природної просторової структури.

ється від тРНК. Коли рибосома просувається вперед уздовж молекули мРНК, її місце займає друга, згодом – третя, четверта тощо, і біосинтез нових білкових молекул триває. Кількість рибосом, які одночасно можуть бути розташовані на молекулі мРНК, визначається її довжиною, однак не перевищує 20. Комплекс рибосом, об'єднаних молекулою мРНК, називають **полірибосомою** (скорочено – **полісомою**). Таким чином, на одній полісомі водночас синтезується багато молекул певного білка (мал. 112).

Процес синтезу білкової молекули триває доти, доки рибосома не сягне стоп-кодону (*пригадайте*: таких стоп-кодонів існує три – **УАА**, **УАГ**, **УГА**). Тоді **трансляція припиняється**: вільна рибосома розпадається на субодиниці, які потрапляють на будь-яку іншу молекулу мРНК (див. мал. 111, III). Синтезована молекула білка може надходити в цитоплазму або в порожнину ендоплазматичної сітки, якою транспортується в певну ділянку клітини.

### Цікаво знати

Для підвищення надійності процесу завершення синтезу білкової молекули (термінації) стоп-кодони дублюються. Першим при цьому зазвичай є кодон **УАА** (основний термінуючий триплет), а за ним на дуже близькій відстані в тій само рамці зчитування розташований один із запасних термінуючих триплетів – **УАГ** або **УГА**.

На заключному етапі біосинтезу синтезований білок набуває своєї природної просторової структури. За участі відповідних ферментів відщеплюються зайві амінокислотні залишки, до складу молекули можуть вводиться небілкові складові (фосфатні, карбоксильні та інші групи, вуглеводи, ліпіди тощо) – синтезована молекула білка змінюється для виконання певних функцій.

Процеси синтезу білкових молекул потребують витрат енергії, яка звільняється під час розщеплення молекул АТФ.

### Ключові терміни та поняття:

транскрипція, трансляція, кодуєчий (змістовний) ланцюг ДНК, кодон, антикодон, функціональний центр рибосоми, полірибосома (полісома).

### Перевірте здобуті знання

1. Яка роль молекул ДНК у біосинтезі білків?
2. Які основні етапи процесу біосинтезу білків?
3. Яку роль відіграють рибосоми в процесі біосинтезу білків?
4. Як генетична інформація, закодована в молекулі ДНК, реалізується під час синтезу білкової молекули?
5. Яке біологічне значення того, що на молекулі мРНК одночасно перебуває не одна, а декілька (до 20) рибосом?

### Поміркуйте

Гени кодують структуру білкових молекул або молекул РНК. Як вони визначають перебіг синтезу інших молекул: вуглеводів, ліпідів тощо?



**Розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції**

**Мета:** навчитися розв'язувати елементарні вправи з молекулярної біології.

**Вправа 1.** Один з ланцюгів молекули ДНК складається з таких залишків нуклеотидів:

ТАЦ ГАА ЦГЦ АТГ ЦГА ТЦЦ

Визначте послідовність нуклеотидів у дочірньому ланцюзі цієї молекули, синтезованому у процесі реплікації.

**Розв'язок:** За принципом комплементарності встановлюємо послідовність нуклеотидів у дочірньому ланцюзі молекули ДНК, який був синтезований на материнському ланцюзі:

Материнський ланцюг: ТАЦ ГАА ЦГЦ АТГ ЦГА ТЦЦ

Дочірній ланцюг: АТГ ЦТТ ГЦГ ТАЦ ГЦТ АГГ

**Вправа 2.** До складу материнського ланцюга молекули ДНК входять нуклеотиди в такому співвідношенні: А – 22 %, Т – 33 %, Ц – 21 % та Г – 24 %. Встановіть відсотковий склад нуклеотидів дочірнього ланцюга молекули ДНК, який був синтезований на материнському ланцюзі в процесі реплікації. Який відсотковий склад нуклеотидів усієї такої молекули ДНК?

**Розв'язок:** За принципом комплементарності встановлюємо відсотковий склад нуклеотидів дочірнього ланцюга молекули ДНК:

Материнський ланцюг: А – 22 %, Т – 32 %, Ц – 22 %, Г – 24 %.

Дочірній ланцюг: Т – 22 %, А – 32 %, Г – 22 %, Ц – 24 %.

Вміст нуклеотидів усієї молекули ДНК: А – 27 % (22 + 32/2), Т – 27 %, Ц – 23 %, Г – 23 %.

**Вправа 3.** До складу дочірнього ланцюга молекули ДНК, який був синтезований на материнському ланцюзі у процесі реплікації, входить 32 % нуклеотидів з аденином. Визначте кількість нуклеотидів з гуаніном.

**Вправа 4.** Материнський ланцюг молекули ДНК має таку послідовність нуклеотидів: АТГ ЦЦГ ТАГ ГЦТ. Скільки водневих зв'язків виникає між ними та комплементарними нуклеотидами дочірнього ланцюга цієї молекули, синтезованого в процесі реплікації?

**Вправа 5.** Один з ланцюгів молекули ДНК становить собою таку послідовність нуклеотидів: ТЦГ ГАА АЦГ ТАА ЦАГ ГТА ЦАТ ТАТ.

У який послідовності до функціонального центру рибосоми, яка пов'язана з молекулою мРНК, синтезованою на цьому ланцюзі, будуть підходити молекули тРНК, що транспортують амінокислоти?

**Розв'язок.** За принципом комплементарності встановлюємо послідовність молекули мРНК, яка була синтезована на зазначеній ділянці ланцюга ДНК:

АГЦ ЦУУ УГЦ АУУ ГУЦ ЦАУ ГУА АУА

Отже, послідовність молекул тРНК, які підходять до функціонального центру рибосоми, буде такою: тРНК з антикодоном УЦГ, тРНК з антикодоном ГАА, тРНК з антикодоном АЦГ, тРНК з антикодоном УАА, тРНК з антикодоном ЦАГ, тРНК з антикодоном ГУЦ, тРНК з антикодоном ЦАУ, тРНК з антикодоном УАУ.

**Вправа 6.** Ділянка молекули ДНК має такий вигляд:

АТА ГТЦ ЦГА ГТА ТЦЦ

ТАТ ЦАГ ГЦТ ЦАТ АГГ

Який з двох ланцюгів цієї молекули ДНК кодує поліпептид, що складається з таких амінокислотних залишків: ізолейцин – валін – аргінін – валін – серин?

**Розв'язок.** Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність залишків нуклеотидів молекули мРНК, яка слугувала матрицею для синтезу даного поліпептиду:

АУА – ГУЦ – ЦАГ – ГУА – УЦЦ

Далі визначаємо, який саме ланцюг молекули ДНК кодує дану молекулу мРНК. Це ланцюг, комплементарний тому, на якому вона була синтезована: АТА ГТЦ ЦГА ГТА ТЦЦ.

**\*Вправа 7.** Ланцюг молекули ДНК до порушення складався з такої послідовності залишків нуклеотидів:

ААА ААТ ТГГ ЦАГ ТТГ.

Після змін він набув вигляду:

ААА ААТ ТГГ ЦАТ ТТГ.

1. Порівнявши структуру молекули ДНК до та після пошкодження, знайдіть змінений триплет.

2. Визначте будову поліпептидів, які кодував ланцюг ДНК до та після пошкодження.

**Розв'язок.** 1. У четвертому нуклеотиді відбулася заміна нуклеотиду з азотистою основою Г на нуклеотид з азотистою основою Т.

2. Для того щоб визначити, з якої послідовності амінокислотних залишків складався поліпептид, який кодувала дана ділянка молекули ДНК до порушення, визначаємо послідовність залишків нуклеотидів молекули мРНК, синтезованої на даному ланцюзі молекули ДНК:

УУУ УУА АЦЦ ГУЦ ААЦ

Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність амінокислотних залишків у молекулі синтезованого поліпептиду: фенілаланін – лейцин – треонін – валін – треонін.

Після мутації послідовність залишків нуклеотидів у молекулі мРНК стане такою:

УУУ УУА АЦЦ ГУА ААЦ

Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність амінокислотних залишків у молекулі поліпептиду, синтезованого після порушення: фенілаланін – лейцин – треонін – валін – треонін.

Порівнюючи амінокислотний склад поліпептидів, синтезованих до та після порушень, робимо висновок, що він не змінився. Це стало можливим тому, що генетичний код вироджений – 18 з 20 основних амінокислот кодуються декількома триплетами. Таким чином, заміна одного із залишків нуклеотидів у складі певного триплету не завжди приводить до заміни амінокислоти у складі молекули синтезованого поліпептиду.

**Вправа 8.** Скільки амінокислот кодує молекула мРНК, якщо вона синтезована на ділянці молекули ДНК, що складається з таких нуклеотидів: ААГТЦАГЦАЦТЦАААТТ?

**Вправа 9.** Якою послідовністю нуклеотидів молекули мРНК кодується ділянка молекули білка, якщо він має таку будову: СЕРИН – ГЛІЦИН – АСПАРАГІН – ЦИСТЕЇН – СЕРИН – ЛІЗИН – ВАЛІН – АРГІНІН?

**Вправа 10.** Якою послідовністю нуклеотидів молекули ДНК кодується ділянка молекули білка, якщо він має таку будову: ЛІЗИН – ГЛІЦИН – ЦИСТЕЇН – ГЛУТАМІН – АСПАРАГІН – ТРЕОНІН?

**Вправа 11.** Яка послідовність амінокислот кодується такою послідовністю нуклеотидів ДНК: АГЦАТТЦЦАГТЦТГЦАТГ? Якою стане послідовність амінокислот, якщо через порушення із цієї молекули випаде перший нуклеотид?

**Вправа 12.** Яка послідовність амінокислот кодується такою послідовністю нуклеотидів мРНК: ГЦУГЦАУАААЦЦУГАЦАГЦУА? Якою стане послідовність амінокислот, якщо через порушення із цієї молекули випаде другий нуклеотид?

**Вправа 13.** Залишки нуклеотидів одного з ланцюгів молекули ДНК мають таку послідовність:

ТАЦ ГАЦ АЦГ ГЦГ АТТ ТАЦ АГТ ЦГГ ТЦГ АЦТ.

Яку кількість молекул амінокислот вона кодує?

**Вправа 14.** Послідовність амінокислотних залишків молекули поліпептиду така: АСПАРАГІН – ІЗОЛЕЙЦИН – ПРОЛІН – ТРЕОНІН – ВАЛІН – ЦИСТЕЇН. Враховуючи, що більшість основних амінокислот кодуються кількома триплетами, визначте можливі варіанти послідовності залишків нуклеотидів, які можуть кодувати цей поліпептид.

## §23. КЛІТИННИЙ ЦИКЛ. МІТОЗ

*Пригадайте*, що таке вид, нейрони, ситоподібні трубки, хроматин, центріолі. Що таке центромера та кінетохор?

Період існування клітини від початку одного поділу до настання наступного або ж від початку останнього поділу клітини до її загибелі називають **клітинним циклом** (мал. 113). Його тривалість у різних організмів неоднакова: у бактерій за оптимальних умов вона становить 20–30 хв, у клітин еукаріотів – 10–80 год і більше (наприклад, інфузорія-туфелька ділиться кожні 10–20 год).

Між двома послідовними поділами клітини існує певний період, який має назву **інтерфаза** (від лат. *інтер* – між і грец. *фазіс* – поява). В інших випадках інтерфаза



**Запам'ятаємо:** клітинний цикл складається з періоду поділу клітини і проміжку між двома поділами – інтерфази (або від останнього поділу клітини до моменту її загибелі).

триває від останнього поділу клітини до моменту її загибелі. Таке явище спостерігають у клітин багатоклітинних організмів, які втрачають здатність до поділу (нейрони, еритроцити, ситоподібні трубки тощо).

В інтерфазі клітина росте, у ній інтенсивно синтезуються білки та інші органічні сполуки, активно запасється енергія, потрібна для здійснення наступного поділу клітини. Найінтенсивніше процеси синтезу перебігають у період інтерфазі, який називають *синтетичним* (мал. 113). У цей час подвоюються хроматиди (цей процес пов'язаний з подвоєнням молекул ядерної ДНК), центріолі, діляться мітохондрії та пластиди.

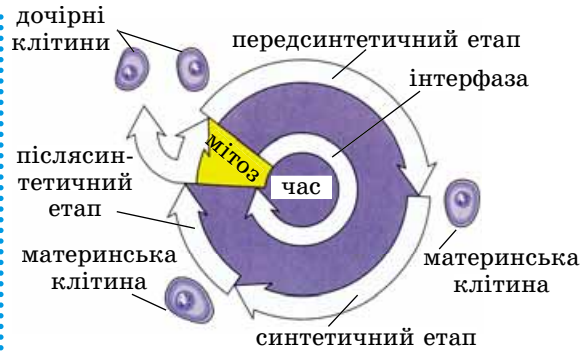
Період між завершенням попереднього поділу клітини і синтетичним періодом називають *передсинтетичним*, а між завершенням синтетичного періоду і початком наступного поділу – *післясинтетичним* (мал. 113). Тривалість інтерфазі переважно становить до 90 % часу всього клітинного циклу. Стимулом для наступного поділу клітини часто є досягнення нею певних розмірів в інтерфазі.

Основним способом поділу еукаріотичних клітин є **мітоз** (від грец. *мітос* – нитка) (мал. 114). Процес мітозу супроводжується ущільненням хромосом і утворенням особливого апарату – *веретена поділу*, який забезпечує рівномірний розподіл спадкового матеріалу материнської клітини між двома дочірніми. У цьому процесі беруть участь центріолі.

**Фази мітотичного поділу.** Мітоз складається із чотирьох послідовних фаз: профази, метафази, анафази і телофази (мал. 114). Його тривалість – від кількох хвилин до 2–3 год. **Профаза** (від грец. *про* – перед) починається з ущільнення ниток хроматину: хроматиди вкорочуються й ущільнюються (спіралізуються) (мал. 114. I). Стає помітною первинна перетяжка (центромера), де розташований кінетохор. Завдяки цьому під світловим мікроскопом можна розглянути будову хромосом і підрахувати їхню кількість. Поступово зменшуються в розмірах і зникають ядерця. У більшості клітин під час поділу ядерна оболонка розпадається на фрагменти та зникає (за винятком деяких одноклітинних тварин, водоростей і грибів), і хромосоми опиняються в цитоплазмі (мал. 114. II). У цей самий час починає формуватися веретено поділу. Його нитки прикріплюються до кінетохорів і хромосоми починають рухатись до центральної частини клітини (мал. 114. II).

Під час **метафази** (від грец. *мета* – після) завершується ущільнення хромосом і формування веретена поділу. Найчіткіше помітні деталі будови хромосом. Вони наче «вишиковуються» в одній площині в центральній частині клітини, а їхні центромери розташовані на однакових відстанях від кожного з полюсів клітини. Наприкінці метафази дві структурні одиниці хромосом – хроматиди (їх ще називають сестринськими хромосомами) відокремлюються одна від одної (мал. 114. III, IV).

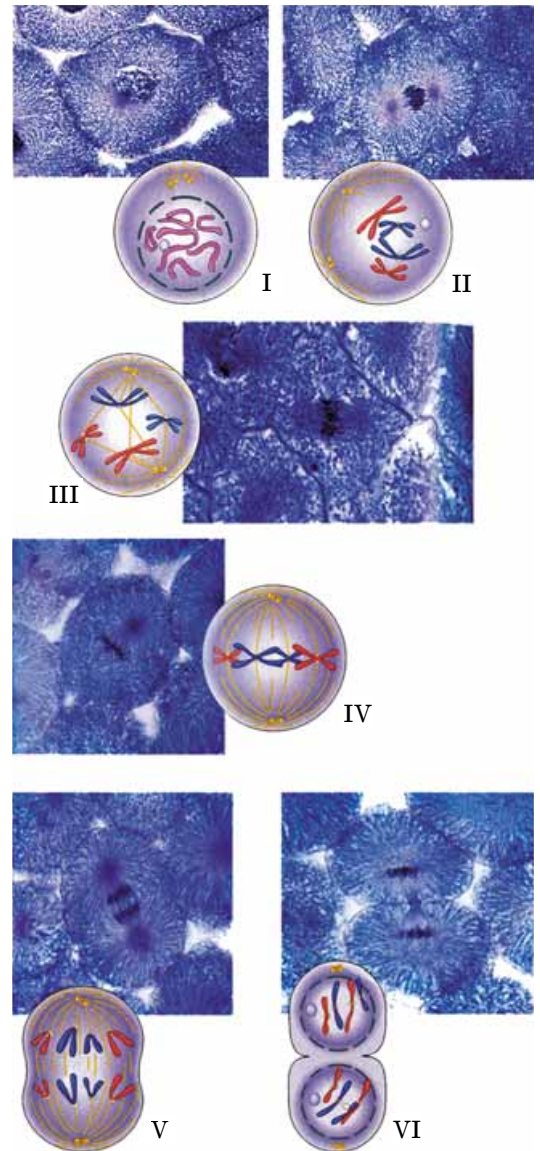
*Мал. 114. Мітоз. I. Профаза: зникнення ядерної оболонки; II. Профаза: хромосоми опиняються у цитоплазмі; III. Початок метафази: нитки веретена поділу приєднуються до кінетохорів; IV. Завершення метафази: хромосоми розташовані по центру клітини; V. Анафаза: хроматиди кожної з хромосом розходяться до полюсів клітини. VI. Телофаза: формування ядер, поділ цитоплазми та утворення дочірніх клітин*



*Мал. 113. Узагальнена схема клітинного циклу.*

**Завдання:** охарактеризуйте різні періоди інтерфазі

**Запам'ятаємо:** процес мітозу забезпечує сталість каріотипу організмів певного виду, тобто саме існування біологічних видів протягом тривалих історичних проміжків часу.





## Цікаво знати



Кожна клітина, як і цілісний багатоклітинний організм, характеризується певною тривалістю життя, запрограмованою спадково. Так, клітини кишечника живуть близько 5 діб; кореневі волоски рослин – близько 20 діб; еритроцити – близько 120; печінки (гепатоцити) – близько 480; нейрони та м'язові клітини – десятки років.

**Запам'ятаємо:** перебіг клітинного циклу керується в контрольних пунктах. Регуляцію клітинного циклу забезпечують складні молекулярні механізми.

**Завдання:** 1. Поміркуйте, які ще чинники зовнішнього щодо клітини середовища можуть впливати на процеси її життєдіяльності? 2. Запропонуйте свої варіанти застосування моделювання у дослідженнях будови та процесів життєдіяльності клітин.

## Коротко про головне

Клітинний цикл – період існування клітини від початку одного поділу до настання наступного або ж від початку останнього поділу клітини до її загибелі. Він складається з періоду поділу клітини та інтерфази. В інтерфазі клітина росте, подвоюються молекули ДНК, мітохондрії, пластиди, інтенсивно синтезуються білки та інші органічні сполуки тощо.

Мітоз складається із чотирьох послідовних фаз: профази, метафази, анафази і телофази. Під час профази ущільнюються хромосоми, поступово зникають ядерця, ядерна оболонка, формується веретено поділу. Нитки веретена поділу прикріплюються до центромер, і хромосоми починають рухатись до центральної частини клітини.

Під час метафази завершується ущільнення хромосом і формування веретена поділу. Наприкінці метафази хроматиди кожної хромосоми відокремлюються одна від іншої. Під час анафази діляться центромери і окремі хроматиди кожної хромосоми починають рухатись до різних полюсів клітини.

**Анафаза** (від грец. *ана* – знову, поза) – найкоротша фаза мітозу (мал. 114. V). У цей час діляться центромери, і окремі хроматиди кожної хромосоми починають рухатись до різних полюсів клітини. Кожна з хроматид відповідає половині спадкового матеріалу хромосоми у профазі, тобто хроматиди містять ідентичний спадковий матеріал.

**Телофаза** (від грец. *телос* – кінець) триває від моменту припинення руху хроматид до утворення двох дочірніх клітин (мал. 114. VI). На початку телофази хромосоми деспіралізуються. Навколо кожного з двох скупчень хроматид формується ядерна оболонка, з'являються ядерця, і ядра дочірніх клітин набувають такого вигляду, який вони мали в інтерфазі. Протягом телофази поступово зникає веретено поділу, ділиться цитоплазма материнської клітини й утворюються дві дочірні.

**Яке біологічне значення мітозу?** Мітотичний поділ забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської клітини дочірнім протягом низки послідовних клітинних циклів. Кожна з дочірніх клітин отримує по одній хроматиді від кожної хромосоми. Завдяки цьому зберігається і постійне число хромосом в усіх дочірніх клітинах, і сталий набір спадкової інформації.

Поспостерігайте за процесами життєдіяльності клітин, навчіться розпізнавати на схемах, постійних мікропрепаратах, мікрофотографіях фази мітотичного поділу клітин, виконавши лабораторне дослідження.

**Як регулюється клітинний цикл?** Головні події клітинного циклу – подвоєння молекул ДНК в інтерфазі та розкодження сестринських хроматид в анафазі. Клітинний цикл чітко керується. Існують так звані *контрольні пункти*, у яких він перевіряється на правильність і в разі помилок може бути зупинений. Проходженням клітинного циклу через ці контрольні пункти керують спеціальні ферменти.

Отже, вивчаючи попередній матеріал, присвячений будові та процесам життєдіяльності клітини, ви зрозуміли, що кожна клітина є цілісною саморегульованою біологічною системою. Насамперед, це стосується одноклітинних організмів, у яких окрема клітина є одночасно й самостійним організмом. У багатоклітинних організмів діяльність окремих клітин регулюють біологічно активні речовини (фітогормони у рослин, гормони та нейрогормони у тварин), а в більшості багатоклітинних тварин – ще й нервова система. Для клітин еукаріотів характерна чітка періодичність фізико-хімічних процесів, які в ній відбуваються. Це, у свою чергу, визначає й періодичність біологічних процесів у нашому організмі: періоди сну та неспання, періодичність виділення травних ферментів протягом доби тощо.

На діяльність клітини можуть впливати чинники й зовнішнього щодо неї середовища. Наприклад, для синтезу хлорофілу в клітинах рослин потрібний доступ світла. За відсутності світла новий хлорофіл не синтезується.

## ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### Фази мітозу (на прикладі клітин кореня цибулі)

**Обладнання і матеріали:** мікроскопи, постійні мікропрепарати клітин корінців цибулі або інших рослин на різних стадіях мітотичного циклу, мікрофотографії різних стадій мітотичного поділу клітин.

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.

2. За малого збільшення мікроскопа знайдіть на мікропрепараті корінця кореневий чохлак, зони поділу і розтягнення.

3. За великого збільшення мікроскопа знайдіть у зоні поділу клітини на стадіях інтерфази (прямокутні, оточені товстою клітинною стінкою), профази (у центральній частині клітини помітні хромосоми), метафази (помітне веретено поділу, хромосоми у центральній частині клітини складаються з двох хроматид кожна), анафази (хромосоми розташовані на полюсах клітини), телофази (хромосоми розкручуються, з'являється ядерна оболонка і перегородка між дочірніми клітинами).

4. Порівняйте побачене з мікрофотографіями різних стадій мітотичного поділу клітин.

### Ключові терміни та поняття:

клітинний цикл, інтерфаза, мітоз, профаза, метафаза, анафаза, телофаза.

### **Перевірте здобуті знання**

1. З яких періодів складається клітинний цикл? 2. Що таке інтерфаза? Яке її значення для існування клітини? 3. Що таке мітоз? З яких фаз він складається? 4. Які події відбуваються під час профази? 5. Чим характеризується метафаза? 6. Що відбувається під час анафази? 7. Охарактеризуйте події телофази. 8. Завдяки чому дочірні клітини під час мітозу отримують ідентичну спадкову інформацію? 9. У чому полягає біологічне значення мітозу?

### **Поміркуйте**

Чи могли б існувати тривалі історичні відрізки часу види, якби під час мітозу не відбувалася точна передача спадкової інформації від материнської клітини дочірнім? Відповідь обґрунтуйте.

## §24. МЕЙОЗ

*Пригадайте*, чим відрізняються хромосомні набори статевих і нестатевих клітин багатоклітинних організмів. Які набори хромосом називають гаплоїдними, диплоїдними та поліплоїдними? Як відбувається мітотичний поділ?

Процес запліднення супроводжується злиттям ядер чоловічої і жіночої статевих клітин, які, здебільшого, мають гаплоїдний набір хромосом ( $1n$ ). При цьому хромосомний набір заплідненої яйцеклітини подвоюється, тобто стає диплоїдним ( $2n$ ). Якби кількість хромосом в організмів, яким притаманне статеве розмноження, з кожним поколінням подвоювалась, то кожне наступне покоління становило б новий біологічний вид. Але в природі нічого подібного не спостерігають: у видів, які розмножуються статевим шляхом, хромосомний набір постійний. Це свідчить про те, що в їхньому життєвому циклі існує особливий механізм, який забезпечує зменшення хромосомного набору статевих клітин удвічі, порівняно з нестатевими. Цей механізм дістав назву **мейоз**.


Під час мейозу відбуваються два послідовні поділи, інтерфаза між якими вкорочена. Кожний із цих поділів, як і мітоз, складається із чотирьох послідовних фаз: профази, метафази, анафази і телофази (мал. 115).

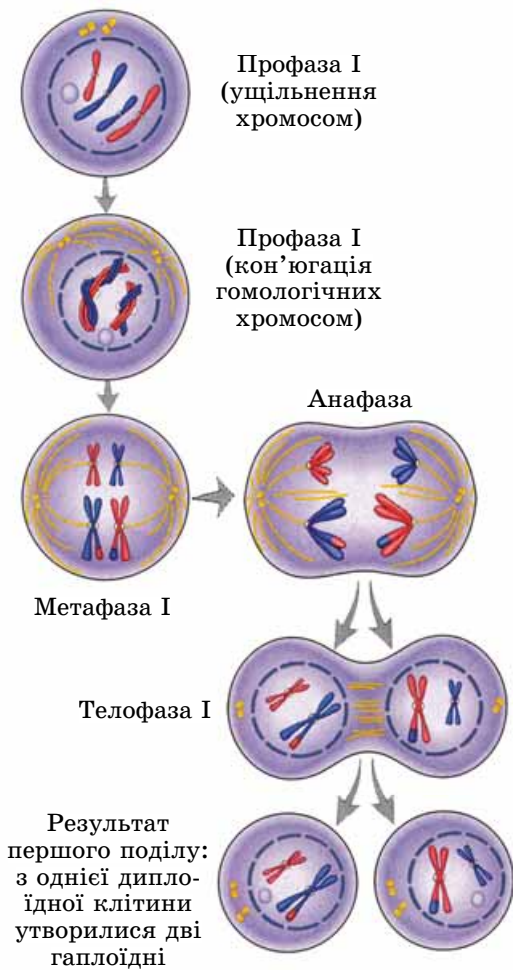
Під час **профази першого мейотичного поділу (профази I)** хромосоми починають ущільнюватися і набувають вигляду паличкоподібних структур (мал. 115, I). Потім гомологічні хромосоми зближуються і кон'югують між собою. У цей час здається, що в ядрі не диплоїдний,

Завдяки мітотичному поділу клітин організми ростуть і відбуваються процеси регенерації.

На початку телофази відбувається деспіралізація хромосом, навколо кожного з двох скупчень хроматид формується ядерна оболонка, з'являються ядерця і ядра дочірніх клітин стають такими самими, як в інтерфази. Поступово зникає веретено поділу, поділяється цитоплазма материнської клітини й утворюються дві дочірні.

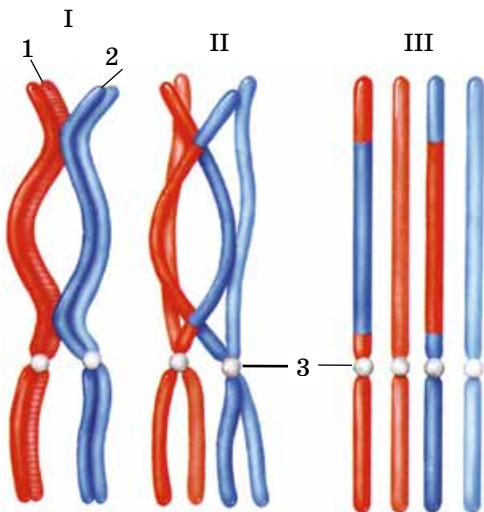
Біологічне значення мітозу полягає в тому, що він забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнських клітин дочірнім протягом низки послідовних поділів.

 **Запам'ятаємо:** мейоз (від грец. мейозіс – зменшення) – особливий спосіб поділу еукаріотичних клітин, унаслідок якого їхній хромосомний набір зменшується вдвічі.



Мал. 115. Перший мейотичний поділ: з однієї диплоїдної клітини утворилося дві гаплоїдні. **Завдання.** Уважно розгляньте малюнок та охарактеризуйте події, які відбуваються під час тих чи інших фаз першого мейотичного поділу

**І** **Запам'ятаємо:** кросинговер є одним із джерел спадкової мінливості.



а гаплоїдний набір хромосом. Насправді, кожна його складова частина – це пара сполучених між собою гомологічних хромосом.

Під час кон'югації може відбуватись **кросинговер** (від англ. *crossing-over* – перехрест) – гомологічні хромосоми обмінюються своїми певними ділянками (мал. 116). У результаті утворюються нові комбінації спадкового матеріалу і різні гомологічні хромосоми можуть відрізнятися за набором алельних генів.

Через певний час гомологічні хромосоми починають відходити одна від одної. При цьому стає помітним, що кожна з них складається з двох хроматид, сполучених між собою в певних точках. Наприкінці профазі I гомологічні хромосоми розходяться, зникають ядерця, руйнується ядерна оболонка і починає формуватися веретено поділу.

У **метафазі першого поділу мейозу (метафаза I)** нитки веретена поділу приєднуються до кінетохорів гомологічних хромосом. При цьому центромери гомологічних хромосом розташовані одна навпроти одної, а не на одній лінії, як під час мітозу (мал. 115).

Під час **анафазі першого мейотичного поділу (анафаза I)** гомологічні хромосоми пересуваються до протилежних полюсів клітини. Кожна з них складається з двох хроматид. Отже, наприкінці анафазі I біля кожного з полюсів клітини опиняється половинний набір хромосом. Якщо клітина до початку мейозу була диплоїдною ( $2n$ ), то після завершення першого мейотичного поділу вона стає гаплоїдною ( $1n$ ).

У **телофазі першого поділу мейозу (телофаза I)** формується ядерна оболонка. У клітинах тварин і деяких видів рослин хромосоми деспіралізуються і діляться цитоплазма материнської клітини. Але в клітинах багатьох видів рослин цитоплазма може і не ділитися.

**Інтерфаза** між першим і другим мейотичними поділами вкорочена: молекули ДНК у цей період не подвоюються. У клітинах багатьох рослин інтерфаза взагалі відсутня, тому вони одразу переходять до другого мейотичного поділу (мал. 117).

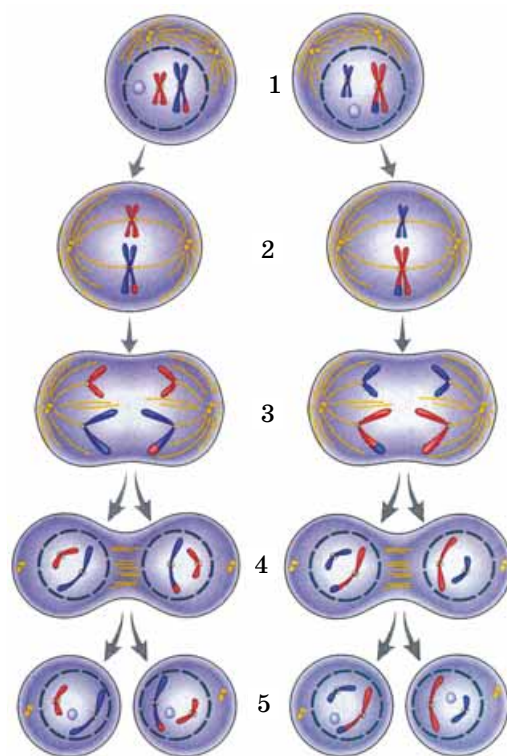
Під час **профазі другого мейотичного поділу (профаза II)** хромосоми, кожна з яких, як ви пам'ятаєте, складається з двох хроматид, уцілюються, зникають ядерця, руйнується ядерна оболонка, хромосоми починають пересуватись до центральної частини клітини, знову починає формуватись веретено поділу (мал. 117, 1).

У **метафазі другого мейотичного поділу (метафаза II)** завершується уцілення хромосом і формування веретена поділу. Як і під час мітотичного поділу, центромери хромосом розташовані в одній площині в центральній частині клітини, і до кінетохорів прикріплюються нитки веретена поділу (мал. 117, 2).

Мал. 116. Схема, що ілюструє процес кросинговеру: I – гомологічні хромосоми (1 та 2) зближуються, II – після кон'югації гомологічні хромосоми починають розходитися (3 – центромери), але залишаються сполученими у певних ділянках, III – хроматиди гомологічних хромосом, що після кросинговеру обмінялися своїми ділянками (знайдіть ці ділянки на малюнку). Так унаслідок процесу кросинговеру утворилися дві гомологічні хромосоми з різним набором спадкової інформації



Мал. 117. Другий мейотичний поділ (показано події, що відбуваються з клітинами, які утворилися під час першого поділу). 1. Профаза II: у клітин, які мають гаплоїдний набір хромосом, зникають ядерні оболонки, ядерця і починається утворення ниток веретена поділу. 2. Метафаза II: зверніть увагу на розташування хромосом: воно таке саме, як і під час мітозу. 3. Анафаза II: до полюсів клітини розходяться окремі хроматиди кожної з хромосом. 4. Телофаза II: зникають веретена поділу, формуються ядерні оболонки, ядерця й поділяється цитоплазма. 5. Результат мейозу: з однієї диплоїдної материнської клітини утворилися 4 гаплоїдні дочірні



В анафазі другого мейотичного поділу (анафазі II) діляться центромери і хроматиди кожної з хромосом розходяться до різних полюсів клітини (мал. 117, 3).

Під час телофази другого мейотичного поділу (телофази II) хромосоми знову деспіралізуються, зникає веретено поділу, формуються ядерця і ядерна оболонка. Завершується телофаза II поділом цитоплазми (мал. 117, 4). У результаті другого мейотичного поділу кількість хромосом залишається такою самою, як і після першого, але число хроматид кожної з хромосом зменшується вдвічі. Тож і вміст молекул ДНК у кожній з дочірніх клітин також зменшується вдвічі порівняно з материнською.

**У чому полягає біологічне значення мейозу?** Мейоз – це досконалий механізм, який забезпечує сталість каріотипу видів, які розмножуються статевим способом. Завдяки двом мейотичним поділам статеві клітини мають половинний, порівняно з нестатевими, набір хромосом. Набір хромосом, характерний для організмів певного виду, відновлюється під час запліднення.

Мейоз також забезпечує і спадкову мінливість організмів. По-перше, в профазі I може відбуватися обмін ділянками гомологічних хромосом. По-друге, в анафазі I гомологічні хромосоми, які можуть містити різний набір спадкової інформації, опиняються в різних дочірніх клітинах (мал. 117). Таким чином, клітини, які утворилися внаслідок мейотичного поділу, можуть мати відмінний одна від одної набір спадкової інформації.

**Завдання:** Порівняйте події, що відбуваються під час мітозу та мейозу. По черзі порівняйте фази мітозу та першого мейотичного поділу, а потім – мітозу та другого мейотичного поділу. Відзначте риси подібності та розбіжності між ними.

### Ключові терміни та поняття:

мейоз, кон'югація хромосом, кросинговер.

### Перевірте здобуті знання

1. Зі скількох поділів складається процес мейозу? 2. Що таке кон'югація гомологічних хромосом і кросинговер? 3. Чому мейоз сприяє збільшенню спадкової мінливості організмів? 4. Яке біологічне значення мейозу? 5. Що спільного та відмінного між процесами мейозу та мітозу?

### Поміркуйте

Чому мейоз не відбувається в тих організмів, яким не властиве статеве розмноження?

**Запам'ятаємо:** після двох послідовних мейотичних поділів диплоїдної материнської клітини утворюється чотири гаплоїдні дочірні. При цьому дочірні клітини можуть відрізнятися за набором спадкової інформації.

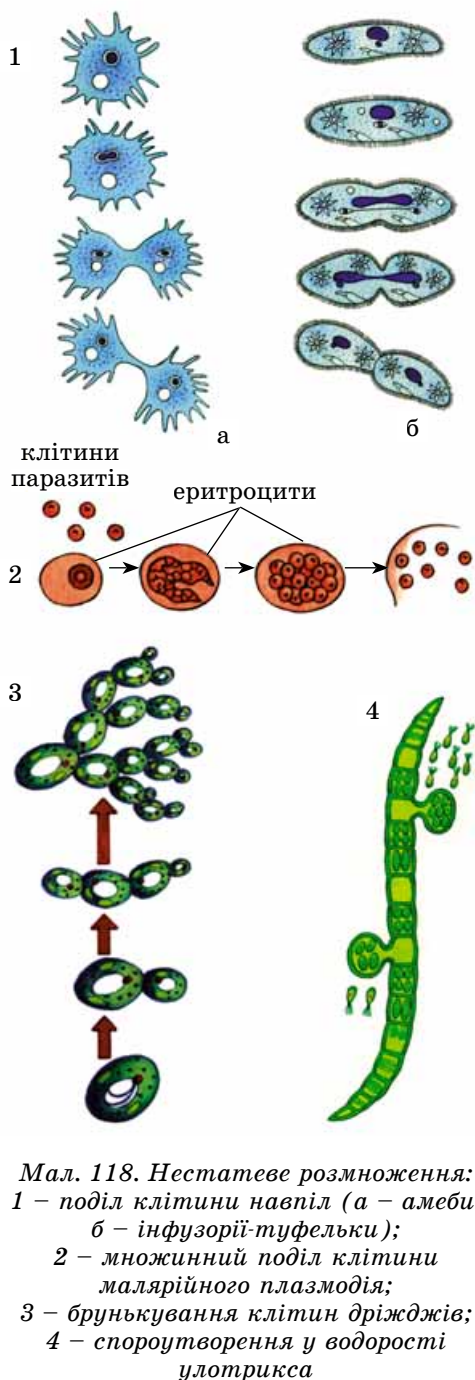
### Коротко про головне

Мейоз – особливий спосіб поділу клітин еукаріотичних організмів, здатних розмножуватися статевим шляхом. Він складається з двох послідовних поділів, інтерфаза між якими вкорочена, а в деяких рослин – практично відсутня. Кожний із цих поділів, як і мітоз, складається із чотирьох послідовних фаз: профазі, метафази, анафази і телофази.

Після двох послідовних мейотичних поділів диплоїдної материнської клітини утворюється чотири гаплоїдні дочірні.

Мейоз – досконалий механізм, який забезпечує сталість каріотипу тих видів, які розмножуються статевим способом. Мейоз також забезпечує і спадкову мінливість організмів.

**Запам'ятаємо:** до вегетативного розмноження здатні лише ті організми, яким притаманне явище **регенерациї** (від лат. *регенерацио* – відновлення) – процес відновлення організмом втрачених або ушкоджених частин, а також відтворення цілісної особи з її частини.



Мал. 118. Нестатеве розмноження:  
1 – поділ клітини навпіл (а – амеби, б – інфузорії-туфельки);  
2 – множинний поділ клітини малярійного плазмодія;  
3 – брунькування клітин дріжджів;  
4 – спорування у водорості улотрикса

## §25. ТИПИ РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ. СТАТЕВІ КЛІТИНИ

*Пригадайте* біологічне значення процесу розмноження. Які існують форми розмноження організмів? Як відбувається мітотичний поділ клітин? Що таке зигота, гаплоїдний, диплоїдний та поліплоїдний набір хромосом?

**Розмноження** – притаманна всім організмам властивість відтворення собі подібних. Завдяки цьому забезпечуються неперервність і спадковість життя. Основні форми розмноження живих істот – нестатеве та статеве. За **нестатєвого розмноження** наступне покоління організмів розвивається з нестатєвих клітин (їх ще називають *соматичними*; від грец. *сома* – тіло).

### Активізуйте свої знання

Нестатєве розмноження спостерігають як в одноклітинних організмів (прокаріотів, одноклітинних тварин, водоростей і грибів), так і в багатоклітинних (багатоклітинні водорості, вищі рослини, багатоклітинні гриби, губки, жалкі, плоскі та кільчасті черви, зрідка – членистоногі та хордові). Воно може відбуватися поділом клітини навпіл, множинним поділом, брунькуванням, утворенням спор (мал. 118).

У разі *поділу клітини навпіл* (мал. 118, 1) утворюються дві дочірні, удвічі дрібніші за материнську. Дочірні клітини живляться, ростуть, відновлюють нормальний набір органел і починають розмножуватись, коли сягнуть розмірів материнської клітини. Під час *множинного поділу* спочатку багаторазово ділиться ядро материнської клітини, і вона стає багатоядерною. Потім ділиться цитоплазма та утворюються однаядерні дочірні клітини (мал. 118, 2). У разі *брунькування* від материнської клітини відокремлюється менша – дочірня (мал. 118, 3).

*Розмноження спорами* відоме в різних одно- та багатоклітинних еукаріотів: грибів, водоростей, мохів, хвощів, плаунів, папоротей. *Пригадайте: спори* – спеціалізовані клітини, які слугують не тільки для розмноження, а й у деяких випадках – для переживання несприятливого періоду та поширення (мал. 118, 4).

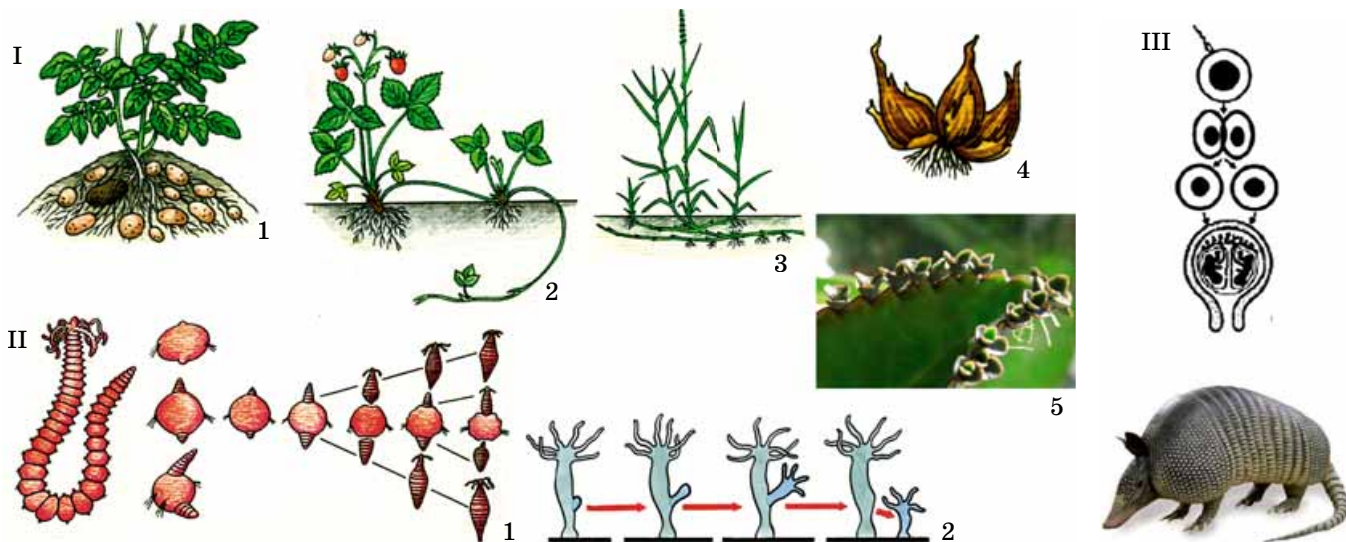
Спосіб нестатєвого розмноження, за якого в багатоклітинних організмів відокремлюються групи клітин, називають **вегетативним** (від лат. *вегетивус* – рослинний або *вегето* – оживлюю).

У багатьох рослин особина може розвиватись із живців (кореневих, стеблових чи листкових) або видозмінених пагонів (мал. 119. I). Вегетативне розмноження у тварин зазвичай може відбуватися за допомогою *брунькування* та *фрагментації* (мал. 119. II).

Особливим способом нестатєвого розмноження організмів є **поліембріонія** (від грец. *поліс* – численний та *ембріон* – зародок) – розвиток кількох зародків з однієї заплідненої яйцеклітини (зиготи). У певний момент зародок розпадається на окремі клітини. Згодом із кожної такої клітини розвивається самостійний організм (мал. 119. III).

Яке біологічне значення нестатєвого розмноження? У деяких груп організмів – це єдина можливість залишити нащадків. У видів, здатних до статєвого розмноження, цим способом можуть давати нащадків особи, які з





Мал. 119. I. Способи вегетативного розмноження рослин: 1 – бульбами в картоплі; 2 – вусами в суниць; 3 – ділянками кореневища у пирію; 4 – дочірніми цибулинами; 5 – виводковими бруньками в бріофілюма. II. Вегетативне розмноження тварин: 1 – фрагментацією з наступним брунькуванням окремих сегментів тіла у додекацерії; 2 – брунькуванням у гідри. III. Поліембріонія трапляється у ссавців-панцирників

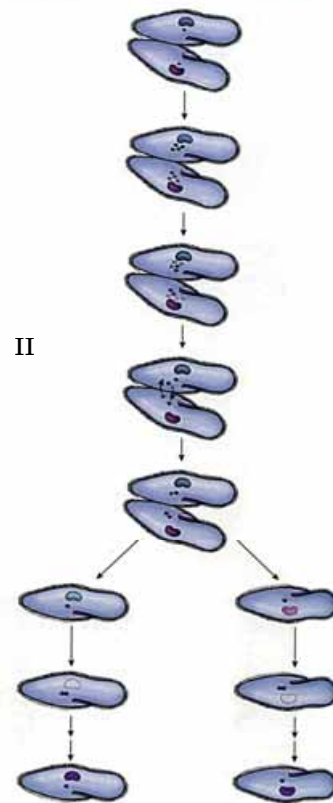
певних причин виявилися ізольованими від інших. Завдяки нестатевому розмноженню особини за незначний проміжок часу можуть значно збільшувати чисельність.

**Статевий процес** – це поєднання в одній клітині спадкового матеріалу двох клітин. Він забезпечує урізноманітнення спадкового матеріалу нащадків і генофонду популяції в цілому. Адже що різноманітніший генофонд популяції, то більше в неї шансів пристосуватись до змін умов навколишнього середовища (*поміркуйте чому*). Статевий процес притаманний більшості видів еукаріотів (він невластивий лише деяким одноклітинним організмам, як-от: амебі протейю, евглені зеленій, хлорелі). Статевий процес еукаріотів зазвичай здійснюється у формах кон'югації та копуляції.

Під час **кон'югації** (від лат. *кон'югаціо* – сполучення) клітини одноклітинних (частина видів бактерій, водоростей, тварин) чи багатоклітинних (деякі гриби, нитчасті зелені водорості) організмів обмінюються спадковим матеріалом (мал. 120).

У деяких водоростей і грибів вміст однієї клітини через тимчасові цитоплазматичні містки переходить в іншу. Так утворюється зигота, яка після певного періоду спокою ділиться шляхом мейозу (мал. 120. I). В інфузорій під час кон'югації відбуваються складні перетворення ядерного апарату (мал. 120. II). Перед кон'югацією велике (вегетативне) ядро руйнується, а мале (генеративне) кілька разів ділиться. Частина утворених ядер зникає; залишаються лише два – мігруюче (чоловіче) та нерухоме (жіноче). Далі дві клітини зближуються і через цитоплазматичні містки обмінюються мігруючими ядрами, які зливаються з нерухомими. Потім клітини розходяться і після кількох поділів у кожній з них відновлюється нормальний набір ядер: у клітині присутні велике та мале ядра.

**Копуляція** (від лат. *копуляціо* – сполучення) – процес злиття двох спеціалізованих статевих клітин (гамет).

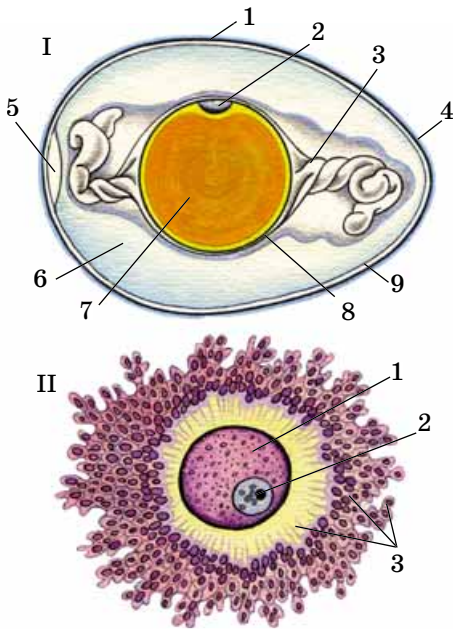


Мал. 120. Кон'югація: у спірогіри (I) та інфузорії-туфельки (II)





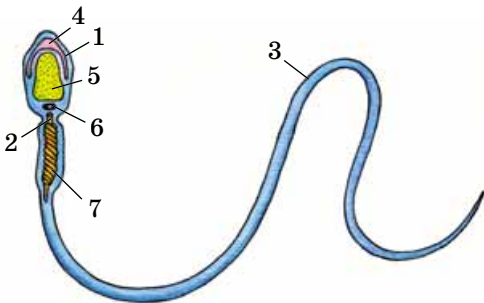
Жіночі гамети здебільшого більші за розмірами, оскільки в них запасуються поживні речовини, потрібні для розвитку зародка. Натомість чоловічі гамети дрібніші, оскільки переносять лише частину спадкового матеріалу. У багатьох організмів чоловічі гамети мають джгутики й здатні до активного руху. Великі розміри сперматозоїдів ускладнили б їхнє пересування.



Мал. 121. Будова яйцеклітин.

I. Будова яйця птахів: 1 – шкаралупа; 2 – зародковий диск; 3 – канатик; 4 – надшкаралупна оболонка; 5 – повітряна камера; 6 – білкова оболонка; 7 – жовток; 8 – жовткова оболонка; 9 – підшкаралупні оболонки.

II. Будова яйцеклітини ссавців: 1 – цитоплазма; 2 – ядро; 3 – вторинні оболонки



Мал. 122. Будова сперматозоїда ссавців: 1 – головка; 2 – шийка; 3 – хвіст; 4 – акросома; 5 – ядро; 6 – центріоля; 7 – мітохондрії

**Яка будова статевих клітин?** Функція статевих клітин (гамет) – передача спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам. Порівняно з нестатевими вони мають гаплоїдний набір хромосом. У заплідненій яйцеклітині (зиготі) відновлюється набір хромосом, характерний для соматичних клітин. Розглянемо особливості будови статевих клітин на прикладі хребтних тварин.

Жіночі статеві клітини – **яйцеклітини** – часто мають значний запас поживних речовин та оточені кількома оболонками. *Пригадайте:* у птахів яйцеклітина послідовно вкрита товстою білковою оболонкою, двома тонкими підшкаралупними, твердою шкаралупою з карбонату кальцію та зовнішньою плівкою, або надшкаралупною оболонкою (мал. 121. I). Поверхневі оболонки виконують захисну функцію, а білкова, окрім того, слугує джерелом води для розвитку зародка. Згодом її споживає пташеня перед виходом з яйця.

Яйцеклітини ссавців також оточені кількома оболонками, які виконують захисну та живильну функцію (мал. 121. II). У них оболонок менше, ніж у плазунів чи птахів, чий зародок тривалий час розвивається поза організмом матері.

Чоловічі гамети, які мають джгутики і здатні до активного руху (зелені водорості, вищі спорові рослини, більшість тварин тощо), зазвичай називають **сперматозоїдами**. У червоних водоростей, хвойних і покритонасінних рослин, грибів, частини тварин (нематоди, річкові раки, краби) чоловічі гамети позбавлені джгутиків, їх зазвичай називають *сперміями*.

Сперматозоїд ссавців (мал. 122) має коротку *головку*, в якій містяться ядро, клітинний центр та невелика кількість цитоплазми. Спадкова інформація упакована дуже щільно. У передній частині головки є особлива органела – **акросома** (мал. 122, 4). Вона містить ферменти, які розчиняють оболонку яйцеклітини, забезпечуючи проникнення до неї сперматозоїда. За головкою розташована звужена *шийка*. У ній містяться мітохондрії, які постачають енергію для роботи джгутика. За середньою частиною розташований *хвіст*: джгутик, завдяки роботі якого сперматозоїд пересувається у вологому середовищі.

**Як формуються статеві клітини?** Процес формування статевих клітин має назву **гаметогенез** (від грец. *гамете* та *генезис* – походження). Розглянемо його на прикладі ссавців. Яйцеклітини та сперматозоїди утворюються в статевих залозах з первинних диплоїдних статевих клітин. Процес утворення статевих клітин має кілька послідовних стадій: розмноження, росту, дозрівання і формування (мал. 123).

На **стадії розмноження** диплоїдні попередники чоловічих і жіночих статевих клітин розмножуються послідовними мітотичними поділами. Тому їхній хромосомний набір залишається диплоїдним. На **стадії росту** ці клітини збільшуються до певних розмірів. На **стадії дозрівання** диплоїдні попередники сперматозоїдів та яйцеклітин діляться за допомогою мейозу і перетворюються на незрілі гаплоїдні гамети.

Процеси утворення чоловічих і жіночих гамет мають певні відмінності. Під час дозрівання чоловічих статевих

Мал. 123. Схема гаметогенезу ссавців: I – сперматогенез: 1 – диплоїдна клітина-попередник розмножується шляхом послідовних мітозів; 2 – у результаті першого мейотичного поділу утворилися дві гаплоїдні клітини; 3 – у результаті другого мейотичного поділу утворилися чотири гаплоїдні клітини – сперматиди; 4 – на стадії формування цитоплазма та ядро сперматид ущільнюються, їхні розміри зменшуються, так виникають сперматозоїди; II – овогенез: 1 – диплоїдна клітина-попередник розмножується шляхом послідовних мітозів; у результаті першого мейотичного поділу утворилися дві гаплоїдні клітини: більша, із запасом поживних речовин (2), та дрібніша (3 – полярне тільце); у результаті другого мейотичного поділу утворилися чотири гаплоїдні клітини: велика яйцеклітина (4) та три полярні тільця (3); 5 – дозріла гаплоїдна яйцеклітина

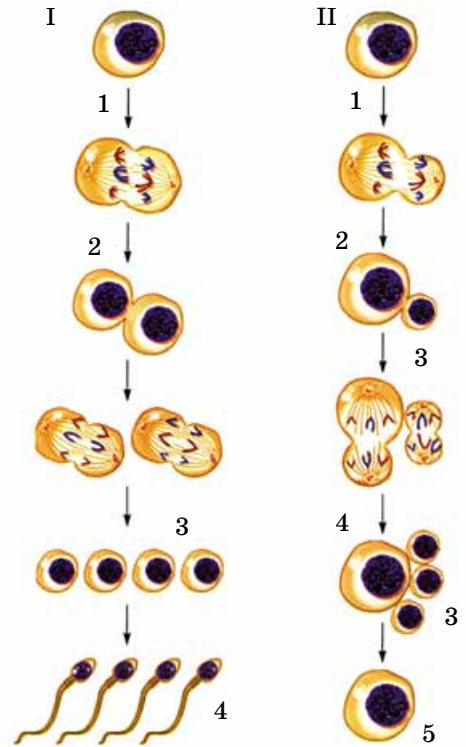
клітин утворюються чотири однакові гаплоїдні клітини. На **стадії формування** ядро і цитоплазма цих клітин ущільнюються, а їхні розміри зменшуються. Так утворюються сперматозоїди. Лише після цього вони набувають здатності до пересування і запліднення яйцеклітини.

На **стадії росту** жіночих статевих клітин після першого поділу мейозу утворюються дві різні за розмірами гаплоїдні клітини: велика із запасом поживних речовин і дрібна (так зване полярне тільце). Після другого мейотичного поділу – на **стадії дозрівання** – утворюються чотири гаплоїдні клітини: одна велика яйцеклітина і три дрібних полярних тільця, які через деякий час зникають.

Розбіжності у формуванні сперматозоїдів і яйцеклітин зумовлені тим, що сперматозоїд під час запліднення вносить у яйцеклітину лише свою частку спадкового матеріалу; його маса не має значення для розвитку майбутнього зародка. Яйцеклітина, крім свого спадкового матеріалу, містить також усі органели і запас поживних речовин, які зародок використовує в процесі розвитку. Надходження основної маси цитоплазми до яйцеклітини досягається двома послідовними нерівномірними мейотичними поділами з утворенням полярних тілець, які призначені для видалення зайвого спадкового матеріалу.

Децю інакше утворюються чоловічі та жіночі статеві клітини у квіткових рослин. У пиляках тичинок формуються пилкові зерна, оточені двома оболонками. У середині пилкового зерна є дві гаплоїдні клітини: більша – *вегетативна* та менша – *генеративна*. Під час дозрівання з генеративної клітини утворюються два гаплоїдні спермії (мал. 124. I).

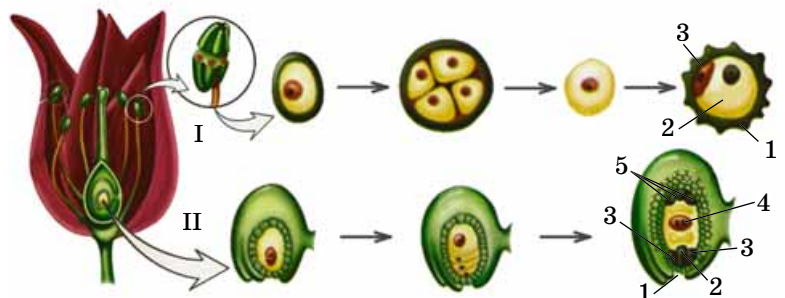
Яйцеклітина квіткових рослин розташована поблизу одного з полюсів зародкового мішка, що міститься всередині насінного зачатка. Там також розташовані ще шість клітин: біля гаплоїдної яйцеклітини є дві гаплоїдні су-



### Цікаво знати

Розміри яйцеклітини залежать від кількості запасних поживних речовин у цитоплазмі. Наприклад, у більшості ссавців, зародки яких отримують поживні речовини від організму матері через плаценту, розміри яйцеклітин (без урахування зовнішніх оболонок) варіюють від 50 мкм (мишоподібні гризуни – полівки) до 180 мкм (вівця). У людини діаметр яйцеклітини – близько 90 мкм. Якщо в яйцеклітині міститься значний запас поживних речовин (жовток), її діаметр може сягати до 5–7 см (акули), 8 см (страуси) тощо. З урахуванням зовнішніх оболонок розміри таких яйцеклітин ще більші. Наприклад, яйце африканського страуса понад 15 см завдовжки і масою 1,5–2 кг.

Мал. 124. Статеві клітини квіткової рослини. I. Пилкове зерно: 1 – оболонки; 2 – вегетативна клітина; 3 – генеративна клітина. II. Зародковий мішок у складі насінного зачатка: 1 – пилковхід; 2 – яйцеклітина; 3 – супутні клітини; 4 – центральна клітина з двома гаплоїдними ядрами, які згодом зливаються; 5 – три клітини, що не беруть участі у заплідненні





## Коротко про головне

Здатність до розмноження – універсальна властивість живих організмів, завдяки якій підтримується безперервність і наступність життя на нашій планеті. Відомі різні форми розмноження організмів: нестатеве та статеве.

Нестатеве розмноження може здійснюватися за допомогою окремих нестатевих (соматичних) клітин, шляхом їхнього поділу навпіл, множинного поділу, брунькування тощо. У разі відокремлення від материнського організму багатоклітинних частин спостерігають вегетативне розмноження. У разі поліембріонії з однієї заплідненої яйцеклітини розвивається декілька зародків.

Статевий процес може відбуватись у формі кон'югації або копуляції. За кон'югації клітини організмів обмінюються спадковим матеріалом. Копуляція – процес злиття двох спеціалізованих статевих клітин (гамет). Формування статевих клітин має назву «гаметогенез»: чоловічих гамет – «сперматогенез», а жіночих – «овогенез».

путні клітини. На іншому полюсі також формуються три гаплоїдні клітини, які не беруть участі у процесах запліднення та формування насінини. У центрі зародкового мішка міститься центральна клітина: її диплоїдне ядро утворилося за рахунок злиття двох гаплоїдних (мал. 124. II).

### Ключові терміни та поняття:

нестатеве та вегетативне розмноження, спори, поліембріонія, статевий процес, кон'югація, копуляція.

### Перевірте здобуті знання

1. Яке біологічне значення процесу розмноження? 2. Які форми нестатевого розмноження ви знаєте? 3. Чим характеризується вегетативне розмноження? 4. У чому полягає суть поліембріонії? 5. Яке біологічне значення нестатевого розмноження? 6. У чому полягає особливість статевого процесу? У яких формах він може відбуватися? 7. Чим характеризується будова жіночих статевих клітин птахів? 8. Яка будова чоловічих статевих клітин у ссавців? 9. Які виділяють стадії гаметогенезу? 10. Чим відрізняються процеси формування жіночих і чоловічих статевих клітин у ссавців?

### Поміркуйте

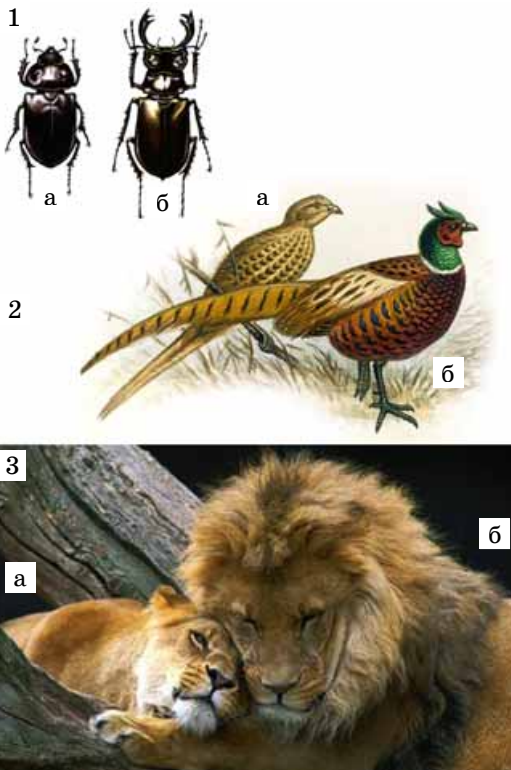
1. Чому з підвищенням рівня організації організму його здатність до регенерації зменшується? Чи зможуть у майбутньому люди відновлювати втрачені органи? 2. Яке значення того, що в процесі еволюції розміри чоловічих гамет зменшувались, а жіночих – збільшувались?

## §26. ПРОЦЕСИ ЗАПЛІДНЕННЯ

*Пригадайте*, як відбуваються процеси запліднення в різних груп тварин і рослин. Як відбувається гаметогенез? Що таке акросома? Які рослини називають однодомними та дводомними? Які є пристосування рослин до різних способів запилення? Яка будова пилкового зерна та насінного зачатка у квіткових рослин?

**Запліднення** – це процеси злиття чоловічої і жіночої статевих клітин з утворенням зиготи, з якої розвивається новий організм. У статевому процесі зазвичай беруть участь дві особини. У статевих залозах багатьох тварин формуються чоловічі або жіночі статеві клітини. Тварини, особини яких мають лише один тип статевих залоз – або чоловічі (сім'яники), або жіночі (яєчники), відповідно, утворюють лише один тип статевих клітин. Таких тварин називають **роздільностатевими** (наведіть приклади).

Особини різних статей тварин можуть бути подібні зовнішньо (більшість медуз, багатощетинкові черви, двостулкові молюски тощо) або різнитися між собою. Явище, за якого самці та самки різняться між собою дістало назву **статевий диморфізм** (мал. 125). Воно повністю проявляється в період статевої зрілості й пов'язане з розбіжностями в будові статевих органів і розвитком вторинних статевих ознак. *Пригадайте: вторинні статеві ознаки* – сукупність особливостей, за якими, додатково до власне статевих органів, відрізняють особин різних статей; їхній розвиток зумовлений впливом статевих гормонів. Ці ознаки допомагають особинам різних статей відшукати і впізнати одне одного, стимулюють шлюбну поведінку тощо.



Мал. 125. Прояви статевого диморфізму жуків-оленів (1), фазанів (2), левів (3): самка (а); самець (б)



Розвиток чоловічих і жіночих статевих залоз можливий і в одній особині. Таких тварин називають **гермафродитами** (мал. 126. I). У виноградного слимака, наприклад, є лише одна статева залоза, що по чергову продукує то жіночі, то чоловічі статеві клітини (мал. 126. II).

Яке біологічне значення гермафродитизму? У гермафродитних організмів підвищується ймовірність залишити нащадків, зменшуються витрати енергії на пошуки партнера для розмноження. Тому гермафродитизм частіше трапляється серед тварин, які ведуть прикріпленій або малорухомий спосіб життя (певні види ракоподібних, двостулкових моллюсків тощо) та паразитів. Наприклад, у стьожкових черв'яків тіло може складатись з кількох тисяч члеників, у кожному з яких водночас функціонують жіночі та чоловічі статеві залози. Це забезпечує феноменальну плодючість: в одному членику бичачого цїп'яка міститься 125–175 тис. яєць, за місяць цей паразит виділяє приблизно 50 млн яєць, за рік – понад 400 млн, за 10 років – понад 4 млрд!

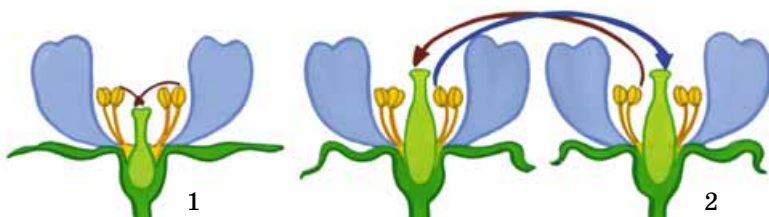
**Які бувають види запліднення?** Розрізняють процеси самозапліднення та перехресного запліднення. **Самозапліднення** – процес злиття чоловічої та жіночої гамет, утворених однією особиною. Зрозуміло, що цей процес у тварин притаманний гермафродитам, у квіткових рослин – самозапилюючим видам.

Під час самозапилення пилок потрапляє на приймочки маточок квіток тієї самої рослини (у різних сортів пшениці, помідорів, гороху посівного тощо) (мал. 128).

Самозапліднення не сприяє урізноманітненню спадкових ознак. Тому в більшості гермафродитів існують механізми, які запобігають цьому: неодноразове дозрівання чоловічих і жіночих статевих клітин, певні особливості будови статевої системи тварин, явище дводомності в рослин тощо.

**Перехресне запліднення** пов'язане з тим, що сперматозоїд (спермій) запліднює яйцеклітину іншої особини.

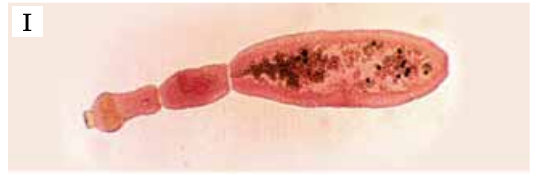
**Пригадайте:** у тварин запліднення буває зовнішнім і внутрішнім. За **зовнішнього запліднення** статеві клітини зливаються поза статевими органами, переважно в навколишньому середовищі. Воно характерне для більшості водних видів (багатошестинкові черви, двостулкові моллюски, більшість кісткових риб і земноводних) і деяких наземних чи ґрунтових тварин (наприклад, дощових черв'яків). Це пов'язано з тим, що поза організмом на статеві клітини несприятливо впливають різні екологічні фактори (висока чи низька температура, пересихання, ультрафіолетові промені тощо). Водне середовище певним чином згладжує ці негативні впливи. Крім того, вода сприяє



Мал. 128. Схема самозапилення (1) та перехресного запилення (2) у квіткових рослин

## Цікаво знати

Гермафродит – двостатева істота з грецької міфології, син бога Гермеса і богині Афродіти.



Мал. 126. Явище гермафродитизму. I. Ехінокок: у кожному його членику закладаються комплекси чоловічих і жіночих статевих органів; II. Виноградний слимак

## Цікаво знати

Трапляються випадки, коли організм спочатку функціонує як особина однієї статі, а через деякий час – іншої (риби-мечоносці, деякі креветки; мал. 127). Наприклад, за умов перенаселеності акваріума самки мечоносців набувають ознак, притаманних самцям.



Мал. 127. Організми, які протягом життя можуть змінювати стать: 1 – креветка; 2 – риба-мечоносець

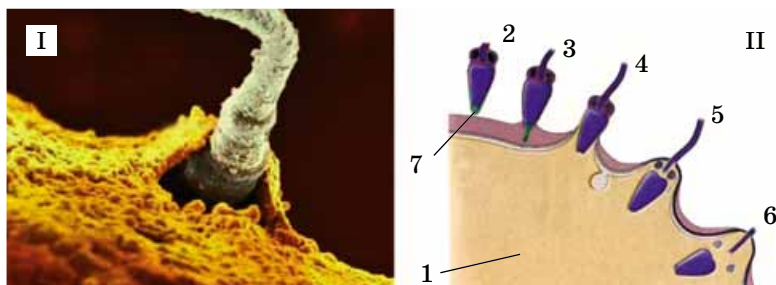
## Цікаво знати

У мешканця дна Тихого океану багатощетинкового черва палоло (мал. 129) статеві клітини в особин обох статей дозрівають одночасно в певну фазу Місяця. Гамети утворюються лише в задній частині тіла, яка відривається від передньої і спливає в поверхневі шари. Там гамети виводяться у воду, де й відбувається запліднення. У передньої частини черва, що залишилася біля дна, відновлюється задній кінець. І через певний час тварина знову стає готовою до розмноження. Таким чином, у палоло статевому розмноженню передує вегетативне.



Мал. 129. Багатощетинковий черв палоло

**Запам'ятаємо:** у разі перехресного запліднення в заплідненій яйцеклітині поєднується спадковий матеріал, притаманний обом батькам. Оскільки він зазвичай різний, то дочірня особина за спадковим матеріалом буде відрізнятися від кожного з батьків. Завдяки цьому урізноманітнюється генофонд популяції.



Мал. 130. Проникнення сперматозоїда в яйцеклітину. I. Мікрофотографія. II. Схема: 1 – яйцеклітина; 2–6 – послідовні стадії взаємодії сперматозоїда з оболонкою яйцеклітини та проникнення в неї (зверніть увагу на те, що хвіст сперматозоїда з мітохондрією залишається за межами яйцеклітини); 7 – акросома

пересуванню рухливих чоловічих гамет. Яйцеклітини часто виділяють у довкілля особливі речовини, які приваблюють сперматозоїди лише відповідного біологічного виду, що запобігає міжвидовим схрещуванням.

**Внутрішнє запліднення** відбувається в органах жіночої статеві системи. Воно притаманне більшості наземних тварин (черевоні молюски, комахи, плазуни, птахи, ссавці), а також багатьом мешканцям ґрунту, водойм або паразитам (плоскі черви, нематоди, хрящові риби тощо). У такий спосіб гамети уникають негативного впливу умов довкілля, зростає ймовірність запліднення. Внутрішнє запліднення часто забезпечують особливі органи парування, за допомогою яких статеві клітини потрапляють в органи жіночої статеві системи.

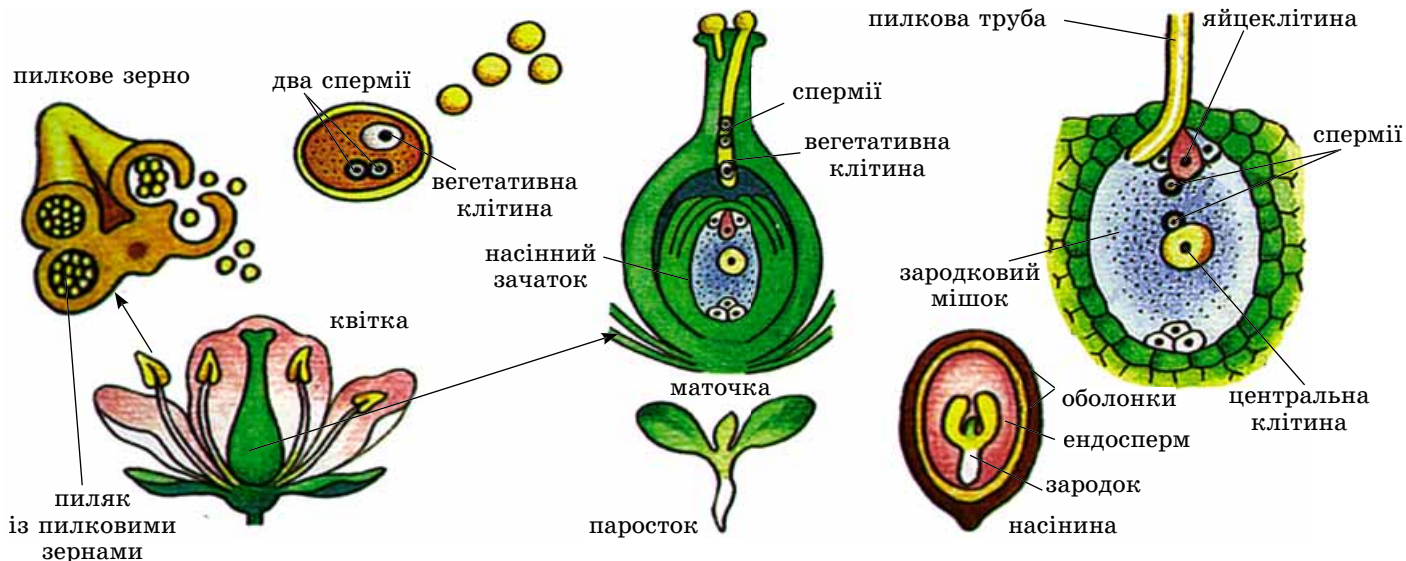
У процесі запліднення сперматозоїд проникає в яйцеклітину. Це може відбуватись завдяки ферментам, які виділяє акросома (мал. 130), рідше – через особливий отвір в її оболонці.

Контакту сперматозоїда та яйцеклітини передує їхнє взаємовпізнання: запліднення зазвичай можливе лише тоді, коли чоловіча та жіноча гамети належать одному виду організмів. Біологічно активні речовини яйцеклітини стимулюють розрив акросоми сперматозоїда. У результаті цього виділяються ферменти, що забезпечують проникність оболонки яйцеклітини для чоловічої гамети. Після потраплення сперматозоїда всередину яйцеклітини її оболонка стає непроникною для інших сперматозоїдів, ядра обох гамет зливаються. Так утворюється зигота. У заплідненій яйцеклітині активуються процеси обміну та починається її поділ.

**Які особливості запліднення у рослин?** Пригадайте: у водоростей та вищих спорових рослин (мохів, папоротей, плаунів та хвощів) для запліднення потрібне водне середовище, у якому сперматозоїди пересуваються до яйцеклітини. У насінних рослин (голонасінних та покритонасінних) заплідненню передує процес запилення. Пригадайте: **запилення** – це процес перенесення пилоквих зерен (за допомогою вітру, води, тварин) на приймочку маточки (у покритонасінних) або на насінний зачаток (у голонасінних).

Найскладніше серед рослин процес запліднення відбувається в покритонасінних, його називають подвійним. Пилкове зерно потрапляє на приймочку маточки, під





Мал. 131. Подвійне запліднення у квіткових рослин.  
Завдання. Охарактеризуйте процеси, які відбуваються під час подвійного запліднення

впливом її біологічно активних речовин набрякає та простає пилковою трубкою (мал. 131). Біологічно активні речовини залозистих клітин приймочки взаємодіють зі сполуками зовнішньої оболонки пилкового зерна, розпізнаючи їх на сумісність. Це забезпечує проростання пилку лише свого виду.

Верхівкова частина пилкової трубки виділяє особливі речовини, які пом'якшують тканини маточки й полегшують її просування до насінного зачатка. До пилкової трубки з пилкового зерна переходять три гаплоїдні клітини – велика вегетативна та дві дрібніші – спермії. Вегетативна клітина бере участь у формуванні пилкової трубки, яка через особливий отвір в оболонках насінного зачатка (пилковхід) проникає до видовженого зародкового мішка.

Один зі спермій вливається з яйцеклітиною, унаслідок чого виникає диплоїдна зигота, з якої згодом утворюється зародок. Другий спермій проникає в диплоїдне ядро в центрі зародкового мішка. З утвореної триплоїдної клітини в подальшому розвивається особлива зародкова тканина – **ендосперм** (від грец. *ендон* – усередині та *сперма* – сім'яна рідина). Поживні речовини клітин ендосперму слугують для живлення зародка.

Утворення триплоїдної клітини, з якої згодом розвивається ендосперм, супроводжується кратним зростанням вмісту ДНК у ядрі. За одиницю часу в триплоїдній клітині синтезується більше білкових молекул порівняно з гаплоїдною. Тому зародок у покритонасінних має більший запас поживних речовин і розвивається швидше.

**Яке біологічне значення запліднення?** Під час утворення статевих клітин їхній хромосомний набір зменшується вдвічі, а під час запліднення – відновлюється. Крім того, з кожної пари гомологічних хромосом одна – успадкована від одного з батьків, друга – від іншого. Отже, половину спадкового матеріалу майбутня особина отримує від одного з батьків, половину – від другого. Тому такі нащадки генетично відмінні від кожного з батьків. Винятком є лише самозаплідні організми.

### Цікаво знати

**Подвійне запліднення** в покритонасінних (квіткових) рослин відкрив у 1898 р. професор Київського університету Святого Володимира (нині – імені Тараса Шевченка) **С. Г. Навашин** (мал. 132).

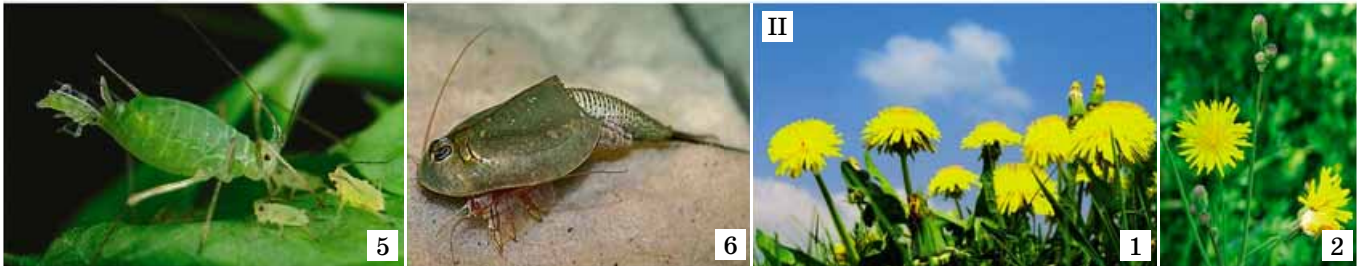
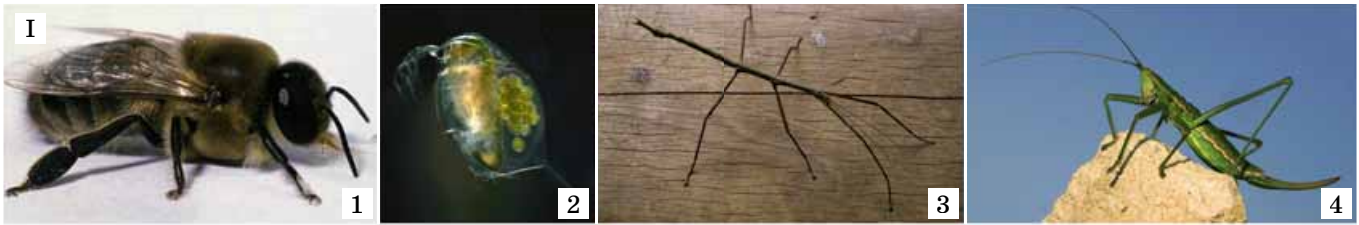


Мал. 132. Сергій Гаврилович Навашин (1857–1930) – видатний український ботанік

**Запам'ятаємо:** подвійне запліднення квіткових рослин – це, по суті, два різні процеси, оскільки лише із заплідненої яйцеклітини розвивається зародок. Злиття другого спермія з ядром центральної диплоїдної клітини запліднення можна назвати лише умовно, тому що з виниклої триплоїдної клітини розвивається не новий організм, а тканина, яка забезпечує зародок поживними речовинами.

**Запам'ятаємо:** біологічне значення запліднення полягає у відновленні хромосомного набору, притаманного особинам певного виду, та є одним із джерел мінливості.





**Запам'ятаємо:** у разі партеногенезу новий організм розвивається зі статевої клітини – яйцеклітини, але розвитку дочірньої особини не передуює запліднення. Партеногенез є різновидом статевого розмноження, хоча його механізм нагадує нестатеве.



### Коротко про головне

Запліднення – процеси злиття чоловічої і жіночої статевих клітин з утворенням зиготи, з якої розвивається новий організм.

У процесі запліднення можуть брати участь дві особини тварин (перехресне запліднення) або ж відбувається самозапліднення (у деяких гермафродитів). У насінних рослин процесу запліднення передуює процес запилення, який може бути перехресним (такі рослини називають перехреснозапильними), або ж відбувається самозапилення (самозапильні рослини). У тварин запліднення буває внутрішнім (відбувається в органах статеві системи) та зовнішнім (відбувається поза органами статеві системи).

Квітковим рослинам притаманне подвійне запліднення. При цьому один зі спермійів зливається з яйцеклітиною, утворюючи зиготу, з якої розвивається зародок. Інший спермій зливається із центральною диплоїдною клітиною, з якої згодом розвивається зародкова тканина (ендосперм), її клітини містять запас поживних речовин, необхідних для розвитку зародка.

*Мал. 133. I. Членистоногі, здатні до партеногенезу: 1 – трутні розвиваються з незаплідненої яйцеклітини; 2 – самки дафній можуть відкладати незапліднені яйця, з яких виходять або особини обох статей, або лише самки; 3 – паличники; 4 – дибка, 5 – попелиці, 6 – щитень. II. Рослини, здатні до партеногенезу: 1 – кульбаба; 2 – нечуйвітер*

**Що таке партеногенез?** Хоча запліднення є характерною ознакою статевого розмноження, дочірні організми можуть розвиватись і з незаплідненої яйцеклітини за допомогою **партеногенезу** (від грец. *партенос* – дівчина і *генезис* – походження).

Є організми, для яких партеногенез – єдиний спосіб розмноження (деякі види комах-горіхотворок); в інших (сріблястий карась, ящірки, рачки артемії) – існують двостатеві та партеногенетичні популяції. У життєвому циклі попелиць і дафній закономірно чергуються покоління, які розмножуються статевим шляхом і партеногенетично (мал. 133. I, 2). Партеногенез також відомий у вищих спорових і насінних рослин (мал. 133. II).

### Ключові терміни та поняття:

самозапліднення та перехресне запліднення, самозапилення та перехресне запилення, зовнішнє та внутрішнє запліднення у тварин, подвійне запліднення у квіткових рослин, партеногенез.

### Перевірте здобуті знання

1. Які організми називають гермафродитами? У чому полягає біологічне значення гермафродитизму?
2. Яке біологічне значення запліднення? Які форми запліднення відомі у тварин?
3. Обґрунтуйте переваги внутрішнього запліднення над зовнішнім.
4. Які процеси відбуваються під час проникнення сперматозоїда до яйцеклітини?
5. Яке значення подвійного запліднення в покритонасінних рослин?
6. У чому полягають суть і біологічне значення партеногенезу?

### Поміркуйте

1. Які механізми спрямовані на унеможливлення запліднення яйцеклітини тварин одного виду сперматозоїдами іншого?
2. Поміркуйте, що спільного і відмінного між типовим нестатевим розмноженням і партеногенезом.
3. Чому гермафродитизм насамперед притаманний тваринам-паразитам і видам, які ведуть прикріплений спосіб життя?

## §27. ЕТАПИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ОРГАНІЗМІВ. ЕМБРІОНАЛЬНИЙ РОЗВИТОК ТВАРИН

*Пригадайте*, з яких фаз складається клітинний цикл. Що таке гормони і яке їхнє фізіологічне значення? Які органи та клітини утворюють імунну систему людини? Що таке розвиток комах з повним і неповним перетворенням? Які процеси відбуваються в комах на стадії лялечки?

Після запліднення розвиток нового організму розпочинається послідовними поділами зиготи з подальшою диференціацією клітин, формуванням тканин та органів.

**Індивідуальний розвиток, або онтогенез** (від грец. *онтос* – існуюче і *генезис* – походження), – розвиток особини від зародження до завершення життя (смерті або поділу особини на дочірні). У різних груп організмів онтогенез має свої особливості та тривалість, які, зокрема, залежать від способу розмноження. Наприклад, вік дерев мексиканського кипариса сягає 10 000 років, драцени – 6000. Є «довгожителі» й серед тварин. Так, одна особина річкової щуки прожила понад 300 років; деякі види черепах живуть до 150 років; риба білуга та нільський крокодил – до 100. Серед безхребетних тварин значну тривалість життя мають деякі види актиній (до 90 років), молюсків (тридакна – до 200 років).

В онтогенезі виділяють зародковий, або ембріональний, і післязародковий, або постембріональний, періоди. **Ембріональний** (від грец. *ембріон* – зародок) **період** – час, коли нова істота зароджується та розвивається всередині материнського організму, яйця, насінини тощо. Він завершується народженням (виходом з оболонок яйця, проростанням). **Постембріональний** (від грец. *пост* – після та *ембріон*) **період** супроводжується збільшенням розмірів (ростом), якісними змінами (розвитком). Він триває від моменту народження і до смерті особини (або до моменту поділу материнського організму на дочірні).

**Етапи ембріонального розвитку тварин.** У процесі ембріонального (зародкового) розвитку тварин виділяють кілька послідовних етапів. Спочатку відбувається дроблення зиготи (або незаплідненої яйцеклітини в разі партеногенезу), яке закінчується формуванням одношарового зародка (бластули). Далі розвивається зародок, тіло якого складається з двох чи трьох шарів клітин (гаструла), закладаються тканини та органи. Завершується ембріональний розвиток формуванням цілісного зародка.

**Дроблення** – це низка послідовних мітотичних поділів зиготи (мал. 135). Утворені внаслідок дроблення клітини – **бластомери** (від грец. *бластос* – зародок і *мерос* – частина) – в інтерфазі не ростуть, їхні розміри після кожного поділу зменшуються вдвічі. Тож під час дроблення маса та об'єм зародка не змінюються, а залишаються такими, як у зиготи.

Дроблення завершується утворенням **бластули** (мал. 135, 1) – наступної стадії зародкового розвитку. Бластула має вигляд порожнистого утвору різної форми, стінки якого утворені зазвичай одним шаром бластомерів.

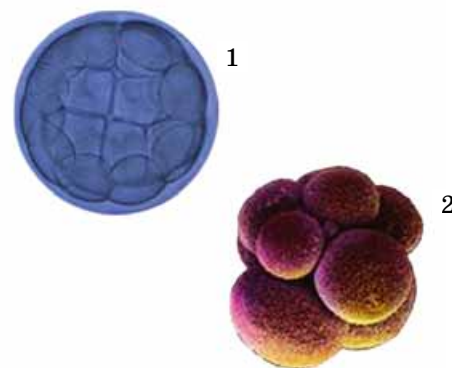
У деяких жалких, плоских червів, членистоногих, більшості ссавців унаслідок дроблення утворюється стадія **морули** (від лат. *морум* – ягода шовковиці). Вона від-

### Цікаво знати

Ризокарпон географічний – довгожитель серед лишайників. Його вік може сягати до 4500 років (мал. 134. I). А вік одного з видів губок роду Аноксикалікс може становити 10 тис. років (мал. 134. II). Це найбільший вік серед усіх тварин.



Мал. 134. Організми-довгожителі:  
I. Губка роду Аноксикалікс;  
II. Лишайник ризокарпон географічний



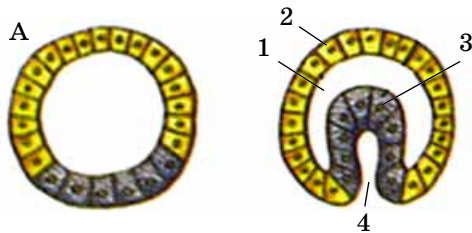
Мал. 135. Стадії ембріонального розвитку, які утворилися внаслідок дроблення: 1 – бластула; 2 – морула





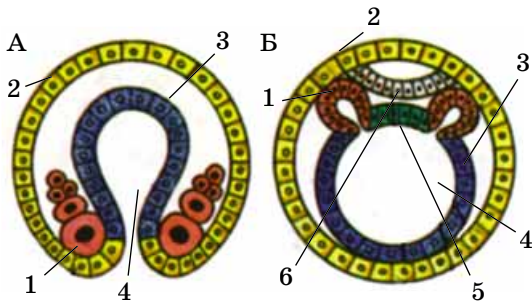
### Запам'яємо: диференціація

(від лат. диференція – розбіжність) – виникнення під час онтогенезу різних типів клітин з початково однорідних. Завдяки диференціації клітин згодом формуються різні тканини та органи. Диференціація визначена спадково, оскільки в клітинах різних типів не всі гени активні. Тому в кожній клітині реалізується не вся інформація генотипу, а тільки деяка частка, необхідна для диференціації саме цієї клітини.



Мал. 136. Утворення гастрული вгинанням шару клітин:

1 – бластоцель; 2 – ектодерма; 3 – ентодерма; 4 – первинний рот, який веде у порожнину первинної кишки



Мал. 137. Утворення мезодерми:

А – клітини зародка переміщуються у простір між екто- та ентодермою та розташовуються з боків первинного роту; Б – бічні вирости стінки первинної кишки вип'ячуються у порожнину бластули: 1 – клітини, які дають початок мезодермі; 2 – ектодерма; 3 – ентодерма; 4 – порожнина первинної кишки; 5 – клітини, які дають початок хорді; 6 – нервова пластинка, з якої формуватиметься нервова трубка

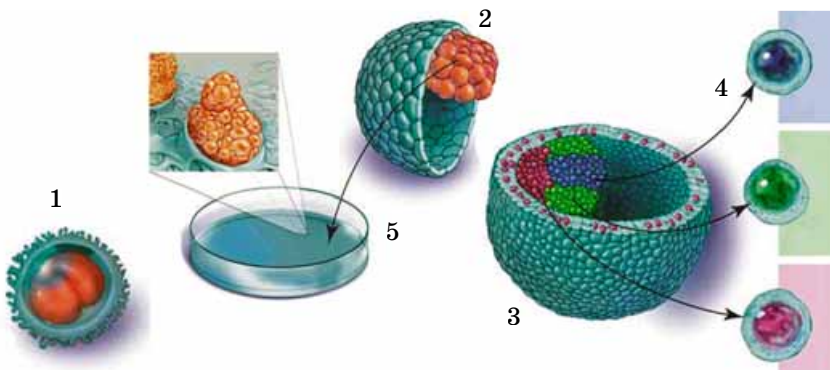
повідляє стадії бластули, однак становить собою скупчення бластомерів, більш або менш щільно притиснутих один до одного (мал. 135, 2). Потім відбувається диференціація клітин, під час якої подібні між собою клітини бластули спеціалізуються за своїми властивостями та функціями, змінюється їхня метаболічна активність. Згодом вони дають початок різним зародковим клітинам.

Після утворення бластули починається формування гастрული (від грец. *гастер* – шлунок). Спочатку виникають два шари клітин: зовнішній – *ектодерма* (від грец. *ектос* – зовні та *дерма* – шкіра) та внутрішній – *ентодерма* (від грец. *ентос* – усередині). Ці шари називають *зародковими листками* (мал. 136). На місці вгинання утворюється *первинний рот*, який веде в замкнену *кишкову порожнину*. На етапі гастрული завершується ембріональний розвиток жалких (поліпів і медуз). У дорослих особин цих тварин тіло складається з двох шарів клітин, є первинний рот і кишкова порожнина.

У більшості тварин після завершення гастрულიзації між зовнішнім і внутрішнім зародковими листками формується третій (середній) зародковий листок – *мезодерма* (від грец. *мезос* – середній) (мал. 137). У хордових тварин вона утворюється вигинанням у порожнину бластули трьох пар бічних виростів стінки первинної кишки. При цьому первинний рот замикається, а рот дорослої особини утворюється на протилежному кінці тіла. Таких тварин називають *вторинноротими*, на відміну від інших, які загалом зберегли первісне розташування ротового отвору, – *первинноротих* (плоскі та кільчасті черви, нематоди, членистоногі, молюски тощо).

Під час формування дво- або тришарової гастрული відбувається *гістогенез* (від грец. *хістос* – тканина та *генезис* – походження) – сукупність процесів, які забезпечують формування різних тканин з похідних різних зародкових листків. У цих процесах важливу роль відіграють міжклітинні взаємодії, вплив біологічно активних речовин тощо.

Клітини, що беруть участь у гістогенезі, бувають стовбуровими, напівстовбуровими (клітини-попередники) та диференційованими (зрілими). *Стовбурові клітини* недиференційовані і дають початок новим клітинам під час формування або оновлення (регенерації) тканин (мал. 138). Наприклад, у ссавців зі стовбурових клітин кровотворних органів виникають еритроцити, лейкоцити та клітини, з яких утворюються тромбоцити. Після поділу материнської стовбурової клітини одна з двох дочірніх клітин диференціюється, а друга залишається стовбуровою. Стов-



Мал. 138. Стовбурові клітини: 1 – поділ стовбурових клітин; їхні нащадки (2) диференціюються (3) і можуть давати початок клітинам різних тканин (4); 5 – стовбурові клітини можуть культивувати на штучних поживних середовищах



бурові клітини, на відміну від інших, здатні послідовно ділитися практично необмежену кількість разів. Крім того, вони стійкі до різних несприятливих чинників.

**Напівстовбурові клітини** (клітини-попередники) – диференційовані клітини, що зберігають здатність до поділу. **Диференційовані клітини** входять до складу певних тканин і не здатні до поділу.

Водночас із формуванням тканин (гістогенезом) відбувається й **органогенез** (від грец. *органон* – орган та *генезис*) – розвиток органів та їхніх систем.

**Які особливості органогенезу хордових тварин?** В органогенезі хордових виділяють послідовні фази утворення нервової трубки та формування інших органів, коли молоді тварини набувають особливостей будови дорослих особин (мал. 139).

Нервова трубка починає утворюватися після закладання мезодерми. З ектодерми формується нервова пластинка; її бічні краї загинаються та з'єднуються в нервову трубку. Особливі біологічно активні речовини визначають, який саме з кінців нервової трубки розвинеться в головний мозок. Ектодерма над нервовою трубкою зростається і дає початок епітелію шкіри. У зародків хребетних передній кінець нервової трубки ділиться на п'ять первинних мозкових пухирів, які відповідають певним частинам головного мозку. В обидва боки від майбутнього проміжного мозку видуваються очні пухирі, з яких розвиваються очі.

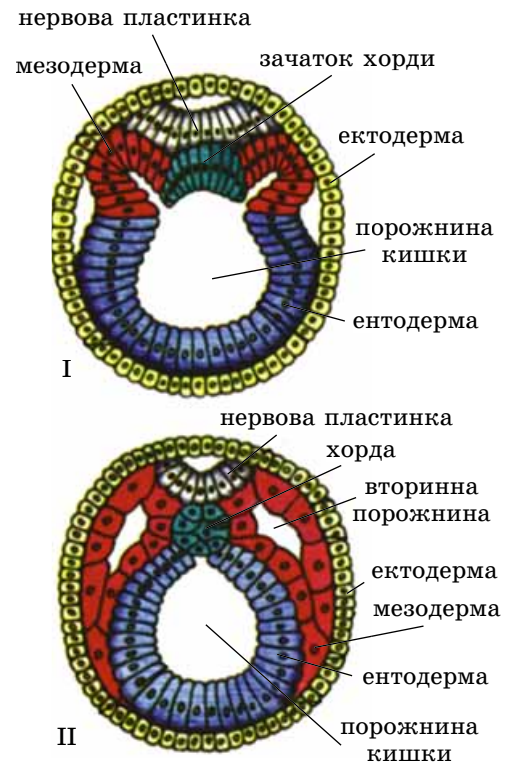
Водночас із утворенням нервової трубки під нею формуються хорда та кишечник. *Пригадайте*: хорда – еластична скелетна вісь у хордових тварин. Лише в деяких груп (осетероподібні та двоципринні риби тощо) вона зберігається протягом усього життя. У більшості хорда існує лише в зародків, а в дорослих її заступає хрящовий або кістковий хребет.

У формуванні різних тканин, органів та їхніх систем беруть участь різні зародкові листки. З *ектодерми* виникають нервова тканина, елементи органів чуття, зовнішній шар покривів (епідерміс) та шкірні залози, передня та задня кишки у безхребетних тварин, зовнішні зябра земноводних тощо. *Ентодерма* дає початок органам травлення та травним залозам (печінці, підшлунковій залозі), плавальному міхуру, внутрішнім зябрам, легеням, частинам деяких залоз внутрішньої секреції (гіпофіза, щитоподібної залози та ін.). З *мезодерми* беруть початок м'язові, хрящова та кісткова тканини, кровоносні та лімфатичні судини, серце, статеві залози, протоки видільних органів, сполучнотканинні шари шкіри (дерма), плевра, епітелій порожнини тіла, навколосерцева сумка (перикард).

**Які умови забезпечують нормальний розвиток зародка тварин?** Розвиток багатоклітинних тварин становить собою складні та узгоджені між собою процеси: поділ клітин, їхню міграцію, взаємодію та диференціацію. Вони регулюються завдяки активності генів, впливу біологічно активних речовин та міжклітинним взаємодіям.

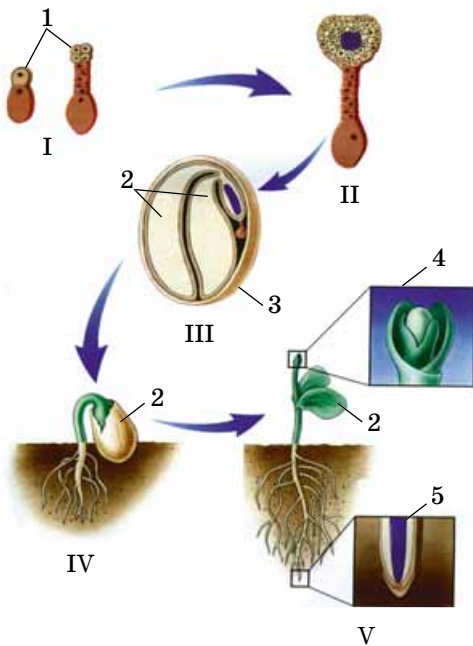
**Які особливості ембріонального розвитку вищих рослин?** У вищих рослин зигота внаслідок поділу утворює зародкову твірну тканину, з якої згодом формуються інші зародкові тканини й органи. *Пригадайте*: зародок у покритонасінних складається із зародкових корінця та

**Запам'ятаємо:** процес утворення нервової пластинки та нервової трубки називають **нейруляцією**, а зародок хордових тварин на цій стадії – **нейрулою** (мал. 139. II).



Мал. 139. Органогенез – процес формування органів у зародка. **Завдання.** Проаналізуйте будову гастрული (I) та нейрули (II) та знайдіть зміни, які відбуваються на стадії нейрули

**Запам'ятаємо:** будь-який негативний вплив, що порушує регуляторні механізми, може спричинити вади розвитку і навіть загибель зародка.



Мал. 140. Розвиток насінини покритонасінних та її проростання: I – початкові етапи ембріонального розвитку (1 – зародок); II – формування тканин; III – формування насінини (2 – сім'ядолі; 3 – шкірка насінини); IV – надземний тип проростання (сім'ядолі виносяться на поверхню ґрунту); V – за рахунок твірної тканини відбувається подальший розвиток тканин та органів (верхівкова твірна тканина: 4 – пагона; 5 – кореня)

пагона, який несе перші листки – одну або дві сім'ядолі (мал. 140). На верхівці зародкових пагона та кореня розташовані конуси наростання, утворені клітинами твірної тканини. Вони забезпечують ріст у довжину цих органів. У голонасінних і покритонасінних зародок – складова частина насінини, яка вкрита покривами (шкіркою) і містить запас поживних речовин.

### Ключові терміни та поняття:

онтогенез, ембріональний та постембріональний періоди розвитку, дроблення, бластула, гастрюла, екто-, енто- та мезодерма, органогенез.

### Перевірте здобуті знання

1. Дайте визначення поняття «онтогенез». 2. Які виділяють періоди онтогенезу? 3. Що таке дроблення? 4. Яка будова бластули? 5. Яка будова гастрюли? 6. Як утворюється внутрішній зародковий листок – мезодерма? 7. Що таке гістогенез та органогенез?

### Поміркуйте

1. Чим можна пояснити те, що бластомери під час дроблення не ростуть? 2. Чому куріння тютюну, вживання алкоголю та наркотиків у молодому віці може негативно позначитись на майбутніх нащадках?

## §28. ПІСЛЯЗАРОДКОВИЙ РОЗВИТОК І РІСТ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте типи післязародкового розвитку тварин. Як відбувається післязародковий розвиток покритонасінних рослин? Що таке регенерація? Що таке гормони, нейрогормони та фітогормони? Що таке життєвий цикл? Що таке партеногенез?

**Післязародковий (постембріональний) розвиток** тварин і людини – це період життя, який починається після народження або виходу з оболонки, що вкривають зародок, і триває до смерті. За цей час організм росте, розвивається, набуває здатності до розмноження, старіє та вмирає.

Деякі тварини (мал. 141) та більшість багатоклітинних однорічних рослин одразу після розмноження гинуть. У них є два періоди постембріонального розвитку: **передрепродуктивний** (організми ще статеві незрілі) та **репродуктивний** (коли набувають здатності до статевого розмноження). В інших (більшість хребетних тварин, річковий рак, деякі комахи, павукоподібні, молюски, багаторічні рослини тощо) репродуктивний період триває досить довго. Після нього смерть настає не одразу, а через деякий час (від кількох днів у комах до кількох років і десятків років у великих ссавців, дерев тощо). Це **період старіння**, коли поступово знижується рівень обміну речовин та настають необоротні зміни в організмі.

### Коротко про головне

Ембріональний розвиток багатоклітинних тварин починається з дроблення. Унаслідок цього утворюється бластула або морула.

Наступний етап – це гастрюляція, тобто утворення з бластули двошарового зародка (гастрюли). Згодом у більшості тварин, крім зовнішнього (ектодерми) і внутрішнього (ентодерми), виникає третій (середній) зародковий листок – мезодерма. Із цих зародкових тканин виникають тканини та органи дорослих особин.

Під час ембріогенезу відбувається диференціація – виникнення відмін у будові та функціях клітин, тканин, органів. При гістогенезі та органогенезі закладаються і формуються тканини, органи та їхні системи. У гістогенезі беруть участь стовбурові (дають початок новим клітинам), напівстовбурові та диференційовані клітини. Кожен із зародкових листків дає початок відповідним структурам.

**Запам'ятаємо:** **ембріонізація розвитку** – явище, коли зародковий період подовжується за рахунок живлення зародка поживними речовинами материнського організму (плацентарні ссавці, деякі хрящові риби, скорпіони) або яйцеклітини (плазуни, птахи).

Післязародковий розвиток тварин буває прямим або непрямим (мал. 142). За прямого розвитку щойно народжена тварина загалом нагадує дорослу (мал. 142. I).

Біологічне значення ембріонізації полягає в тому, що народжується або вилуплюється з яйцевих оболонок тварина на більш високому ступені розвитку, що зменшує її вразливість до зовнішніх чинників. Процес появи на світ такого зародка має назву *справжнє живонародження*.

Коли зародок розвивається за рахунок запасних поживних речовин яйця всередині материнського організму і звільняється від яйцевих оболонок ще всередині нього, таке явище має назву *яйцезивонародження* (деякі ящірки, змії, акваріумні рибки – гуппі та мечоносці).

Якщо зародок розвивається в яйці поза материнським організмом і молодий організм виходить з яйця безпосередньо в зовнішньому середовищі, то спостерігають *яйценонародження* (більшість плазунів і членистоногих, птахи, першозвірі, плоскі черви тощо).

Прямий розвиток характерний для деяких жалких (гидри), війчастих (молочно-біла планарія) і малощетинкових червів (як-от, дощових), деяких ракоподібних (дафнії, річковий рак), павуків, частини молюсків (більшість прісноводних і наземні черевоногі), хрящових риб, плазунів, птахів, ссавців.

**Непрямий розвиток** супроводжується глибокими змінами в будові організму, завдяки яким личинка перетворюється на дорослу особину (мал. 142. II). **Личинка** – фаза постембріонального розвитку багатьох безхребетних (більшість жалких, плоских і багатощетинкових червів, молюсків, кліщі, комахи тощо) і деяких хребетних (кісткові риби, земноводні) тварин.

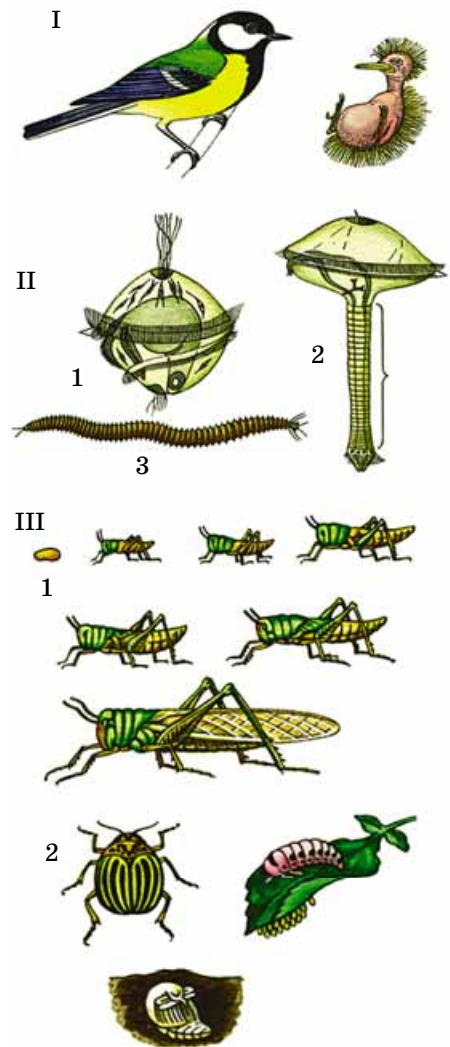
Непрямий розвиток здійснюється в кілька послідовних етапів (фаз). На кожному з них тварина має певні особливості будови та життєвих функцій. Наприклад, онтогенез комах має послідовні фази яйця, личинки та дорослої комах (у разі розвитку з неповним перетворенням: клопи, бабки, таргани, прямокрилі, воші) або яйця, личинки, лялечки та дорослої комах (у разі розвитку з повним перетворенням: метелики, жуки, перетинчастокрилі, блохи тощо) (мал. 142. III). Особливе значення має фаза лялечки, на якій комаха зазнає докорінних змін будови (*пригадайте яких*).

Непрямий тип розвитку виконує кілька важливих біологічних функцій, спрямованих на забезпечення існування виду. **Живильна функція:** на певній фазі розвитку тварина отримує найбільше поживних речовин, необхідних для її завершення. **Раціональне використання ресурсів** полягає в тому, що різні фази розвитку розділені за способами та об'єктами живлення, а також просторово. **Функція розселення:** у багатьох тварин, які ведуть малорухливий чи прикріплений спосіб життя (*пригадайте їх*), личинки здатні розселятись, забезпечуючи поширення виду.



2

Мал. 141. Тварини, які гинуть одразу після розмноження:  
1 – комах-одноденка; 2 – горбуша



Мал. 142. Тварини з прямим і непрямим типами розвитку. I. Прямий розвиток птахів. II. Непрямий розвиток багатощетинкового черва нерієса: 1 – личинка; 2 – формування у личинки нових сегментів; 3 – дорослий черв. III. Непрямий розвиток комах: 1 – з неповним перетворенням; 2 – з повним перетворенням







Післязародковий (постембріональний) розвиток тварин і людини – це період життя, який починається після народження або виходу з оболонок, що вкривають зародок, і триває до смерті. Він буває прямим і непрямим. За прямого розвитку народжується молодий організм, загалом подібний до дорослого, але менших розмірів. За непрямого розвитку молода особина (личинка) відрізняється від дорослої особливостями будови та процесів життєдіяльності.

Життєвий цикл – період між однаковими фазами розвитку двох або більшої кількості послідовних поколінь. Життєві цикли забезпечують безперервність існування виду; вони бувають прості й складні. У разі простих життєвих циклів усі послідовні покоління не відрізняються одне від одного за будовою та особливостями онтогенезу. Складні життєві цикли здійснюються через чергування різних поколінь, кожне з яких відрізняється від інших особливостями будови, онтогенезу, наборами хромосом, способами розмноження тощо.

відриватись від загальної маси і з кров'ю проникати в інші органи, що нагадує утворення метастазів при онкологічних захворюваннях. За відсутності лікування це зрештою веде до загибелі хазяїна. Людина може заразитись ехінококом та альвеококом, граючись з прибудними собаками, на шерсті яких може залишатися багато яєць цих паразитів.

У плоских червів (сисунів), деяких членистоногих (дафній, попелиць тощо) у життєвому циклі чергуються покоління, які розмножуються статеві і шляхом партеногенезу. Чергування статевих і партеногенетичних поколінь має важливе біологічне значення для істот, які мешкають у мінливих умовах довкілля і нездатні переживати несприятливі періоди в активному стані. Статеве розмноження забезпечує безперервність існування виду в мінливих умовах довкілля, а партеногенез дає змогу повною мірою використовувати сприятливі періоди для швидкого нарощування чисельності популяції.

### Ключові терміни та поняття:

прямий і непрямий розвиток, прості та складні життєві цикли.

### Перевірте здобуті знання



1. Чим характеризується прямий розвиток? 2. Що таке ембріонація розвитку і яке її біологічне значення? 3. Які функції, важливі для процвітання виду, виконують личинкові фази розвитку? 4. Які життєві цикли називають простими та складними? 5. Які варіанти чергування поколінь відомі в складних життєвих циклах тварин і рослин?

### Поміркуйте



У квіткових рослин чергуються статеві і нестатеві покоління. Поміркуйте, чим представлено кожне із цих поколінь.

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Укажіть стадію гаметогенезу, на якій відбувається мейоз: а) розмноження; б) росту; в) дозрівання; г) формування.
2. Укажіть кількість гаплоїдних яйцеклітин, які виникають у результаті мейозу з диплоїдної клітини-предника: а) одна; б) дві; в) три; г) чотири.
3. Як називають розмноження організмів за рахунок відокремлення багатоклітинних частин: а) статеве; б) вегетативне; в) партеногенез; г) поліембріонія?
4. Як називають розмноження за рахунок злиття гамет: а) копуляція; б) вегетативне; в) партеногенез; г) кон'югація?
5. Укажіть групу рослин, якій притаманне подвійне запліднення: а) мохоподібні; б) папоротеподібні; в) голонасінні; г) покритонасінні.
6. Укажіть групу тварин, якій притаманний прямий розвиток: а) комахи; б) хрящові риби; в) кісткові риби; г) багатоцетинкові черви.
7. Укажіть стадію зародкового розвитку, на якій формуються зародкові листки: а) дроблення; б) бластула; в) гастрולה; г) морула.
8. Назвіть кількість послідовних поділів, з яких складається мейоз: а) два; б) три; в) чотири; г) один.
9. Укажіть, коли відбувається кон'югація гомологічних хромосом: а) під час мітозу; б) під час першого мейотичного поділу; в) під час другого мейотичного поділу; г) під час інтерфази.
10. Що таке транскрипція: а) переписування інформації з молекули ДНК на молекулу мРНК; б) транспорт амінокислотних залишків до місця синтезу білкової молекули; в) сполучення амінокислотних залишків у поліпептидний ланцюг; г) набуття молекулою білка активного стану?
11. Де синтезуються білкові молекули: а) на мембранах комплексу Гольджі; б) на мембранах лізосом; в) на мембранах зернистої ендоплазматичної сітки; г) на мембранах незернистої ендоплазматичної сітки?

*Утворіть логічні пари*

12. Установіть відповідність між стадіями гаметогенезу ссавців і подіями, які під час них відбуваються.

- |               |   |
|---------------|---|
| 1 розмноження | <b>А</b> ущільнення цитоплазми сперматозоїдів, формування частини зовнішніх оболонок яйцеклітин |
| 2 росту       | <b>Б</b> послідовні мітотичні поділи первинних статевих клітин                                  |
| 3 дозрівання  | <b>В</b> збільшення розмірів клітин   |
| 4 формування  | <b>Г</b> мейоз  |

13. Установіть відповідність між фазами мітозу та подіями, які під час них відбуваються.

- |            |  |
|------------|--|
| 1 профаза  | <b>А</b> кон'югація гомологічних хромосом        |
| 2 метафаза | <b>Б</b> розходження хроматид                    |
| 3 анафаза  | <b>В</b> розташування хромосом по центру клітини |
| 4 телофаза | <b>Г</b> формування ядерної оболонки             |
|            | <b>Д</b> зникнення ядерця                        |

14. Установіть відповідність між фазами мейозу та подіями, які під час них відбуваються.

- |               |  |
|---------------|--|
| 1 профаза I   | <b>А</b> кросинговер                             |
| 2 метафаза II | <b>Б</b> розходження хроматид                    |
| 3 анафаза I   | <b>В</b> розходження гомологічних хромосом       |
| 4 телофаза II | <b>Г</b> розташування хромосом по центру клітини |
|               | <b>Д</b> формування ядерця                       |

15. Установіть відповідність між стадіями зародкового розвитку хордових тварин та подіями, які на цих стадіях відбуваються.

- |            |   |
|------------|---|
| 1 бластула | <b>А</b> закладання нервової трубки                             |
| 2 морула   | <b>Б</b> формування одношарового зародка з порожниною всередині |
| 3 гастрюла | <b>В</b> формування зародка у вигляді грудочки клітин           |
| 4 нейрула  | <b>Г</b> закладання твірної тканини                             |
|            | <b>Д</b> формування тришарового зародка                         |

*Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей*

16. Назвіть функції молекул РНК, які беруть участь у синтезі білкових молекул.

<b>мРНК</b>	<b>тРНК</b>	<b>рРНК</b>
1 транспортують амінокислоти до місця синтезу білкової молекули амінокислотних залишків	1 входять до складу субодиниць рибосом	1 транспортують амінокислоти до місця синтезу білкової молекули амінокислотних залишків
2 зберігають інформацію про структуру білкової молекули	2 транспортують амінокислоти до місця синтезу білкової молекули амінокислотних залишків	2 зберігають інформацію про структуру білкової молекули
3 забезпечують передачу інформації про будову білкової молекули до місця її синтезу	3 забезпечують передачу інформації про будову білкової молекули до місця її синтезу	3 входять до складу субодиниць рибосом

*Запитання з відкритою відповіддю*

17. Чому в процесі мітотичного чи мейотичного поділу клітини зникає оболонка ядра? Відповідь обґрунтуйте.

18. Чи трапляється мейотичний поділ у тих організмів, які не розмножуються статевим способом? Відповідь обґрунтуйте.

19. Яке значення інтерфази в клітинному циклі еукаріотів?

20. Які структури беруть участь у мітотичному чи мейотичному поділі клітини? Які їхні функції у процесі поділу клітини?

21. Спосіб, у який самоподвоюються молекули ДНК, називають напівконсервативним. Поясніть чому.

22. Що спільного та відмінного в утворенні сперматозоїдів (сперміїв) та яйцеклітин у ссавців та квіткових рослин?

23. Що спільного та відмінного між вегетативним та іншими способами нестатевого розмноження?

24. Чому серед наземних тварин переважає внутрішнє запліднення? Відповідь обґрунтуйте.

25. Який зв'язок між процесами гістогенезу та органогенезу?

26. Які функції притаманні статевому та нестатевому поколінням під час здійснення складних життєвих циклів?





## ТЕМА 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- основні закономірності спадковості;
- роль генотипу та факторів навколишнього середовища у формуванні фенотипу організмів; класичні методи генетичних досліджень;
- явище зчепленого успадкування; хромосомну теорію спадковості;
- генетику статі й успадкування, зчеплене зі статтю;
- форми мінливості організмів; види мутацій, їх причини та наслідки;
- спадкові захворювання людини та генетичне консультування;
- сучасні методи молекулярної генетики.

### §29. ГЕНЕТИКА – НАУКА ПРО ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ Й МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте, що таке хромосоми, ген, геном, каріотип. Що таке гомологічні хромосоми, алельні гени, локуси? Що таке антигени та антитіла? Які є групи крові людини? Чим вони визначаються? Яка будова плазматичної мембрани? Які функції можуть виконувати рецепторні молекули в складі клітинних мембран?

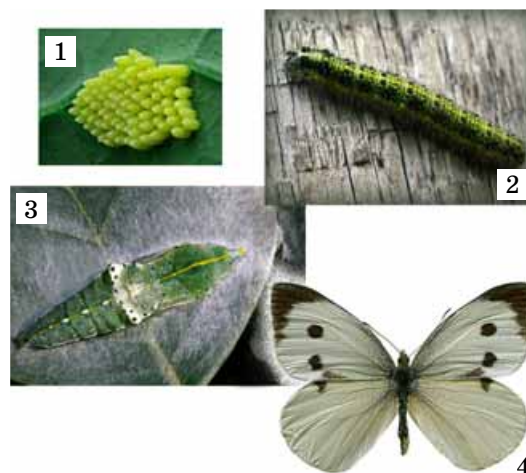
**Що вивчає наука генетика?** Чому діти схожі на своїх батьків? Чому різні особини одного виду більш або менш схожі між собою, а різних видів – здебільшого ні? Це відбувається тому, що всім організмам притаманна універсальна властивість – **спадковість**, завдяки якій забезпечується генетичний зв'язок між різними їх поколіннями.

Ви самі спостерігали, що протягом життя ваш організм, як і організми інших людей, змінюється. Те саме стосується й інших організмів (мал. 145). До того ж важко знайти дві особини одного виду та одного віку, які б точно нагадували одна одну. Це пов'язано з іншим універсальним біологічним явищем – **мінливістю**.

Спадковість і мінливість – протилежні властивості живих організмів. Завдяки спадковості зберігається стабільність біологічних видів. Завдяки мінливості виникають нові ознаки та їхні варіанти, отже, стає можливим утворення нових видів та історичний розвиток біосфери в цілому.

Два загальнобіологічних явища – спадковість і мінливість – є предметом досліджень науки **генетики** (від грец. *генезис* – походження). Датою її народження вважають 1900 р., коли трое вчених – голландець Г. де Фріз, німець К. Корренс та австрієць Е. Чермак – під час досліджень з гібридизації рослин незалежно один від одного перевідкрили закони спадковості, які ще 1865 р. встановив чеський дослідник Г. Мендель. Назву «генетика» новій

**Запам'ятаємо:** **спадковість** – це здатність організмів передавати свої ознаки та особливості індивідуального розвитку нащадкам.



Мал. 145. Фази розвитку метелика: яйця (1) – гусінь (2) – лялечка (3) – дорослий метелик (4).

**Завдання.** Поясніть, як змінюється організм метелика на кожній фазі розвитку

**Запам'ятаємо:** **мінливість** – це здатність організмів набувати нових ознак у процесі індивідуального розвитку.



1

2

3

4

5

Мал. 146. Учені, які були біля витоків генетики: 1. **Грегор Йоганн Мендель** (1822–1884) – чеський священик та дослідник, установив основні закони спадковості; 2. **Гуго де Фріз** (1848–1935) – голландський ботанік і генетик; ввів термін «мутація»; 3. **Карл Корренс** (1864–1933) – німецький біолог, відомий фахівець у галузі ботаніки та мікології; 4. **Еріх Чермак** (1871–1962) – австрійський учений-генетик, працював у галузі схрещування культурних рослин; 5. **Уільям Бетсон** (1861–1926) – англійський учений, який запропонував назву «генетика»



Мал. 147. Приклади різних фенів: різні варіанти забарвлення черепашки одного з видів наземного червоного молюска роду *Анікса*

### Цікаво знати

Наука фенетика досліджує появу та закономірності розподілу фенів у популяціях організмів різних видів.



Мал. 148. Весняна (1) та літня (2) форми метелика рябокрилки мінливої

**Запам'ятаємо:** упродовж життя генотип особини залишається незмінним. Протягом індивідуального розвитку змінюється її фенотип.

науці запропонував 1906 р. англійський учений У. Бетсон (мал. 146).

**Які основні терміни використовують у генетиці?** Людський організм складається з мільярдів нестатевих клітин, кожна з яких має ідентичний набір генів. Кожна нестатева клітина (крім деяких, *пригадайте* яких) містить ядро з ідентичним набором хромосом – *каріотипом*. У складі кожної пари гомологічних хромосом одна успадкована від матері, друга – від батька. Кожна хромосома містить молекулу ДНК, у якій закодована інформація про будову білків і молекул РНК.

Різні алелі певного гена визначають різні варіанти певних ознак. Окремі варіанти певної ознаки називають **фенами** (від грец. *φαίνο* – являю, виявляю) (мал. 147). Приклади окремих фенів: жовте чи зелене забарвлення насіння гороху посівного, блакитний чи карий колір очей людини тощо.

Унаслідок взаємодії генотипу з факторами навколишнього середовища формується **фенотип**, тобто сукупність усіх ознак і властивостей організму. На малюнку 148 зображено два варіанти фенотипу денного метелика рябокрилки мінливої. Якщо дорослий метелик виходить з лялечки, яка розвивалася за низьких температур (весняна форма), основне тло його крил має цегляне забарвлення (1). Якщо лялечка розвивалася за підвищеної температури (літня форма), тло крил метелика темне (2).

**Як алельні гени можуть взаємодіяти між собою?** У певних генів існує багато алелів: десятки й навіть сотні. У диплоїдного організму (у якого кожна хромосома має собі парну – гомологічну) може бути або два однакових алеля певного гена, або два різних. При цьому одні алелі певного гена можуть пригнічувати прояв інших. Тоді проявляється лише один варіант ознаки, а інший – наче зникає.

Явище пригнічення прояву одного алеля іншим називають **домінуванням**. Наприклад, у помідорів алель, який визначає червоне забарвлення плодів, домінує над алелем жовтого (мал. 149); у людини алель, який визначає карий колір очей, домінує над алелем блакитного. Домінантні алелі позначають великими літерами латинського алфавіту (А, В, С, D тощо), а відповідні їм рецесивні – малими (а, b, с, d тощо).

**Які можливі варіанти поєднання алельних генів у генотипі організмів?** Припустімо, що в організмів певного



виду один з генів представлений лише двома алелями: домінантним (А) та рецесивним (а). У нестатевих (соматичних) клітинах диплоїдного організму одночасно можуть бути лише два алелі одного гена. Варіантів поєднання цих алелів – генотипів – може бути три: АА, Аа та аа. Як ви помітили, у першому та третьому варіантах у генотипі особин є два однакових алелі – це генотипи АА та аа. Таких особин називають *гомозиготними* (або гомозиготами).

Особин, у генотипі яких є два різних алелі – один домінантний (А), другий – рецесивний (а), – називають *гетерозиготними* (або гетерозиготами).

Трапляються випадки, коли у формуванні певного варіанта ознаки беруть участь обидва алельні гени. Прикладом може слугувати успадкування груп крові у людини. *Пригадайте* з курсу біології 8 класу: у складі мембран еритроцитів містяться антигени – аглютиногени. Їх позначають латинськими літерами А і В. У плазмі крові є антитіла – аглютиніни, які позначають грецькими літерами  $\alpha$  і  $\beta$ . Якщо зустрічаються сполуки А і  $\alpha$  або В і  $\beta$ , між ними відбувається реакція, що нагадує реакцію *антиген – антитіло*.

Наявність сполук-антигенів того або іншого типу в мембрані еритроцитів зумовлюють алелі, які прийнято позначати  $I^A$  та  $I^B$ , алель  $i^0$  є неактивною формою відповідного гена. Алелі  $I^A$  та  $I^B$  повністю домінують над алелем  $i^0$ , тому в людей з генотипом  $I^A i^0$  або  $I^B i^0$  проявляються тільки домінантні алелі й відповідно формуються друга (А) або третя (В) групи крові. Але алелі  $I^A$  та  $I^B$  не домінують одна над одною. У людини, в генотипі якої зустрічаються алелі  $I^A$  та  $I^B$ , формується четверта група крові (АВ), а в мембранах еритроцитів утворюються антигени обох типів (мал. 150).

Коли жоден з алелів не домінує над іншим, спостерігають *проміжний характер успадкування* (його ще називають «неповним домінуванням»). Наприклад, унаслідок схрещування гомозиготних рослин ротиків, одна з яких мала червоне забарвлення віночка квітки, інша – біле, гібриди першого покоління матимуть рожеві квітки (мал. 151).

Є алелі, які, проявляючись у фенотипі, призводять до загибелі організму на певній стадії його розвитку. Їх називають *летальними* (від лат. *letalіs* – смертельний). Наприклад, платинове забарвлення хутра лисиць є наслідком мутації відповідного гена. Це забарвлення визна-

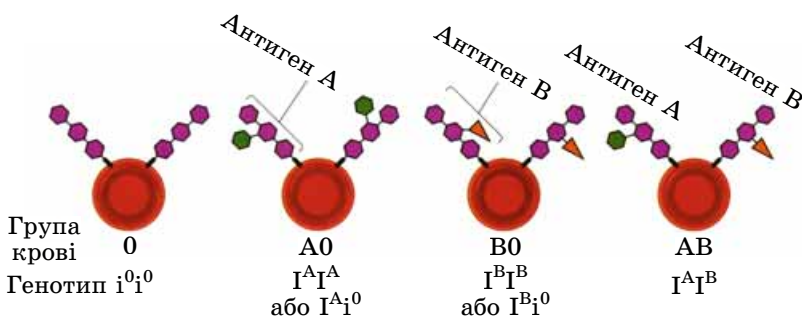


Мал. 149. Домінантні та рецесивні варіанти ознак організмів: алель, який визначає червоне забарвлення плодів помідорів, домінує над алелем, що визначає жовте

**Запам'ятаємо:** **ГОМОЗИГОТА** (від грец. *гомос* – однаковий та *зиготос* – сполучений разом) – це клітина чи особина з диплоїдним або поліплоїдним набором хромосом, гомологічні хромосоми якої несуть ідентичні алелі певного гена.



Мал. 151. Проміжний характер успадкування забарвлення віночків у ротиків: 1, 2 – батьківські форми; 3 – гібрид першого покоління



Мал. 150. Різні варіанти антигенів у мембранах еритроцитів людини



**Запам'ятаємо:** алель, що завжди проявляється в присутності іншого у вигляді варіанта ознаки, яку він визначає, називають **домінантним** (від лат. *dominans* – панівний), а той, який не проявляється, – **рецесивним** (від лат. *recessus* – відступ, видалення).

**Запам'ятаємо:** участь обох алельних генів у визначенні певного варіанта ознаки гетерозиготної особини називають **кодомінантністю** (від лат. *co* – разом і *dominans*).

**Запам'ятаємо:** **гетерозигота** (від грец. *heteros* – інший) – це клітина або особина з диплоїдним або поліплоїдним набором хромосом, гомологічні хромосоми якої несуть різні алелі певного гена.

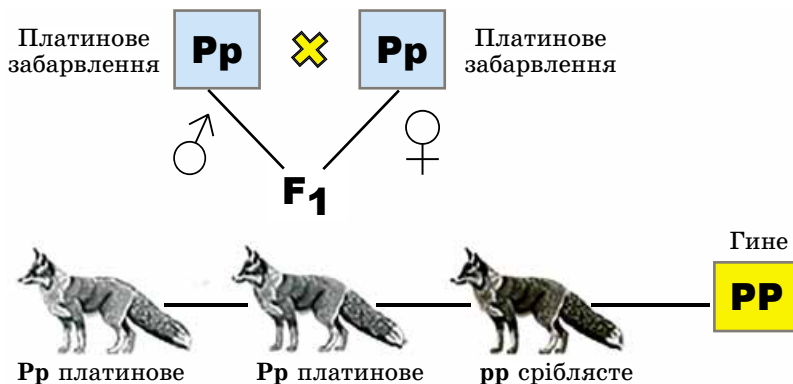
## Коротко про головне

Явища спадковості й мінливості вивчає наука генетика, датою народження якої вважають 1900 р.

Унаслідок взаємодії генотипу з факторами навколишнього середовища формується фенотип – сукупність усіх ознак і властивостей організму.

Алель, який завжди проявляється в присутності іншого у вигляді варіанта ознаки, що ним визначається, називають «домінантним», а той, який не проявляється, – «рецесивним». Явище пригнічення прояву одного алеля іншим називають «домінуванням». Якщо в генотипі диплоїдних особин присутні два однакових алелі, їх називають «гомозиготними» (або «гомозиготами»), якщо різні – «гетерозиготними» (або «гетерозиготами»). Якщо у формуванні певного варіанта ознаки беруть участь обидва алельні гени, таке явище називають «кодомінантністю». Летальні алелі, проявляючись у фенотипі, призводять до загибелі організму на певній стадії його розвитку.

**Запам'ятаємо:** **схрещування** – це поєднання генетичного матеріалу різних особин в одній.



Мал. 152. Успадкування платинового забарвлення хутра у лисиць

часе домінуючий алель (**P**). Зародки з генотипом (**PP**) гинуть на ранніх етапах розвитку (мал. 152). Найчастіше летальні алелі рецесивні, тому можуть проявлятися у фенотипі зазвичай лише в гомозиготному стані.

### Ключові терміни та поняття:

спадковість, мінливість, алельні гени, домінуючий та рецесивний варіанти ознаки, гомозигота, гетерозигота, генотип, фенотип, проміжний характер успадкування.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке спадковість і мінливість? 2. Поясніть сутність поняття «ознака» та її варіанти. 3. Наведіть приклади кількісних та якісних ознак. 4. Які гени називають алельними? Чим вони характеризуються? 5. Як алельні гени можуть взаємодіяти між собою? 6. Які організми називають гомозиготами та гетерозиготами? 7. Що спільного та відмінного у явищах кодомінантності та проміжного характеру успадкування?

### Поміркуйте

Виявлено загальнобіологічну закономірність, згідно з якою гетерозиготи більш життєздатні порівняно з гомозиготами. Поміркуйте чому.

## §30. МЕТОДИ ГЕНЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

*Пригадайте*, як відбуваються мітотичний і мейотичний поділи клітини. Які особливості будови хромосом? Що таке генотип і фенотип? Що таке популяція? Що досліджує наука систематика? Які таксономічні одиниці використовують у систематиці тварин і рослин?

**Які методи застосовують генетики у своїх дослідженнях?** Одним з перших у генетичних дослідженнях почали застосовувати **гібридологічний метод**. Він полягає у схрещуванні (гібридизації) організмів, які різняться певними варіантами однієї чи кількох ознак. Отриманих у результаті цього нащадків називають **гібридами** (від лат. *hibrida* – суміш). На гібридизації базується **гібридологічний аналіз** – дослідження характеру успадкування різних варіантів ознак за допомогою системи схрещувань. Для цього підраховують кількість особин з певним фенотипом серед нащадків, отриманих унаслідок схрещування.

Схрещування може бути моногібридним, дигібридним і полігібридним. **Моногібридне схрещування** – це гібриди-

зація батьківських форм, які відрізняються різними варіантами лише однієї досліджуваної спадкової ознаки (наприклад, забарвленням насіння); *дигібридне* – двох ознак (наприклад, забарвленням насіння та структурою його поверхні), *полігібридне* – трьох ознак (наприклад, забарвленням насіння, структурою його поверхні та забарвленням віночка) і більше.

Процес схрещування позначають відповідними символами. На малюнку 153 зображено квітки трьох рослин гороху посівного з різними варіантами генотипів. За умови повного домінування два варіанти генотипу – **AA** (гомозигота за домінантним алелем **A**) та **Aa** (гетерозигота) – визначають один і той самий варіант фенотипу – фіолетове забарвлення віночка. А ось біле забарвлення віночка однозначно вказує на генотип особини – це гомозигота за рецесивним алелем гена, який визначає забарвлення віночка.

Для встановлення генотипу особини з домінантним фенотипом (гомозигота чи гетерозигота) її схрещують з особиною, гомозиготною за рецесивним алелем. Такий варіант схрещування називають *аналізуючим*.

Припустімо, що популяція гороху посівного складається з особин, які мають генотипи **AA**, **Aa** та **aa**. При цьому домінантний алель визначає високе стебло, рецесивний – низьке. Таким чином, особини з високим стеблом можуть мати генотипи **AA** та **Aa**, а з низьким – лише **aa**. Щоб з'ясувати генотип особин з високим стеблом, їх слід схрестити з особинами, які мають низьке стебло. Схематично покажемо хід схрещування. Якщо особина, генотип якої хочуть перевірити, була гомозиготною за домінантним алелем, хід схрещування буде таким:

<b>P</b>	♀ <b>AA</b>		♂ <b>aa</b>	
гамети	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>a</b>	<b>a</b>
<b>F<sub>1</sub></b>	<b>Aa</b>	<b>Aa</b>	<b>Aa</b>	<b>Aa</b>

*Зверніть увагу* на символічні позначення. Батьківські особини позначають латинською літерою **P** (від лат. *parentes* – батьки); символами ♀ та ♂ – відповідно жіночу і чоловічу статі. Якщо організми гермафродитні (деякі тварини) або мають двостатеві квітки (різноманітні рослини), можна довільно позначити одну з таких особин як чоловічу, другу – як жіночу.

Хід схрещування зручно записувати за допомогою **решітки Пеннета**. Її так назвали на честь англійського генетика Реджинальда Крандалла Пеннета (1875–1967), який уперше запропонував записувати подібним чином хід схрещування. По горизонталі записують гамети однієї (у роздільностатевих організмів – батьківської) особини, а по вертикалі – іншої (материнської). У місцях перетину горизонтального та вертикального рядків указують генотипи нащадків. Перше покоління нащадків позначають **F<sub>1</sub>** (від лат. *філії* – сини). Запишемо за допомогою решітки Пеннета хід схрещування батьківських особин, гомозиготних за домінантним і рецесивним алелями:

Генотип **AA**



Генотип **Aa**



Генотип **aa**



Мал. 153. Генотипи і фенотипи трьох рослин гороху посівного з фіолетовим (1, 2) і білим (3) забарвленням віночка

**Запам'ятаємо:** аналізуюче схрещування базується на тому, що особини, гомозиготні за рецесивним алелем певного гена, завжди мають лише певний варіант фенотипу й утворюють гамети одного типу.

**Запам'ятаємо:** якщо внаслідок аналізуючого схрещування серед нащадків спостерігають розщеплення за фенотипом у співвідношенні 1 : 1, то особина, чий генотип визначали, була гетерозиготною.

♀/♂	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

Отже, якщо серед нащадків, отриманих унаслідок аналізуючого схрещування, розщеплення за фенотипом не спостерігають, то батьківська особина, генотип якої перевіряли, була гомозиготною за домінантним алелем. Якби вона була гетерозиготною, то хід аналізуючого схрещування мав би такий вигляд:

♀/♂	a	a
A	Aa	Aa
a	aa	aa

У селекції аналізуюче схрещування дає змогу визначити генотип особин, яких планують використати для отримання нащадків з певним фенотипом.

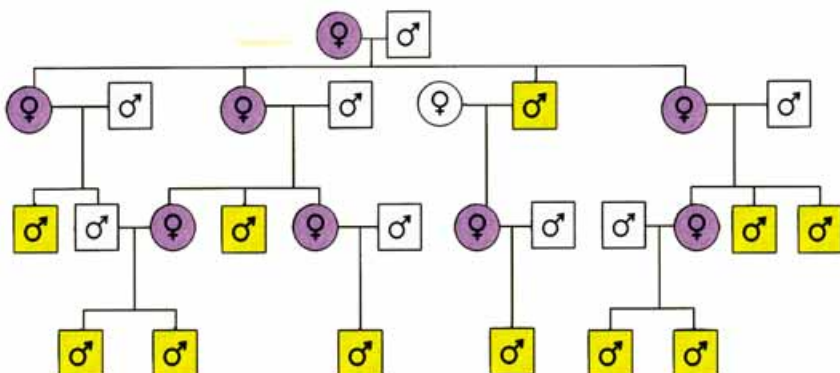
**Запам'ятаємо:** згідно з Декларацією прав людини і різними міжнародними угодами заборонено будь-яке втручання у спадкову інформацію людини різноманітними експериментальними методами досліджень, навіть якщо при цьому поставлені гуманні цілі. Це пов'язано з тим, що таке втручання може мати непередбачувані наслідки.

**Генеалогічний метод** полягає у вивченні родоводів організмів, щоб простежити характер успадкування різних варіантів певних ознак у ряді поколінь. У медичній генетиці чи селекції за його допомогою встановлюють генотип особин і вираховують імовірність прояву того чи іншого варіанта ознаки у майбутніх нащадків. Родоводи складають у вигляді схем за певними правилами: організм жіночої статі позначають колом, чоловічої – квадратом. Позначки особин одного покоління розташовують у ряд і з'єднують між собою горизонтальними лініями, а позначки предків і нащадків – вертикальними. Позначки особин, які мають досліджувану ознаку (наприклад хворих), зафарбовують. Що більше поколінь людей або інших організмів включає родовід, то він повніший і результати генеалогічного аналізу достовірніші. Отже, генеалогічний метод включає два основних етапи: складання власне родоводу та здійснення генеалогічного аналізу успадкування тих чи інших варіантів ознак.

На малюнку 154 наведено частину родоводу англійської королеви Вікторії, серед нащадків якої були російські імператори. За ним можна простежити успадкування небезпечного спадкового захворювання – гемофілії, або нездатності крові зсідатися (*пригадайте*, які фактори сприяють процесу зсідання крові).



Королева Вікторія      Принц Альберт



Мал. 154. Частина родоводу королеви Вікторії: □ – здоровий чоловік; ■ – чоловік, хворий на гемофілію; ○ – здорова жінка; ● – жінка – носій рецесивного алеля, який визначає хворобу





Завдяки популяційно-статистичному методу було виявлено, що алель, який визначає **ДАЛЬТОНІЗМ** (порушення сприйняття кольорів), трапляється у 13 % жінок (з них хвороба проявляється лише у 0,5 %) та у 7 % чоловіків (хворіють усі). Рецесивний алель, який зумовлює **АЛЬБІНІЗМ** (вроджену відсутність пігментації шкіри та райдужної оболонки ока), трапляється із частотою 0,0001–0,00005 (1 альбінос припадає на 10 000–20 000 людей з нормальною пігментацією) (мал. 155).



Мал. 155. Людина-альбінос: зверніть увагу на особливості фенотипу



Мал. 156. Рельєф шкіри на пучках пальців унікальний для кожної людини

Застосування популяційно-статистичного методу дає змогу встановити генетичну структуру популяцій, тобто які з можливих алелів усіх генів організмів певного виду поширені в певній популяції, з якою частотою і як поєднуються. Цей метод застосовують і в медичній генетиці для вивчення поширення алелів, які зумовлюють спадкові захворювання чи вади в людини.

**Цитогенетичний метод** базується на дослідженні особливостей хромосомного набору (каріотипу) організмів. Він дає змогу виявляти порушення, пов'язані зі зміною як кількості хромосом, так і будови окремих з них. Каріотип вивчають у клітині на стадії метафази (*пригадайте*: у цей період клітинного циклу структура хромосом виражена найчіткіше).

**Біохімічні методи** використовують для діагностики спадкових захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин. За їхньою допомогою виявляють білки, а також проміжні продукти обміну, не властиві в нормі певному організму, що свідчить про наявність змінених генів. Відомо понад 1000 спадкових захворювань людини, які спричиняють такі змінені гени (наприклад, цукровий діабет).

**Близнюковий метод** полягає у порівнянні варіантів ознак в однойцевих близнюків, які завжди однієї статі, бо мають однакові генотипи (*пригадайте*, як виникають однойцеві близнюки). Дослідження таких організмів дає змогу з'ясувати роль чинників довкілля у формуванні фенотипу. В однойцевих близнюків часто спостерігають спільні захворювання: бронхіальну астму, кір (збіг – понад 90 %), шизофренію, цукровий діабет (близько 50 %), туберкульоз (понад 50 %) тощо.

**Метод дерматогліфіки** ґрунтується на вивченні рельєфу шкіри на пучках пальців (мал. 156), долонях і поверхні підшви людини. Цей метод використовують для діагностики деяких спадкових захворювань (наприклад, на долонях хворих на хворобу Дауна є лише одна поперечна та одна поздовжня бінальні борозни, тоді як у здорових людей поперечних борозен дві), у криміналістиці для доведення причетності до скоєння злочину.

**Методи генетичної інженерії** базуються на досягненнях молекулярної біології. За їхньою допомогою учені виділяють з організмів окремі гени або синтезують їх штучно, перебудовують певні гени і вводять їх у геном іншої клітини або організму. Крім того, учені можуть сполучати гени різних видів в одній клітині, тобто поєднувати в одній особині спадкові ознаки, притаманні цим видам. Організми, отримані в такий спосіб, називають **трансгенними** (від лат. *транс* – через і грец. *генос* – рід, походження), або **генетично модифікованими** (скорочено – **ГМО**) (докладніше про це у §57).

### Ключові терміни та поняття:

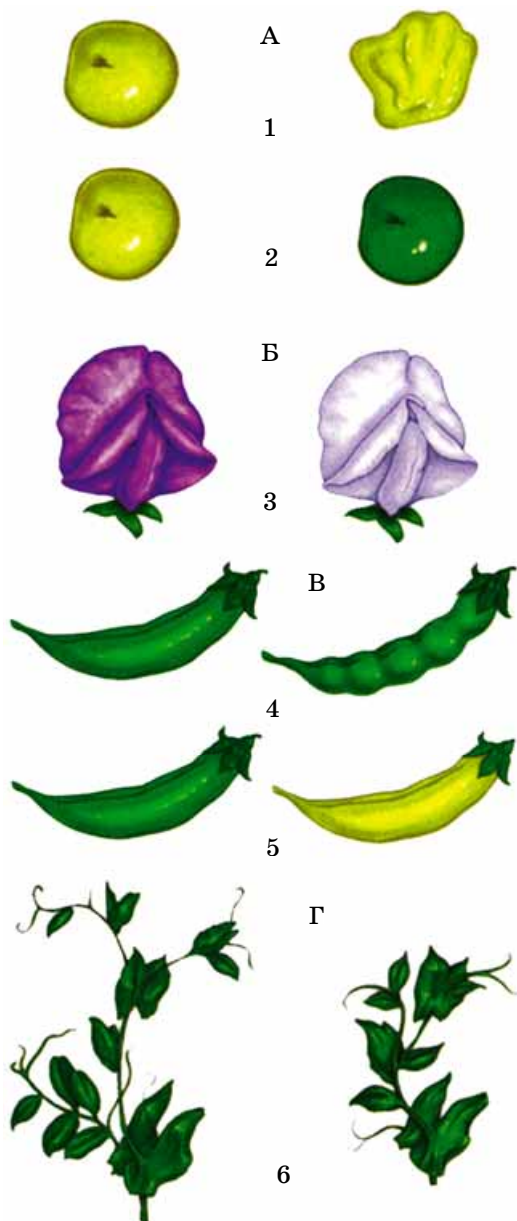
гібридизація, гібриди, аналізуюче схрещування, генетично модифіковані організми.

### Перевірте здобуті знання

1. На чому базується гібридологічний метод? Що таке моно-, ди- та полігібридне схрещування? 2. Для чого застосовують аналізуюче схрещування? 3. З якою метою використовують генеалогічний метод? 4. Охарактеризуйте цитогенетичний метод. 5. Для чого в гене-

У генетичних дослідженнях використовують різні методи, основними серед яких є гібридологічний, генеалогічний, цитогенетичний, популяційно-статистичний, біохімічні, близнюковий, дерматогліфіки тощо.

Генотип гібридних особин може бути визначений за допомогою аналізуючого схрещування: схрещування особини з домінантним фенотипом (генотип якої потрібно встановити) з особиною, гомозиготною за рецесивним алелем.



Мал. 157. Приклади різних варіантів ознак, властивих гороху посівному: А. Насіння: 1 – гладенька або зморшкувата поверхня; 2 – жовте або зелене забарвлення; Б. Квітки: 3 – фіолетове або біле забарвлення віночка; В. Плоди: 4 – боби опуклі або з перетяжками; 5 – боби зеленого або жовтого кольору; Г. Стебло: 6 – довге або коротке

**Запам'ятаємо:** чисті лінії – це генотипово однорідні нащадки однієї особи, гомозиготні за досліджуваними генами. Їх отримують унаслідок самозапилення рослин або близькоспорідненого схрещування тварин упродовж кількох поколінь.

тичних дослідженнях використовують популяційно-статистичний, близнюковий, біохімічні методи? 6. На чому базуються методи генної інженерії?

**Поміркуйте**

Двоє однайцевих близнюків – чоловіків узяли шлюб з однайцевими близнюками – жінками. Чи будуть діти від кожного шлюбу так само схожі між собою, як ідентичні близнюки? Відповідь поясніть.

### Навчальний проект:

Складання власного родоводу або родоводу родини видатних людей та демонстрація успадкування певних ознак (за вибором учня).

## §31. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ, ЯКІ ВСТАНОВИВ Г. МЕНДЕЛЬ. СТАТИСТИЧНИЙ ХАРАКТЕР ЗАКОНІВ СПАДКОВОСТІ ТА ЇХНІ ЦИТОЛОГІЧНІ ОСНОВИ

*Пригадайте*, які варіанти ознак називають домінантними, а які – рецесивними. Що таке генотип і фенотип? Які набори хромосом називають «гаплоїдним», «диплоїдним» і «поліплоїдним»? Яке схрещування відносять до моно-, ди- та полігібридного? У чому полягає гібридологічний метод генетичних досліджень? Для чого застосовують аналізуюче схрещування? Як відбувається мейотичний поділ і гаметогенез?

Основні закономірності спадковості встановив видатний чеський учений Грегор Мендель. Як це інколи буває, геніальні ідеї вченого дещо випередили свій час. Адже коли він проводив свої дослідження, ще нічого не було відомо про гени, хромосоми, механізми розподілу спадкового матеріалу під час поділу клітини.

**Що досліджував Г. Мендель?** Для своїх генетичних досліджень Г. Мендель вибрав дуже вдалий об'єкт – горох посівний – рослину з родини Бобові. *По-перше*, багато сортів цієї культурної рослини відрізняються варіантами певних спадкових ознак (забарвленням насіння, віночка квіток, довжиною стебла, структурою поверхні насіння тощо) (мал. 157). *По-друге*, життєвий цикл гороху посівного досить короткий, що дає можливість простежити передачу спадкової інформації нащадкам протягом багатьох поколінь. Крім того, горох посівний – рослина, здатна до самозапилення. Тому нащадки кожної особи, яку розмножували за допомогою самозапилення, є прикладами чистих ліній. Горох посівний можна запилювати й перехресно. Це дає змогу здійснювати гібридизацію чистих ліній (*поміркуйте*, як можна запобігти самозапиленню квіткових рослин).

Попередники Г. Менделя також намагалися простежити успадкування різних варіантів ознак досліджуваних організмів, але успіху не досягли. На відміну від них, Г. Мендель сконцентрував свою увагу не на всьому комплексі різноманітних спадкових ознак, а лише на окремих.

Ще одна особливість дослідів Г. Менделя – це чистота наукового досліду. Перед тим як схрещувати рослини, він переконувався, що має справу із чистими лініями. Крім того, результати досліджень Г. Менделя обробляв статистично, підраховуючи в кожному поколінні гібридів

кількість нащадків з тими чи іншими варіантами ознак (*пригадайте*, як називають ці методи). Це дало змогу встановити закономірності передачі різних варіантів спадкових ознак у ряді поколінь гібридів, які розмножувалися статевим шляхом.

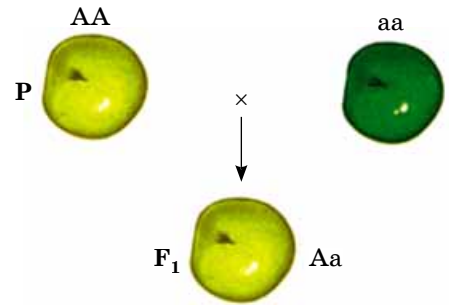
**Які закономірності успадкування ознак установив Г. Мендель?** Свої дослідження Г. Мендель розпочав з **моногібридного схрещування**: він схрестив між собою дві чисті лінії гороху посівного, які відрізнялися за кольором насіння – відповідно жовтого та зеленого кольорів (P – батьківські форми). Насіння, яке утворювали нащадки, отримані внаслідок такого схрещування (F<sub>1</sub> – гібриди першого покоління), виявилось одноманітним – жовтого кольору (мал. 158). Так Г. Мендель встановив **закон одноманітності гібридів першого покоління**: у фенотипі гібридів першого покоління проявляється лише один з двох варіантів ознаки, а саме – домінантний. Цю закономірність ще називають **законом домінування**.

Потім Г. Мендель вирощував рослини з насіння, отриманого від гібридів першого покоління, і схрещував їх між собою. Їхні нащадки (гібриди другого покоління – F<sub>2</sub>) утворили 8023 насінини, з яких 6022 були жовтого кольору, а 2001 – зеленого. Таким чином, серед насіння, утвореного гібридами другого покоління, знову з'явилися насінини зеленого кольору (рецесивний варіант ознаки), які становили приблизно 1/4 від загальної кількості насіння, тоді як частка насіння жовтого кольору (домінантний варіант ознаки) складала приблизно 3/4.

Г. Мендель здійснив такі самі досліди і з вивчення успадкування інших ознак й отримав подібні результати. Цю закономірність названо **законом розщеплення**: при схрещуванні гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігають **явище розщеплення ознак**: у фенотипі 1/4 гібридів другого покоління проявляється рецесивний, а 3/4 – домінантний варіанти ознак (мал. 159).

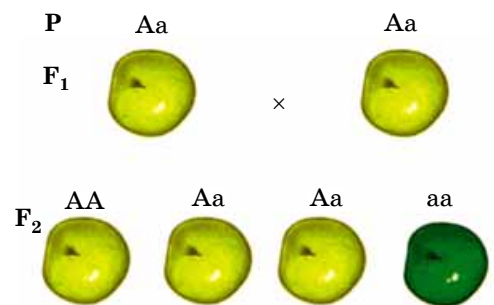
Г. Мендель простежив за успадкуванням домінантного й рецесивного варіантів ознак і в наступних поколіннях гібридів (мал. 160). Він звернув увагу на той факт, що з насіння зеленого кольору виростили рослини, які в разі самозапилення утворювали насіння лише зеленого кольору. А рослини, які проросли з насіння жовтого кольору, «поводили себе» по-різному: 1/3 з них при самозапиленні утворювала насіння лише жовтого кольору, а 2/3 формували насіння як жовтого, так і зеленого кольорів, у співвідношенні 3 : 1. Таким чином, насіння жовтого кольору, хоча й подібне за фенотипом, але може розрізнятися за генотипом. Натомість насіння, у фенотипі якого проявився рецесивний варіант ознаки (зелений колір), подібне за генотипом. Отже, серед насінин з домінантним варіантом ознаки траплялися як гомозиготні, так і гетерозиготні особини.

У подальших дослідженнях Г. Мендель ускладнив умови проведення дослідів: він обрав рослини, які відрізнялися різними варіантами двох (**дигібридне схрещування**) або більшої кількості (**полігібридне схрещування**) досліджуваних спадкових ознак. Зокрема, він схрестив між собою чисті лінії гороху посівного, представники яких формували жовте насіння з гладенькою поверхнею та зе-



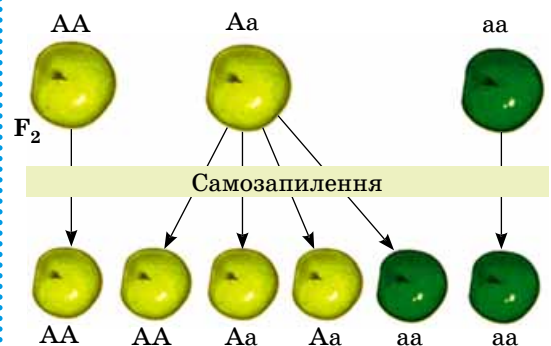
Мал. 158. Моногібридне схрещування: прояв закону одноманітності гібридів першого покоління

**Запам'ятаємо:** схрещуючи чисті лінії гороху між собою, Г. Мендель отримав гетерозиготні (гібридні) форми. Отже, він застосував **гібридологічний метод дослідження**.



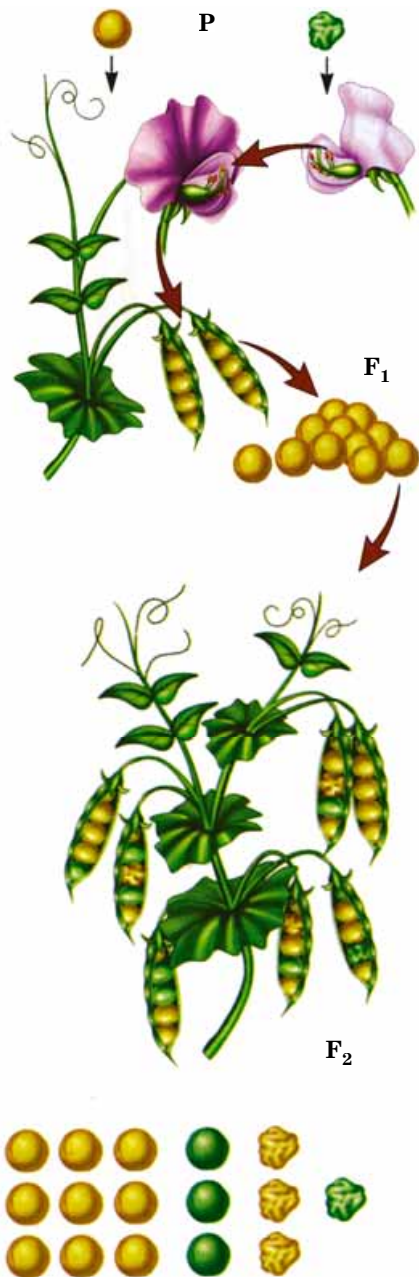
Мал. 159. Прояв закону розщеплення

**Запам'ятаємо:** розщеплення – це прояв обох варіантів ознаки (як домінантного, так і рецесивного) у нащадків гібридних особин.



Мал. 160. Розщеплення за генотипом та фенотипом серед нащадків другого покоління гібридів гороху посівного в разі самозапилення





Мал. 161. Прояв закону незалежного комбінування ознак. Розщеплення за фенотипом ознак гороху посівного (колір та структура поверхні насінини) в разі дигібридного схрещування у гібридів другого покоління ( $F_2$ )

**Запам'ятаємо:** алелі певного гена під час поєднання у зиготі після запліднення не змішуються, а передаються наступному поколінню у «чистому» вигляді.

лене – зі зморшкуватою (мал. 161). Отримані гібриди першого покоління ( $F_1$ ) утворювали лише насіння жовтого кольору з гладенькою поверхнею (домінантні варіанти обох досліджуваних ознак). Таким чином, Г. Мендель спостерігав прояв закону одноманітності гібридів першого покоління.

Схрестивши гібриди першого покоління між собою, Г. Мендель виявив серед гібридів другого покоління ( $F_2$ ) чотири фенотипові групи в таких співвідношеннях: приблизно 9 частин рослин утворювали насіння жовтого кольору з гладенькою поверхнею (315 насінин), 3 частини – жовтого кольору зі зморшкуватою поверхнею (101 насінина), ще 3 частини – зеленого кольору з гладенькою поверхнею (108 насінин), а 1 частина – зеленого кольору зі зморшкуватою поверхнею (32 насінини). Таким чином, гени, які визначають забарвлення насіння та характер його поверхні, успадковуються незалежно. Але звідки у гібридів другого покоління з'явилися нові варіанти фенотипів, не властиві батьківським формам?

Щоб пояснити отримані результати, Г. Мендель простежив успадкування різних варіантів кожної з двох ознак окремо. Співвідношення насіння різного кольору, яке утворювали гібриди другого покоління, виявилось таким: приблизно 12 частин насіння мало жовтий колір, а 4 – зелений. Тобто розщеплення за ознакою кольору, як і в разі моногібридного схрещування, становило 3 : 1. Те саме він спостерігав і при розщепленні за ознакою характеру поверхні насіння: приблизно 12 частин насіння мало гладеньку поверхню, а 4 – зморшкувату. Таким чином, розщеплення за ознакою характеру поверхні насіння також було 3 : 1.

На підставі отриманих результатів Г. Мендель сформулював **закон незалежного комбінування ознак**: при ди- або полігібридному схрещуванні розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від інших. Тобто дигібридне схрещування за умови, що один з алельних генів повністю домінує над іншим, становить, по суті, два моногібридних, які ніби накладаються одне на одне, тригібридне – три і т. д.

**Які цитологічні основи і статистичний характер законів спадковості?** Гіпотезу, яку запропонував Г. Мендель, згодом було підтверджено експериментально. Згідно з нею, гамети гібридного (гетерозиготного) диплоїдного організму «чисті», тобто кожна з його гамет має лише один алель певного гена і не може одночасно нести два чи більшу їх кількість. Ці погляди Г. Менделя розвинув англійський генетик У. Бетсон (див. мал. 146, 5). Їх названо **законом (гіпотезою) чистоти гамет**.

Гомозиготна особина формує лише один тип статевих клітин (вони мають лише домінантний або лише рецесивний алель певного гена), тоді як гетерозиготна – два типи в рівних кількостях (50 % з домінантним алелем певного гена і 50 % – з рецесивним). За допомогою малюнка 162 простежимо за «поведінкою» гомологічних хромосом під час моногібридного схрещування гомозиготних особин гороху посівного. Одна із цих особин гомозиготна за домінантним алелем, інша – за рецесивним.

Для спрощення припустімо, що такі особини мають лише одну пару гомологічних хромосом (тобто кількість

хромосом у диплоїдному наборі дорівнює двом:  $2n = 2$ ), а кожна з них містить лише один ген. Хромосома з домінантним алелем (**A**) позначена на малюнку жовтим кольором, а з рецесивним (**a**) – зеленим. Нащадки, отримані від схрещування гомозиготних за домінантним і рецесивним алелями особин (гібриди першого покоління), будуть гетерозиготними (їхній генотип – **Aa**). Це пояснюють тим, що одну хромосому з домінантним алелем вони отримують від одного з батьків, а іншу, з рецесивним – від іншого. Отже, такі рослини будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом.

Унаслідок схрещування гібридів першого покоління між собою в їхніх нащадків (гібридів другого покоління) можливі три варіанти генотипів: четверта їхня частина матиме хромосоми лише з домінантними (гомозиготи за домінантним алелем – **AA**), половина – одну хромосому з домінантним, другу – з рецесивним (гетерозиготи – **Aa**) і чверть – хромосоми лише з рецесивними (гомозиготи за рецесивним алелем – **aa**) алелями. За фенотипом 3/4 насіння, яке утворюють гібриди другого покоління, матимуть жовте забарвлення (гомозиготи за домінантним алелем і гетерозиготи), а 1/4 – зелене (гомозиготи за рецесивним алелем).

Запишемо за допомогою решітки Пеннета хід схрещування батьківських особин, гомозиготних за домінантним та рецесивним алелями:

♀/♂	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

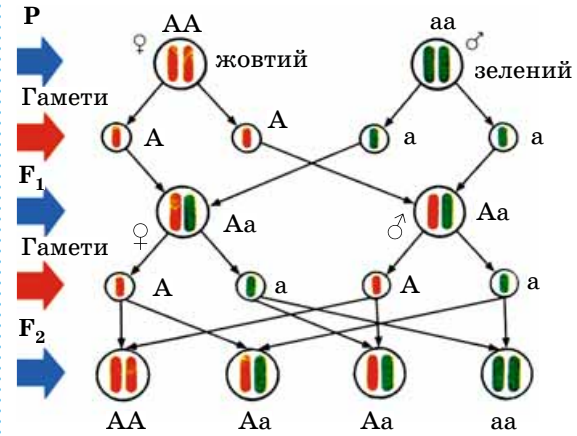
Результати схрещування між собою гібридів першого покоління будуть такими:

♀/♂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Таким чином, серед гібридів другого покоління можливе утворення трьох варіантів генотипу: **AA**, **Aa** та **aa**. За умови повного домінування домінантного алеля над рецесивним вони визначатимуть два варіанти фенотипу.

Так само можна продемонструвати й цитологічні основи та статистичний характер закону незалежного комбінування ознак. Уявімо собі, що в диплоїдному наборі рослина має дві пари гомологічних хромосом ( $2n = 4$ ), кожна з яких несе лише один ген (мал. 163).

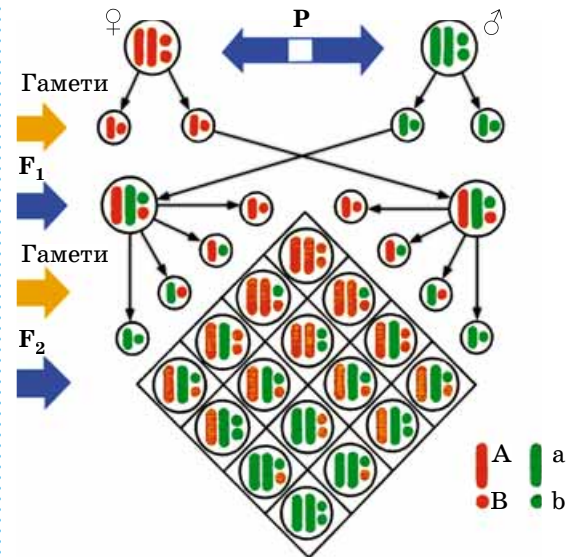
Припустімо, що материнська рослина має хромосоми лише з домінантними алелями генів забарвлення і структури поверхні насіння, а батьківська – лише з відповідними рецесивними. Під час схрещування батьківських форм усі нащадки (гібриди першого покоління) будуть гетерозиготними за генами забарвлення і структури насіння і формуватимуть чотири сорти гамет у рівних кількостях. При цьому в двох з них алельні гени будуть поєднані так само, як і в гаметах вихідних батьківських



Мал. 162. Цитологічні основи моногібридного схрещування. **Завдання.** Прослідкуйте за тим, як різні алелі певного гена розходяться до різних гамет

**Запам'ятаємо:** статистичний характер закону розщеплення визначається рівною ймовірністю зустрічей гамет різних типів.

**Запам'ятаємо:** нащадки, отримані внаслідок схрещування особин, гомозиготних за домінантним і рецесивним алелями, одноманітні: вони є гетерозиготами.



Мал. 163. Цитологічні основи незалежного комбінування варіантів ознак при дигібридному схрещуванні: хромосоми, що несуть домінантний алель, – жовтого кольору, рецесивний – зеленого. **Завдання.** Прослідкуйте за тим, як алелі різних неалельних генів розходяться до різних гамет



### Запам'ятаємо: рекомбінація

(від лат. *re* – префікс, який означає поновлення, повторення дій, і *комбінація* – сполучення) – це нові варіанти поєднання алелів різних генів у гаметах гібридів, які відрізняються від їхніх поєднань у гаметах батьків. Рекомбінації є одним з джерел спадкової мінливості організмів (мова про яку піде далі).



### Коротко про головне

Г. Мендель проводив свої досліди із гібридизації на горосі посівному. Він установив основні закони спадковості. Закон одноманітності гібридів першого покоління (закон домінування) твердить про те, що: у фенотипі гібридів першого покоління проявляється лише один з двох варіантів ознаки, а саме – домінантний. Закон розщеплення: при схрещуванні гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігають явище розщеплення ознак – у фенотипі 1/4 гібридів другого покоління проявляється рецесивний, а 3/4 – домінантний варіанти ознак. Закон незалежного комбінування ознак: при ди- або полігібридному схрещуванні розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від інших.

Цитологічні основи та статистичний характер законів спадковості Г. Менделя пояснює закон чистоти гамет: гамети гібридного (гетерозиготного) диплоїдного організму «чисті», тобто кожна з його гамет має лише один алель певного гена і не може одночасно нести два чи більшу їх кількість. Це відбувається тому, що під час мейотичного поділу гомологічні хромосоми розходяться до різних клітин і в нормі не можуть потрапити до однієї клітини.

форм, а у двох інших – у нових комбінаціях (рекомбінаціях).

### Ключові терміни та поняття:

чисті лінії, рекомбінація, закони одноманітності гібридів першого покоління, розщеплення, незалежного комбінування ознак, чистоти гамет.

### Перевірте здобуті знання

1. Як створюють чисті лінії? 2. Сформулюйте закон одноманітності гібридів першого покоління. Чи справджується він при ди- чи полігібридному схрещуванні? 3. Про що говорить закон розщеплення? 4. Сформулюйте закон незалежного комбінування ознак. 5. Про що говорить закон чистоти гамет? 6. У чому полягає статистичний арактер законів спадковості? 7. Які цитологічні основи законів спадковості? 8. У чому полягає біологічне значення рекомбінацій?

### Поміркуйте

Один зі способів нестатевого розмноження – вегетативний. Поміркуйте, чому за такого типу розмноження не спостерігають розщеплення ознак у потомстві.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

### Складання схем схрещування

**Мета:** розв'язуючи типові задачі з генетики (моно- та ди-гібридне схрещування), навчитися складати схеми схрещування.

#### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** У помідорів алель, який визначає кулясту форму плодів (**A**), домінує над алелем, який визначає грушоподібну (**a**). Від схрещування рослин, які утворюють кулясті плоди, утворилося 489 кущів, які утворювали кулясті плоди, та 183, що формували грушоподібні плоди. Визначте генотипи батьківських форм та нащадків.

#### Алгоритм розв'язування задачі на моногібридне схрещування

1. Оскільки при схрещуванні помідорів, які утворювали кулясті плоди, отримано нащадків, які формували як кулясті, так і грушоподібні, ми можемо зробити припущення, що ці рослини були гетерозиготними (їхній генотип – **Aa**).

2. Аналізуємо характер розщеплення серед гібридів першого покоління ( $F_1$ ): 489 кущів, які утворювали кулясті плоди (домінантний фенотип), та 183 кущі, які формували грушоподібні плоди (рецесивний варіант), це приблизно 3 : 1.

Записуємо хід схрещування:

<b>P (батьки)</b>	♀ <b>Aa</b>	×	♂ <b>Aa</b>
<b>Гамети</b>	<b>A a</b>		<b>A a</b>
<b>F<sub>1</sub> (гібриди першого покоління)</b>	<b>AA Aa</b>		<b>Aa aa</b>

**Запам'ятаємо:** першим записують домінантний алель, потім – рецесивний.

Те саме записуємо за допомогою решітки Пеннета:

♀ / ♂	<b>A</b>	<b>a</b>
<b>A</b>	AA	Aa
<b>a</b>	Aa	aa

3. **Робимо висновок:** такий характер розщеплення (згідно із законом розщеплення) спостерігають при схрещуванні гетерозиготних особин (**Aa** × **Aa**).





Схрестили дві чисті лінії: рослини з високим стеблом і кулястими плодами та рослини з низьким стеблом і грушоподібними плодами. Усі гібриди першого покоління мали високе стебло та утворювали кулясті плоди. При схрещуванні гібридів першого покоління отримали 4893 нащадки. Визначте, які варіанти генотипів і фенотипів зустрічатимуться серед гібридів другого покоління. Які співвідношення фенотипів (у відсотках) спостерігатимуть серед гібридів другого покоління?

**Задача 6.** У кролів алелі, які визначають коротке хутро та вертикальне положення вух, домінують над тими, що відповідають за видовжене («ангорське») хутро та висячі вуха. Обидва гени розташовані в негомологічних хромосомах та успадковуються незалежно.

1. Від схрещування самця зі стоячими вухами й короткою шерстю та висловухої самки з ангорським хутром приблизно 25 % нащадків I покоління мали стоячі вуха та ангорське хутро, 25 % – висячі вуха та коротке хутро, 25 % – стоячі вуха та коротке хутро, 25 % – висячі вуха та ангорське хутро. Визначте генотипи батьків і нащадків.

2. Від схрещування самців зі стоячими вухами й короткою шерстю та висловухих самок з ангорським хутром отримали нащадків зі стоячими вухами та короткою шерстю. При схрещуванні гібридів I покоління 10 нащадків мали стоячі вуха та коротке хутро, 4 – стоячі вуха та ангорське хутро, 3 – висячі вуха та коротке хутро, 2 – висячі вуха та ангорське хутро. Визначте генотипи батьків і гібридів першого та другого покоління.

**Задача 7.** У гороху посівного червоне забарвлення віночка домінує над білим, а довге стебло – над коротким. Селекціонери схрестили дві лінії гороху, одна з яких мала червоне забарвлення віночка та коротке стебло, друга – біле забарвлення віночка та довге стебло. Серед гібридів I покоління 4672 рослини мали червоне забарвлення віночка та довге стебло, а 4421 – червоне забарвлення віночка та коротке стебло.

1. Визначте генотипи батьківських форм.

2. Якими будуть генотипи нащадків, отриманих від схрещування гібридів першого покоління між собою?

 **Запам'ятаємо:** гени однієї хромосоми утворюють окрему **групу зчеплення**.

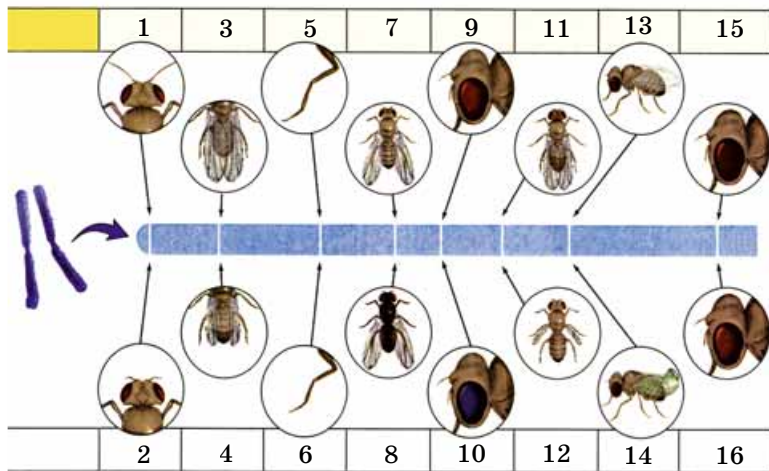
## §32. ЯВИЩЕ ЗЧЕПЕНОГО УСПАДКУВАННЯ. ХРОМОСОМНА ТЕОРІЯ СПАДКОВСТІ

*Пригадайте*, що таке кросинговер та аналізуюче схрещування. Що таке проміжний характер успадкування, кодомінантність і летальні алелі? Які хромосоми називають «гомологічними» й «негомологічними»? Як відбувається мейоз? Яка будова молекул ДНК?

Учені, намагаючись повторювати досліди Г. Менделя на різних організмах (не тільки на рослинах, а й на тваринах), часто спостерігали варіанти розщеплення, які не відповідали очікуванню згідно зі встановленими ним законами спадковості. Деякі з причин цього ми згадували раніше: це проміжний характер успадкування, кодомінантність, вплив летальних алелів. Крім того, однією з основних причин відхилень варіантів розщеплення від передбачених законами спадковості є **явище зчепленого успадкування**.

**У чому проявляється явище зчепленого успадкування?** *Пригадайте:* закон незалежного комбінування ознак базується на таких положеннях:

- розвиток різних варіантів ознак зумовлений алельними генами, які розташовані в однакових локусах у гомологічних хромосомах;
- гамети та інші гаплоїдні клітини, які мають по одній хромосомі з кожної пари гомологічних хромосом, несуть лише один алельний ген з певної їхньої кількості;
- гени, які контролюють розвиток ознак, що успадковуються незалежно, розташовані в негомологічних хромосомах.



Мал. 164. Група зчеплення, позначена на генетичній карті хромосоми дрозофіли (цифрами позначені відповідні алельні гени): 1 – довгі вусики; 2 – короткі вусики; 3 – довгі крила; 4 – короткі крила; 5 – довгі лапки; 6 – короткі лапки; 7 – сіре тіло; 8 – чорне тіло; 9 – червоні очі; 10 – фіолетові очі; 11 – нормальні крила; 12 – редуковані крила; 13 – рівні крила; 14 – вигнуті крила; 15 – червоні очі; 16 – коричневі очі

Кількість спадкових ознак організмів значно перевищує кількість їхніх хромосом у гаплоїдному наборі. Наприклад, у гаплоїдному наборі мухи дрозофіли усього чотири хромосоми, а кількість структурних генів, які визначають різні спадкові ознаки, становить близько 10 тис. Відповідно, у кожній хромосомі є не один, а багато генів. Таким чином, одночасно з ознаками, які успадковуються незалежно одна від одної, існують і такі, які успадковуються зчеплено, оскільки контролюються генами, розташованими в одній хромосомі.

На малюнку 164 наведено частину генетичної карти хромосоми мухи дрозофіли з позначенням груп зчеплення. Кількість таких груп в організмів певного виду дорівнює кількості нестатевих хромосом (аутосом) і типів статевих хромосом. Наприклад, у самки дрозофіли кількість груп зчеплення становить 4, тоді як у самців – 5 (оскільки X- та Y-хромосоми відрізняються за набором генів). Так само у жінок кількість груп зчеплення становить 23, а у чоловіків – 24.

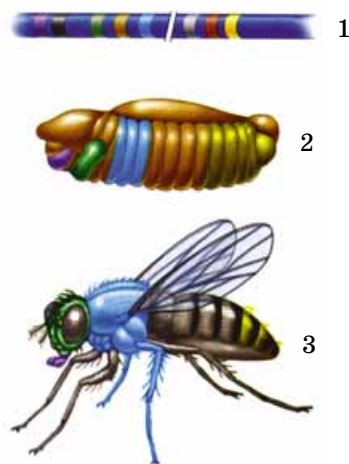
Явище зчепленого успадкування досліджував видатний американський генетик **Т.Х. Морган** (мал. 165). Як свого часу Г. Мендель, Т.Х. Морган вдало обрав об'єкт для експериментів – муху дрозофілу (мал. 166). Цих комах легко утримувати в лабораторіях, для них характерні висока плодючість і швидка зміна поколінь (за оптимальних умов утримання нове покоління з'являється кожні півтора-два тижні), невелика кількість хромосом (у диплоїдному наборі – 8). Оскільки дрозофіла розвивається з повним перетворенням, є можливість вивчати активність генів на різних фазах розвитку.

Явище зчепленого успадкування Т.Х. Морган довів за допомогою такого досліду (мал. 167). Самців дрозофіли, гомозиготних за домінантними алелями забарвлення тіла (сіре) і форми крил (нормальна), він схрестив із самками, гомозиготними за рецесивними алелями відповідних ге-



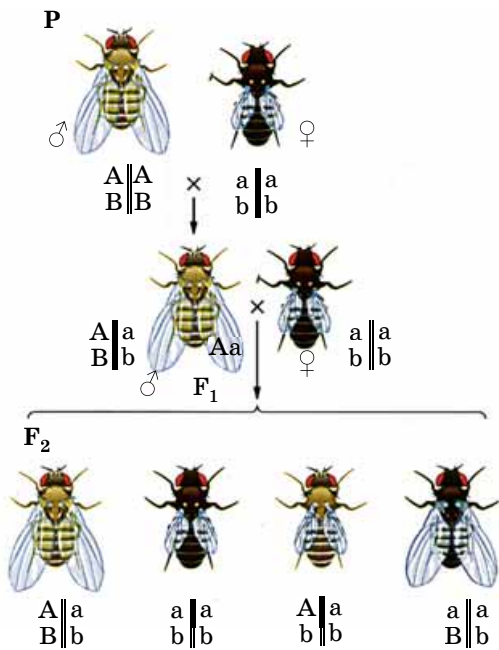
Мал. 165. **Томас Хант Морган** (1866–1945): американський генетик, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини 1933 року «За відкриття, пов'язані з роллю хромосом у спадковості». Т. Х. Морган та його учні обґрунтували хромосомну теорію спадковості; встановили закономірності розташування генів у хромосомах; сприяли з'ясуванню цитологічних механізмів законів Г. Менделя

**Запам'ятаємо:** генетичними картами хромосом називають схеми, на яких показано порядок розташування генів у хромосомі та відносні відстані між ними. Такі карти мають не тільки теоретичний інтерес, а й широке використання у селекції та генній інженерії.



Мал. 166. Дрозофіла – класичний об'єкт генетичних досліджень: 1 – ділянка хромосоми; 2 – лялечка; 3 – доросла комаха (кольорами схематично показано гени й ознаки, розвиток яких вони визначають)





Очікувані результати			
25 %	25 %	25 %	25 %
Одержані результати			
41,5 %	41,5 %	8,5 %	8,5 %

Мал. 167. Зчеплене успадкування деяких ознак (забарвлення тіла та форми крил) у дрозофіли

## Цікаво знати

Відстань між двома генами однієї хромосоми вимірюють у **сантиморганах** (скорочено – **сМ**) (цю одиницю виміру названо на честь Т.Х. Моргана): 1 сантиморган відповідає такій відстані між двома генами, за якої процес кросинговеру відбувається в 1 гаметі з кожної сотні, тобто з імовірністю 1 % (1 сМ = 1 %). Слід зазначити, що за відстані в 50 морганід і більше гени успадковуються незалежно, так, наче вони розташовані в негомологічних хромосомах.

**Запам'ятаємо:** кросинговер є одним з джерел спадкової мінливості – комбінативної.

нів (чорне забарвлення тіла й недорозвинені крила). Усі гібриди першого покоління, отримані від такого схрещування, були гетерозиготними за обома генами, мали сіре забарвлення тіла і крила нормальної форми. Щоб з'ясувати генотип гібридів першого покоління, Т.Х. Морган застосував аналізуюче схрещування: схрестив їх з особинами, гомозиготними за рецесивними алелями відповідних генів.

**Теоретично** серед нащадків, отриманих від такого схрещування, можна було очікувати два варіанти розщеплення. Якби гени, що визначають забарвлення тіла і форму крил, були розташовані в негомологічних хромосомах, тобто успадковувалися незалежно, розщеплення мало бути таким: 25 % особин із сірим тілом і нормальною формою крил, 25 % – із сірим тілом і недорозвиненими крилами, 25 % – із чорним тілом і нормальними крилами і 25 % – із чорним тілом і недорозвиненими крилами (тобто в співвідношенні 1 : 1 : 1 : 1). Але якби ці гени були розташовані в одній хромосомі й успадковувалися зчеплено, то серед нащадків можна було б очікувати 50 % особин із сірим тілом і нормальною формою крил і 50 % – із чорним тілом і недорозвиненими крилами (тобто у співвідношенні 1 : 1).

**Практично** отримані результати були такими: 41,5 % нащадків мали сіре тіло і нормальну форму крил, 41,5 % – чорне тіло і недорозвинені крила, 8,5 % – сіре тіло і недорозвинені крила і 8,5 % – чорне тіло і нормальну форму крил. Отримане внаслідок аналізуючого схрещування розщеплення за фенотипами, подібними до батьківських форм, наближувалося 1 : 1 (як у разі зчепленого успадкування). Але серед нащадків були й два інші варіанти фенотипів, які можна було б очікувати тоді, коли б гени забарвлення тіла і форми крил розташовувалися в негомологічних хромосомах та успадковувалися незалежно. Проте їхня кількість була занадто малою.

Як Т.Х. Морган пояснив отримані результати? Він припустив, що гени, які визначають забарвлення тіла мух і форму їхніх крил, розташовані в одній хромосомі, тож успадковуються зчеплено. Але під час утворення статевих клітин, у процесі мейозу, гомологічні хромосоми здатні обмінюватися своїми гомологічними ділянками (*явище кросинговеру*) (див. мал. 116). Кросинговер підсилює мінливість, забезпечуючи утворення нових варіантів поєднань алелів. При цьому можливий обмін декількома алельними генами або ділянками одного гена, обох або однієї нитки ДНК.

Дослідження кросинговеру дали можливість виявити закономірності, які стали підґрунтям для хромосомної теорії спадковості:

- гени розташовані в хромосомі по її довжині в лінійному порядку, тобто один за одним;
- різні хромосоми мають неоднакові набори генів, тобто кожна з негомологічних хромосом має свій унікальний набір генів;
- кожний ген розташований у хромосомі у певному місці – локусі; алельні гени займають у гомологічних хромосомах однакові локуси;
- усі гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення, завдяки чому відбувається зчеплене успадкування деяких ознак;



Однією з причин відхилення варіантів розщеплення, очікуваних згідно із законами спадковості, встановленими Г. Менделем, є явище зчепленого успадкування. Воно базується на тому, що гени однієї хромосоми утворюють окрему групу зчеплення. Явище зчепленого успадкування довів американський генетик Т.Х. Морган за допомогою дослідів на дрозофілі. Ці досліди лягли в основу створеної ним зі співробітниками хромосомної теорії спадковості.

Дослідження явища зчепленого успадкування дозволило створювати генетичні карти хромосом – схеми, на яких показано порядок розташування генів у хромосомі та відносні відстані між ними.

- сила зчеплення між двома генами, розташованими в одній хромосомі, обернено пропорційна відстані між ними; що більша ця відстань, то частіше відбувається кросинговер;

- у довгих хромосомах є гени, розташовані на їхніх різних полюсах; ознаки, які вони визначають, можуть успадковуватися незалежно, так само як і ознаки, що визначаються генами, розташованими в негомологічних хромосомах;

- частота кросинговеру між двома генами, розташованими в одній хромосомі, є величиною відносно постійною для кожної конкретної пари генів; утім, на неї можуть впливати деякі фактори зовнішнього і внутрішнього середовища (зміни в будові окремих хромосом, які ускладнюють або унеможливають процес кросинговеру, висока або низька температура, рентгенівські промені, деякі хімічні сполуки тощо); у деяких організмів виявлено залежність частоти кросинговеру від віку (наприклад, у дрозофіли) або статі (миші, кури);

- відносну постійність частоти кросинговеру між різними парами генів однієї групи зчеплення використовують як показник відстані між окремими генами, а також для визначення послідовності їх розташування в хромосомі. Зокрема, визначення частот кросинговеру між різними парами генів використовують для складання генетичних карт хромосом (див. мал. 164);

- зчеплення між генами однієї групи порушується внаслідок обміну ділянками гомологічних хромосом у профазі першого мейотичного поділу (процес кросинговеру).

**Яке значення хромосомної теорії спадковості?** Результати досліджень Т.Х. Моргана і його співробітників стали підґрунтям для створення *хромосомної теорії спадковості*. Вона багато в чому визначила подальший розвиток не лише генетики, а й біології в цілому. Ця теорія, зокрема, дала змогу з'ясувати матеріальну основу законів спадковості, встановлених Г. Менделем, і те, чому в певних випадках характер успадкування тих чи інших ознак від них відхиляється.

### Ключові терміни та поняття:

зчеплене успадкування, група зчеплення, хромосомна теорія спадковості.

### Перевірте здобуті знання

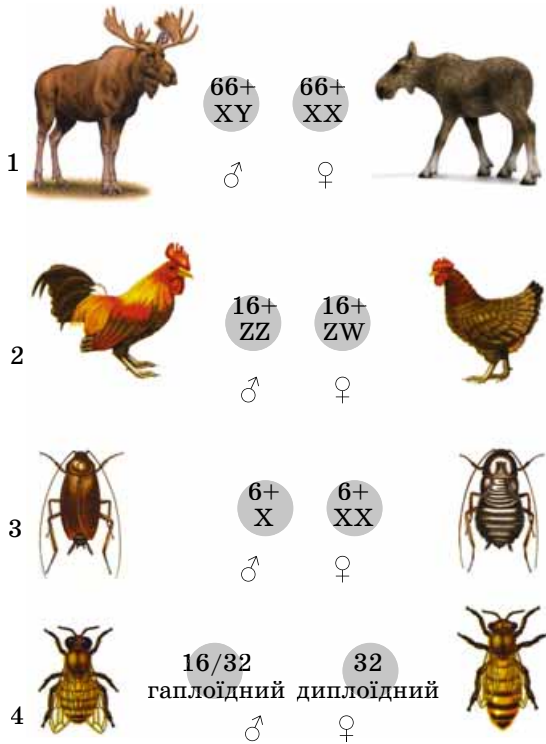
1. За яких умов виконується закон незалежного комбінування ознак? 2. Із чим пов'язане явище зчепленого успадкування ознак? 3. Чим визначається кількість груп зчеплення в організмів певного виду? 4. Яке біологічне значення кросинговеру? Які закономірності виявили вчені під час дослідження процесу кросинговеру? 5. Яке значення хромосомної теорії спадковості? 6. Як складають генетичні карти хромосом?

### Поміркуйте

1. Поясніть, як можна довести, що гени розташовані в хромосомі в лінійному порядку. 2. Дрозофіла стала класичним об'єктом для генетичних досліджень. Поміркуйте, які ще тварини могли б стати класичним об'єктом генетичних досліджень.

## Цікаво знати

В організмів, у яких гетерогаметна стать жіноча, статеві хромосоми мають інше умовне позначення: статеві хромосоми, які зустрічаються в обох статей, позначають літерою **Z**, а та, яка трапляється лише в гетерогаметній статі, – **W**.



Мал. 168. Механізм визначення статі тварин: 1 – X–Y у ссавців (і в людини, зокрема); 2 – Z–W у птахів; 3 – X–0 у деяких комах; 4 – гапло-диплоїдний у бджіл (спочатку в самців – трутнів – гаплоїдний набір хромосом (16), а потім число хромосом подвоюється (32))

## Цікаво знати

Слід зазначити, що генетичні основи визначення статі, навіть в організмів, у яких чоловіча стать гетерогаметна, можуть бути різними. Наприклад, у людини із зиготи з каріотипом 44 аутосоми та єдиною **X**-хромосомою (**X0**) розвивається жіночий організм з вадами фізичного та психічного розвитку. Такі жінки нездатні до розмноження. А ось у дрозофілі із зиготи, що має лише одну **X**-хромосому, розвиваються самці, також нездатні до розмноження.

## §33. ГЕНЕТИКА СТАТІ. УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ

*Пригадайте*, який каріотип у дрозофіли. Чим відрізняються хромосомні набори чоловіка й жінки? Що таке статеві хромосоми та аутосоми? Які рослини називають дводомними? Які статеві гормони утворюються в організмі людини?

Визначення статі організмів під час їхнього індивідуального розвитку – одна з найцікавіших проблем біології.

**Як визначається стать різних організмів?** Ще наприкінці XIX ст. учені звернули увагу на те, що хромосомні набори самців і самок різняться за будовою хромосом однієї з пар. У диплоїдних нестатевих клітинах самок багатьох видів тварин хромосоми всіх пар подібні за будовою, тоді як у самців хромосоми однієї з пар відрізняються за розмірами та особливостями будови. *Пригадайте*: такі хромосоми називають статевими, або **гетерохромосомами**. Наприклад, у самців дрозофіл одна зі статевих хромосом має паличкоподібну форму (**X**-хромосома), друга – гачкоподібну (**Y**-хромосома). У самок дрозофіл обидві статеві хромосоми мають однакову будову (**X**-хромосоми), тож їхній каріотип можна умовно позначити як **6A** (6 аутосом) + **XX** (дві X-хромосоми), а каріотип самців – **6A** + **XY** (символом «**A**» позначають нестатеві хромосоми – аутосоми, однакові за будовою в особин різної статі). Різні набори хромосом притаманні й дводомним рослинам.

Оскільки під час мейозу гомологічні хромосоми розходяться до різних гамет, то в особин однієї статі формується лише один тип гамет (**гомогаметна стать**; від грец. *гомойос* – однаковий і *гамете* – жінка або *гаметес* – чоловік), тоді як у особин протилежної – два (**гетерогаметна стать**; від грец. *гетерос* – інший).

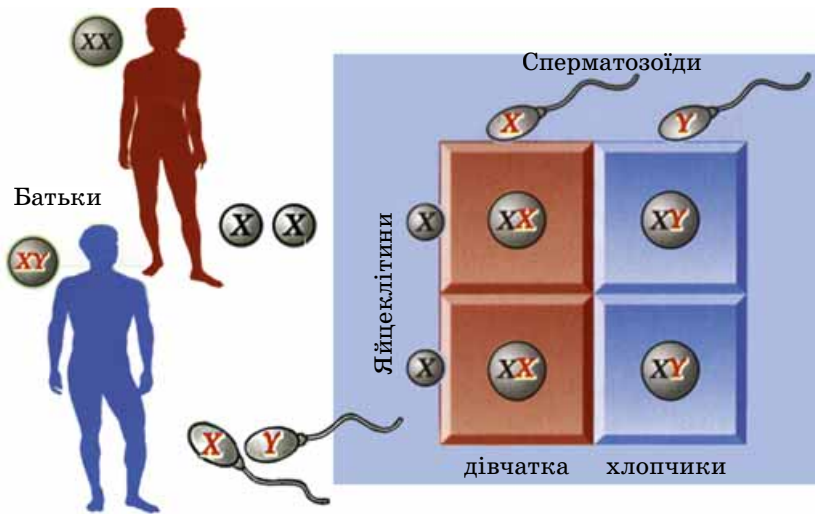
У багатьох організмів гомогаметною статтю є жіноча, а гетерогаметною – чоловіча (мухи, клопи, жуки, ссавці, більшість видів риб, деякі земноводні тощо), а в інших – навпаки (метелики, плазуни, птахи, деякі риби і земноводні) (мал. 168). У деяких видів особини різних статей відрізняються за кількістю статевих хромосом. Так, у коників або таргана чорного в диплоїдному наборі самки є обидві статеві хромосоми, а самця – лише одна.

Таким чином, у більшості роздільностатевих організмів стать майбутньої особини визначається в момент запліднення. Вона залежить від того, скільки і які зі статевих хромосом поєднуються в зиготі. Такий варіант визначення статі спостерігають, наприклад, у ссавців.

## Цікаво знати

У процесі розвитку статі у ссавців можна виділити два основні етапи. Хромосомний склад зиготи визначає, у якому напрямі розвиватимуться статеві залози. Якщо в каріотипі зиготи присутні **X**- та **Y**-хромосоми, статеві зачатки розвиватимуться у сім'яники. У свою чергу, сім'яники виділятимуть чоловічий статевий гормон тестостерон, який циркулює по зародку й зумовлює розвиток за чоловічим типом. Якщо в каріотипі зиготи поєдналися дві **X**-хромосоми, статеві зачатки розвиватимуться у яєчники. І такий зародок розвиватиметься в жіночий організм (мал. 169).





Мал. 169. Механізм визначення статі у людини. **Завдання.** Проаналізуйте малюнок і зверніть увагу на те, що ймовірність народження в родині хлопчика або дівчинки становить 50 %; але в родині, в яких народжуються виключно хлопчики або дівчатка; за допомогою вчителя спробуйте пояснити це явище

Існують й інші механізми визначення статі організмів. Наприклад, у деяких безхребетних тварин (коловерток, багатошестинкового черва – динофілюса тощо) стать майбутньої особини визначається ще до моменту запліднення. Ці тварини можуть утворювати яйцеклітини двох типів: великі, багаті на жовток, і дрібні, з невеликим запасом поживних речовин. З яйцеклітин першого типу розвиваються лише самки, а другого – самці.

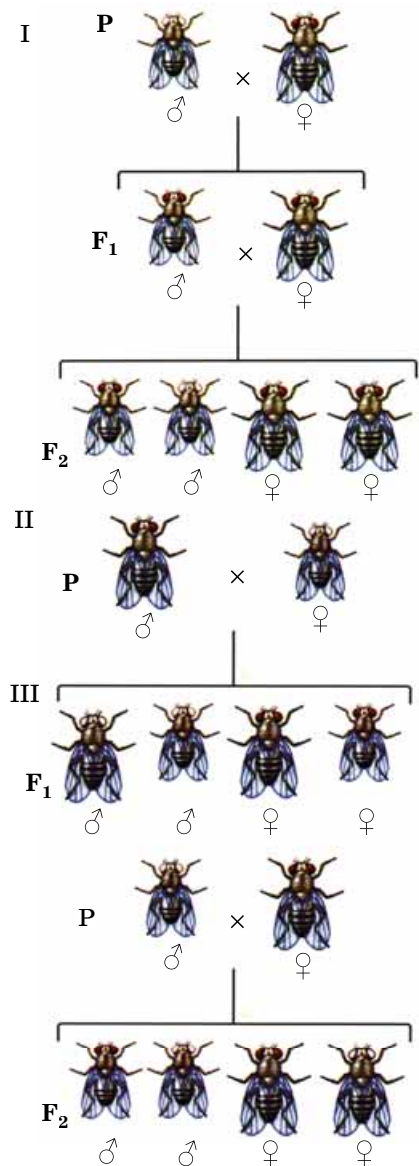
У деяких видів черепах, ящірок і крокодилів на формування статі впливає температура, за якої розвиваються яйця. У крокодилів та ящірок у разі підвищення температури доквілля з яєць вилуплюється більше самців, у черепах – самок.

У таких суспільних комах, як медоносні бджоли, джмелі, мурашки, стать залежить від кількості наборів хромосом зиготи. Самки цих комах утворюють яйця двох типів: запліднені й незапліднені (партеногенетичні). З незапліднених яєць розвиваються самці, а із запліднених – самки. Таким чином, самки мають диплоїдний набір хромосом, самці – спочатку гаплоїдний, але згодом кількість хромосом подвоюється.

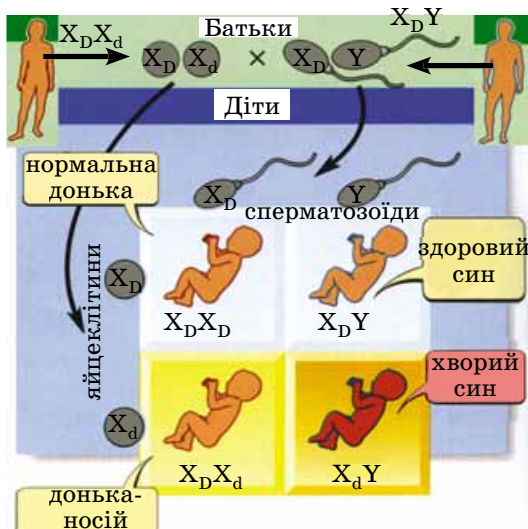
Існують деякі ознаки, на характер успадкування яких впливає стать організму. Це пояснюють неоднаковим складом генів, які містять X- та Y-хромосоми.

**Явище успадкування ознак, зчеплених зі статтю,** вивчав Т.Х. Морган. Він схрестив чисті лінії самок дрозофіли, які мали червоний пігмент очей, із самцями, які були його позбавлені (мали білі очі) (мал. 170. I). Усі гібриди першого покоління мали червоні очі. Серед гібридів другого покоління, отриманих унаслідок схрещування гібридів першого покоління між собою, усі самки мали червоні очі, тоді як половина самців мала червоні очі, а друга – білі. Одночасно він схрестив білооких самок із червоноокими самцями (мал. 170. II). Серед гібридів першого покоління спостерігали таке розщеплення за фенотипом: усі самки мали червоні очі, а всі самці – білі. При схрещуванні гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігали інший варіант розщеплення: 50 % особин кожної статі мали червоні очі, а інші 50 % – білі (мал. 170. III).

Такі результати двох варіантів схрещування Т.Х. Морган пояснив тим, що ген, який визначає пігментацію очей,



Мал. 170. Успадкування, зчеплене зі статтю, у дрозофіл. **Завдання.** Прослідкуйте за характером розщеплення за ознакою кольору очей при різних варіантах схрещування



Мал. 172. Механізм успадкування дальтонізму в людини (подібний механізм успадкування й такого захворювання, як гемофілія)

## Коротко про головне

У багатьох видів тварин особини різних статей розрізняються за набором однієї пари хромосом – статевих, або гетерохромосом. У багатьох організмів гомогаметною статтю є жіноча, а гетерогаметною – чоловіча (мухи, клопи, жуки, ссавці, більшість видів риб, деякі земноводні тощо), а в інших – навпаки (метелики, плазуни, птахи, деякі риби і земноводні). У деяких видів особини різних статей відрізняються за кількістю статевих хромосом (коники, таргани).

Оскільки під час мейозу гомологічні хромосоми розходяться до різних гамет, то в особин однієї статі формується лише один тип гамет (гомогаметна стаття), тоді як у особин протилежної – два (гетерогаметна стаття).

У більшості роздільностатевих організмів стаття майбутньої особини визначається в момент запліднення. Вона залежить від того, скільки і які зі статевих хромосом поєднуються в зиготі.

Явище успадкування ознак, зчеплених зі статтю, пов'язане з тим, що Х- та Y-хромосоми мають різний набір генів. Тому певні ознаки можуть проявлятися переважно в особин певної статі.

розташований у Х-хромосомі, а Y-хромосома його позбавлена й тому на успадкування цієї ознаки не впливає.

## Цікаво знати

У кішок зчеплено зі статтю успадковуються певні види забарвлення шерсті. Відомо, що коти ніколи не мають черепахового забарвлення (руді й чорні плями на білому тлі): вони мають або темні плями, або руді. Це пояснюють тим, що алельні гени, які визначають руде або чорне забарвлення шерсті, розташовані лише в Х-хромосомі. Жоден з алелів не домінує над іншим, тому кішки, гетерозиготні за цим геном, мають черепахове забарвлення шерсті (мал. 171).



Мал. 171. Визначення черепахового забарвлення у кішок: 1 – локалізація гена, який визначає забарвлення шерсті котів; 2 – кішка із черепаховим забарвленням шерсті

У людини зчеплено зі статтю успадковується майже 150 ознак, зокрема деякі захворювання (дальтонізм, гемофілія тощо). **Дальтонізм** (нездатність розпізнавати деякі кольори) визначається рецесивним алелем, розташованим у Х- і відсутнім у Y-хромосомі. Тому чоловік із цим алелем у Х-хромосомі завжди хворіє на дальтонізм. У жінок відповідне порушення сприйняття кольорів виявляється лише в особин, гомозиготних за рецесивним алелем. Гетерозиготні жінки фенотипово здорові, хоча і є носіями цього алеля (мал. 172). Так само успадковується і **гемофілія** (нездатність крові зсідатися, унаслідок чого людина може загинути навіть за незначних ушкоджень кровоносних судин). Рецесивний алель, який обумовлює це захворювання, передається з покоління в покоління гетерозиготними жінками-носіями.

## Ключові терміни та поняття:

гомо- та гетерогаметна стаття, явище успадкування, зчеплене зі статтю.

## Перевірте здобуті знання

1. Які можливі механізми визначення статі відомі в роздільностатевих організмів? 2. Яку стаття називають гетерогаметною, а яку – гомогаметною? 3. Чим визначається успадкування, зчеплене зі статтю? 4. Чим можна пояснити той факт, що гетерогаметна стаття менш життєздатна порівняно з гомогаметною? 5. Чому в популяціях особин однієї статі можуть кількісно переважати особини іншої? 6. Назвіть метод, за допомогою якого можна визначити стаття тварини, якщо самці й самки не розрізняються за особливостями будови.

## Поміркуйте

У людини спостерігають мутацію, за якої клітини містять лише одну Х-хромосому, тобто хромосомний набір дорівнює 45, а не 46. Чому не існує людей, які мають лише Y-хромосому, без Х-хромосоми? Відповідь поясніть.

### §34. ГЕНОТИП ОРГАНІЗМУ ЯК ЦІЛІСНА ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА

*Пригадайте*, що таке ген, геном, генетичний код, рекомбінація, транскрипція, кросинговер, мутації. У чому полягає автономія мітохондрій та пластид у клітині? Які гени називають структурними та регуляторними? Що таке плазмід, нуклеоїд?

Тривалий час, доки не було з'ясовано структуру нуклеїнових кислот і генетичний код, ген вважали неподільною одиницею спадкової інформації. Але згодом з'ясували, що мутації можуть зачіпати не цілісний ген, а лише певну його частину. Так само і під час кросинговеру гомологічні хромосоми можуть обмінюватися як цілісними генами, так і їхніми частинами. Мінімальна ділянка молекули нуклеїнової кислоти, яка може розділятися під час кросинговеру, становить усього 1–2 пари нуклеотидів.

Тривалий час у генетиці існувало правило, згідно з яким кожний ген визначає синтез одного певного білка («один ген – один білок»). Проте подальші дослідження показали, що відношення «ген–ознака» значно складніші, ніж здавалося раніше. Це пов'язано з явищами взаємодії неалельних генів і множинної дії генів.

**Як взаємодіють між собою неалельні гени?** Ми згадували такі варіанти взаємодії алельних генів: повне домінування, проміжний характер успадкування, кодомінантність. Але на формування певних варіантів ознак може впливати також взаємодія двох або більшої кількості неалельних генів. Така взаємодія може відбуватися у різних формах. Один з типів взаємодії неалельних генів проявляється в тому, що певний алель одного гена пригнічує прояв у фенотипі алеля іншого, неалельного, гена.

Інший поширений тип взаємодії неалельних генів полягає в тому, що для прояву у фенотипі певного варіанта ознаки необхідна взаємодія домінантних алелів двох або більшого числа неалельних генів. Так, фіолетове забарвлення плодів баклажана залежить від взаємодії домінантних алелів двох неалельних генів, завдяки чому утворюється пігмент антоціан. Якщо хоча б один із цих генів гомозиготний за рецесивним алелем, пігмент не утворюється і плоди формуються безбарвними. Подібне явище спостерігають і в запашного горошку, у якого домінантні алелі двох неалельних генів зумовлюють червоне забарвлення віночка. Але якщо хоча б один із цих генів гомозиготний за рецесивним алелем, віночок буде білим.

У тварин (наприклад, мишей, кролів) для формування певного забарвлення шерсті необхідна присутність домінантних алелів двох неалельних генів, один з яких визначає наявність пігменту, а другий – його розподіл по волосині. Так, у кролів синтез темного пігменту визначає домінантний алель *C*. Інший, неалельний, ген визначає характер розподілу пігменту по волосині. Якщо в генотипі кроля присутній домінантний алель цього гена (*A*), пігмент концентрується біля основи волосини й тварина має сіре забарвлення хутра. Якщо ж кріль гомозиготний за рецесивним алелем (генотипи – *ССаа*, *Ссаа*), то пігмент рівномірно розподіляється по волосині й забарвлення стає чорним. Якщо ген, який відповідає за синтез темно-

**Запам'ятаємо:** ген є цілісною функціональною одиницею спадковості, оскільки будь-які порушення його структури змінюють закодовану в ньому інформацію або призводять до її втрати.



Мал. 173. Курка породи леггорн

#### Цікаво знати

У курей породи леггорн (мал. 173) є ген, який визначає той чи інший варіант оперення: кури з генотипом *СС* або *Сс* повинні мати певне забарвлення оперення, тоді як з генотипом *сс* – біле. Але існує інший, неалельний, ген, домінантний алель якого пригнічує прояв іншого, неалельного, гена, що визначає забарвлення оперення. Тому кури, гомозиготні за домінантним алелем (*ii*) або гетерозиготні (*Ii*), мають біле забарвлення оперення, незважаючи на присутність домінантного алеля (*C*) іншого, неалельного, гена.

**Запам'ятаємо:** явище, за якого алелі одного гена пригнічують прояв у фенотипі алелів іншого, неалельного, гена, називають **епістазом** (від грец. *epistasis* – зупинка, перешкода).

#### Цікаво знати

У людини розвиток нормального слуху також визначається домінантними алелями двох неалельних генів, один з яких відповідає за нормальний розвиток завитки внутрішнього вуха, а другий – слухового нерва. Якщо хоча б один із цих генів гомозиготний за рецесивним алелем, людина глуха від народження.

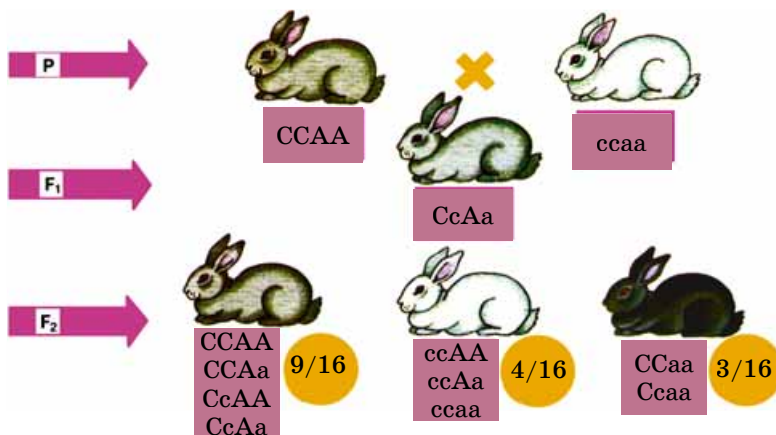
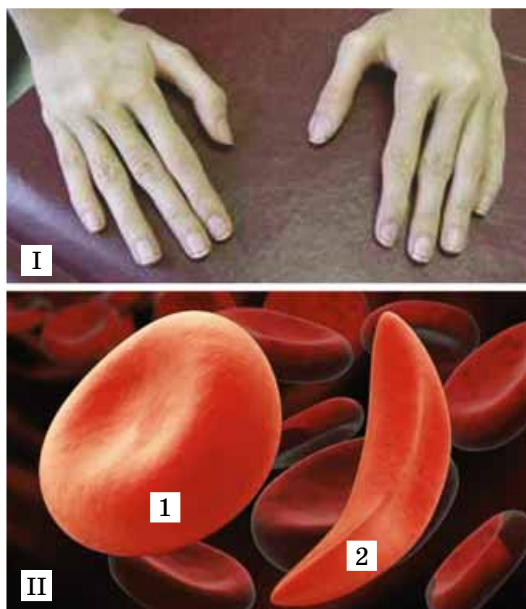


**Запам'ятаємо:** неалельні гени, домінантні алелі яких потрібні для формування варіанта ознаки, нехарактерної для кожного з них поодиноці, називають **комплементарними** (від лат. *комплемента* – доповнення).

**Запам'ятаємо:** **цитоплазматична**, або **позаядерна**, **спадковість** полягає в здатності певних структур цитоплазми зберігати й передавати нащадкам частину спадкової інформації батьків.

### Цікаво знати

У разі серпоподібноклітинної анемії рецесивний алель, який виник після мутації, зумовлює заміну одного амінокислотного залишку на інший під час синтезу поліпептидного ланцюга молекули гемоглобіну. Унаслідок цього у людини формуються еритроцити неправильної серпоподібної форми (мал. 175. II) і спостерігають порушення у серцево-судинній, травній, видільній і нервовій системах. Серпоподібноклітинна анемія поширена переважно в тих регіонах, де населення хворіє на малярію (наприклад, в Африці). При цьому хворі на серпоподібноклітинну анемію мають підвищену стійкість до зараження збудником малярії – малярійним плазмодієм.



Мал. 174. Взаємодія неалельних генів на прикладі формування забарвлення хутра в кролів

го пігменту, гомозиготний за рецесивним алелем, то пігмент не синтезується і народжуються білі особини (альбіноси; генотипи **ссAA**, **ссAa**, **ссaa**) (мал. 174).

Крім комплементарних генів, існують також і **полімерні** (від грец. *полімерія* – багатоскладність). Взаємодія цих генів (полімерія) полягає в тому, що варіант певної ознаки залежить від того, як у генотипі поєднані певні алелі цих неалельних генів. В одних випадках достатньо одного домінантного алеля будь-якого гена з тих, які впливають на ознаку, щоб відповідний варіант ознаки проявився у фенотипі. Наприклад, в одного з видів грициків, лише коли два гени гомозиготні за рецесивними алелями, формується овальна форма плоду, в інших випадках (коли є хоча б один домінантний алель) – форма плоду трикутна.

У тварин полімерна взаємодія неалельних генів може визначати інтенсивність росту, плодючість, жирномолочність тощо, у людини – зріст, масу тіла, рівень артеріального тиску та ін. Полімерія має важливе біологічне значення, оскільки забезпечує мінливість організмів. Крім того, варіанти ознак, зумовлені взаємодією неалельних генів, стійкіші, ніж ті, що зумовлені взаємодією різних алелів одного гена. Це, зокрема, згладжує прояв у фенотипі певних мутацій. Прикладом полімерії є успадкування кольору шкіри в людини, яке залежить щонайменше від чотирьох генів.

**Як проявляється множинна дія генів?** Раніше ми розглядали варіанти, коли алелі одного гена впливали на формування різних варіантів однієї ознаки (наприклад, забарвлення насіння, структури його поверхні, забарвлення віночка). Але більшості генів притаманна властивість, коли певний їхній алель впливає на формування варіантів декількох різних ознак. Це явище називають **множинною дією**, або **плейотропією** (від грец. *плейон* – численний і *тропос* – поворот).

Наприклад, у людини відоме захворювання – **арахнодактилія** (у перекладі з грецької – «павучі пальці») (мал. 175. I). При цьому домінантний мутантний алель впливає на формування видовжених пальців на руках і

Мал. 175. Приклади множинної дії генів:

I – прояв арахнодактилії; II – прояв серпоподібноклітинної анемії: еритроцити здорової людини (1) і хворої на серпоподібноклітинну анемію (2)

ногах, зумовлює неправильне положення кришталіка ока і вроджені вади серця. Прикладами множинної дії генів у людини є серпоподібноклітинна анемія (недокрів'я) (мал. 175. II) та фенілкетонурія.

Причиною множинної дії генів є те, що кожний ген контролює певний етап обміну речовин. Оскільки різноманітні процеси обміну речовин часто взаємопов'язані, то порушення, які виникли на одному з його етапів, неодмінно впливатимуть на наступні й, у кінцевому підсумку, на формування різних ознак організму.

Формування фенотипу може залежати й від цитоплазматичної спадковості.

**У чому полягає цитоплазматична спадковість?** У клітинах еукаріотів спадковий матеріал зберігається не лише в ядрі клітини. Тому цим організмам притаманна ще й цитоплазматична спадковість.

Цитоплазматична спадковість еукаріотів пов'язана з двома видами генетичних явищ:

- успадкуванням ознак, які кодуються позаядерними генами, розташованими в певних органелах (мітохондріях, пластидах);

- проявом у нащадків ознак, зумовлених ядерними генами, але на формування цих ознак впливає і цитоплазма яйцеклітини.

*Пригадайте:* пластиди і мітохондрії мають власний спадковий матеріал – кільцеві молекули ДНК, а також апарат, який забезпечує синтез власних білків. У клітин прокариотів існують позакромосомні фактори спадковості – плазміди. Це молекули ДНК, розташовані за межами ядерної зони – нуклеоїду. Позаядерні гени взаємодіють з ядерними і перебувають під контролем ядерної ДНК.

Цитоплазматична спадковість, пов'язана з генами пластид, відома для різних видів рослин. Серед них є форми з мозаїчними (строкатими) листками. Ця ознака передається по материнській лінії і зумовлена тим, що частина пластид не здатна утворювати пігмент хлорофіл. Після поділу клітин з безбарвними пластидами в листках утворюються білі плями, які чергуються із зеленими ділянками (мал. 176). Пластиди розмножуються поділом, тому їм притаманна генетична неперервність: зелені пластиди дають початок зеленим, а безбарвні, нездатні синтезувати хлорофіл, – безбарвним.

Цілісність генотипу проявляється також у регуляції активності окремих генів. Структурні гени не можуть бути постійно в активному стані, тому їхня діяльність то активується, то пригнічується.

### **Ключові терміни та поняття:**

взаємодія неалельних генів, множинна дія генів, цитоплазматична спадковість.

### **Перевірте здобуті знання**

1. Які функції структурних і регуляторних генів? 2. Наведіть приклади варіантів взаємодії неалельних генів. 3. Які біохімічні основи множинної дії генів? 4. Чим зумовлена цитоплазматична спадковість? 5. У чому полягає цілісність генотипу?

### **Поміркуйте**

Які еволюційні основи цитоплазматичної спадковості?

**Запам'ятаємо:** генотип особин кожного виду є цілісною системою, хоча і складається з окремих генів, які можуть відокремлюватись один від одного й успадковуватись незалежно. Цілісність генотипу, яка склалася в процесі тривалого історичного розвитку виду, проявляється в тому, що формування варіантів більшості ознак організму є наслідком взаємодії як алельних, так і неалельних генів, а алелі більшості генів впливають на розвиток певних варіантів декількох ознак. Крім того, формування фенотипу організмів залежить і від явища цитоплазматичної спадковості.

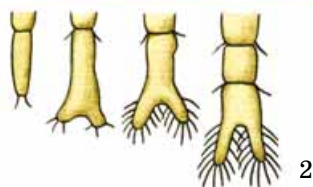
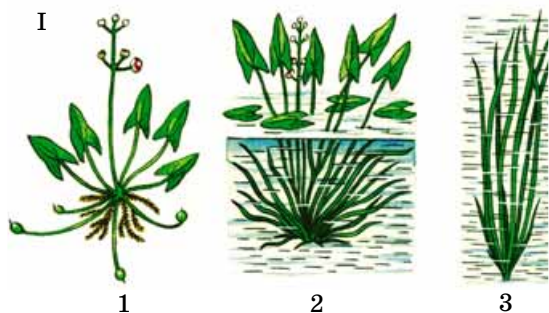


Мал. 176. Механізм прояву цитоплазматичної спадковості в рослин

### **Коротко про головне**

Генотип організмів є цілісною системою, що склалася історично. Цілісність генотипу визначається взаємодією алельних та неалельних генів, множинною дією генів та явищами цитоплазматичної спадковості. Неалельні гени можуть по-різному взаємодіяти між собою: в одному випадку певні алелі одного з неалельних генів пригнічують прояв іншого, у другому – для формування певного варіанта ознаки потрібна присутність домінантних алелів декількох неалельних генів, у третьому – певний варіант ознаки залежить від того, у якому сполученні представлені алелі різних неалельних генів.

Цитоплазматична спадковість ґрунтується на здатності певних структур цитоплазми зберігати й передавати нащадкам частину спадкової інформації батьків.



Мал. 177. Модифікаційна мінливість. I. Стрілолист (1) та модифікації його листків: 2 – листки стрілоподібної форми, що виростили над водою; 3 – стрічкоподібні листки, що розвинулися під водою. II. 1. Рачки артемії (зовнішній вигляд). 2. Опушення черевця артемії за різних умов солоності (зліва направо: від більшої солоності до меншої; поміркуйте, чому в особин артемії з прісних водойм черевце має густіше опушення)

### §35. ФОРМИ МІНЛИВОСТІ. МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ – НАСЛІДОК ВЗАЄМОДІЇ ГЕНОТИПУ ТА УМОВ ДОВКІЛЛЯ

Пригадайте, яких близнюків відносять до однойцевих? Що називають породою тварин і сортом рослин? Які ознаки належать до кількісних, а які – до якісних?

Ви вже знаєте, що однією з універсальних властивостей живої матерії є **мінливість** – здатність організмів у процесі як індивідуального (розвитку однієї особини), так й історичного (у процесі еволюції виду) розвитку набувати нових ознак. Мінливість буває неспадковою, або модифікаційною, та спадковою.

Модифікаційні зміни – це реакції організмів на зміну інтенсивності дії певних чинників довкілля. Модифікаційна мінливість зумовлена не змінами нуклеотидних послідовностей молекул ДНК, а характером реалізації спадкової інформації.

Модифікації однакові для всіх генотипово однорідних істот. Спадкова програма будь-якого організму реалізується не тільки під контролем генів, а й під впливом навколишнього середовища. Наприклад, у всіх занурених у воду особин рослини стрілолиста (цю рослину ще називають стрілицею) (мал. 177. I) утворюються довгі й тонкі листки, а в тих, що ростуть на суходолі, – стрілоподібні. У рослин, частково занурених у воду, формуються листки обох типів.

Ступінь прояву модифікацій прямо залежить від інтенсивності й тривалості дії певного екологічного фактора на організм. Так, у дрібного рачка артемії ступінь опушеності задньої частини черевця залежить від солоності води: вона то більша, що нижча концентрація солей у воді (мал. 177. II). З власного досвіду ви знаєте: що більше часу проводити на сонці, то інтенсивніша засмага. Що вище людина піднімається в гори і що триваліше вона перебуває в умовах високогір'я, то більша концентрація еритроцитів у її крові.

Модифікації можуть зникати протягом життя особини, якщо припиняється дія фактора, який їх спричиняє. Наприклад, засмага, набута влітку, поступово зникає протягом осінньо-зимового періоду. Після нетривалого перебування в умовах високогір'я кількість еритроцитів у крові знижується до норми (пригадайте, скільки еритроцитів у нормі міститься в 1 мл крові), коли людина повертається в долину.

Деякі модифікації, які виникли насамперед на ранніх етапах індивідуального розвитку, можуть зберігатися протягом усього життя особини. Наприклад, викривлення кісток нижніх кінцівок у людини, яка в дитинстві перехворіла на рахіт (пригадайте, що спричиняє таке захворювання), зберігається протягом усього її життя. Але діти батьків-рахітів не матимуть такої вади, якщо вчасно отримуватимуть необхідну кількість вітаміну D.

Інший приклад модифікацій, які зберігаються протягом усього життя, – це диференціація личинок медоносної бджоли із диплоїдним набором хромосом на цариць і робочих особин (мал. 178). Ті з личинок, що розвиваються у великих комірках стільників і живляться лише «молочком», яке виробляють особливі залози робочих



Мал. 178. Різні категорії особин (частки) у медоносної бджоли: 1 – цариця; 2 – трутень; 3 – робоча особина



особин, розвиваються в цариць. А ті, яких вигодовують пергою (сумішшю меду і пилку) у комірках звичайних розмірів, згодом стають робочими особинами – нездатними до розмноження самками. Отже, диференціація личинок жіночої статі залежить від якості їхнього живлення. Якщо на ранніх етапах розвитку поміняти місцями личинок, з яких мали б розвинутися цариця та робоча особина, то відповідно зміняться характер їхнього живлення та подальший тип розвитку.

**Модифікаційна мінливість зазвичай забезпечує пристосування до змінних умов середовища життя.** Наприклад, зміна форми листків стрілолиста зі стрілоподібної на підводну стрічкоподібну захищає ці рослини від ушкодження течією. Заміна шерсті ссавців під час осіннього линяння на густішу забезпечує захист організму від дії низьких температур, а засмага людини – від шкідливої дії сонячного випромінювання. Усе це дає підстави вважати, що такі пристосувальні модифікації виникли в процесі історичного розвитку виду як певні реакції на зміни умов довкілля, з якими постійно стикаються організми. *Пригадайте:* пристосування організмів до умов середовища життя називають **адаптаціями** (від лат. *аданто* – пристосовую).

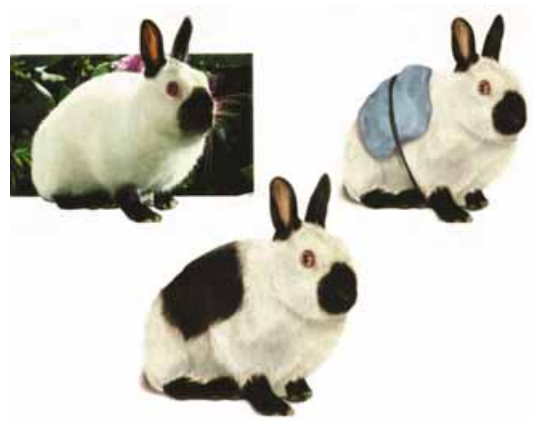
**Які статистичні закономірності модифікаційної мінливості?** Модифікаційна мінливість підпорядковується певним статистичним закономірностям (*пригадайте*, у чому полягають статистичні методи досліджень).

Межі модифікаційної мінливості ознаки визначаються генотипом і мають назву **норми реакції**. Серед ознак є такі, різні варіанти яких майже повністю визначає генотип (наприклад, розташування очей, кількість пальців кінцівок, група крові, характер жилкування листків тощо). На ступінь прояву варіантів багатьох кількісних ознак (наприклад, зріст і маса організмів, площа листкової пластинки тощо) впливають переважно умови довкілля. Наприклад, температура впливає на забарвлення шерсті кролів (мал. 179). У сіамських кішок так само кожна ділянка шкіри має власний температурний поріг, який визначає те чи інше забарвлення шерсті.

Норма реакції має певні межі для кожної ознаки. Найвужча норма реакції властива ознакам, які визначають життєздатність організмів (наприклад, взаєморозташування внутрішніх органів), а для таких, що мають менш важливе значення, – може бути ширшою (маса тіла, зріст, колір волосся).

Для вивчення мінливості певної ознаки складають **варіаційний** (від лат. *варіаціо* – зміна) **ряд** – послідовність кількісних показників певної ознаки (*варіант*), розміщених у порядку зростання чи зменшення (мал. 180). Довжина ряду свідчить про розмах модифікаційної мінливості. Він залежить від умов навколишнього середовища: що вони стабільніші, то коротший варіаційний ряд, і навпаки.

Розподіл варіант можна зобразити графічно у вигляді **варіаційної кривої** (мал. 181). Це графічне зображення кількісних показників мінливості певної ознаки. Варіаційна крива показує межі модифікаційної мінливості та частоту зустрічальності окремих варіант. За її допомогою можна встановити середні показники й норму реакції певної ознаки.



Мал. 179. Горностаєве забарвлення хутра кролів: на спинному боці тіла виголили ділянки, до яких прикладали лід; під впливом низьких температур на них відросла не біла, а темна шерсть

**Запам'ятаємо:** **неспадкова**, або **модифікаційна** (від лат. *модус* – міра, вигляд і *фаціо* – роблю), **мінливість** – це зміни фенотипу, набуті під час індивідуального розвитку організму, спричинені впливом умов довкілля і не пов'язані зі змінами генотипу.

**Запам'ятаємо:** живий організм – це відкрита система, тому його спадкова програма реалізується завдяки взаємодії генотипу та умов навколишнього середовища. Умови середовища життя зумовлюють ступінь прояву спадкової ознаки. Тому в особин з однаковими генотипами у різних умовах можуть формуватися відмінні фенотипи.



Мал. 180. Варіаційний ряд листків лавровишні



Мал. 181. Варіаційна крива кількості колосків у колосі пшениці

## Коротко про головне

Мінливість – універсальна властивість живої матерії. Розрізняють спадкову та неспадкову мінливість. Неспадкова мінливість має назву «модифікаційної». Фенотип організму формується внаслідок взаємодії генотипу організму з умовами середовища життя.

Модифікаційна мінливість характеризується певними закономірностями: модифікації однакові для всіх генотипово-однорідних істот; ступінь прояву модифікацій прямо залежить від інтенсивності й тривалості дії певного екологічного фактора на організм; модифікації можуть зникати протягом життя особи, якщо припиняється дія фактора, який їх спричиняє, але деякі модифікації, особливо які виникли на ранніх етапах індивідуального розвитку, можуть зберігатися протягом усього життя особи; модифікаційна мінливість зазвичай забезпечує пристосування до змінних умов середовища життя.

Межі модифікаційної мінливості ознаки визначаються генотипом і мають назву «норми реакції».

Уважно розгляньте малюнок 181 і зверніть увагу: найбільша кількість варіант припадає на середню частину ряду, тобто середнє значення певної ознаки. Такий розподіл пояснюють тим, що мінімальні й максимальні значення певної ознаки проявляються, коли більшість екологічних факторів діє в одному напрямі: найбільш чи найменш сприятливому. Але зазвичай одні чинники сприяють розвитку ознаки, інші, навпаки, гальмують. Саме тому ступінь розвитку певної ознаки в більшості особин популяції та виду усереднений. Так, більшість людей має середній зріст, і лише небагато з них велетні або карлики.

Закріпіть свої знання про модифікаційну мінливість, виконавши лабораторне дослідження.

## ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### Вивчення мінливості у рослин і тварин

**Завдання. Вивчення мінливості рослин. Побудова варіаційного ряду і варіаційної кривої**

**Обладнання і матеріали:** гербарні зразки (пшениця, ячмінь, кукурудза тощо), насіння різних видів (квасолі, кукурудзи, соняшнику та ін.), листки (дуба, клена, липи тощо), лінійка або міліметровий папір, колекційні зразки комах (наприклад, травневого хруща) або черепашок моллюсків, ручні лупи.

1. Порівняйте кілька (3–5) особин одного виду або їхніх частин (листки злаків, насіння квасолі, бульби картоплі тощо) за фенотипом (зовнішній вид, розміри та ін.). Запишіть результати досліджень у зошит.

2. Знайдіть характерні видові ознаки в різних представників.

3. Виявіть відмінності в будові різних представників одного виду, а також порівняйте їх з особинами інших видів. Поясніть причини, які зумовили ці розбіжності.

4. Виберіть не менш ніж 25 рослин одного виду (або їхніх частин) за певними ознаками (наприклад, кількість вічок у бульбі картоплі, темних плям на білих насінинах квасолі тощо).

5. Полічіть число обраних показників у кожній з рослин і занесіть отримані дані до таблиці, виявіть, як часто зустрічається кожне із цифрових значень цих показників, та знайдіть середню величину ознаки.

6. Побудуйте на підставі отриманих результатів варіаційні ряд і криву: на осі абсцис відкладіть варіанти, а на осі ординат – частоти прояву певних чисельних (кількісних) показників певної ознаки. Дайте характеристику ряду і кривої нормального розподілу.

**Завдання 2. Вивчення мінливості тварин. Побудова варіаційного ряду і варіаційної кривої**

1. З колекційного матеріалу з допомогою вчителя виберіть по 25 особин самок і самців травневого хруща (або черепашок моллюсків). У самок вусики з великою булавою, яка складається із семи пластин, у самців – із шести дрібніших. Крім того, верхівка черевця самця завжди має довший відросток, у самок він коротший.

2. Виявіть відмінності в забарвленні тіла обраних вами екземплярів. Поясніть причини, які зумовили ці розбіжності.

3. Виміряйте довжину тіла спочатку в самок, потім у самців. Результати вимірювань занесіть у зошит.

4. Побудуйте на підставі отриманих результатів варіаційні ряди і криві – окремо для самок, окремо – для самців: на осі абсцис відкладіть варіанти, а на осі ординат – частоти прояву певних чисельних (кількісних) показників певної ознаки. Дайте

характеристику побудованим варіаційним рядам та варіаційним кривим нормального розподілу. Проаналізуйте отримані дані.

### Ключові терміни та поняття:

модифікаційна мінливість, норма реакції, варіаційний ряд, варіаційна крива.

### Перевірте здобуті знання

1. Чому модифікаційну мінливість вважають неспадковою? 2. Які властивості притаманні модифікаційній мінливості? 3. Чому більшість модифікацій має пристосувальне значення? 4. Що визначає норму реакції організмів? 5. Що таке варіаційний ряд і варіаційна крива? 6. Яка роль генотипу та умов довкілля у формуванні фенотипу особин? 7. Яке біологічне значення модифікаційної мінливості?

### Поміркуйте

Чому саме модифікації, які виникли на ранніх етапах розвитку особини, зберігаються протягом усього її життя?

## §36. ВИДИ МУТАЦІЙ ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ

Пригадайте, які набори хромосом називають «гаплоїдними», «диплоїдними» і «поліплоїдними»? Що таке кон'югація, репарація ДНК, стоп-кодони, аутосоми, гетерохромосоми, гомота гетерозиготи? Які властивості генетичного коду? Що вивчає систематика?

Крім неспадкової (модифікаційної) мінливості, яка не успадковується, існує і **спадкова мінливість**, пов'язана зі змінами в генотипі. Вона може бути комбінативною та мутаційною.

**Комбінативна мінливість** зумовлена виникненням різних комбінацій алельних генів (*рекомбінацій*):

- унаслідок кросинговеру під час кон'югації гомологічних хромосом у профазі та їхнього подальшого незалежного розходження до різних клітин в анафазі першого поділу мейозу;
- унаслідок випадкового поєднання алельних генів при злитті гамет під час запліднення.

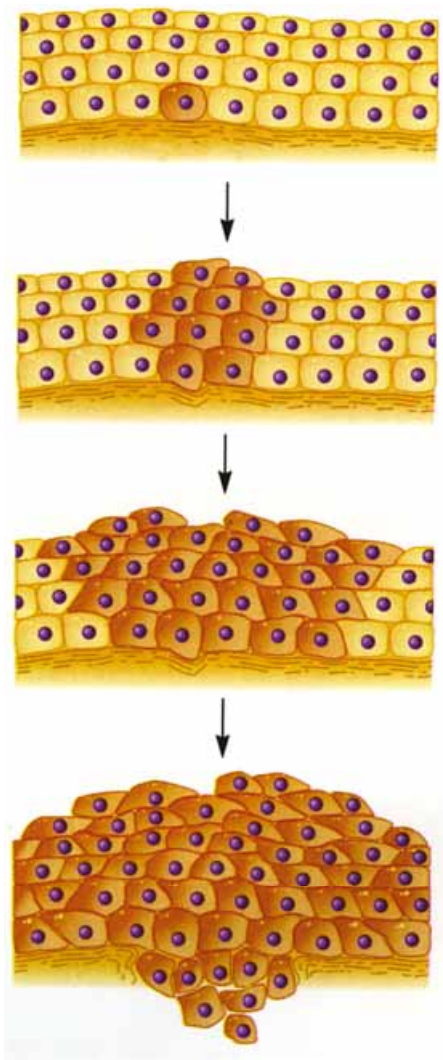
**Мутаційна мінливість.** *Мутації* (від лат. *мутацио* – зміна) – стійкі зміни генетичного матеріалу, які виникають раптово й можуть призводити до зміни тих чи інших спадкових ознак організму. Ми вже згадували, що підвалини *вчення про мутації* заклав голландський учений Г. де Фріз (див. мал. 146). Подальші дослідження показали, що здатність до мутацій – універсальна властивість усіх живих істот.

**Мутації можуть виникати у будь-яких клітинах організму і спричиняти різноманітні зміни генетичного матеріалу.** Відповідно змінюється і фенотип особин. Мутації поділяють на генеративні та соматичні. **Генеративні мутації** виникають у статевих клітинах і можуть успадковуватися під час статевого розмноження. **Соматичні мутації** відбуваються в нестатевих (соматичних) клітинах і за статевого розмноження нащадкам не передаються. Вони можуть успадковуватися лише за нестатевого розмноження.

Залежно від характеру впливу на життєдіяльність організмів розрізняють летальні, сублетальні й нейтральні мутації. **Летальні мутації**, проявляючись у фенотипі,

### Цікаво знати

Соматичні мутації можуть призводити до важких захворювань. Наприклад, мутації клітин червоного кісткового мозку людини спричиняють **лейкоз** – злоякісне розмноження нетипових лейкоцитів, а тканин інших типів – утворення пухлин (мал. 182).



Мал. 182. Утворення пухлини внаслідок мутації соматичної клітини (зверніть увагу на причину – неконтрольований поділ клітин)

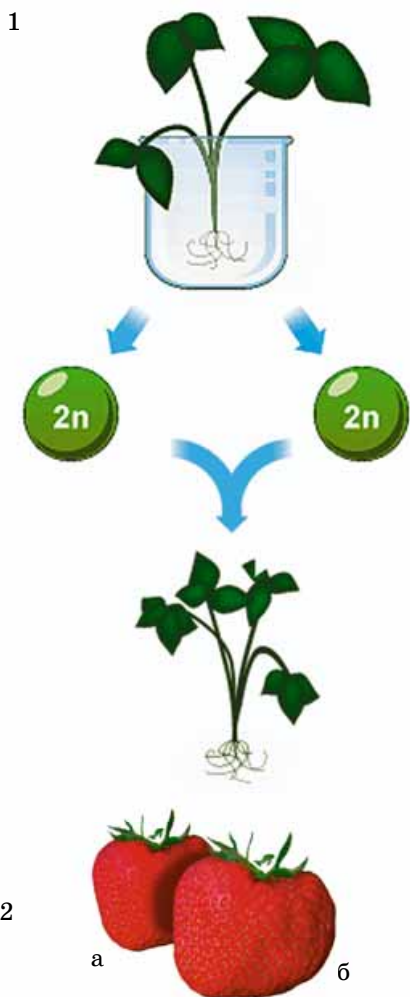




**Запам'ятаємо:** комбінативна мінливість зумовлює появу особин з різними варіантами фенотипу.

## Цікаво знати

Поліплоїдія часто сприяє збільшенню розмірів організмів, прискоренню процесів життєдіяльності й підвищенню продуктивності (мал. 183). Цей метод часто використовують у селекції рослин під час виведення високопродуктивних сортів (м'якої пшениці, цукрового буряку, суниць садових тощо).



Мал. 183. 1. Схема утворення поліплоїдних полуниць: завдяки застосуванню алкалоїду колхіцину отримують гамети з диплоїдним набором хромосом. При їхньому злитті виникає тетраплоїдна зигота ( $4n$ ), з якої розвивається рослина. 2. Диплоїдні ( $2n$ ) (а) та поліплоїдні ( $4n$ ) (б) плоди полуниці

призводять до загибелі особини ще до початку зародкового розвитку або набуття здатності до розмноження. **Сублетальні мутації** знижують життєздатність, спричиняючи загибель певної частини особин (від 10 до 50 %). **Нейтральні мутації** (від лат. *нейтраліс* – той, що не належить ані тому, ані іншому) у звичних для організмів умовах існування не впливають на їхню життєздатність. У певних випадках, особливо за змін умов існування, нейтральні мутації можуть виявитися корисними або шкідливими.

Залежно від характеру змін генетичного матеріалу розрізняють мутації, пов'язані: з кратним збільшенням або зменшенням кількості хромосомних наборів; зі зміною кількості окремих гомологічних хромосом; зі зміною будови окремих хромосом. Розрізняють ще й точкові мутації, спричинені порушенням послідовності розташування нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот.

**Збільшення кількості хромосомних наборів** зумовлює **поліплоїдію** (від грец. *поліплоос* – багаторазовий та *ейдос* – вид). Поліплоїдію найчастіше спостерігають у рослин, рідше – у тварин (переважно одноклітинних, інколи – багатоклітинних, які розмножуються вегетативно чи партеногенетично). Поліплоїдія може виникати внаслідок: подвоєння числа хромосом, яке не супроводжується наступним поділом клітини; утворення гамет з незменшеним унаслідок порушення процесу мейозу числом хромосом. Її може також спричинити злиття нестатевих клітин або їхніх ядер.

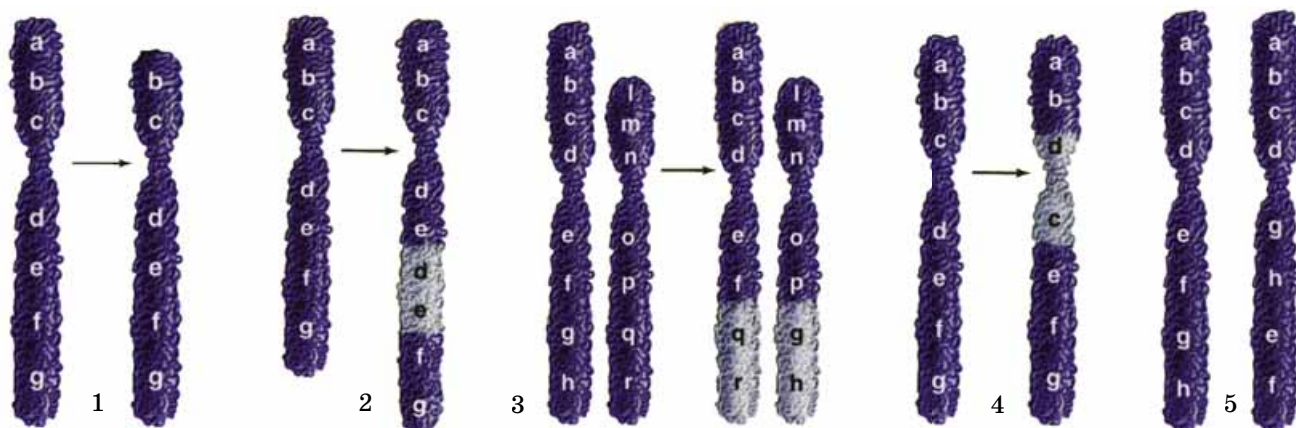
Мутації, які супроводжуються зменшенням числа наборів хромосом, мають протилежні наслідки. Гаплоїдні форми, порівняно з диплоїдними, менші за розмірами; їхні продуктивність і плодючість знижені.

Мутації, пов'язані зі зміною числа окремих гомологічних хромосом, значно впливають на фенотип мутантних особин. Наприклад, зародок людини з хромосомним набором 44 аутосоми (A) + X-хромосома розвивається в жіночий організм зі значними вадами (крилоподібна згортка шкіри на шії, порушення у будові кісток, кровоносної і сечостатевої систем, не розвиваються статеві залози). Зародки з хромосомним набором 44A + XXX розвиваються в жінок, які лише незначно відрізняються від нормальних.

Особливий вид мутацій, пов'язаних зі зміною числа окремих хромосом, – їхнє злиття або розділення. Злиття хромосом полягає у з'єднанні двох негомологічних хромосом в одну. Зрідка спостерігають розщеплення однієї хромосоми на дві.

Відомі різні типи зміни будови окремих хромосом: втрата ділянки; вбудовування ділянки іншої гомологічної або негомологічної хромосоми; обертання ділянки на  $180^\circ$  тощо. Для таких мутацій характерні значні за масштабами зміни нуклеотидних послідовностей ДНК, до яких залучені ділянки завдовжки від 1 млн пар нуклеотидів і більше.

У разі втрати ділянки хромосома стає коротшою і втрачає певні гени (мал. 184, 1). Унаслідок цього у фенотипі гетерозиготних організмів можуть проявлятися рецесивні алелі, розташовані в ділянці іншої незміненої гомологічної хромосоми. У людини в разі втрати короткого



Мал. 184. 1. Втрата певної ділянки хромосоми. 2. Вбудовування додаткового фрагмента в гомологічну хромосому. 3. Мутації, за яких дві негомологічні хромосоми обмінюються своїми ділянками.

4. Тип мутацій, коли ділянка хромосоми, яка утворилася внаслідок двох розривів, повертається на  $180^\circ$  і за допомогою ферментів знову вбудовується в хромосому. 5. Переміщення ділянки всередині хромосоми або в іншу хромосому. **Завдання.** Простежте за змінами, які відбуваються з хромосомами

плеча п'ятої хромосоми спостерігають **синдром «котячого крику»**. Плач хворих малюків нагадує нявкання котів, для них характерні маленькі розміри голови, уповільнений ріст і розумова відсталість. Утрата ділянки 21-ї хромосоми людини викликає важку форму білокрів'я.

У хромосому може **вбудуватися додатковий фрагмент**, який належав гомологічній або негомологічній хромосомі (мал. 184, 2).

Як втрата певної ділянки, так і подвоєння певних фрагментів хромосоми можуть бути спричинені порушенням процесу кон'югації гомологічних хромосом під час мейозу та виникають унаслідок розривів хромосоми.

Мутації, за яких дві негомологічні хромосоми обмінюються своїми ділянками (мал. 184, 3), можуть спричиняти нездатність до статевого розмноження.

Інколи ділянка хромосоми, яка утворилася внаслідок двох розривів, повертається на  $180^\circ$  і за допомогою ферментів знову вбудовується в хромосому (мал. 184, 4). При цьому кількість генів хромосоми може залишатися незмінною. Однак змінюється послідовність генів. Тому наслідком таких мутацій може бути стерильність організмів.

**Переміщення ділянки всередині однієї хромосоми або ж в іншу хромосому** змінює послідовності нуклеотидів (мал. 184, 5). Наприклад, у дрозофіли один із генів X-хромосоми здатний переміщуватись в аутосому.

**Точкові мутації** – це стійкі зміни окремих послідовностей нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот. Цей найпоширеніший тип мутацій може зачіпати будь-які ознаки організму й необмежений час передаватися між послідовними поколіннями. Точкові мутації часто виникають унаслідок помилок у процесі подвоєння молекул ДНК або їхнього відновлення (репарації).

**Які мутації називають «спонтанними»?** У живих істот весь час виникають **спонтанні** (від лат. *спонтанеус* – самочинний) мутації, наприклад, помилки під час відтворення генетичного коду. Їх можуть також спричиняти переміщення фрагментів з однієї ділянки молекули ДНК до іншої, природний радіаційний фон, космічні промені, які сягають поверхні Землі тощо.

**Запам'ятаємо:** ймовірність того, що мутація, яка щойно виникла, виявиться корисною, дуже мала. Тому потрібно захищати спадкову інформацію організмів від дії чинників, здатних викликати мутації.

### Цікаво знати

У чоловіків можуть з'являтися одна (XXY, XYY), дві (XXX, XYY, XYY) чи три (XXXX, XXXY) зайві статеві хромосоми. Найчастіше трапляється варіант XXY. Частота появи хлопчиків із цією мутацією становить 1 на 500–700 новонароджених. Для чоловіків із цим синдромом характерні високий зріст, видовлені кінцівки, відносно короткий тулуб, безпліддя, схильність до ожиріння, кволість, часто розумова відсталість. Поява зайвої 8-ї хромосоми теж призводить до порушень, але не таких значних (косоокість, короткопалість, збільшення розмірів вух, носа, незначна розумова відсталість та ін.). Поява зайвої 21-ї хромосоми спричиняє **хворобу Дауна** (про неї йтиметься далі).



Мал. 185. Герман Джозеф Меллер (1890–1967) – видатний американський генетик. Разом з Т.Х. Морганом брав участь у розробленні хромосомної теорії спадковості. Лауреат Нобелівської премії (1946)

**Запам'ятаємо:** спільними наслідками мутацій, пов'язаних зі зміною будови хромосом, можуть бути порушення процесу мейозу, зокрема кон'югації гомологічних хромосом. Наприклад, гомологічні хромосоми не розходяться після кон'югації і потрапляють лише до частини утворених гамет. Так виникають статеві клітини з відмінними хромосомними наборами.

**Запам'ятаємо:** у нормальних умовах мутації окремих алелів відбуваються досить рідко. Але оскільки кількість генів організму значна, то й загальна кількість мутацій також помітна. Наприклад, у дрозофіли приблизно 5 % гамет несуть різноманітні мутації.

**Запам'ятаємо:** хімічними мутагенами є наркотичні речовини, небезпечний вплив яких виявляється не лише в людини, що їх вживає. Мутації, спричинені наркотиками, можуть передаватись нащадкам і викликати у них різноманітні спадкові захворювання і вади.

**Запам'ятаємо:** **доза мутагенного фактора** – це добуток його тривалості та інтенсивності дії.

## Цікаво знати

Частота спонтанних мутацій залежить від віку клітин та організмів у цілому. Так, зі збільшенням віку матерів підвищується частота мутацій, пов'язаних з нерозходженням гомологічних хромосом під час мейозу. Тому частота народження дітей із синдромом Дауна зростає від 0,1 % у 30-річних жінок до 2 % у 45-річних. Загальна ймовірність виникнення різноманітних спонтанних мутацій у дітей, народжених матерями віком понад 42 роки, становить близько 30 %. На частоту спонтанних мутацій впливає і вік батька. Так, у 40-річних чоловіків кількість нащадків з карликовим зростом, укороченими кінцівками, сидлоподібним носом зростає вдасятеро порівняно з 20-річними.

**Що таке мутагенні фактори?** Тривалий час причини мутацій залишалися нез'ясованими. Лише 1927 р. американський генетик Г. Дж. Меллер (мал. 185), опромінюючи рентгенівськими променями дрозофіл, викликав у цих мух різноманітні мутації. Фактори, здатні спричинити збільшення частоти мутацій, називають **мутагенними** (від лат. *mutatio* – зміна та грец. *генезис* – походження). Мутації, спричинені мутагенними факторами, називають **індукованими** (від лат. *індуктіо* – спонування).

За походженням розрізняють фізичні, хімічні та біологічні мутагенні фактори (скорочено – **мутагени**). Серед **фізичних мутагенів** найбільше значення має іонізуюче випромінювання, зокрема рентгенівське. Проходячи через живу речовину, рентгенівські промені вибивають електрони із зовнішньої оболонки атомів або молекул, унаслідок чого ті стають позитивно зарядженими. Вибиті електрони спричиняють неконтрольовані хімічні перетворення різних сполук живих організмів. До фізичних мутагенів також належать ультрафіолетові промені, підвищена температура тощо. Їхня дія призводить до виникнення насамперед генних мутацій, рідше – хромосомних.

**Хімічні мутагени** було відкрито пізніше за фізичні. Значний внесок у їхнє вивчення зробила українська генетична школа, очолювана академіком С.М. Гершензоном (див. мал. 102). Дослідники щорічно відкривають нові хімічні мутагени. До хімічних мутагенів, зокрема, належать акридинові барвники, нітритна кислота, гідроген пероксид, формальдегід (метаналь), деякі лікарські препарати тощо.

До **біологічних мутагенів** належать віруси та токсини, що їх виробляють деякі бактерії. В уражених вірусами клітинах мутації відбуваються значно частіше, ніж у здорових.

**Чи існують біологічні антимутаційні механізми?** Живі організми здатні захищати свій генетичний матеріал від мутацій. **Пригадайте:** більшість амінокислот закодована не одним, а кількома триплетами, а частина генів багато разів повторюється у геномі організмів.

У клітинах існують особливі системи виправлення помилок (**системи репарації**), які виникають під час подвоєння молекул ДНК та їхніх змін під впливом мутагенів (**пригадайте**, як відбувається репарація молекул ДНК). Загальний рівень помилок, які залишаються після репарації, незначний: менше однієї заміни нуклеотидів, що



припадає на геном еукаріотичної клітини при одному подвоєнні ДНК.

**Які загальні властивості мутацій?** Здатність до змін спадкової інформації у процесі історичного розвитку живої матерії є її універсальною властивістю. Мутації виникають раптово. Зміни, до яких призводять мутації, можуть успадковуватися. Однакові мутації можуть виникати неодноразово і незалежно від інших. На відміну від модифікацій, мутації неспрямовані, тобто можуть бути шкідливими, нейтральними або корисними.

Фактори, які викликають мутації (мутагени), універсальні, тобто здатні спричиняти зміни спадкового матеріалу в організмах усіх видів. Один і той самий фактор, який діє з однаковою інтенсивністю на ідентичні в генетичному відношенні організми (наприклад, на однайоцевих близнюків), може викликати в них різні мутації. Разом з тим різні за своєю природою мутагени здатні викликати в організмів неспоріднених видів подібні спадкові зміни.

На відміну від модифікацій, ступінь вираження змін у фенотипі не залежить від інтенсивності й тривалості дії мутагенного фактора: слабкий мутаген, який діє нетривалий час, іноді здатний спричиняти значніші зміни у фенотипі, ніж сильний. Зі зростанням інтенсивності дії мутагенного фактора до певної межі частота виникнення мутацій збільшується.

Для мутагенних факторів не існує нижньої межі інтенсивності дії (нижнього порогу дії), нижче якої вони не здатні впливати на спадковий матеріал. Ця властивість свідчить про те, що носії спадковості організмів необхідно захищати від усіх мутагенів, незалежно від сили та тривалості їхнього впливу.

**Яке значення мутацій у природі й житті людини?** Мутації є одним з основних джерел спадкової мінливості – одного з факторів еволюції. Завдяки їм з'являються нові алелі певних генів (їх називають *мутантними*). Усе різноманіття сучасних та вимерлих форм живих істот завдячує саме мутаціям.

Загальним наслідком мутаційної мінливості є порушення спадкових програм клітин та організмів у цілому. Більшість мутацій шкідлива для живих істот, оскільки вони, проявляючись у фенотипі, знижують пристосованість до умов існування. Нейтральні ж мутації можуть виявитися корисними за певних змін середовища життя.

Штучно спричинені мутації збільшують різноманіття вихідного матеріалу під час селекції рослин і мікроорганізмів, від чого залежить її ефективність. Зокрема, багато культурних рослин є поліплоїдними порівняно з предковими видами (м'яка пшениця, садові суниці, деякі сорти цукрових буряків тощо). *Поміркуйте*: чому мутагени не застосовують у селекції тварин.

Мутації застосовують у *генетичних методах боротьби з організмами-шкідниками*. Для цього в лабораторних умовах на самців шкідливого для людини виду діють мутагенами (наприклад, рентгенівськими променями), які викликають нездатність до запліднення. Далі їх випускають у природу, де вони паруються із самками з природних популяцій. Відкладені такими самками яйця виявляються нежиттєздатними.

## Цікаво знати

Різні види живих організмів і навіть різні особини одного виду характеризуються неоднаковою чутливістю до дії мутагенних факторів. Так, дорослі особини деяких груп членистоногих (скорпіонів, багатоніжок-ківсяків; мал. 186) здатні витримувати величезні дози радіації: до 100 000 рад<sup>1</sup>. Для того щоб убити клітини деяких бактерій, потрібна доза приблизно 1 000 000 рад. Для людини смертельні дози – 700 рад і вище.

<sup>1</sup> Основною фізичною величиною, яка визначає ступінь радіаційного впливу, є поглинена доза випромінювання. Одиницею виміру поглиненої дози в системі СІ є **грей (Гр)**. 1 Гр дорівнює поглиненій дозі іонізуючого випромінювання, при якій речовині масою 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання будь-якого виду 1 Дж (1 Гр = 1 Дж/кг). Позасистемною одиницею поглиненої дози є рад: 1 Гр = 100 рад.



Мал. 186. Тварини з низькою чутливістю до дії іонізуючого опромінювання: 1 – скорпіон; 2 – багатоніжка-ківсяк



## Коротко про головне

Спадкова мінливість, що виникла унаслідок нових комбінацій алельних генів (рекомбінацій), дістала назву «комбінативної». Її джерелами слугують випадкові поєднання алельних генів під час злиття гамет, кросинг-вер і незалежне розходження гомологічних хромосом до різних дочірніх клітин при мейозі.

Мутаційна мінливість зумовлена виникненнями мутацій – стійких змін спадкового матеріалу організмів, що виникають раптово і можуть успадковуватися нащадками. Мутації призводять до зміни тих чи інших спадкових ознак організму.

Мутації пов'язані: з кратним збільшенням або зменшенням кількості хромосомних наборів; зі зміною кількості окремих гомологічних хромосом; зі зміною будови окремих хромосом; точкові мутації спричинені порушенням послідовності розташування нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот.

Мутації бувають спонтанними та індукованими. Спонтанні мутації виникають без помітних зовнішніх причин: як помилки при відтворенні генетичного коду, унаслідок переміщення фрагментів з однієї ділянки молекули ДНК до іншої, впливу природного радіаційного фону, космічних променів, які сягають поверхні Землі тощо. Індуковані мутації виникають унаслідок дії мутагенних факторів, які за своєю природою можуть бути фізичними, хімічними та біологічними (вплив вірусів на клітину-хазяїна).

Мутаційна мінливість є чинником процесу розвитку живої природи, який супроводжується змінами генотипу організмів, генофонду популяцій, формуванням адаптацій, утворенням нових видів.

## Цікаво знати

Складові тютюнового диму, алкоголь та інші токсичні речовини водночас є сильними мутагенами. Зокрема, вживання майбутніми матерями наркотиків, алкоголю, певних лікарських препаратів, які не пройшли належної перевірки, куріння тютюну можуть призвести до порушень нормального формування зародка. Унаслідок цього народжується дитина зі спадковими хворобами або вадами розвитку. У молодому та зрілому віці ці шкідливі звички можуть призвести до розвитку ракових пухлин через дію мутагенів на мітотичний апарат клітин. Тому люди, які ведуть неправильний спосіб життя, вкорочують свій вік. До чинників, які подовжують життя, належать регулярні заняття спортом, раціональне харчування, тривале перебування на свіжому повітрі, уникання стресових ситуацій, відмова від шкідливих звичок тощо.

## Ключові терміни та поняття:

комбінативна мінливість, мутації, поліплоїдія, мутагени, спонтанні мутації.

### Перевірте здобуті знання

1. Які причини комбінативної мінливості? 2. Які типи мутацій вам відомі? 3. Які з мутацій, пов'язаних зі зміною будови хромосом, можуть більше впливати на фенотип організмів? 4. Із чим пов'язані точкові мутації? 5. Які причини мутацій? 6. Які фактори належать до мутагенних? 7. У чому полягає біологічне значення мутацій? 8. Які мутації називають спонтанними? 9. Які є механізми захисту організму від мутацій? 10. Які властивості притаманні мутаційній мінливості?

### Поміркуйте

1. Чому мутації, пов'язані з кратним зменшенням хромосомного набору, більш негативно впливають на життєздатність організмів, порівняно з тими, які спричинюють кратне збільшення цього набору? 2. Що спільного та відмінного між мутаційною та модифікаційною мінливістю?

## §37. СПАДКОВІ ЗАХВОРЮВАННЯ ЛЮДИНИ. ГЕНЕТИЧНЕ КОНСУЛЬТУВАННЯ

*Пригадайте*, що таке геном, популяції, гомозиготи та гетерозиготи. Про що стверджує закон розщеплення? Як можуть взаємодіяти алейні та неалельні гени між собою? Що таке множинна дія генів? Чим зумовлена цитоплазматична спадковість? Які особливості будови та функціонування імунної системи людини? Які є групи мутагенів?

**Генетика людини** – розділ генетики, що вивчає особливості організації та функціонування геному людини, закономірності її спадковості та мінливості. Як і будь-яка наука, генетика людини має свої специфічні методи досліджень. Але закономірності спадковості й мінливості людини, на відміну від інших організмів, заборонено вивчати за допомогою методів, пов'язаних із втручанням у її спадковий матеріал (наприклад, генетичної інженерії, коли певні гени вилучають або замінюють). Тому в генетиці людини застосовують лише генеалогічний, популяційно-статистичний, близнюковий, цитогенетичний і молекулярно-генетичні методи (*пригадайте*, на чому базуються ці методи досліджень).

**Які системи шлюбів притаманні людині?** У будь-яких організмів певного виду існують різні системи схрещування: споріднене та неспоріднене. **Споріднене схрещування** відбувається між особинами, що мають спільних предків принаймні протягом попередніх шести поколінь. **Неспорідненим** вважають схрещування між особинами, у яких не було спільних предків протягом шести попередніх поколінь.

Відповідно, у людей розрізняють споріднені та неспоріднені шлюби. Споріднені шлюби у багатьох країнах заборонені. Так, у католиків навіть на шлюб троюрідних брата і сестри необхідно отримати дозвіл церкви.

Одним з наслідків споріднених шлюбів є підвищення серед нащадків частоти гомозигот за певним алелем. При цьому рецесивні алелі (серед яких можуть бути летальні та сублетальні) можуть перейти у гомозиготний стан і

проявитись у фенотипі нащадків. Небезпека народження дитини з певними спадковими захворюваннями або генетичними вадами зростає зі збільшенням ступеня спорідненості осіб, що беруть шлюб. Звичайно за споріднених шлюбів зростає імовірність переходу в гомозиготний стан і сприятливих алелів, але передусім слід запобігати виникненню можливих аномалій. Наприклад, якщо обоє батьків фенотипово здорові, але гетерозиготні за рецесивним алелем, який визначає глухоту, їхні діти можуть народитися глухими (*завдання*: за допомогою решітки Пеннета вирахуйте ймовірність народження глухих дітей у такій родині). Майже 20 % усіх альбіносів є нащадками від споріднених шлюбів. Відомо кілька рецесивних летальних алелів, здатних у гомозиготному стані спричиняти передчасну смерть.

Натомість *неспоріднені шлюби* часто супроводжуються підвищенням гетерозиготності. У нащадків від неспоріднених шлюбів рецесивні алелі, що здатні в гомозиготному стані спричиняти певні спадкові захворювання або вади, часто переходять у гетерозиготний стан і тому не проявляються у фенотипі.

**Які особливості організації геному людини?** Каріотип людини складається з 22 нестатевих хромосом (аутосом) та двох статевих (XX – у жінок та XY – у чоловіків) (мал. 187). Йому притаманні 24 групи зчеплення (22 аутосоми, X- та Y-хромосоми, які мають відмінні набори генів).

Дослідження геному засвідчили високу подібність послідовностей нуклеотидів ДНК у різних людей на 99,5 %. Таким чином, лише 0,5 % геному зумовлює різноманітність фенотипів. Різноманітність геномів людини збільшують і мутації.

**Які типи успадкування ознак відомі в людини?** Тип успадкування, пов'язаний з генами нестатевих хромосом, називають *аутосомним*. Якщо певний варіант ознаки визначає домінантний алель, то такий тип успадкування називають *аутосомно-домінантним*, якщо рецесивний – то *аутосомно-рецесивним*. Зверніть увагу на таблицю 6, у якій наведено домінантні та рецесивні варіанти певних ознак людини.



Мал. 187. Каріотип людини (знайдіть статеві хромосоми, визначте стать людини з даним каріотипом)

Таблиця 6

### Домінантні та рецесивні варіанти ознак у людини

Домінантні варіанти	Рецесивні варіанти
Карі очі	Блакитні очі
Зелені очі	Блакитні очі
Довгі вії	Короткі вії
Темне волосся	Світле волосся
Монголоїдний розріз очей	Європеїдний розріз очей
Наявність залишка третьої повіки	Відсутність залишка третьої повіки



Домінантні варіанти	Рецесивні варіанти
Короткозорість	Нормальний зір
Вільні мочки вуха	Прирослі мочки вуха
Товсті губи	Тонкі губи
Округле обличчя	Видовжене обличчя
Позитивний резус-фактор	Негативний резус-фактор
Короткопалість	Нормальні пальці
Нормальна пігментація	Альбінізм
Прогресуюча атрофія зорового нерва	Нормальний стан

Існує й **успадкування, зчеплене зі статтю**. Якщо певний ген розташований лише в Y-хромосомі, маємо справу з **Y-зчепленим типом успадкування**. Ознака, яку визначає такий ген, передається по чоловічій лінії.

Гени, розташовані лише в X-хромосомі, визначають **X-зчеплений тип успадкування**. Він може бути X-зчепленим рецесивним та X-зчепленим доміантним. При **X-зчепленому рецесивному типі** відповідний варіант ознаки проявляється переважно в чоловіків (*пригадайте чому*). **X-зчеплений доміантний тип успадкування** характеризується тим, що відповідний варіант ознаки може проявлятися як у чоловіків, так і в жінок. Батьки передаватимуть відповідні алельні гени донькам і ніколи – синам. Деякі варіанти ознак людини, які успадковуються зчеплено зі статтю, наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

## Деякі варіанти ознак людини, зчеплені зі статтю

Варіант ознаки	Тип успадкування
Волохатість вух (гіпертрихоз)	Y-зчеплений тип
Перетинки між пальцями ніг	Y-зчеплений тип
Гемофілія (нездатність крові зсідатися)	X-зчеплений рецесивний тип
Дальтонізм (нездатність розрізнати червоний і зелений кольори)	X-зчеплений рецесивний тип
Прогресуюча дистрофія м'язів	X-зчеплений рецесивний тип
Рахіт, не пов'язаний із дією вітаміну D	X-зчеплений доміантний тип

**Медична генетика** – наука про спадкові хвороби та вади людини. Вона розробляє методи діагностики спадкових захворювань, їхньої профілактики та лікування. Сучасна медична генетика насамперед орієнтується на профілактику спадкових захворювань, зокрема запобігання народженню дітей з певними спадковими захворюваннями або вадами.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, 5 зі 100 новонароджених страждають тим чи іншим важким спадковим захворюванням, ще 5 мають генетичні вади, а ще 2 народжуються мертвими внаслідок цих порушень. Ці показники зростають з року в рік унаслідок забруднення довкілля різноманітними мутагенами. Нині відомо понад 4000 спадкових захворювань і захворювань зі спадковою схильністю, тоді як у 1958 р. – не більше ніж 500.

Спадкові захворювання можуть мати різні прояви:

- порушення будови організму, наприклад вовча паща (виникнення щілини, що сполучає носову та ротову порожнини внаслідок розщеплення верхніх губи, щелепи та піднебіння); заяча губа (розщеплення верхньої губи); багаторпалість (мал. 188) чи зрощення пальців тощо;
- розлад фізіологічних функцій, наприклад гемофілія та дальтонізм;
- порушення процесів обміну речовин, зокрема цукровий діабет, фенілкетонурія та ін.

Деякі зі спадкових захворювань, наприклад хвороба Дауна, проявляються відразу після народження. Інші, наприклад хорея Гентінгтона (захворювання клітин нервових вузлів, яке супроводжується мимовільними рухами, поступово прогресуючою недоумкуватістю тощо), – лише у певному віці.

Певні спадкові захворювання та генетичні вади зумовлені зміною кількості або структури хромосом (наприклад, поява додаткових хромосом 13-ї, 18-ї чи 21-ї пар). У першому випадку (синдром Патау) спостерігають деформацію вушної раковини, ушкодження шкіри голови, вовчу пащу, шестипалість, порушення функцій мозочка, вади серця, глухоту, затримку психічного розвитку тощо. У другому випадку (синдром Едвардса) – деформацію вушної раковини, вкорочення великого пальця ноги, порушення функцій мозочка, вади серця, тяжку форму затримки розумового розвитку, часту захворюваність тощо.

**Що таке медико-генетичне консультування?** Важливу роль у профілактиці спадкових захворювань відіграє медико-генетичне консультування. У **медико-генетичних консультаціях** працюють фахівці різних спеціальностей – генетики, біохіміки, цитологи, імунологи, медики тощо. За допомогою різноманітних методів вони виявляють носіїв алелів, які зумовлюють прояви спадкових захворювань, вираховують імовірність успадкування і прояву спадкових захворювань у нащадків. Коли ймовірність появи нащадків зі значними спадковими вадами висока, майбутнім батькам пропонують утриматись від народження дитини. Це, передусім, спрямовано не лише на запобігання народженню дітей з певними генетичними дефектами, а й на запобігання подальшій передачі мутантних алелів наступним поколінням. За допомогою різноманітних методів визначають схильність людини до певного

## Цікаво знати



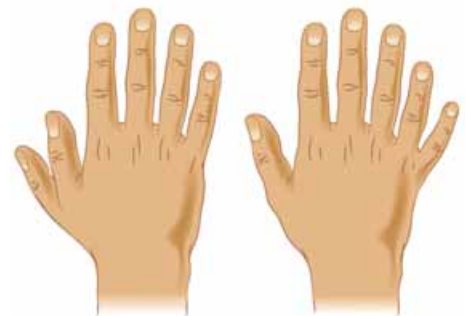
Одним з міжнародних біологічних проєктів кінця ХХ – початку ХХІ сторіччя було розшифрування генома людини. Вчені встановили нуклеотидні послідовності і створили генетичні карти, на які нанесли близько 15 тис. структурних генів. Дослідники оцінили геном людини у 3,2 млрд пар нуклеотидів. Уважають, що кількість генів, які кодують білки, не перевищує 21 тис., а тих, які несуть інформацію про різні молекули РНК, – понад 4 тис. Для 12,5 тис. генів встановлено, які саме ознаки вони кодують. Загальна довжина кодуючих ділянок становить близько 34 млн пар нуклеотидів, що становить лише 1,2 % генома.

Кільцева молекула ДНК мітохондрій людини утворена 16 569 парами нуклеотидів і містить усього 37 генів, 13 з яких кодують білки мітохондрій, 2 – рРНК та 22 – тРНК.

Геном людини характеризується відносно короткими екзонами, розділеними видовженими інтронами (близько 34 % усієї кількості ДНК).



**Запам'ятаємо:** умови життя можуть як знижувати, так і підвищувати ризик прояву у фенотипі певних вад або хвороб.



Мал. 188. Приклад спадкового захворювання людини полідактилії (поява 6-го, рідше 7-го пальця на всіх чи деяких кінцівках)

## Цікаво знати

Частина (5–20 %) онкологічних захворювань зумовлена спадковою схильністю до них. **Онкологічні** (від грец. *онкос* – пухлина та *логос* – учення, наука) **захворювання** – хвороби, спричинені появою в організмі соматичних клітин зі зміненими властивостями. Їм притаманна здатність до неконтрольованого поділу, знищення сусідніх клітин, переміщення по організму з утворенням метастазів (колоній в інших органах та тканинах). За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, нині кожний 50-й мешканець нашої країни (2 % населення) страждає на онкологічні захворювання. Зокрема, радіонукліди, що утворилися внаслідок Чорнобильської катастрофи, значно збільшують кількість випадків раку щитоподібної залози, лімфатичної та кровоносної систем тощо.



**Запам'ятаємо:** мета генної терапії – виправлення або знищення спадкової інформації, яка зумовлює захворювання.

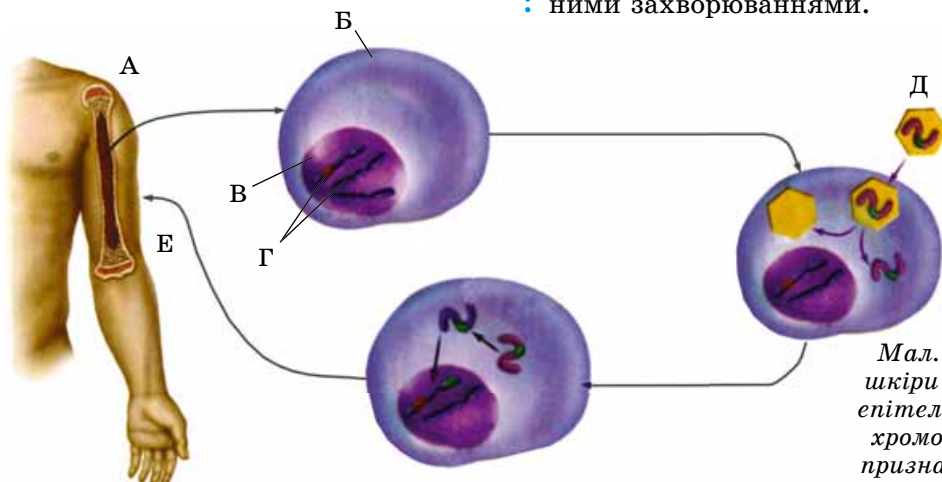
спадкового захворювання і прогнозують можливість його прояву в її фенотипі у майбутньому.

Розроблено різноманітні тести, що дають змогу виявляти дефектні алелі, які відповідають за спадкові захворювання та вади, не лише у майбутніх батьків, а й у зародків. Тепер тестування на наявність багатьох спадкових захворювань у деяких країнах навіть обов'язкове. Зокрема, рекомендують обмежувати чи вилучати з харчового раціону продукти, що містять речовини, обмін яких порушений. Наприклад, за галактоземії (відсутність вироблення організмом ферменту, який забезпечує засвоєння молочного цукру – галактози) хвору дитину годують молочними продуктами, які не містять галактози, що запобігає порушенням психічного розвитку. В інших випадках, навпаки, до складу їжі додають певні біологічно активні речовини, яких в організмі недостатньо. Наприклад, при цукровому діабеті хворим періодично вводять інсулін, який забезпечує зниження рівня глюкози в крові.

Оскільки домінують мутантні алелі або хромосомні захворювання проявляються у фенотипі, їхнє діагностування не дуже складне, на відміну від мутантних рецесивних алелів, які в гетерозиготному стані зазвичай не проявляються. Але за допомогою аналізу крові можна виявити людей, гетерозиготних за рецесивним алелем серпоподібноклітинної анемії (*пригадайте*, що це за захворювання). Разом з тим, якщо шлюб беруть гетерозиготні за певним мутантним геном особи, рецесивні алелі можуть у нащадків перейти в гомозиготний стан і проявитись фенотипово. Ймовірність народження хворої дитини в гетерозиготних батьків становить 25 %.

Перспективним напрямом у медичній генетиці є генна терапія.

**Генна терапія** (від грец. *терапейя* – лікування, оздоровлення) – медична процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин (крові, епітелію шкіри або кишечнику та ін.), замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм. Завдяки цьому в організмі хворої людини починають синтезуватись білки, яких до цього не вистачало (мал. 189). Нормальні гени вилучають з організму здорової людини та методами генної інженерії отримують їхні численні копії. До 80 % розробок генної терапії спрямовано на боротьбу з пухлинними захворюваннями.



Мал. 189. Метод генної терапії. Зі шкіри руки (А) отримують клітину епітелію (В). В її ядрі (Г) містяться хромосоми (Г). Нормальні гени (Д), призначені для введення в хромосоми. Е. Введення клітин з нормальними генами в організм людини





Особливості організації та функціонування генома людини, закономірності її спадковості та мінливості вивчає генетика людини. Її розділ – медична генетика – досліджує спадкові хвороби та вади людини. Вона розробляє методи діагностики спадкових захворювань, їхньої профілактики та лікування.

Сучасна медична генетика насамперед орієнтується на профілактику спадкових захворювань, зокрема запобігання народженню дітей з певними спадковими захворюваннями або вадами. Важливу роль у профілактиці спадкових захворювань відіграє медико-генетичне консультування.

За певних онкологічних та інфекційних захворювань методами генної терапії можна пригнічувати активність генів, не притаманну нормальній клітині, або посилювати її (наприклад, для збільшення синтезу гемоглобіну у хворих на серпоподібноклітинну анемію). Ще одна галузь її застосування – генетична модифікація клітин, спрямована на посилення імунних реакцій.

Загалом до 80 % сучасних розробок генної терапії пов'язані з пухлинними захворюваннями людини. Введення «генів-убивць» призводить до загибелі пухлинних клітин. Особливе місце у генній терапії посідають методи боротьби зі СНІДом. Зокрема, учені створюють генетично модифіковані клітини, здатні виробляти антитіла проти ВІЛу.

**Молекулярна діагностика спадкових захворювань** – напрям генної терапії, що ґрунтується на методиках визначення алелів, які зумовлюють ті чи інші спадкові захворювання або схильність до них (хвороба Альцгеймера, рак молочної залози, цукровий діабет, атеросклероз тощо). Своєчасно поставлений діагноз дає можливість розпочати профілактику або лікування ще до того, як з'являться перші симптоми такого захворювання.

### Ключові терміни та поняття:

медико-генетичне консультування, генна терапія, молекулярна діагностика спадкових захворювань.

### Перевірте здобуті знання

1. Чим характеризується геном людини? Від яких чинників залежить формування фенотипу людини? 2. Які завдання медичної генетики? 3. Чим зумовлені спадкові захворювання та вади людини? 4. У яких формах можуть проявлятися спадкові захворювання та вади людини? 5. Які методи досліджень застосовують у медичній генетиці? 6. Що таке медико-генетичне консультування та які його завдання? 7. Які існують системи шлюбів у людини та які їхні генетичні наслідки?

### Поміркуйте

Чому втручання в спадковий матеріал людини може мати негативні наслідки? Які проблеми етичного плану виникають при проведенні медико-генетичного консультування?

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Назвіть прізвище вченого, який запропонував назву «генетика»: а) Г. Мендель; б) Г. де Фріз; в) У. Бетсон; г) Т.Х. Морган.
2. Укажіть клітини, у яких можуть виникати мутації: а) лише статеві; б) лише нестатеві; в) будь-які.
3. Зазначте, як називають межі модифікаційної мінливості ознаки: а) варіаційний ряд; б) варіаційна крива; в) середнє значення; г) норма реакції.
4. Укажіть мінливість, яку відносять до спадкової: а) модифікаційна; б) вікова; в) мутаційна; г) сезонна.
5. Зазначте, які мутації спричиняють поліплоїдію: а) кратне зменшення наборів хромосом; б) зміна будови окремих хромосом; в) зміна структури окремих генів; г) кратне збільшення наборів хромосом.
6. Визначте форму мінливості, яка зумовлює розбіжності у фенотипі однойцевих близнюків: а) корелятивна; б) комбінативна; в) модифікаційна; г) мутаційна.
7. Укажіть властивості мутацій: а) завжди мають пристосувальне значення; б) можуть виникати лише у нестатевих клітинах; в) можуть успадковуватись; г) здатні зникати протягом життя особини.
8. Назвіть джерела комбінативної мінливості: а) випадкове поєднання гамет при заплідненні; б) кількість поживних речовин у яйцеклітині; в) вплив мутагенних факторів; г) партеногенез.

9. Назвіть прізвище вченого, який увів термін «мутації»: а) Г. Мендель; б) Т.Х. Морган; в) У. Бетсон; г) Г. де Фріз.

10. Зазначте властивості модифікацій: а) відсутність нижнього порогу дії чинника; б) один і той самий чинник може спричиняти різні зміни в особин певного виду; в) відсутність пристосувального значення; г) визначеність.

11. Назвіть модифікації, які зберігаються протягом усього життя особини: а) будь-які; б) виникають на ранішніх етапах індивідуального розвитку; в) виникають на пізніх етапах індивідуального розвитку; г) таких модифікацій не існує.

12. Укажіть, чим визначається довжина варіаційного ряду: а) впливом регуляторних генів; б) впливом позаядерних генів; в) впливом умов довкілля; г) здатністю певного алеля до мутаційних змін.

13. Зазначте, як називають сукупність генів, розташованих в одній хромосомі: а) геном; б) каріотип; в) група зчеплення; г) плазміда.

14. Назвіть причину порушення зчепленого успадкування певних ознак: а) множинна дія генів; б) кросинговер; в) цитоплазматична спадковість; г) розщеплення ознак.

15. Назвіть схрещування особин, які розрізняються різними варіантами двох ознак: а) моногібридне; б) дигібридне; в) тригібридне; г) полігібридне.

16. Вкажіть місце розташування алельних генів: а) ідентичні ділянки гомологічних хромосом; б) різні ділянки гомологічних хромосом; в) ідентичні ділянки негомологічних хромосом; г) різні ділянки негомологічних хромосом.

17. Зазначте, чому дорівнює кількість груп зчеплення в каріотипі організмів певного виду: а) кількості хромосом в гаплоїдному наборі; б) кількості хромосом у диплоїдному наборі; в) кількості статевих хромосом; г) кількості аутосом.

18. Визначте умови, за яких усі варіанти генотипу проявляються у фенотипі гібридних особин: а) повне домінування; б) проміжний характер успадкування; в) множинна дія генів; г) взаємодія неалельних генів.

#### Утворіть логічні пари

19. Визначте, яким типам моногібридних схрещувань у разі проміжного характеру успадкування відповідають ті чи інші варіанти розщеплення за генотипом.

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 1 AA × aa | А 1 : 1                        |
| 2 Aa × aa | Б 3 : 1                        |
| 3 Aa × Aa | В 1 : 2 : 1                    |
|           | Г розщеплення не спостерігають |

20. Визначте, яким типам моногібридних схрещувань у разі повного домінування відповідають ті чи інші варіанти розщеплення за генотипом.

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 1 AA × aa | А 1 : 1                        |
| 2 Aa × aa | Б 3 : 1                        |
| 3 Aa × Aa | В 1 : 2 : 1                    |
|           | Г розщеплення не спостерігають |

21. Визначте, яким типам моногібридних схрещувань у разі проміжного характеру успадкування відповідають такі варіанти розщеплення за фенотипом.

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 1 AA × aa | А 1 : 1                        |
| 2 Aa × aa | Б 1 : 2 : 1                    |
| 3 Aa × Aa | В розщеплення не спостерігають |
|           | Г 3 : 1                        |

22. Визначте, яким типам моногібридних схрещувань у разі повного домінування відповідають такі варіанти розщеплення за фенотипом.

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 1 AA × aa | А 1 : 1                        |
| 2 Aa × aa | Б 3 : 1                        |
| 3 Aa × Aa | В 1 : 2 : 1                    |
|           | Г розщеплення не спостерігають |

23. Установіть відповідність між різними видами мінливості та притаманними їм властивостями.

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1 модифікаційна | А набуті ознаки можуть успадковуватися               |
| 2 мутаційна     | Б нові варіанти поєднання алелів у генотипі нащадків |
| 3 комбінативна  | В одночасний прояв усіх алельних генів у фенотипі    |
|                 | Г набуті зміни можуть зникати протягом життя особини |

24. Установіть відповідність між видами мутагенів та їхніми прикладами.

- |              |   |
|--------------|---|
| 1 хімічні    | А ультрафіолетові промені   |
| 2 фізичні    | Б мобільні групи нуклеотидів, здатні переміщуватись у межах хромосоми |
| 3 біологічні | В віруси  |
|              | Г газ іприт   |

*Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей*

25. Назвіть положення законів спадковості, встановлених Г. Менделем.

<b>Закон одноманітності гібридів першого покоління</b>	<b>Закон розщеплення</b>	<b>Закон незалежного комбінування ознак</b>
1 алельні гени займають ідентичне положення в гомологічних хромосомах	1 при схрещуванні гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігають: у фенотипі 1/4 гібридів другого покоління проявляється рецесивний, а 3/4 – домінантний варіанти ознак	1 гени, розташовані в одній хромосомі, утворюють групу зчеплення
2 гамети диплоїдних особин несуть лише один з двох алельних генів	2 зчеплене успадкування порушується внаслідок процесу кросинговеру	2 при ди- або полігібридному схрещуванні розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від інших
3 у фенотипі гібридів першого покоління проявляється лише один з двох варіантів ознаки, а саме – домінантний	3 кількість груп зчеплення дорівнює кількості хромосом у гаплоїдному наборі	3 гени розташовані у хромосомі в лінійному порядку

26. Виберіть приклади, які характеризують явища повного домінування, проміжного характеру успадкування та кодомінантності.

<b>Явище повного домінування</b>	<b>Проміжний характер успадкування</b>	<b>Кодомінантність</b>
1 успадкування структури поверхні насінин у гороху посівного	1 успадкування забарвлення віночка у ротиків	1 успадкування платинового забарвлення хутра у лисиць
2 успадкування платинового забарвлення хутра у лисиць	2 успадкування забарвлення насінин у гороху посівного	2 успадкування груп крові у людини
3 успадкування забарвлення віночка у ротиків	3 успадкування груп крові у людини	3 успадкування забарвлення віночка у ротиків

*Запитання з відкритою відповіддю*

27. Який зв'язок існує між законами спадковості, встановленими Г. Менделем, і процесом мейозу? Відповідь обґрунтуйте.

28. У чому полягає біологічне значення того, що певний ген може бути представлений багатьма алелями?

29. За яких умов два гени, які входять до однієї групи зчеплення, можуть успадковуватись незалежно? Відповідь обґрунтуйте.

30. У яких випадках серед нащадків, отриманих від схрещування батьків однієї фенотипової групи, можуть зустрічатись інші варіанти фенотипів? Відповідь обґрунтуйте.

31. Чому летальні та сублетальні алелі зазвичай рецесивні?

32. Чи міг би Г. Мендель виявити закономірності спадковості, якби аналізував лише незначну кількість гібридних особин?

33. Чому мутації, пов'язані з кратним зменшенням хромосомного набору, справляють більш негативний вплив на життєздатність організмів, порівняно з тими, які спричинюють його кратне збільшення?

34. Який зв'язок існує між генетикою та іншими біологічними науками?

35. Охарактеризуйте вплив хромосомної теорії спадковості на подальший розвиток біології.

36. Яким чином регуляція активності структурних генів впливає на формування фенотипу організмів?





## ТЕМА 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- розвиток еволюційних поглядів; еволюційні фактори;
- популяцію як одиницю еволюції та біогеоценоз як середовище еволюції;
- роль різних наук в обґрунтуванні теорії еволюції; сучасні еволюційні погляди;
- механізми видоутворення;
- світоглядні та наукові погляди на походження та історичний розвиток життя;
- основні етапи еволюції людини.



**Запам'ятаємо:** **ЕВОЛЮЦІЯ** (від лат. *еволюціо* – розгортання) – процес необоротних змін будови та функцій біологічних систем протягом їхнього історичного розвитку. Наслідком еволюційних змін є пристосованість до умов навколишнього середовища.



**Запам'ятаємо:** вид, який імітує інший, має назву *імітатор*, а вид, якого наслідує імітатор, називають *моделлю*.

### §38. ПРОЦЕС ЕВОЛЮЦІЇ ЯК УНІВЕРСАЛЬНА ВЛАСТИВІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

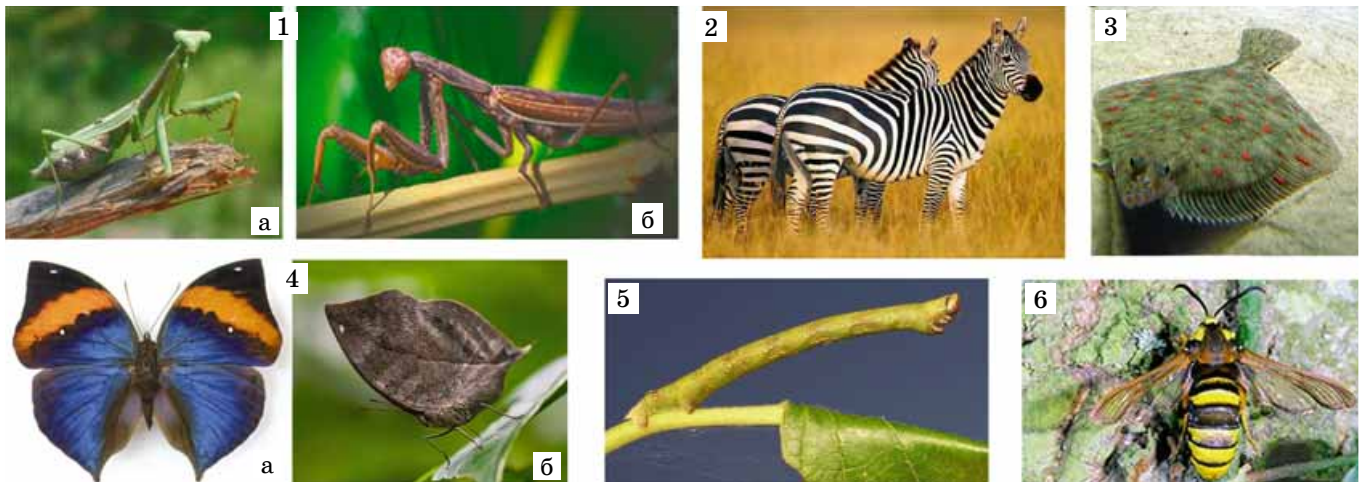
*Пригадайте*, що таке адаптації. Що таке модифікаційна мінливість і норма реакції? Які рівні організації живої матерії вам відомі? Що таке гомеостаз?

Ви вже знаєте, що однією з властивостей біологічних систем різного рівня є їхня здатність до розвитку. У процесі як індивідуального розвитку окремих особин (онтогенезу), так й історичного розвитку видів і систематичних одиниць вищого рангу виникають нові ознаки, частина яких може успадковуватись нащадками. Такий процес розвитку живої матерії називають **еволюцією**.

**Еволюція як процес формування адаптацій.** Вижити за умов періодичних або неперіодичних змін умов існування можуть лише ті організми, які до них пристосувалися. Здатність формувати пристосування – адаптації – загальна властивість живої матерії.

Адаптації організмів можуть бути пов'язані зі змінами будови чи забарвлення, процесів життєдіяльності та поведінки, їхнього біохімічного складу тощо. На малюнку 190 наведено приклади деяких адаптацій організмів до середовища життя. Так, зелене забарвлення комахи богомола робить її непомітною для ворогів і здобичі на тлі зеленої рослинності. Смугасте забарвлення зебри ніби робить її добре помітною для ворогів на відкритій місцевості, але серед рослинності вона стає малопомітною. Таке забарвлення називають *розчленувальним*. Є тварини, які здатні змінювати своє забарвлення відповідно до умов середовища (наприклад, камбала, каракатиці, деякі креветки, хамелеони та ін.; мал. 190, 3).

Ховаючись від ворогів, тварини можуть набувати форми живих і неживих об'єктів, що їх оточують (мал. 190, 4, 5). Наприклад, тропічний метелик каліма зі складеними крилами нагадує листок рослини, на якому можна помітити навіть окремі жилки. Гусінь метеликів п'ядунів у разі небезпеки може завмирати й набувати вигляду сухої гілки. Є й таке явище, як *лімікрія*, коли



Мал. 190. Захисні забарвлення та поведінка тварин як приклади адаптацій до середовища життя: 1 – захисне забарвлення богомола робить його малопомітним для здобичі та ворогів: а – весняна форма із зеленим забарвленням; б – осіння форма, що має коричневе забарвлення; 2 – розчленувальне забарвлення зебри маскує її на тлі вертикальних частин рослин; 3 – камбала здатна змінювати своє забарвлення відповідно до тла довкілля; 4 – тропічний метелик каліма з розправленими (а) та складеними (б) крилами; 5 – гусінь п'ядуна в разі небезпеки завмирає та нагадує суху гілку; 6 – метелик велика тополева скляниця зовні нагадує шершня

одні види тварин формою тіла та забарвленням нагадують інших. Досить часто незахищений організм нагадує захищений. На малюнку 190, 6 зображено комаху, яка нагадує один з видів отруйних ос. Насправді це беззахисний метелик – велика тополева скляниця. Така схожість метелика з осою також є способом захисту від ворогів.

На відміну від незахищених видів, види, що мають певні засоби захисту (отруйні залози, потужні щелепи тощо), часто чітко контрастують своїм забарвленням або поведінкою з навколишнім середовищем (мал. 191). Тим самим вони показують, що їх краще оминати, оскільки вони здатні себе захистити. Це явище називають **демонстрацією**.

Адаптаціями організмів до переживання несприятливих умов є утворення цист одноклітинними тваринами, зимава сплячка тварин, листопад рослин тощо.

**Формування нових адаптацій** зумовлено змінами умов існування і визначається особливостями спадкового матеріалу – генотипом. Поява нової адаптації є наслідком виникнення нових мутацій або появи нових комбінацій мутантних алелів, що виникли раніше (комбінативна мінливість). Якщо мутація виявляється нейтральною (за певних умов, можливо, і корисною), то така особина здатна вижити й передати свій спадковий матеріал нащадкам. Згодом такий мутантний алель має шанс поширитись серед особин популяції, і його концентрація зростатиме. Так адаптація окремих особин через певний час може перетворитись на адаптацію, притаманну всім особинам популяції.

Живі організми постійно пристосовуються до дії кожного окремого екологічного фактора та до їх комплексу, тобто до умов середовища життя, регулюючи процеси життєдіяльності відповідно до змін цих чинників. Біологічні адаптації не тільки забезпечують стійкість до впливу екологічних чинників, а й успіх в конкуренції з іншими особинами свого або інших видів.



Мал. 191. Явище демонстрації: 1 – погрозливе забарвлення павука-птахоїда; 2 – погрозлива поведінка павука-птахоїда: у разі небезпеки він піднімає передні ноги і готує для нападу хеліцери, за допомогою яких вводить отруту в тіло здобичі або ворога; 3 – кров'яно забарвленого жука сонечка містить отруйні речовини, що робить його неїстівним; 4 – погрозлива поведінка вовка





Мал. 192. Екологічно пластичні (1, 2, 3) та екологічно непластичні (4, 5) види: 1 – білка звичайна може мешкати як у лісах різних типів, так і в міських парках; 2 – пацюк сірий мешкає в житлі людини, на складах продуктів, у міських комунікаціях, на сміттєзвалищах, у лісах, скрізь, де для нього є їжа; 3 – подорожник великий зростає уздовж доріг, на засмічених місцях, пустирях, у степах, на луках, пісках тощо; 4 – напівдикий вид інжиру (а) запилюється тільки однією комахою – бластофагою (б), тому може розмножуватись лише там, де мешкає ця комаха; 5 – краб прісноводний трапляється лише в гірських річках і пов'язаних з ними ставках, потребує чистої та твердої (із солями Кальцію) води

### Цікаво знати

У китоподібних унаслідок переходу до водного способу життя в процесі історичного розвитку редукувався пояс задніх кінцівок. Але відомі випадки (із частотою близько 1 : 10 000) появи в них недорозвинених задніх кінцівок (мал. 193, 1). Те саме спостерігають і в безногих ящірок – веретільниць, у яких також іноді народжуються особини з недорозвиненими кінцівками. Прояви атавізмів відомі і в людини (мал. 193, 2, 3).

Види, які можуть виживати в широкому діапазоні змін умов існування, називають **екологічно пластичними** (мал. 192, 1–3). Саме такі види здатні заселяти нові місця проживання або ті, які дуже змінилися (унаслідок пожеж, вирубування лісів, ті, що звільнилися після тривалого перебування під водою тощо). Екологічно пластичні види зазвичай мають широку територію їх поширення – **ареал**. Натомість **екологічно непластичні види** вузько спеціалізовані до умов середовища життя і погано пристосовуються навіть до незначних змін умов проживання (мал. 192, 4, 5).

Еволюція органів зумовлена необхідністю адаптації до нових умов середовища життя. Наприклад, заселення наземно-повітряного середовища тваринами було пов'язане із забезпеченням споживання атмосферного кисню: так у них з'явилися спеціалізовані органи дихання: трахеї у комах та багатьох павукоподібних, легені – у земноводних, плазунів, птахів і ссавців (див. мал. 85). Здатність до запилення, яке передувало заплідненню, позбавила залежності насінних рослин (голонасінних і покритонасінних, або квіткових) від водного середовища, потрібного для забезпечення запліднення у водоростей або вищих спорових рослин.



Мал. 193. Прояви атавізму: 1 – у китоподібних іноді народжуються особини із зачатками задніх кінцівок; 2, 3 – волохатість обличчя чи хвостатість у людини – теж приклади атавізмів



У видів, які переходять до прикріпленого або паразитичного способу життя, адаптації можуть бути пов'язані із спрощенням їхньої будови. Так, у стьожкових черв'яків, які паразитують у кишечнику людини і різних видів тварин, зникає власний кишечник, а поживні речовини вбираються через покриття. Але в них розвиваються спеціалізовані органи прикріплення (присоски, хоботок з гачками тощо). Паразитичні рослини можуть втрачати хлорофіл і здатність до фотосинтезу.

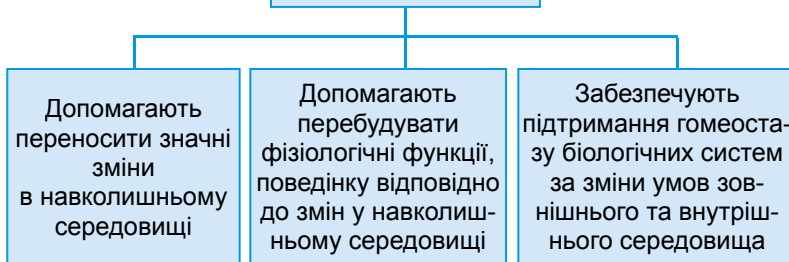
Адаптації непостійні: ті з них, які втратили своє значення, через певний час зникають, натомість можуть формуватись нові. Це пов'язано з тим, що процес еволюції необоротний: якщо умови довкілля повертаються до попереднього стану адаптації щоразу розвиваються заново, а не відтворюються попередні. Після того як унаслідок зміни умов існування адаптація втрачає своє значення, із часом у популяції концентрація алеля (або кількох алелів), що її визначає, знижується. Такий алель може залишатись як резерв спадкової мінливості, іноді проявляючись у фенотипі окремих особин. Прояв у фенотипі ознак, які були притаманні предкам, але в процесі еволюції втратили своє значення, називають **атавізмом** (див. мал. 193).

Адаптації не бувають абсолютними. Наприклад, у зайця білого (мал. 194), як і в деяких інших тварин, під час осіннього линяння під впливом зниження температури довкілля змінюється забарвлення хутра із сірого на біле, яке робить його непомітним на снігу. Але зниження температури не завжди супроводжується випадінням снігу, і біла тварина стає більш помітною на темному тлі. Значення адаптацій для нормального існування та функціонування біологічних систем наведено на малюнку 195.



Мал. 194. Літнє (1) та зимове (2) забарвлення хутра зайця білого

### Значення адаптацій



Мал. 195. Значення адаптацій для нормального існування та функціонування біологічних систем

### Ключові терміни та поняття:

еволюція, адаптації, екологічно пластичні та екологічно непластичні види, атавізми.

### Перевірте здобуті знання

1. Що собою становить процес еволюції? 2. Що таке адаптації? Яке їхнє значення для виживання організмів? 3. Яким чином спадковий матеріал організмів визначає їхню здатність до формування нових адаптацій? 4. Що таке атавізми? Наведіть приклади.

### Поміркуйте

1. Обґрунтуйте, чому процес еволюції необоротний. 2. Що собою становлять атавізми з точки зору формування адаптацій?

### Коротко про головне

Еволюція – процес необоротних змін будови та функцій біологічних систем протягом їхнього історичного розвитку. Наслідком еволюційних змін є їхня пристосованість до умов навколишнього середовища.

Пристосування організмів та надорганізованих біологічних систем до умов існування називають «адаптаціями».

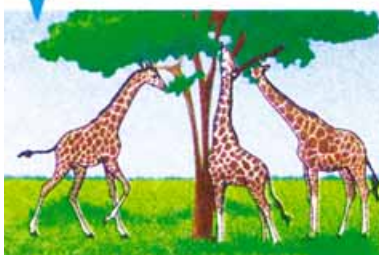
Формування нових адаптацій зумовлене змінами умов проживання і визначається особливостями спадкового матеріалу організму.

Адаптації формуються на різних рівнях організації живої матерії: від молекулярного до екосистемного. Адаптації непостійні: ті з них, які втратили своє значення, через певний час зникають, натомість можуть формуватись нові.



Мал. 196. Давньогрецькі філософи, які одними з перших висловлювали ідеї про мінливість навколишнього світу: 1. Геракліт Ефеський (535–475 рр. до н. е.) вважав, що в навколишньому світі все змінюється і нічого не повторюється; 2. Демокрит (460–370 рр. до н. е.) вважав, що життя зародилось у минулому із неживої матерії під впливом сонячного проміння

1



2



Мал. 197. Приклади, що ілюструють закон Ж.-Б. Ламарка «Вправління чи не вправління органів»: 1 – виникнення довгої шії у жирафи; 2 – розширені передні кінцівки у кротів

### §39. ЕВОЛЮЦІЙНІ ПОГЛЯДИ Ж.-Б. ЛАМАРКА. ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ Ч. ДАРВІНА

Пригадайте внесок Ж.-Б. Ламарка в розвиток біології. Що таке популяції? Що таке симбіоз? Які його форми ви знаєте? Що таке екологічна ніша?

**Історія розвитку еволюційного вчення. Еволюційні погляди Ж.-Б. Ламарка.** Питання еволюції вивчає розділ біології **еволюційне вчення**. Це наука про фактори, механізми, загальні закономірності та наслідки еволюції. Окремі ідеї про історичний розвиток живих істот висловлювали ще давньогрецькі філософи, такі як Геракліт, Демокрит та інші (мал. 196).

Першу еволюційну гіпотезу сформулював видатний французький учений **Жан-Батіст Ламарк** (див. мал. 1, 1). *Пригадайте:* саме Ж.-Б. Ламарк одночасно з Г.Р. Тревіранусом запропонували термін «біологія». У своїх працях Ж.-Б. Ламарк обґрунтував уявлення про окрему «область життя» на Землі (пізніше названу **біосферою**). Він розробив оригінальну систему класифікації тварин, зокрема вперше поділив тварин на безхребетних і хребетних.

Свою еволюційну гіпотезу Ж.-Б. Ламарк виклав у праці «Філософія зоології» (1809). Вона базується на уявленні про те, що всі живі організми під впливом умов довкілля набувають корисних пристосувань, змінюючи свою будову, функції, індивідуальний розвиток тощо. Отже, за Ж.-Б. Ламарком, **еволюція – процес набуття корисних ознак, які успадковуються нащадками**. Нижчі організми (які не мають нервової системи) змінюються безпосередньо під впливом чинників довкілля. Наприклад, листки водяних рослин мають стрічкоподібну форму (лінійні), бо витягуються течією (див. мал. 177, 1) тощо. Вищі організми (тварини, що мають нервову систему) виробляють пристосування за схемою: зміна потреб веде до зміни звичок, зміна звичок веде до зміни дій, зміна дій спричинює тренування одних і не тренування інших органів. Органи, що тренуються, розвиваються, а органи, що не тренуються, редукуються. Наприклад, жирафа почала жити листками дерев, тому весь час витягувала ший, щоб дістатися крони: шия і передні ноги в неї видовжились (мал. 197, 1). Кротам, які мешкають під землею, очі лише заважають, тому вони поступово редукувалися (мал. 197, 2). Таким чином, Ж.-Б. Ламарк сформулював закон «Вправління чи не вправління органів».

Ж.-Б. Ламарк сформулював також «Закон успадкування набутих ознак»: **корисні ознаки, набуті твариною протягом життя, передаються нащадкам**. Так, жирафи передали нащадкам довгу ший та довгі ноги, кроти – розширені передні кінцівки, за допомогою яких вони риють ґрунт. Отже, вважав учений, будь-яка мінливість є спадковою і визначається впливом зовнішніх умов. Тепер ми знаємо, що існує як спадкова, так і неспадкова мінливість.

Ще один фактор еволюції, за Ж.-Б. Ламарком, зумовлений **внутрішнім прагненням організмів до прогресу**. Цей чинник не залежить від характеру зміни умов довкілля. Отже, хоч би як змінювалися умови довкілля, рівень організації організмів має підвищуватись. Проте ми знаємо, що коли організми переходять до паразитич-

ного, прикріпленого чи малорухомого способу життя, рівень їхньої організації зазвичай спрощується.

Ж.-Б. Ламарк розглядав еволюцію як процес безперервних змін, що полягають лише в ускладненні будови організмів і переходах від нижчого рівня організації до вищого. Він вважав, що цей процес відбувається в історичному розвитку життя безперервно. Нижчі рівні організації – це бактерії та інші мікроскопічні організми, вищі – теплокровні тварини, зокрема ссавці та людина. Найвність видів, які в певний момент існування Землі перебувають на різних рівнях організації, він пояснив тим, що життя безперервно самозароджується. Тому багато організмів, які виникли пізніше, ще не встигли вдосконалитись до вищого рівня.

**Еволюційні погляди Чарльза Дарвіна.** Важливим етапом у розвитку еволюційної теорії стали дослідження Ч. Дарвіна (мал. 198). До створення своєї теорії еволюції цей видатний учений тривалий час ретельно збирав та аналізував значний обсяг матеріалу, залучаючи до цієї роботи різних фахівців. Під час цієї кропіткої роботи дедалі чіткіше викристалізовувався головний висновок: види організмів змінюються у процесі еволюції.

Основні положення своєї еволюційної теорії Ч. Дарвін виклав у праці «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» (1859). Він також сформулював теорію штучного добору, основні положення якої виклав у праці «Зміни тварин і рослин під впливом одомашнювання» (1868). Ч. Дарвіна цікавили й проблеми походження людини. 1871 р. вийшла ще одна його праця: «Походження людини і статевий добір». У ній він спробував пояснити походження людини від спільних з людиноподібними мавпами предків.

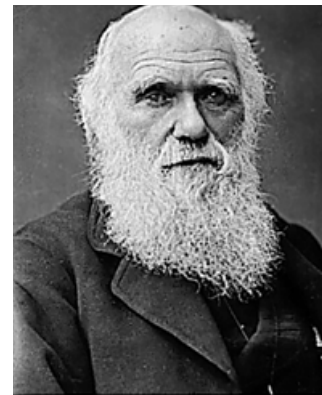
Підґрунтям еволюційної теорії Ч. Дарвіна стали уявлення про здатність видів організмів змінюватись унаслідок змін середовища життя. Учений вважав, що адаптації розвиваються в організмів поступово, у процесі їхньої еволюції. Довготривалим наслідком адаптацій є здатність залишати достатню кількість життєздатних нащадків.

За Ч. Дарвіном, еволюція відбувається на підставі спадкової мінливості під дією **боротьби за існування**, наслідком якої є **природний добір**. Саме їх він вважав **рушійними факторами еволюції**.

На відміну від Ж.-Б. Ламарка, Ч. Дарвін припускав, що мінливість може бути неспадковою та спадковою. Перша форма мінливості (*пригадайте*: її називають «модифікаційною») проявляється в усіх особин виду однаково під дією певного чинника і може зникати, коли ця дія припиняється. Такі зміни нащадкам не передаються. Спадкова мінливість (*пригадайте*: це може бути мутаційна та комбінативна мінливість) – це зміни, які виникають у кожного організму індивідуально і незалежно від впливів змін довкілля. Такі зміни можуть передаватися нащадкам.

Ч. Дарвін виділяв три форми боротьби за існування: внутрішньовидову, міжвидову та боротьбу з несприятливими умовами навколишнього середовища.

**Запам'ятаємо:** прогресивним у еволюційній гіпотезі Ж.-Б. Ламарка було те, що він визнав роль умов середовища життя в процесі еволюції та вважав, що основним напрямом еволюції є ускладнення організації живих організмів. Проте йому не вдалося виявити механізми еволюційного процесу.

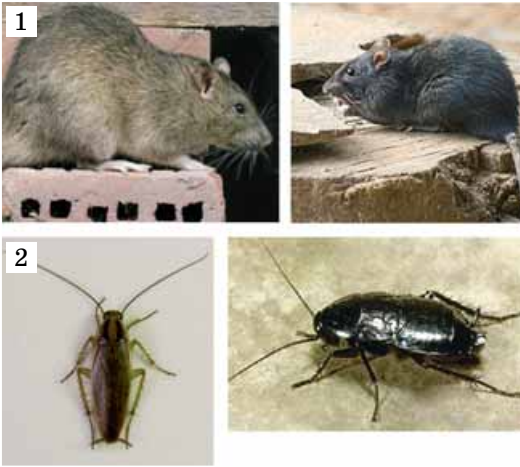


Мал. 198. Чарльз Роберт Дарвін (1809–1882) – видатний англійський учений, праці якого вплинули на подальший розвиток біології

### Цікаво знати

У науковій кар'єрі Ч. Дарвіна важливу роль відіграв випадок. 1831 р. він отримав посаду науковця на військовому кораблі «Бігль», який мав обплити земну кулю та обстежити узбережжя Південної Америки з метою розширити володіння Британської імперії. Подорож на «Біглі» докорінно змінила життя Ч. Дарвіна. Зібраний багатий матеріал став підґрунтям його еволюційної теорії, яку потім назвали **дарвінізмом**.





Мал. 200. Конкуруючі види тварин – приклад міжвидової боротьби за існування: 1 – сірий та чорний пацюки; 2 – рудий і чорний таргани



Мал. 201. Приклад боротьби з несприятливими умовами навколишнього середовища: у пустелі Наміб повністю відсутні дощові опади, але щоденно спостерігають тумани; жуки-чорнотілки під час туманів конденсують вологу з вологого повітря на поверхні тіла

**Запам'ятаємо:** природний добір характеризується спрямованістю і творчим характером. За Ч. Дарвіном, він діє через збереження й накопичення корисних для особин виду спадкових змін і формування нових адаптацій.



Мал. 199. Різні варіанти взаємозв'язків між особинами одного виду: 1 – полювання зграї вовків на велику здобич – приклад взаємовигідної взаємодії між особинами одного виду; 2 – одно-віковий сосновий ліс – приклад внутрішньовидової конкуренції

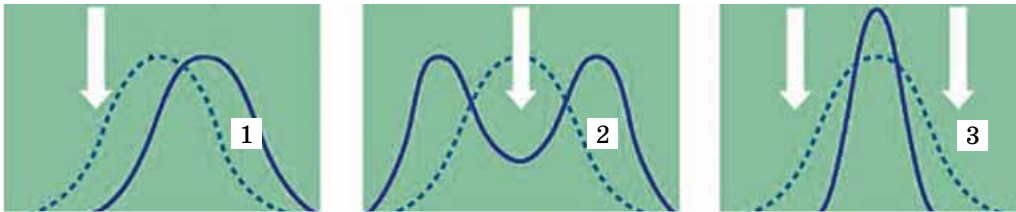
Внутрішньовидова боротьба за існування відбувається між особинами одного виду, оскільки їм притаманні подібні вимоги до середовища життя: подібні джерела їжі, подібні типи схованок тощо. За Ч. Дарвіном, найбільш пристосовані особини, здатні передавати свої ознаки, що забезпечили виживання, нащадкам. Це загалом сприяє вдосконаленню виду в процесі еволюції. Звичайно, внутрішньовидовою конкуренцією відносини між особинами одного виду не обмежуються: наприклад, зграя хижаків може спільно полювати на велику здобич (мал. 199).

Міжвидова боротьба за існування – це різні варіанти взаємодій між особинами різних видів, зокрема міжвидова конкуренція. Вона стає гострішою, що ближчі вимоги особин цих видів до умов проживання. Більш конкурентоспроможний вид витісняє зі спільного місцезнаходження менш конкурентоспроможний. Наприклад, сірий пацюк витіскає чорного, рудий тарган – чорного (мал. 200). Ч. Дарвін вважав, що міжвидова боротьба за існування посилює внутрішньовидову, що сприяє еволюції та вдосконаленню видів.

Слід зазначити, що міжвидовою конкуренцією всі форми взаємовідносин між особинами різних видів не вичерпуються. Пригадайте такі форми міжвидових відносин, як симбіоз, роль тварин у запиленні рослин та поширенні насіння тощо.

Боротьбу з несприятливими умовами навколишнього середовища, згідно з Ч. Дарвіном, спостерігають скрізь, де особини певного виду опиняються за умов несприятливих температур, недостатньої або надлишкової вологості, недостатнього або надлишкового освітлення тощо (мал. 201). Існування в несприятливих умовах докільля, як вважав Ч. Дарвін, посилює внутрішньовидову боротьбу і, як наслідок, – сприяє кращій пристосованості виду в цілому.

Природний добір – процес, унаслідок якого виживають і залишають після себе плідних нащадків найбільш пристосовані до умов існування особини певного виду. Він діє на основі боротьби за існування, але має творчий характер. Творча роль природного добору, за Ч. Дарвіном, полягає у такому. Зі значної кількості неспрямованих спадкових змін, які постійно виникають в організмів певного виду, завдяки природному добору залишаються лише ті, які найбільше відповідають умовам існування. Ці зміни сприяють кращій пристосованості організмів до



Мал. 202. Форми природного добору: 1 – рушійний; 2 – розриваючий; 3 – стабілізуючий

середовища життя. Накопичуючись і посилюючись із покоління в покоління, ці зміни сприяють удосконаленню виду та сприяють появі нових систематичних одиниць: підвидів, видів, родів тощо. Послідовники Ч. Дарвіна згодом обґрунтували, що природний добір може бути рушійним, стабілізуючим і розриваючим (мал. 202).

**Рушійний добір** відбувається за повільних змін умов довкілля у певному напрямі або під час пристосувань організмів до нових умов у разі розширення ареалу (мал. 202, 1). Він зберігає спадкові зміни, що відповідають напрямку змін, які відбуваються у довкіллі. Отже, завдяки дії рушійного добору в певний бік зсувається і норма реакції (див. с. 137). Прикладом дії рушійного добору є спостереження англійського біолога В. Уелдона за популяцією крабів бухти міста Плімута. Він дослідив, що за п'ять років після побудови молу<sup>1</sup> ширина панцира крабів змінилася: якщо до побудови молу переважали особини із широким панциром, то після його побудови – з вузьким. Він пояснив це тим, що в особин з вузьким панциром вужчий також отвір, який веде до зябрової порожнини. Це краще захищає зябра від забруднення мулом, який почав накопичуватись на дні після спорудження молу.

**Стабілізуючий добір** зазвичай проявляється в постійних умовах довкілля. Він підтримує сталість певного фенотипу, що найбільше відповідає навколишньому середовищу, і відкидає будь-які зміни, як менш адаптаційні (мал. 202, 3). Наслідком дії стабілізуючого добору є досконала пристосованість до певних умов існування, тобто спеціалізація видів. Прикладом дії стабілізуючого добору є підтримання сталої будови квітки в рослин, які запилюються лише певними видами комах (наприклад, конюшину запилюють джмелі та бджоли, чиї ротові органи відповідають формі її квітки) (мал. 203, 2). Теорію стабілізуючого добору розробив український учений І.І. Шмальгаузен (мал. 203, 1).

**Розриваючий добір** одночасно діє у двох, рідше кількох напрямках, однак не сприяє збереженню середніх (проміжних) станів ознак (мал. 202, 2). Наприклад, у жука двокрапкового сонечка є різні форми забарвлення (мал. 204). Одна з них має червоні надкрила з двома чорними крапками, вона краще пристосована до дії високих температур. Інша, навпаки, має чорне забарвлення із червоними крапками й краще виживає під час дії низьких температур. Розриваючий добір сприяє виникненню кількох різних варіантів фенотипів в одній популяції, – отже, пристосуванню популяції до існування в нестабільних умовах довкілля.



1



2

Мал. 203. 1. Іван Іванович Шмальгаузен (1884–1963): видатний учений у галузі порівняльної анатомії, еволюційної морфології та ембріології тварин. Працював у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (1907–1912 та 1921–1941), у 1930–1941 рр. очолював Інститут зоології НАН України, який тепер носить його ім'я. 2. Приклад дії стабілізуючого добору: форма квітки має відповідати особливостям ротового апарату комах, які її запилюють.



Мал. 204. Приклад дії розриваючого добору: дві форми забарвлення жука двокрапкового сонечка

<sup>1</sup> Мол (від італ. *моло* – насип) — гідротехнічна огорожувальна споруда для захисту акваторії порту від хвиль.



Ж.-Б. Ламарк розглядав еволюцію як процес безперервних змін, пов'язаних з підвищенням організації живих істот.

Ч. Дарвін вважав, що еволюційні зміни організмів базуються на спадковій мінливості. Як рушійні сили еволюційного процесу він розглядав боротьбу за існування (внутрішньовидову, міжвидову та боротьбу з несприятливими умовами навколишнього середовища) і природний добір, якому притаманний творчий характер. Природний добір може бути рушійним, стабілізуючим та розриваючим.

Еволюційну теорію Ч. Дарвіна було доповнено і розширено працями його послідовників. Вона сприяла інтенсифікації досліджень у різних галузях біології. Одні з учених намагалися на прикладі своїх об'єктів досліджень підтвердити основні положення еволюційної теорії Ч. Дарвіна, інші, навпаки, спростувати.

#### Ключові терміни та поняття:

еволюційне вчення, боротьба за існування, природний добір: рушійний, стабілізуючий та розриваючий.

#### Перевірте здобуті знання

1. Охарактеризуйте основні положення еволюційної гіпотези Ж.-Б. Ламарка. 2. Які фактори еволюції розглядав Ч. Дарвін? 3. Охарактеризуйте боротьбу за існування як фактор еволюції. У яких формах, згідно з Ч. Дарвіном, може відбуватись боротьба за існування? 4. Охарактеризуйте природний добір як рушійну силу еволюційного процесу. 5. Які форми природного добору ви знаєте?

#### Поміркуйте

1. Які положення еволюційної гіпотези Ж.-Б. Ламарка відповідають поглядам сучасної науки, а які – ні? 2. Що спільного та відмінного в еволюційних поглядах Ж.-Б. Ламарка та Ч. Дарвіна?

### **§40. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ. ПОПУЛЯЦІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТАРНА ОДИНИЦЯ ЕВОЛЮЦІЇ**

*Пригадайте*, що таке мутації. Що вивчає палеонтологія, порівняльні анатомія, морфологія та ембріологія? Які види вважають екологічно пластичними та непластичними? Що таке генофонд?

**Розвиток еволюційних поглядів.** Ще за життя Ч. Дарвіна його еволюційна теорія знайшла своїх послідовників. Разом з тим були й такі дослідники, що вказували на факти, які на той час ця теорія не могла пояснити. Зокрема, дані генетичних досліджень щодо мутацій не можна було пояснити з точки зору еволюційної теорії Ч. Дарвіна. Якщо Ч. Дарвін вважав, що пристосування організмів до середовища життя формуються поступово, то мутації, на ґрунті яких формуються нові ознаки, виникають раптово.

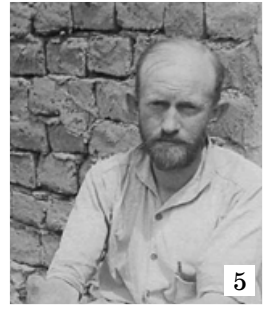
*Пригадайте*: основи вчення про мутації заклав Х. де Фріз. Саме він сформулював перші положення еволюційних поглядів, відомих під назвою *сальтаціонізм* (від лат. *сальтус* – стрибок). Це теорії, які базуються на стрибкоподібному характері еволюції. Згідно з поглядами прихильників сальтаціонізму процес видоутворення пов'язаний з появою нових особин, які відрізняються низкою ознак від представників батьківського виду. Це може відбуватись дуже швидко, протягом небагатьох поколінь. Такі змінені особини можуть виявитись репродуктивно ізольованими від особин батьківського виду.

Протистояння прихильників дарвінізму та сальтаціонізму тривало багато років. Але згодом стало зрозуміло: дані генетики не тільки не суперечать положенням еволюційної теорії, а, навпаки, підкріплюють її положення. Зусиллями багатьох учених, таких як О.М. Северцов, І.І. Шмальгаузен, С.С. Четвериков, М.В. Тимофеев-Ресов-

#### **Цікаво знати**

Положення сальтаціонізму приваблювали вчених тим, що пояснювали, чому серед викопних форм рідко трапляються перехідні форми, тобто організми, які у своїй організації поєднують риси предкових форм і видів, які виникли пізніше. Х. де Фріз, досліджуючи успадкування ознак у рослини енетери, спостерігав появу нових, раніше не відомих ознак унаслідок окремих мутацій. Такі мутаційні форми могли не схрещуватись з особинами батьківського виду й фактично становили нові види.





Мал. 205. Учені, які зробили внесок у розвиток синтетичної теорії еволюції: 1 – Олексій Миколайович Северцов (1866–1936): видатний біолог, засновник еволюційної морфології тварин; з 1902 по 1911 рр. працював у Київському університеті Святого Володимира; 2 – Сергій Сергійович Четвериков (1880–1959): видатний генетик, ентомолог, еволюціоніст. Один з перших обґрунтував роль коливань чисельності популяцій як фактора еволюції; 3 – Феодосій Григорович Добржанський (1900–1975): видатний американський учений українського походження; стояв біля витоків популяційної генетики; 4 – Джуліан Сорел Хакслі (1887–1975): видатний англійський біолог, еволюціоніст; стояв біля витоків створення Всесвітнього фонду дикої природи; 5 – Джордж Гейлорд Сімпсон (1902–1984): видатний американський палеонтолог, увів термін «синтетична теорія еволюції»

ський, Дж. С. Хакслі, Р. Фішер, Ф.Г. Добржанський, Дж. Г. Сімпсон, С. Райт (мал. 205), було створено **синтетичну теорію еволюції** – комплекс уявлень про еволюційний процес, що виник унаслідок синтезу положень класичного дарвінізму з ученням про мутації та уявленнями про популяцію як елементарну одиницю еволюції.

#### Основні положення синтетичної теорії еволюції.

**Головним джерелом спадкової мінливості** синтетична теорія еволюції розглядає мутації (мутаційна мінливість), мутантні алелі можуть поєднуватись у різних комбінаціях (комбінативна мінливість).

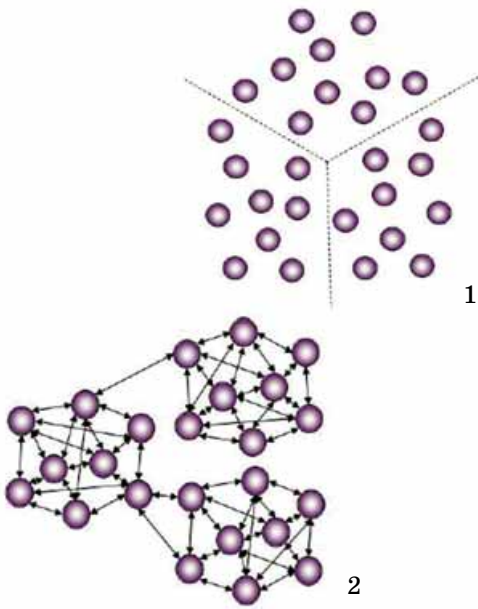
**Елементарними факторами еволюції** є природний добір, який є наслідком боротьби за існування в різних її формах. **Елементарною одиницею еволюції** є популяція. Еволюційні процеси, що відбуваються в популяціях, дістали назву **мікроеволюція**. Їхнім наслідком можуть бути зміни спадкового матеріалу популяції – її генофонду. Такі зміни можуть сприяти утворенню нових видів – **видоутворенню**. Еволюційні процеси, які приводять до утворення систематичних одиниць вищого рангу – нових родів, родин, рядів (порядків) тощо, називають **макроеволюцією**.

#### Популяції живих організмів та їх характеристики.

Термін **популяція** запропонував відомий датський учений В.Л. Йогансен (див. мал. 100). Види існують у вигляді системи популяцій, які зазвичай взаємодіють між собою. Така взаємодія відбувається в результаті обміну спадковим матеріалом (міграції особин у тварин, перенесення спор чи насіння вітром, водою, комахами тощо). Отже, популяція є **структурно-функціональною одиницею виду**. Сукупність подібних між собою популяцій, які відрізняються від інших популяцій того самого виду одним або небагатьма варіантами ознак, становить **підвид**. Існування підвидів свідчить про екологічну пластичність виду, його здатність пристосовуватись до різноманітних умов довкілля. Наприклад, вид тигр має 9 сучасних підвидів, три з яких повністю винищила людина, білка звичайна – понад 40 підвидів.

**Запам'ятаємо:** **популяція** (від лат. *популюс* – народ, населення) – сукупність особин одного виду, які взаємодіють між собою та більш або менш тривалий час населяють спільну територію, частково чи повністю відокремлено від інших подібних угруповань і характеризуються певним набором генетичної інформації – генофондом.

**Запам'ятаємо:** існують три види еволюційних процесів: мікроеволюція (еволюційні процеси відбуваються всередині популяцій і можуть змінити їхній генофонд); видоутворення (формування нових видів); макроеволюція (виникнення надвидових систематичних одиниць).

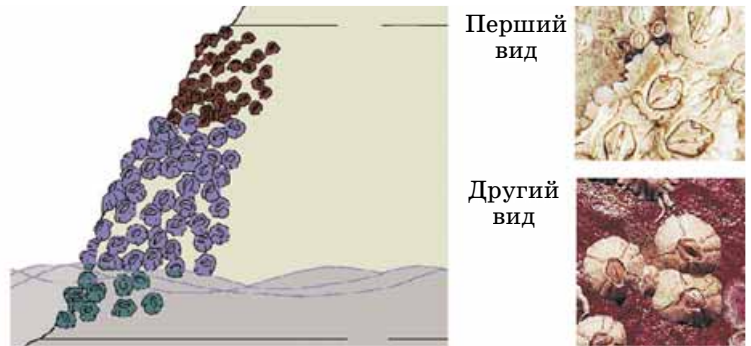


Мал. 206. Підходи до виділення окремих популяцій: 1 – за територією, яку вони займають (якщо популяції відокремлені просторово); 2 – за тісністю функціональних зв'язків між особинами одного виду

Наявність популяцій у природі пов'язана з тим, що оптимальні умови існування нерівномірно розподілені по території, на якій мешкає вид (мал. 206).

Унаслідок взаємодії популяції певного виду з комплексом усіх екологічних чинників середовища життя (як неживої природи, так і з особинами інших видів) формується власна **екологічна ніша**.

Два види не можуть тривалий час займати одну й ту саму екологічну нішу в певній екосистемі. Якщо таке трапляється, то більш конкурентоспроможний вид витискатиме з екосистеми менш конкурентоспроможний (*пригадайте*: сірий пацюк – чорного; див. мал. 200, 1). На малюнку 207 зображено, як конкурентоспроможніший вид ракоподібних – морських жолудів – витискає менш конкурентоспроможний у гірші щодо умов існування ділянки прибережних скель. Це уможливило їхнє спільне існування в одній екосистемі за рахунок просторового розділення їхніх екологічних ніш.



Мал. 207. Співіснування двох видів морських жолудів в одній екосистемі за рахунок просторового розділення їхніх екологічних ніш

**Запам'ятаємо:** **екологічна ніша** – це трофічне (визначається характером їжі, яка споживається) й просторове положення популяції певного виду в екосистемі. Вона формується внаслідок взаємодії з популяціями інших видів та факторами неживої природи.

Популяція становить собою цілісну функціональну систему у складі екосистеми. Вона має всі необхідні умови для свого відтворення, тривалого існування і за допомогою адаптацій може пристосовуватися до змін умов існування.

**Характеристики популяцій.** Насамперед це **чисельність** – загальна кількість особин, які складають популяцію. Популяції з низькою чисельністю, наприклад великих за розмірами ссавців, можуть включати лише кілька десятків особин (наприклад, популяція бенгальського тигра – 20–30 особин; мал. 208, 1). Натомість популяції



Мал. 208. Приклади тварин, які формують нечисленні та численні популяції: 1 – тигр бенгальський; 2 – сарана перелітна



певних видів комах можуть складатися з десятків і сотень тисяч особин (мал. 208, 2).

**Густота популяції** – середня кількість особин, яка припадає на одиницю площі (у разі наземних екосистем) або об'єму (водні та ґрунтові екосистеми). З іншого боку, кожна популяція займає певну **площу** або **об'єм**. Там, де умови існування оптимальніші, спостерігають більшу густоту особин певного виду, а там, де умови не оптимальні, – меншу.

**Продуктивність популяції** – кількість біомаси (продукції), яка створюється особинами популяції за одиницю часу.

**Просторова структура популяції** – розподіл особин популяції по території, яку вона займає, що дає змогу найповніше використовувати ресурси середовища життя. Залежно від характеру використання території популяції тварин поділяють на осілі, кочові й мігруючі (мал. 209). **Популяції осілих видів** (бурі ведмеді, кроти, дощові черви тощо) зазвичай тривалий час мешкають на одній і тій самій території. **Популяції кочових видів** у пошуках їжі або оптимальних умов існування здатні пересуватися на певні, іноді значні, відстані (шпаки, пєсці тощо). **Популяції мігруючих видів** закономірно змінюють місця існування, просторово значно віддалені одне від одного (наприклад, різні види ластівок).

За наявності значних географічних перешкод різні популяції одного виду можуть бути майже повністю відокремлені одна від одної (популяції риб з різних озер). Якщо територія, яку займає вид, більш або менш однорідна, то межі між окремими популяціями зазвичай виражені нечітко (популяції гризунів, наприклад бабаків, що мешкають у степах і пустелях) (мал. 210).

**Вікова структура популяції** визначається розподілом її особин за віковими групами. Різка скорочення частки нестатевозрілих особин свідчить про можливе зниження чисельності популяції в майбутньому, коли ці особини стануть статевозрілими й залишать нечисленних нащадків.

**Статєва структура популяції** визначається співвідношенням особин різних статей: у тварин – самців і самок (*пригадайте* явище успадкування, зчеплене зі статтю, і спробуйте пояснити переважання особин певної статі у популяціях тварин певного виду).

**Етологічна структура популяції** – це система взаємозв'язків між особинами, яка проявляється в їхній поведінці. З курсу біології 7 класу ви пам'ятаєте, що біологічні основи поведінки тварин вивчає наука **етологія** (від грец. *етос* – характер і *логос* – вчення). Особинам різних видів притаманний поодинокий чи груповий спосіб життя. За поодинокого способу життя особини популяції більш або менш розділені просторово і збираються разом лише на період розмноження, міграцій тощо (скорпіони, тетеруки, качки-крижні). Груповий спосіб життя пов'язаний з утворенням постійних родин, колоній, зграй, табунів тощо. Спільне існування організмів у вигляді постійних груп дає змогу краще пристосовуватися до умов існування (захист від хижаків, ефективно полювання, виживання молоді і т.д.).

**Генетична структура популяції.** Кожна популяція має притаманний їй генофонд, що сформувався внаслідок



1



2

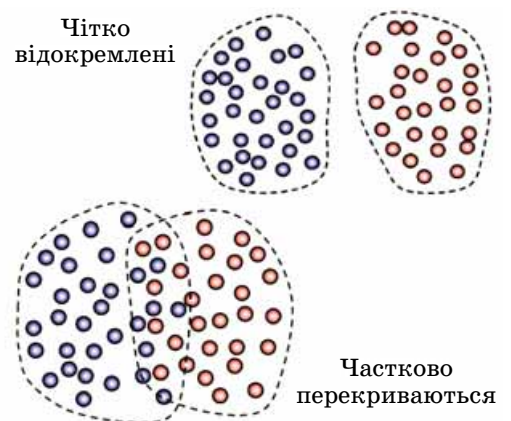


3

Мал. 209. Приклади тварин, які ведуть осілий – ведмідь бурий (1), кочовий – пєсець (2) та мігруючий – сільська ластівка (3) спосіб життя

## Цікаво знати

1889 року була зареєстрована зграя сарани перелітної, яка займала площу 6000 км<sup>2</sup> і нараховувала мільярди особин.



Мал. 210. Ступінь відокремленості популяції певного виду





**Запам'ятаємо:** кожен біологічний вид є цілісною інтегрованою системою лише за умов, що між окремими його популяціями здійснюється постійний обмін спадковою інформацією у вигляді алельних генів. Унеможливлення обміну спадковою інформацією між окремими популяціями – їх ізоляція – зумовлює те, що генофонд таких популяцій із часом буде дедалі більше відрізнятися, що створює передумови для виникнення нових підвидів та видів.

більш або менш вільного схрещування між собою її особин, а також завдяки обміну спадковою інформацією з іншими популяціями. Різні популяції одного виду можуть відрізнятися як за набором алельних генів, так і за частотою зустрічальності (концентрації) окремих алельних генів та їх поєднань.

На генофонд популяції можуть впливати інтенсивні міграції особин з популяції в популяцію та **мутаційний процес**, що призводить до появи нових алелів певних генів. Однією з причин зміни генетичної структури популяції є також випадкова і неспрямована зміна частот зустрічальності алелів та їхніх поєднань – так званий **дрейф генів**. Найчіткіше це явище виявляється у нечисленних популяціях.

Однією з причин дрейфу генів є **популяційні хвилі** – періодичні або неперіодичні коливання чисельності особин у популяції. Наприклад, у разі зниження чисельності популяції можуть переважно вимирати особини з певними поєднаннями алельних генів. Натомість частота зустрічальності інших алелів, навпаки, може різко зростати.

Наслідком еволюційних процесів, які відбуваються в популяціях, може бути виникнення нових підвидів, а згодом – і видів.

### Ключові терміни та поняття:

сальтаціонізм, синтетична теорія еволюції, популяція, екологічна ніша, популяційні хвилі, мікроеволюція.

### **Перевірте здобуті знання**

1. На чому базуються еволюційні погляди, які мають назву «сальтаціонізм»?
2. Які основні положення синтетичної теорії еволюції?
3. Що таке популяція? Які її основні характеристики?
4. Що таке структура популяції? Які типи структури популяції ви знаєте?
5. Що собою становить генофонд популяції?
6. Які чинники можуть впливати на зміни генофонду популяцій? Охарактеризуйте їх.

### **Поміркуйте**

Чому існування видів у вигляді системи популяцій є необхідною передумовою виникнення нових видів?

## **§41. ВИДОУТВОРЕННЯ. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ**

*Пригадайте*, що таке вид. Що таке каріотип, геном і генотип? Що таке ареал? Як формується плід у квіткових рослин? Яке значення процесу подвійного запліднення у квіткових рослин?

**Вид та його критерії.** *Пригадайте:* вид – це сукупність популяцій особин, що подібні між собою за будовою, процесами життєдіяльності, положенням в екосистемах (вид займає певну екологічну нішу), населяють певну частину біосфери (ареал), вільно схрещуються між собою (якщо їм притаманне перехресне запліднення) і дають плодючих нащадків.

Основні положення **біологічної концепції виду**, на якій базується синтетична теорія еволюції, такі:

- особини одного виду становлять певну генетичну єдність, оскільки мають подібний набір генів (геном), проте



### **Коротко про головне**

Синтетична теорія еволюції – комплекс уявлень про еволюційний процес, що виник унаслідок синтезу положень класичного дарвінізму з ученням про мутації та уявленнями про популяцію як елементарну одиницю еволюції.

Зміни чисельності популяцій, спричинені різними факторами, називають «популяційними хвилями».

Кожна популяція має свій генофонд, який характеризується певним набором алельних генів і частотою зустрічальності (концентрацією) окремих алелів та їх поєднань. Генофонд популяцій може змінюватися внаслідок дії різних еволюційних чинників: мутаційного процесу, природного добору, популяційних хвиль, ізоляції, дрейфу генів. Значні зміни генофонду окремих популяцій певного виду можуть ускладнювати або унеможлиблювати схрещування особин такої популяції з особинами з інших популяцій. Це створює основу для процесів видоутворення – виникнення нових видів.

вони можуть відрізнятися за набором алельних генів (генотипом);

- сукупність подібних між собою популяцій, які відрізняються від інших популяцій того самого виду одним або небагатьма варіантами ознак, становить підвид; наявність підвидів – свідчення екологічної пластичності видів;

- у природі певні види не схрещуються з іншими; якщо ж гібридизація і відбувається, то отримані нащадки зазвичай не здатні до розмноження;

- популяція є елементарною одиницею еволюції, бо в ній відбуваються усі мікроеволюційні процеси (спадкова мінливість, популяційні хвилі, дрейф генів, природний добір та боротьба за існування). Окремі особини, які складають популяцію, не мають власної еволюційної долі, бо всі еволюційні події здійснюються протягом зміни низки поколінь унаслідок схрещувань.

Приналежність особин до певного виду визначають за певними критеріями – характерними для особин цього виду ознаками та властивостями, серед яких подібні особливості будови та процесів життєдіяльності, вимоги до умов середовища життя, подібний геном тощо.

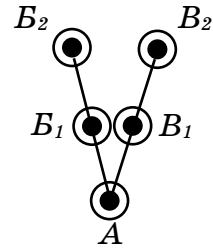
**Механізми видоутворення.** Одним з видів еволюційного процесу є **видоутворення** – процес виникнення нових видів та їх зміни в часі. Раніше ми згадували, що передумовою видоутворення є зміни в генофонді окремих популяцій або груп популяцій, що забезпечує їх репродуктивну ізоляцію.

Тривала **внутрішньовидова ізоляція** призводить до того, що окремі популяції можуть еволюціонувати незалежно від інших. Мутації, які виникають в одній популяції, не можуть проникати в іншу. Дрейф генів призводить до того, що в різних популяціях у різних напрямках змінюється генофонд. У свою чергу, природний добір перебудовує генофонд кожної ізолюваної популяції у напрямі формування адаптацій до конкретних умов середовища мешкання. Тому за своїм генофондом ізолювані популяції стають дедалі менше схожими на інші популяції виду.

Видоутворення може відбуватися різними шляхами, найчастіше шляхом дивергенції, коли від вихідної батьківської форми виникають два або більше нових видів-нащадків. Поняття **дивергенція** ввів Ч. Дарвін. Під ним він розумів явище розходження ознак у нащадків спільного предка як наслідок пристосувань до різних умов довкілля (мал. 211).

Видоутворення шляхом дивергенції є наслідком ізоляції. Відповідно до її типів розрізняють географічне та екологічне видоутворення.

**Географічне видоутворення** відбувається внаслідок просторової ізоляції популяцій предкового виду. Його прикладів існує дуже багато. Це і класичні спостереження Ч. Дарвіна на Галапагоському архіпелазі за різноманіттям дрібних горобцеподібних пташок – в'юрків (мал. 212, 1). Він помітив, що на кожному з островів Галапагоського архіпелагу мешкає свій вид цих птахів. Ці види досить близькі між собою і з видом, який мешкає на материковій частині Південної Америки, біля берегів якої розташовані острови архіпелагу. Ч. Дарвін пояснив це явище тим, що материковий вид свого часу розселився



Мал. 211. Схема, що ілюструє процес дивергенції: А – предковий вид; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> – види-нащадки

**Запам'ятаємо:** процес дивергенції не тільки пояснює появу нових видів у процесі еволюції, а й поступове збільшення їхньої кількості, адже один предковий вид може дати початок певній кількості дочірніх.



Мал. 212. Приклади географічного видоутворення: 1 – різні види в'юрків островів Галапагоського архіпелагу: зверніть увагу, що різні види цих пташок відрізняються за формою дзьоба внаслідок адаптації до споживання різної їжі; 2 – бобри європейський (а) та канадський (б)





Мал. 213. Види синиць, які могли виникнути шляхом розділення екологічних ніш



Мал. 214. Жаба їстівна: вид, який виник унаслідок гібридизації ставкової та озерної жаб



Мал. 215. Різні види цихлід озера Вікторія, які виникли від спільного предка

на острови архіпелагу, де в умовах ізоляції, внаслідок пристосувань до певних умов того чи іншого острова, предковий вид дав початок характерним для кожного острова різним видам.

На території Євразії та Північної Америки мешкають два близькі види бобрів: бобер європейський поширений на території країн Євразії, тоді як бобер канадський – Північної та Центральної Америки (мал. 212, 2). Вважають, що поява цих видів пов'язана з тим, що порівняно недавно (кілька сотень тисяч років тому) Азія та Північна Америка були з'єднані суходільним містком, і на їх спільному терені мешкав один вид бобрів. Після утворення Берингової протоки внаслідок географічної ізоляції цей вид дав початок двом самостійним видам.

**Екологічне видоутворення** відбувається внаслідок появи різних форм екологічної ізоляції у межах батьківського ареалу:

- виникнення нових видів унаслідок кратного збільшення числа хромосомних наборів (поліплоїдизації);
- виникнення репродуктивної ізоляції особин унаслідок хромосомних перебудов;
- гібридизація з наступним подвоєнням числа хромосом;
- виникнення нових видів через розділення екологічних ніш.

Наведемо приклади екологічного видоутворення. Відомо кілька близьких видів синиць (мал. 213), які добувають подібну або різну їжу на різних горизонтах крон дерев або на землі. Тим самим кожен з них займає свою екологічну нішу. Жаба їстівна (мал. 214) виникла унаслідок гібридизації ставкової та озерної жаб близько 5 тис. років тому. В африканському озері Вікторія, яке утворилося 12 тис. років тому, мешкає понад 500 видів риб-цихлід, які відрізняються один від одного за морфологією, способом життя, поведінкою та низкою інших ознак. Молекулярно-генетичний аналіз показує, що всі вони походять від спільного предка (мал. 215).

Ще один тип видоутворення відбувається **перетворенням існуючих видів**: вид-предок при цьому трансформується у вид-нащадок протягом тривалого проміжку часу. Цей спосіб видоутворення спостерігають тоді, коли зміни





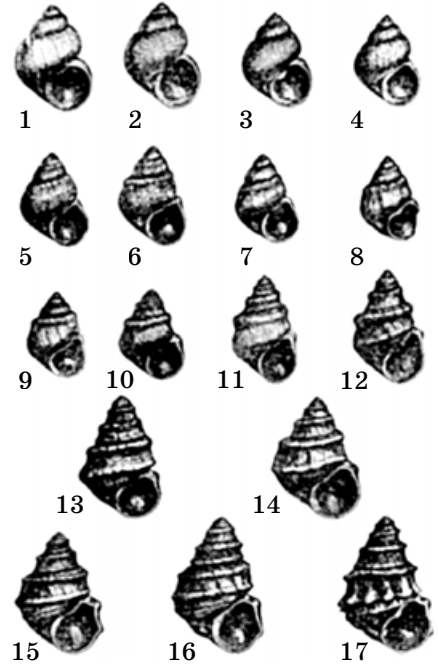
умов існування охоплюють весь ареал. Так, у деяких видів з вузьким ареалом, який не змінювався протягом тривалого часу, відомо послідовний ряд видів, що змінюють один одного в різні геологічні епохи. Прикладом цього можуть слугувати деякі види черевоногих моллюсків озер Словенії, великих озер Африки та Північної Америки. Кожен із сучасних видів цих моллюсків має довгий ряд своїх власних видів-попередників (мал. 216).

**Напрями еволюційного процесу.** Ви вже знаєте, що одним з основних напрямів еволюції є дивергенція. Іншими напрямками еволюційного процесу є конвергенція та паралелізм.

**Конвергенцію** спостерігають, коли неспоріднені організми опиняються в подібних умовах існування. Тому в них незалежно один від одного можуть формуватися подібні адаптації (мал. 217. I). Так, у зубатих китів (клас Ссавці) унаслідок пристосувань до активного полювання виникла подібна до акул (клас Хрящові риби) форма тіла, а їхні передні кінцівки зовні нагадують плавці. Подібний вигляд мали й викопні хижі плазуни – іхтіозаври (мал. 217. II, 1). До стеблових сукулентів відносять як кактуси, так і деякі молочаї, хоча ці рослини належать до різних порядків класу Дводольні (мал. 217. II, 2).

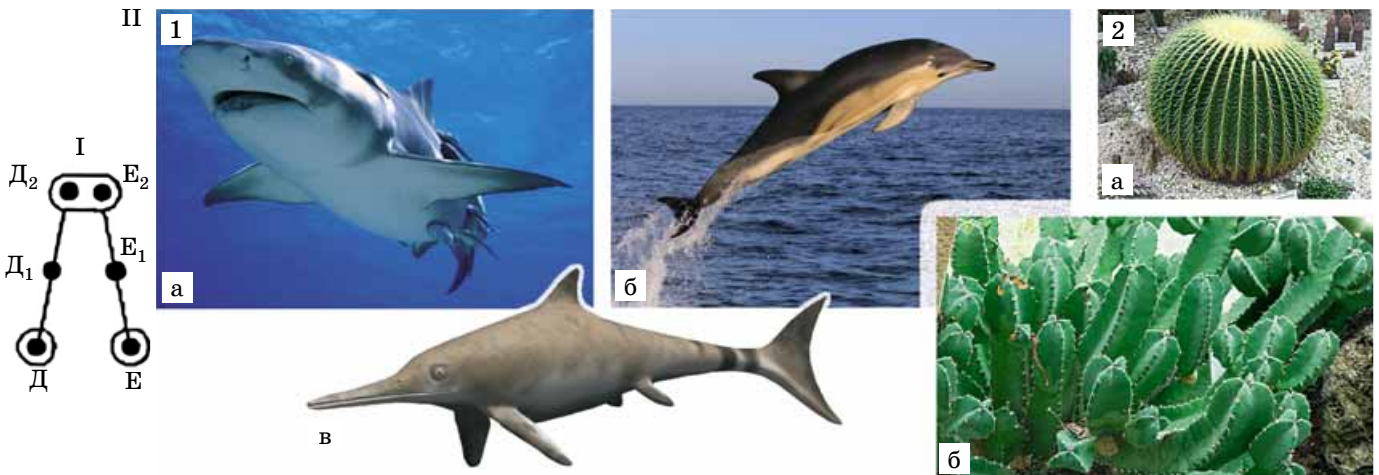
Унаслідок конвергенції у неспоріднених організмів змінюються лише певні органи, насамперед ті, які контактують з довкіллям. Наприклад, передні кінцівки тюленів (ряд Ластоногі) та китоподібних (ряд Китоподібні) забезпечують пересування у воді, тому перетворилися на ласта. При цьому загальний план будови цих організмів залишається незмінним.

Хоча більшість видів утворилися шляхом дивергенції, проте в подальшому такі дочірні види могли опинитися в подібному за умовами проживання середовищі та незалежно один від одного пристосовуватися до нього. Отже, й адаптації до такого середовища в них можуть відбуватися незалежно один від одного – паралельно (мал. 218. I). Наведемо приклад. Серед викопних представників родини

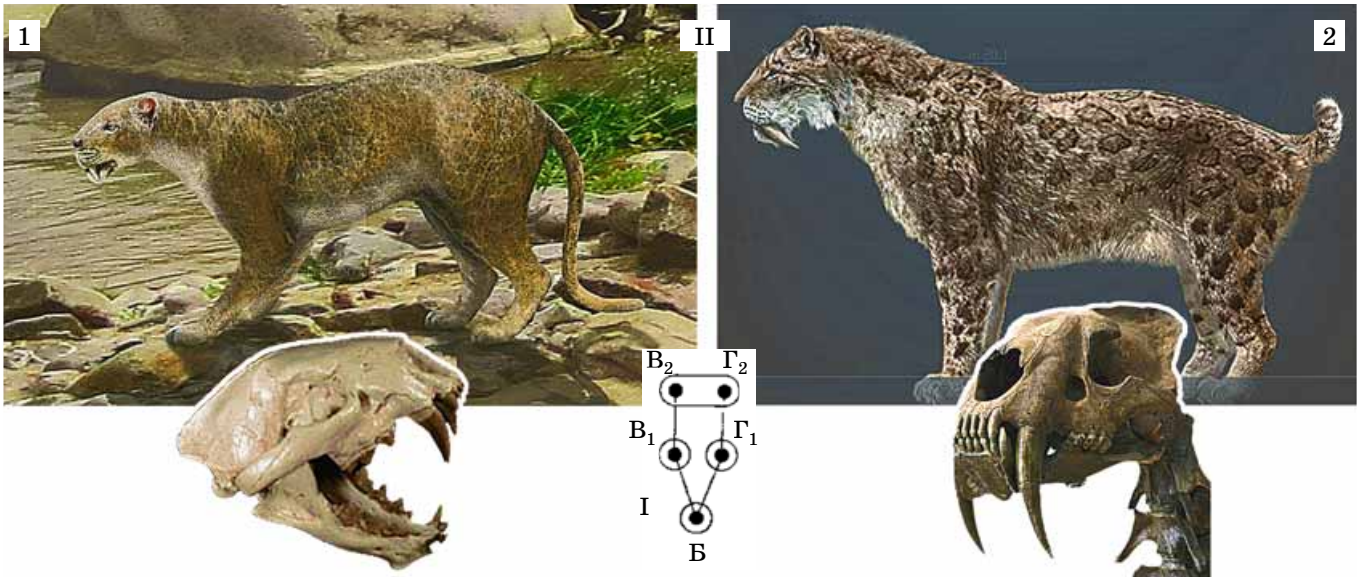


Мал. 216. Послідовний ряд черевоногих моллюсків-живородок від сучасного (1) до найдавнішого викопного (17)

**Запам'ятаємо:** реально в природі існують лише види, надвидові категорії учені ввели для зручності вивчення біорізноманіття, еволюційних процесів тощо. Належність виду до того чи іншого роду, родів – до родини і т.д. дослідники встановлюють на основі ступеня їхньої історичної спорідненості, залежно від відповідних критеріїв.



Мал. 217. I. Схема, що ілюструє процес конвергенції (Д та Е – предкові види; Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub> та Е<sub>1</sub>, Е<sub>2</sub> – види-нащадки). II. Приклади конвергенції: 1 – активні хижакі – мешканці водойм: а – біла акула; б – дельфін-білобочка; в – іхтіозавр; 2 – стеблові сукуленти: а – кактус; б – молочай палеотроніс



**Запам'ятаємо:** паралелізм – це виникнення подібних ознак на спільній генетичній основі.

Мал. 218. I. Схема, що ілюструє паралелізм: від предкового виду Б шляхом дивергенції виникають дочірні види  $B_1$  та  $G_1$ , які можуть опинятися в подібних умовах існування та розвиватися незалежно один від одного. II. 1. Диніктис – представник вимерлого роду вимерлої родини Німравіди (так званих несправжніх шаблезубих тигрів). 2. Смілодон – представники цього вимерлого роду шаблезубих котів (родина Котячі) мешкали 2,5 млн – 10 тис. років тому на території Північної та Південної Америки

### Коротко про головне

Процес еволюції, згідно з Ч. Дарвіном, може відбуватись шляхом дивергенції (розходження ознак у нащадків спільного предка) або конвергенції (формування подібних ознак у неспоріднених організмів унаслідок адаптацій до подібного середовища життя).

Одним з видів еволюційних процесів є видоутворення – процес виникнення нових видів та зміни їх у часі. Вид розглядають як основну систематичну одиницю, єдину, що реально існує в природі.

Процеси видоутворення можуть відбуватись різними способами, з-поміж яких найбільш поширеними є географічне та екологічне, що базується на різних формах ізоляції: відповідно географічній (пов'язана з просторовою ізоляцією) та екологічній (без просторової ізоляції). Можливі й інші варіанти видоутворення, наприклад шляхом перетворення існуючих видів: вид-предок при цьому трансформується у вид-нащадок протягом тривалого проміжку часу.

Котячі відомі так звані шаблезубі види (мал. 218. II, 1, 2). Ці хижі тварини мешкали на території Північної Америки, за розмірами нагадували сучасну рись, мали довгий хвіст. Потужні ікла давали змогу цим хижакам полювати на велику здобич.

Отже, у представників двох вимерлих родів з різних родин ряду Хижі, які походять від спільного предка, сформувалися подібні ознаки – потужні ікла як адаптація до полювання на велику здобич.

Явище паралельної еволюції слід відрізнити від конвергенції. Паралелізм завжди починається з процесу дивергенції. У разі паралельної еволюції подібні ознаки формуються незалежно у близькоспоріднених груп організмів, тобто таких, які мають багато спільних груп генів. Тому в генофондах споріднених видів можуть закономірно з'являтися подібні мутації, на основі яких формуються подібні ознаки.

*Пригадайте:* еволюційні процеси, що призводять до виникнення надвидових таксонів (родів, родин і т.д.), називають *макроеволюцією*. Еволюційними факторами при цьому є спадкова мінливість, територіальна та репродуктивна ізоляція тощо.

### Ключові терміни та поняття:

видоутворення, критерії виду, дивергенція, конвергенція, паралелізм.

### Перевірте здобуті знання

1. У чому полягає біологічна концепція виду?
2. Яке значення має репродуктивна ізоляція для видоутворення?
3. Які відмінності між географічним та екологічним видоутворенням?
4. Чи може видо-



утворення відбуватись без дивергенції? Відповідь аргументуйте. 5. Що таке конвергенція? Наведіть приклади конвергентної еволюції. 6. Охарактеризуйте паралелізм як напрям еволюції.

### Поміркуйте

1. У якому випадку дочірні види, що походять від спільного предка, будуть більше схожі між собою: у разі географічного або в разі екологічного видоутворення? Відповідь обґрунтуйте. 2. Що спільного та відмінного в процесах мікро- та макроеволюції?

## §42. РОЛЬ РІЗНИХ НАУК В ОБҐРУНТУВАННІ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ


*Пригадайте*, що таке дивергенція, конвергенція, атавізми. Що таке біосфера? Які особливості будови та функцій хлоропластів та мітохондрій? Які види називають «екологічно пластичними» та «екологічно непластичними»? Що вивчає молекулярна біологія?

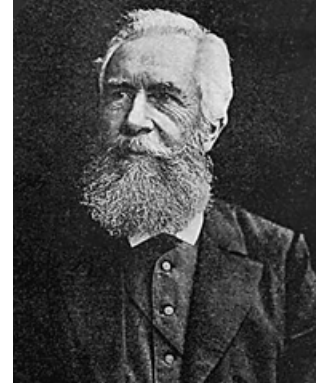
Залучати дані різних наук для підтвердження реальності процесу еволюції та з'ясування напрямів еволюції окремих груп організмів уперше запропонував видатний німецький учений Е. Геккель (мал. 219). Саме його вважають засновником філогенетичного напрямку в еволюційній теорії.

**Філогенез** (від грец. *філон* – рід та *генезіс* – походження) – це шляхи історичного розвитку як окремих систематичних груп (від видів до царств включно), так і всієї живої матерії. Для з'ясування філогенезу певної систематичної групи Е. Геккель запропонував зіставляти дані трьох біологічних наук: палеонтології, порівняльних анатомії та ембріології.

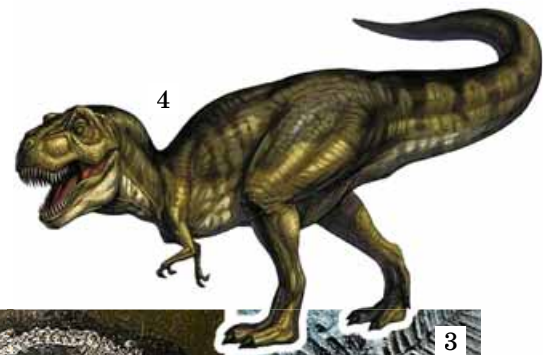
**Палеонтологія** – наука про організми, які мешкали в колишні геологічні періоди. Учені-палеонтологи знаходять рештки таких організмів у вигляді скам'янілостей, відбитків у шарах вугілля, сліди їхньої життєдіяльності тощо (мал. 220). Вони реконструюють їхній зовнішній вигляд (мал. 220, 4), встановлюють час, коли жили ці організми, визначають їхнє систематичне положення, намагаються з'ясувати особливості біології (середовище життя, спосіб живлення, особливості розмноження та ін.).

Викопні та сучасні форми організмів учені зв'язують в єдиний **філогенетичний ряд** – послідовність історичних змін організмів у межах певної систематичної групи. Вивчаючи такий ряд організмів, можна простежити зміни, які в них відбувалися, починаючи від предкових форм і аж до сучасних. Видатний учений у галузі палеонтології

 **Запам'ятаємо:** подібність зовнішньої будови організмів, що належать до певної життєвої форми, часто відбиває не родинні зв'язки між ними, а подібні адаптації до певного середовища життя.



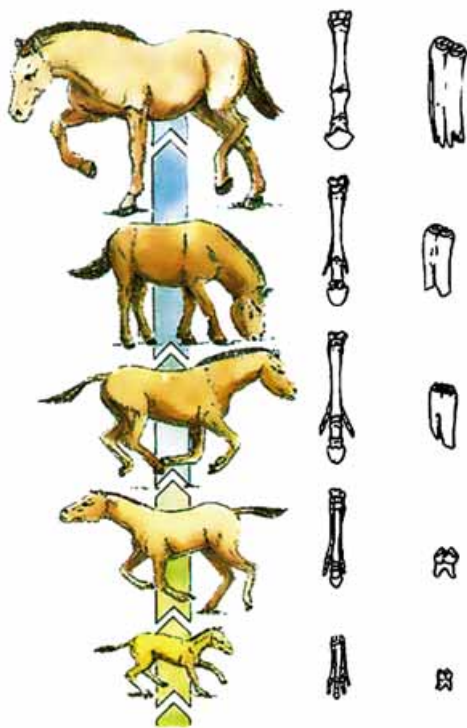
Мал. 219. Ернст Генріх Геккель (1834–1919): видатний німецький біолог, засновник філогенетичного напрямку в еволюційному вченні, один з авторів біогенетичного закону, автор терміна «екологія»; перший запропонував зіставляти дані різних наук для встановлення родинних зв'язків між різними групами організмів



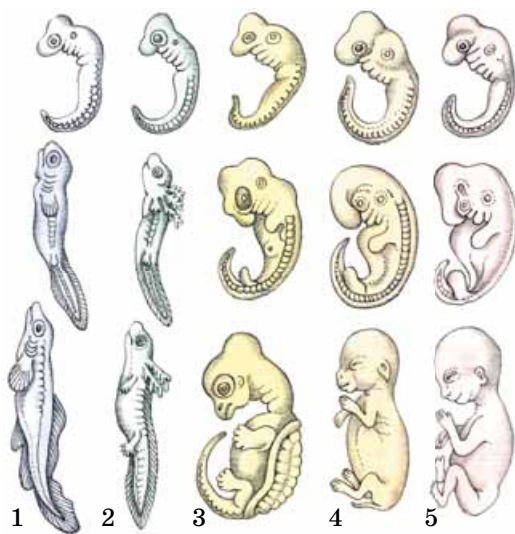
Мал. 220. Палеонтологічні дослідження: 1 – розкопки решток викопних організмів; 2 – скам'янілий скелет динозавра; 3 – відбитки давніх рослин; 4 – реконструкція зовнішнього вигляду хижого динозавра Тиранозавра Рекса (перекладається як тиранозавр королівський)



**Запам'ятаємо:** система організмів включає не тільки сучасні види, а й ті, що мешкали в колишні геологічні періоди.



Мал. 221. Філогенетичний ряд коня, створений В. О. Ковалевським. Завдання. Проаналізуйте зміни, які відбувалися із цими тваринами у процесі еволюції



Мал. 222. Біогенетичний закон базується на порівнянні послідовних стадій розвитку: 1 – риби; 2 – саламандри; 3 – черепахи; 4 – пацюка; 5 – людини

В. О. Ковалевський відновив філогенетичний ряд коня (мал. 221). Він встановив, що сучасні однопалі коні походять від п'ятипалих невеликих предків, які мешкали в лісах 60–70 млн років тому. Зміни клімату змусили предків сучасного коня адаптуватись до нового середовища – відкритих просторів, де їм доводилось долати значні відстані в пошуках їжі та тікаючи від хижаків. Тому їхня еволюція супроводжувалася зменшенням числа пальців на кінцівках від п'яти до одного (*поміркуйте чому*), видовженням кінцівок, збільшенням розмірів тіла, змінами форми черепа тощо.

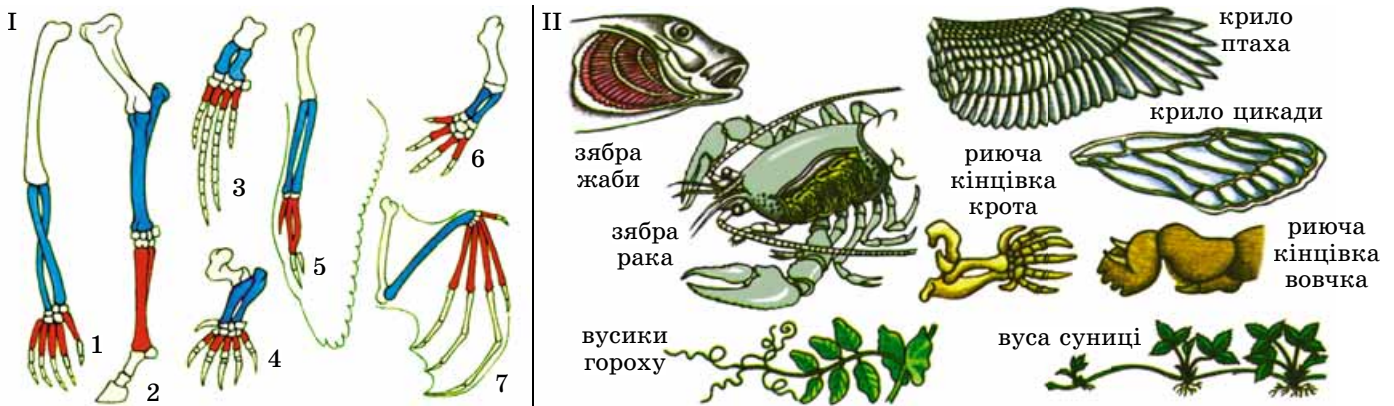
Отже, філогенетичні ряди, які складаються з видів, що послідовно змінювали один одного в процесі еволюції, є важливим свідченням еволюційного процесу.

Е. Геккель розробив спосіб графічного відображення історичного розвитку певних груп організмів у вигляді так званих **філогенетичних дерев**.

**Порівняльна ембріологія** – наука, що досліджує особливості зародкового розвитку різних груп організмів; виявляє риси подібності та відмінності в зародковому розвитку різних, але споріднених груп організмів. Вивчаючи особливості індивідуального розвитку (онтогенезу) різних груп тварин, Е. Геккель та інший німецький учений Фрідріх Мюллер (1822–1897) встановили зв'язки між історичним (філогенезом) та індивідуальним розвитком (онтогенезом) певних організмів. Згодом їхні висновки дістали назву **біогенетичний закон**. Цей закон стверджує, що індивідуальний розвиток (онтогенез) будь-якого організму – це вкорочене і стисле повторення історичного розвитку (філогенезу) цього виду. Так, аналіз фаз зародкового розвитку різних класів хребетних показує наявність у всіх них на певних стадіях розвитку зябрових щілин, хорди, двокамерного серця тощо (мал. 222). Це, на думку Е. Геккеля та Ф. Мюллера, має свідчити про походження наземних хребетних від рибоподібних предків. На більш ранніх етапах онтогенезу ніби відтворюються ознаки більш давніх предків, на завершальних – найбільш близьких.

**Порівняльна анатомія** вивчає особливості будови тіла, органів, їхніх систем різних систематичних груп організмів та визначає закономірності їхніх змін у процесі еволюції. Ще дослідження XIX ст. показали, що серед усього різноманіття тварин і рослин можна виділити певні групи, у межах яких усі представники мають подібний план будови. Такі групи тварин назвали «типами», а рослин – «відділами».

Завдяки дослідженням у галузі порівняльної анатомії та ембріології було розроблено поняття про аналогічні та гомологічні органи, рудименти та атавізми. **Гомологічні** (від грец. *гомологія* – відповідність) **органи** мають спільне походження і тому мають подібний загальний план будови. Прикладами гомологічних органів є передні кінцівки різних ссавців (нога коня, крило кажана, передня кінцівка мавпи, ласти дельфіна, передня кінцівка крота тощо) або видозміни підземних пагонів квіткових рослин (цибулина тюльпана, бульбоцибулина шафрану, кореневище конвалії, стеблова бульба картоплі) (мал. 223. І).



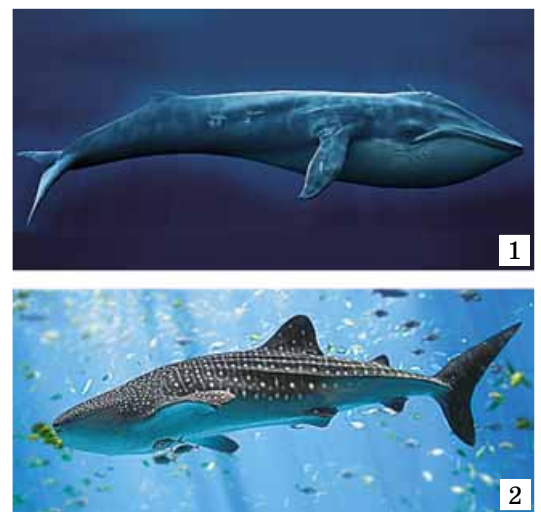
Мал. 223. Приклади гомологічних (I): 1 – передня кінцівка мавпи; 2 – коня; 3 – кита; 4 – крота; 5 – птаха; 6 – саламандри; 7 – кажана (завдання: укажіть функції цих кінцівок); та аналогічних (II) органів

**Аналогічні** (від грец. *аналогія* – подібність) **органи** – це зовнішня подібність будови органів, які виконують однакові функції (мал. 223. II). Вони мають різне походження і тому – різний план будови. Аналогічними органами є, наприклад, крила кажанів і комах, зябра риб і молюсків, у рослин – колючки, які є видозмінами пагона (глід) чи листків (кактуси).

**Рудименти** (від лат. *рудиментум* – зачаток) – структури або органи, недорозвинені чи спрощені в особин певного виду внаслідок втрати своїх функцій протягом їхнього історичного розвитку (мал. 224). Вони є в усіх особин певного виду (наприклад, залишки тазового поясу в китів, недорозвинені очі кротів, рудименти листків у вигляді лусочок на кореневищі пирію, конвалії тощо; мал. 224). Рудименти або не виконують жодних функцій, як-от рудимент третьої повіки – мигальної перетинки – у ссавців, або беруть на себе нові функції. Наприклад, дзижчальця мух – рудимент другої пари крил – втрачають функцію польоту, але допомагають зберігати рівновагу під час польоту (мал. 224, 2).

Раніше ми згадували, що в окремих представників виду можуть проявлятися атавізми – варіанти ознак, притаманних їхнім предкам (див. мал. 193).

**Біогеографія** – наука про закономірності поширення на земній кулі видів живих істот і їхніх угруповань – біогеографічних комплексів. Дані біогеографії використовують для з'ясування походження флори і фауни певних регіонів нашої планети. Наприклад, на території Євразії та Північної Америки існують подібні екосистеми, до складу яких входять близькі види тварин і рослин, наприклад звичайний та американський клени, європей-



Мал. 225. Зовнішній вигляд синього кита (1) та китової акули (2). Ознаки, що виникли внаслідок конвенції, часто є прикладом аналогічних органів. Так, хвостовий плавець кита є лише згорткою шкіри

### Цікаво знати

На малюнку 225 зображено двох мешканців морів: синього кита, який належить до класу Ссавці, та китову акулу – представника класу Хрящові риби. Їм притаманні деякі риси зовнішньої подібності (поміркуйте які).



Мал. 224. Приклади рудиментів: 1 – рудименти листків кореневища конвалії; 2 – дзижчальця – рудиментарна друга пара крил у мух; 3 – рудиментарна мигальна перетинка у ссавців





Мал. 226. Близькі види, які мешкають на території Євразії та Північної Америки. 1. Листок звичайного клена. 2. Листок американського (або ясенolistого) клена. 3. Європейська норка – невелика (від носа до хвоста до 65 см завдовжки) тварина родини кунячих. Мешкає в норах на берегах водойм Європи та Західної Азії. Занесена до Червоної книги України. 4. Американська норка за способом життя нагадує європейську, однак трохи більша за розмірами (до 80 см завдовжки). Акліматизована в Європі, де витісняє норку європейську. 5. Бобер європейський. 6. Бобер канадський. Відрізняється від бобра європейського дещо меншими розмірами та ширшим хвостом овальної форми. Ці два види відрізняються за каріотипом: бобер європейський має 48 хромосом у диплоїдному наборі, тоді як канадський – 40

**Запам'ятаємо:** гомологічні органи мають подібний план будови тому, що мають спільне походження. Нащадки спільного предка, потрапляючи в різні умови мешкання, адаптовувалися до нових умов, тому зовнішній вигляд гомологічних органів змінювався: так, ласти кита пристосовані до плавання, крило кажана – для польоту, передня кінцівка крота – для прокладання ходів у ґрунті. Отже, гомологічні органи виникають шляхом дивергенції, їхня наявність свідчить про спорідненість організмів.

**Запам'ятаємо:** аналогічні органи не мають подібного плану будови тому, що не мають спільного походження. Вони зовнішньо подібні, бо такі неспоріднені організми мешкають в однакових середовищах. Це приклад конвергенції. Так, і кажани, і комахи здатні до польоту. Але крила кажана – це видозмінені передні кінцівки, а крила комахи – вирости покривів грудних сегментів.

ська та американська норки, європейський та канадський бобри (мал. 226) тощо.

**Цитологія.** Дослідження будови клітин різних еукаріотичних організмів (рослин, грибів, тварин), проведені ще в першій половині XIX ст., показали єдність їхнього плану будови (див. мал. 80).

**Пригадайте:** на чому базується цитогенетичний метод досліджень. Ви вже знаєте, що кожному виду організмів притаманний свій каріотип – певний хромосомний набір, розміщений у ядрі клітини. Наприклад, такі види мавп, як шимпанзе та горила, мають однакову кількість хромосом – по 48. Але їхні хромосоми відрізняються за будовою. Досить близькі каріотипи шимпанзе і людини (каріотип людини нараховує 46 хромосом).

Отже, вивчаючи каріотипи різних видів (кількість хромосом та особливості будови окремих пар гомологічних хромосом), можна зробити висновок, чи тісні їхні родинні зв'язки: у споріднених видів особливості будови каріотипу більш подібні, аніж у неспоріднених.

**Екологія.** Сучасний етап розвитку еволюційної теорії характеризується синтезом її даних з даними екології. Зокрема, екологічні фактори водночас вважають і чинниками еволюції.

**Молекулярна біологія та генетика.** Порівнюючи послідовності нуклеотидів молекул ДНК різних видів за ступенем їхньої подібності, учені з'ясовують ступінь спорідненості різних видів. Два види, які походять від спільного предка (два види одного роду), мають подібніший спадковий матеріал, аніж види, які належать до двох близьких, але різних родів. У генетиці людини цей метод застосовують для з'ясування родинних зв'язків між окремими людьми.



## Цікаво знати

Американська вчена Лінн Маргуліс (1938–2011) пояснювала походження пластид результатом симбіозу предкової еукаріотичної клітини з автотрофною клітиною ціанобактерій, а мітохондрій – з аеробною гетеротрофною клітиною бактерій. *Пригадайте*: ці органели мають власний спадковий матеріал, власні рибосоми, здатні розмножуватись поділом, незалежно від поділу самої клітини.

### Ключові терміни та поняття:

філогенетичний ряд, біогенетичний закон, гомологічні та аналогічні органи, рудименти.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке філогенез і філогенетичний ряд? 2. Про що твердить біогенетичний закон? 3. Які органи називають «гомологічними» та «аналогічними»? 4. Що таке рудименти та атавізми? 5. Яке значення для еволюційної теорії мають дані молекулярно-генетичних досліджень?

### Поміркуйте

1. З допомогою вчителя наведіть приклади гомологічних та аналогічних органів у тварин і рослин та обґрунтуйте свої думки. 2. З попереднього матеріалу ви дізналися, що такі органели, як хлоропласти та мітохондрії, могли виникнути за рахунок симбіозу певних типів прокариотичних клітин з предковою для еукаріотів клітиною. Яким чином могли виникнути такі органели, як комплекс Гольджі, ендоплазматична сітка, вакуолі, походження яких не пов'язують із прокариотичними клітинами?

## §43. СВІТОГЛЯДНІ ТА НАУКОВІ ПОГЛЯДИ НА ПОХОДЖЕННЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИТТЯ

*Пригадайте*, у чому полягає внесок Карла Ліннея в розвиток біології. Які таксономічні категорії ви знаєте? Що таке гіпотеза, правило, закон, теорія в біології? Що таке дивергенція?

Ми розглянули дані різних біологічних наук, які доводять реальність еволюційного процесу, та встановили основні напрями еволюції живої матерії на нашій планеті. Не виникає сумнівів, що основним напрямом еволюції було ускладнення організації живих організмів.

Поступовий розвиток живої матерії від простіших форм до складніших зумовив взаємозв'язок усіх рівнів живого на нашій планеті. Ідею про це висловив видатний український учений В.І. Вернадський (мал. 227). Таким чином, нижчі рівні організації живої матерії входять складовими елементами до вищих: молекули – до складу клітин, клітини – до складу тканин та організмів, організми – до складу популяцій та видів, види – екосистем, окремі екосистеми – до складу єдиної глобальної екосистеми – біосфери.

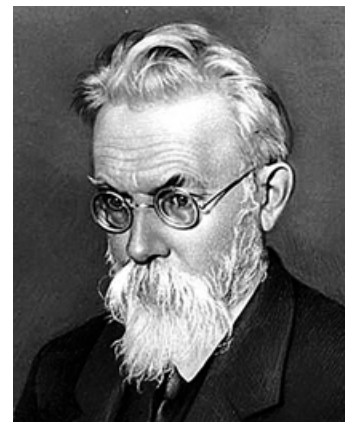
Елементарною одиницею еволюції є популяції організмів, а середовищем еволюційних змін – екосистеми, у яких усі популяції взаємопов'язані трофічними, просторовими та іншими зв'язками і тому впливають одна на одну. Мікроеволюційні процеси, які відбуваються в популяціях, можуть спричиняти зміни їхнього генофонду, що створює передумови для видоутворення – виникнення

**Запам'ятаємо:** вивчення рудиментів та атавізмів є необхідним етапом під час з'ясування родинних зв'язків різних груп організмів, тобто спільності їх походження.

**Запам'ятаємо:** єдність плану будови клітин різних груп організмів свідчить про єдність органічного світу. Їхня різноманітність є наслідком еволюційного процесу.

### Коротко про головне

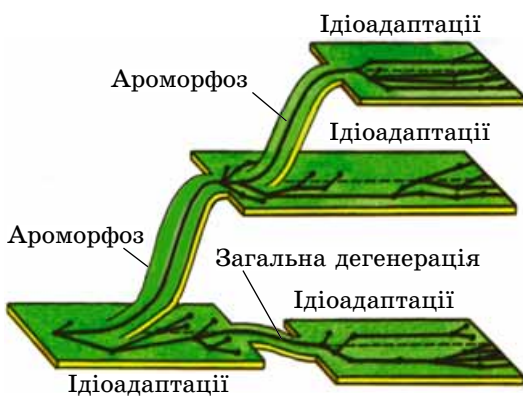
Для доказів реальності еволюційного процесу, з'ясування ступеня спорідненості різних груп організмів використовують дані різних наук: порівняльної анатомії, палеонтології, порівняльної ембріології, біогеографії, цитології, екології, молекулярної біології тощо.



*Мал. 227. Вернадський Володимир Іванович (1863–1945): видатний український учений, створив вчення про біосферу та ноосферу, засновник нової науки – біогеохімії, яка вивчає діяльність різних груп організмів з перетворення оболонок нашої планети. Один із засновників Української академії наук (нині – Національна академія наук України) та перший її президент. Засновник Національної бібліотеки України (яка носить його ім'я)*



Мал. 228. Тип Членистоногі – приклад монофілетичної групи тварин. Завдання. З допомогою вчителя назвіть групи, до яких належать зображені на малюнку членистоногі



Мал. 229. Шляхи досягнення біологічного прогресу

**Запам'ятаємо:** вузька спеціалізація видів часто є наслідком міжвидової конкуренції: вона може зменшувати гостроту конкуренції між ними.

нових видів. У свою чергу, видоутворення зазвичай відбувається за допомогою дивергенції – походженням нащадків від спільного предка. Завдяки цьому вчені встановлюють систематичні групи організмів, які включають усіх нащадків спільного предка (разом з вимерлими в процесі еволюції) (мал. 228). Їх називають *монофілетичними*.

*Пригадайте:* усі екологічні фактори, які діють на організми та їхні угруповання, є водночас і факторами еволюції. У процесі еволюції виживають зазвичай найбільш адаптовані особини, гірше адаптовані – гинуть.

**Основні напрями еволюційного процесу.** У 20-х роках ХХ ст. О.М. Северцов (див. мал. 205, 1) розробив учення про біологічний прогрес і регрес. **Біологічний прогрес** є наслідком досконалих адаптацій організмів до умов мешкання. Проявом біологічного прогресу є переважання в популяціях народжуваності над смертністю. Учений наводив такі показники біологічного прогресу: збільшення чисельності особин; розширення ареалу; утворення нових підгруп усередині певної систематичної групи.

Виникнення нових адаптацій до середовища життя зменшує смертність, унаслідок чого чисельність виду зростає. Підвищення густоти популяцій посилює внутрішньовидову конкуренцію. Це змушує особин виду розселятись, розширюючи ареал. Унаслідок цього утворюються нові популяції та підвиди. Наприклад, у стані біологічного прогресу в нинішній час перебувають такі види: ворона сіра, тарган рудий, заєць сірий, сосна звичайна, пирій, серед таксонів високого рангу – покритонасінні, комахи, червононогі молюски, птахи, ссавці тощо.

На відміну від біологічного прогресу, **біологічний регрес** є наслідком неспроможності певної групи пристосуватися до змін довкілля. Він проявляється у зменшенні чисельності організмів, звуженні ареалу та може призвести до вимирання цієї групи. Наприклад, з ряду хоботних, що колись процвітав, дотепер лишилось тільки два види – африканський та індійський слони, які перебувають під загрозою повного вимирання.

Біологічний прогрес може бути досягнутий різними шляхами: ускладненням організації (ароморфоз), морфологічними змінами без підвищення чи зниження загального рівня організації (ідіоадаптації) та спрощенням організації (загальна дегенерація) (мал. 229).

**Ароморфоз** – еволюційне перетворення, яке підвищує рівень організації організму в цілому і відкриває нові можливості для засвоєння нових середовищ життя. Наприклад, поява чотирикамерного серця сприяла розподілу крові на венозну та артеріальну й зумовила виникнення теплокровності; таким чином, температура тіла у птахів і ссавців стала менше залежати від температури довкілля; утворення квітки в покритонасінних привело до урізноманітнення способів запилення, формування стінки плоду, що захищають насінини, процесу подвійного запліднення тощо.

**Ідіоадаптація** – зміни в будові організму, що мають характер пристосування до певних умов та не змінюють рівня його організації. Приклади ідіоадаптацій – це різноманітна будова квіток покритонасінних, пристосова-

них до різних способів запилення (комахами, вітром тощо); різноманітні ротові органи комах, пристосовані до споживання різної їжі та ін. (мал. 230).

**Загальна дегенерація** – явище спрощення організмів у процесі еволюції. Воно характерне для паразитів і малорухливих організмів (зникнення травної системи у стьожкових черв'яків, відсутність голови у двостулкових моллюсків тощо).

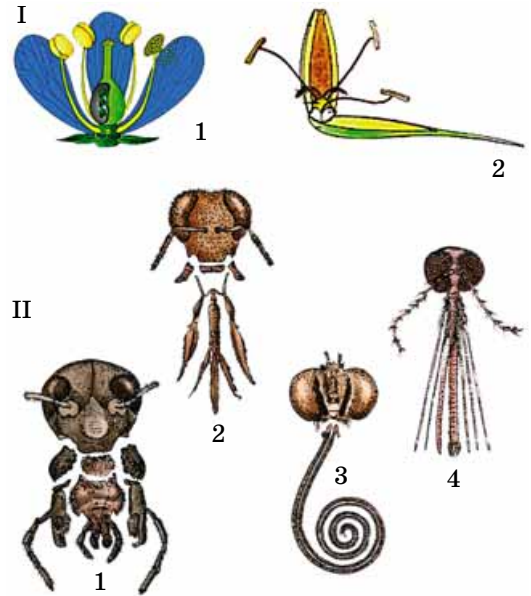
**Проблема виникнення життя на нашій планеті** й на тепер лишається однією із центральних у сучасній науці. На сьогодні не існує єдиної гіпотези, яка б однозначно дала відповідь на це питання й до того ж навела беззаперечні докази. Є низка таких гіпотез, кожна з яких намагається пояснити появу живої матерії на планеті Земля зі своїх позицій.

**Креаціонізм** (від лат. *creatio* – творіння) – концепція, згідно з якою неорганічний світ і всі живі істоти, включно з людиною, створені Богом. Погляди креаціоністів ґрунтуються на текстах, викладених у Священних книгах: Біблії (у християнстві), Торі (в іудаїзмі), Корані (мусульманство). Сучасний креаціонізм характеризується різними напрямками, частина яких не визнає процесу еволюції, інші ж вважають, що еволюція є засобом здійснення Богом його мети.

**Гіпотези абіогенезу** (гіпотези спонтанного зародження життя з неорганічної матерії) відомі ще з античних часів. Їх висували вчені стародавніх цивілізацій Китаю, Греції, Єгипту тощо ще тисячі років тому. Зокрема, давньогрецький філософ Анаксимандр (мал. 231, 1) вважав, що живі істоти походять з відкладень морського дна: вони виникають з нагрітої води із землею. Інший давньогрецький учений – Арістотель (мал. 231, 2) вважав, що живі істоти постійно виникають з мулу, гною тощо, частинки яких містять «активний зародок», що за відповідних умов може дати початок живому організму.

Погляди щодо можливості самозародження життя існували тривалий час. Так, голландський дослідник Я. ван Гельмонт (1577–1644) описав дослід з виникнення («мимовільного зародження») мишей з пропотілої сорочки в темній шафі зі жменю пшениці.

Багато вчених дослідним шляхом намагалися довести неможливість самозародження життя, але їхні експерименти вважали непереконливими. Лише в 1860–1862 рр. видатний французький біолог Луї Пастер експериментально довів неможливість самозародження життя на нашій планеті в сучасних умовах (мал. 232). Він сконструював оригінальний прилад, що мав вигляд колби, до гирла якої була приєднана S-подібна трубка. У колбу наливали прокип'ячений поживний бульйон. На відміну від посудин іншої форми, де невдовзі на поверхні бульйону спостерігали «самозародження життя» – з'являлася бактеріальна плівка, у пастерівській колбі бульйон тривалий час залишався стерильним. Це пояснювалося тим, що незважаючи на те, що повітря вільно доходило до поверхні бульйону, спори та цисти бактерій осідали в S-подібній трубці і затримувалися там. Але варто було обмити бульйоном цю трубку, як на його поверхні розвивалася бактеріальна плівка. Отже, Л. Пастер остаточно

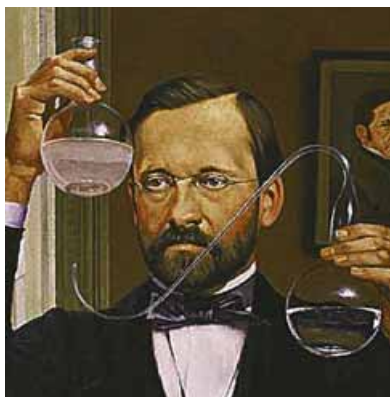


Мал. 230. Приклади ідіоадаптацій: I – будова квітки комахозапильних (1) та вітрозапильних (2) рослин; II – ротові органи комах: гризучого типу (1), пристосовані для споживання твердої їжі; гризучо-лизучого типу (2) – пристосовані для злизування рідкої їжі; сисного типу (3) – пристосовані для живлення нектаром; колючо-сисного типу (4) слугують для проколювання покривів рослин, тварин і людини та висмоктування у рослин – соків, у тварин і людини – крові



Мал. 231. Давньогрецькі вчені – автори перших гіпотез походження життя: 1 – Анаксимандр (бл. 610–546 рр. до н.е.): одним з перших висловив свою гіпотезу походження світу, ввів термін «закон»; 2 – Арістотель (384–322 рр. до н.е.): видатний давньогрецький учений, якого вважають батьком біології. Йому належать перші біологічні праці, зокрема «Історія тварин», у яких він описав відомі йому види тварин (близько 500) і намагався їх класифікувати. Класифікація тварин, яку він запропонував, проіснувала багато віків, майже до праць К. Ліннея





**Мал. 232. Луї Пастер (1822–1895)** – видатний французький мікробіолог. Відкрив мікробіологічну суть процесів бродіння і збудників багатьох хвороб людини, став одним з основоположників таких наук, як мікробіологія та імунологія. Створив вакцину проти сибірки і розробив методику щеплення проти сказу. Його ім'я широко відоме завдяки створеній ним і названій пізніше на його честь технології пастеризації. Став першим директором Інституту мікробіології, заснованого в Парижі 1888 р. (згодом названий на його честь Інститутом Пастера). Після смерті Л. Пастера заступником директора інституту з 1905 р. працював наш співвітчизник І.І. Мечников

## Цікаво знати

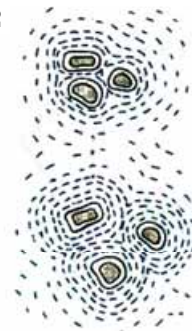
Прихильником ідеї самозародження життя був і Ж.-Б. Ламарк (див. мал. 1). Пригадайте: він вважав, що одні види організмів у процесі еволюції переходять в інші, з більш високим рівнем організації. Йому були відомі й приклади вимирання певних видів організмів, унаслідок чого видове різноманіття нашої планети мало б скорочуватись. Оскільки Ж.-Б. Ламарк не знав про процес дивергенції, який відкрив Ч. Дарвін, збереження видового різноманіття він пояснював тим, що нові види постійно самозароджуються.

довів неможливість самозародження життя на нашій планеті, за що йому 1862 р. було присуджено премію Французької академії наук.

Найбільш відомою з абиогенних гіпотез походження життя є **біохімічна гіпотеза**, яку в 20-х роках ХХ ст. запропонували О.І. Опарін та Дж. Холдейн (мал. 233, 1). Вони вважали, що біологічній еволюції передувала хімічна еволюція органічних речовин, яка тривала кілька сотень мільйонів років аж до часу виникнення перших живих істот. Як свідчать геологічні дані, первинна атмосфера Землі складалася з вуглекислого газу, метану, аміаку, оксидів Сульфуру, сірководню та водяної пари. Вільний атмосферний кисень та озоновий екран були відсутні, і на поверхню суходолу та Світового океану падав активний потік космічного та сонячного випромінювань, включно з ультрафіолетовими променями. Унаслідок високої вулканічної активності до океану та атмосфери з надр Землі постійно надходили різноманітні хімічні сполуки. В атмосфері Землі були часті грози, електричні розряди – блискавки – сягали поверхні первісного Світового океану. Все це створювало умови для перебігу хімічних реакцій між різними неорганічними сполуками, у ході яких могли утворитися органічні речовини.

Органічні сполуки, утворені в первісному океані, збирались у скупчення, відокремлені водною оболонкою, – **коацерватні краплини** (мал. 233, 2). Вони поводитись як відкриті системи: виявляли здатність поглинати ззовні різні сполуки. Унаслідок цього розміри коацерватних краплин збільшувались, що нагадувало ріст клітин. У концентрованому розчині органічних речовин усередині коацерватних краплин могли відбуватись різні біохімічні процеси, що теоретично могло спричинити появу молекул, здатних до самовідтворення (таких як молекули нуклеїнових кислот). Гіпотеза Опаріна–Холдейна стверджує, що коацерватні краплини якось перетворились на гіпотетичні «доклітинні» біологічні системи, здатні до самоорганізації, – **протобіонти**. Від таких упорядкованих скупчень органічних сполук, у тому числі й біополімерів, могли виникнути первісні клітини – **протоклітини**.

Експериментально отримати примітивні клітини із скупчень органічних сполук у лабораторних умовах досі не вдалося. Тож і походження життя шляхом абиогенного



**Мал. 233. Біохімічна гіпотеза походження життя на Землі:** 1 – автори гіпотези: Олександр Іванович Опарін (1894–1980) (а) та Джон Бердон Сандерсон Холдейн (1892–1964) (б); 2 – схема утворення коацерватних краплин

синтезу органічних сполук досі залишається дискусійним, бо не має експериментального підтвердження.

## Цікаво знати

Новий етап уявлень про самозародження та еволюцію життя на нашій планеті пов'язаний з ідеями так званого **світу молекул РНК**. Уперше їх висловив американський мікробіолог **Карл Річард Воуз** (1928–2012) і згодом розвинули британський хімік **Леслі Ілізер Орджел** (1927–2007) та американський фізик **Волтер Гілберт** (нар. 1932). Їхні уявлення базуються на тому, що молекули РНК можуть не тільки зберігати спадкову інформацію, а й виконувати функції ферментів. На базі скупчень молекул РНК, що виникли на певному етапі розвитку нашої планети, могли сформуватись асоціації молекул РНК, ДНК і білків. Такі асоціації могли відокремлюватись біологічними мембранами від зовнішнього середовища. На ранніх етапах зародження життя на Землі молекули РНК могли існувати автономно завдяки здатності до самоподвоєння та каталітичним властивостям. Виникнення нових мутацій могло спричинити появу молекул РНК, здатних каталізувати біосинтез певних білкових молекул. Поява молекул ДНК зумовила здійснення ними функцій спеціалізованих «зберігачів» спадкової інформації. Натомість за молекулами РНК залишилися функції посередників між ДНК та молекулами білків, що синтезуються. Цікаво, що в деяких РНК-вмісних вірусів, наприклад ВІА, молекули РНК слугують матрицею для синтезу ДНК (чого не спостерігають ані в еукаріотів, ані у прокаріотів).

**Гіпотези біогенезу** базуються на поглядах, що жива матерія може походити лише від живої матерії. Прихильники цих гіпотез розглядають життя як особливу форму існування матерії, що існує стільки само часу, як і Всесвіт, тому їх ще називають *гіпотезами вічності життя*. Ці гіпотези не намагаються пояснити, як виникло життя, а стверджують лише про його позаземне походження.

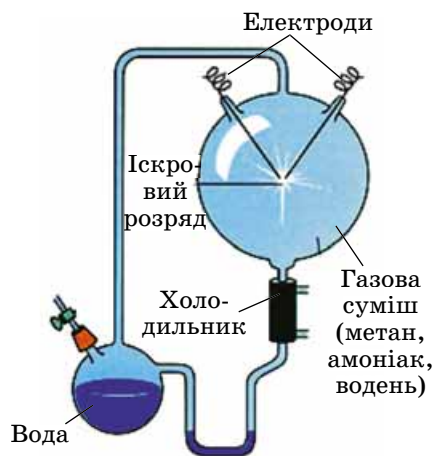
Сучасні біогенні погляди мають назву *гіпотези панспермії* (від грец. *пан* – усе та *сперматос* – насіння). Уперше висловив думку про можливість занесення життя з космосу ще давньогрецький філософ Анаксагор у V ст. до н. е. Гіпотезу панспермії сформулював шведський фізик С.А. Арреніус (мал. 235) на початку XX ст., а розвинув український учений В.І. Вернадський. До її прихильників належать видатні вчені: зоолог Л.С. Берг, географ О.Ю. Шмідт, астроном Й.С. Шкловський, один із відкривачів молекулярної структури молекули ДНК біохімік Ф. Крік та багато інших.

Гіпотеза панспермії припускає, що спори прокаріотів можуть, не втрачаючи життєздатності, витримувати перебування у вакуумі при температурах, близьких до абсолютного нуля ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), жорстке радіаційне та ультрафіолетове опромінення, тобто умови космічного простору. Вони легко потрапляють у верхні шари атмосфери планет

Мал. 235. Прихильники біогенних гіпотез походження життя на Землі: 1 – Анаксагор (близько 500–428 рр. до н. е.) – давньогрецький філософ, математик та астроном; 2 – Арреніус Сванте Август (1859–1927) – видатний шведський фізик, хімік та астроном, лауреат Нобелівської премії з хімії (1903)

## Цікаво знати

Можливість синтезу простих органічних сполук з неорганічних була експериментально доведена в 30-х роках XX ст. У 1952–1953 рр. два американські вчені – Стенлі Міллер та Гарольд Юрі сконструювали прилад, за допомогою якого відтворили умови, які могли існувати в той час на нашій планеті (мал. 234). Їхньою метою було довести гіпотезу Опаріна–Холдейна. Прилад становив собою систему герметично запаяних скляних колб і трубок. У неї закачували гази: метан, амоніак, водень, в одну з колб заливали воду, до іншої підводили пару електродів: між електродами періодично пропускали іскру, яка імітувала розряди блискавки. Колбу з водою нагрівали, щоб вона випаровувалася. Потім прилад охолоджували, і вода конденсувалася. У цьому приладі вдалося синтезувати чотири амінокислоти.



Мал. 234. Прилад, який сконструювали С. Міллер та Г. Юрі, і за допомогою якого було доведено можливість синтезу низькомолекулярних органічних сполук з неорганічних речовин





С.А. Арреніус підрахував, що тиск світла спричинює помітну механічну дію на частки діаметром близько 0,015 мм, переміщуючи їх. Саме такий діаметр мають спори більшості бактерій. Спора, розганяючись під дією тиску сонячних променів, за 20 діб може подолати відстань між орбітами Землі та Марса, а за 80 – досягти орбіти Юпітера. Нещодавно в метеоритах знайдено спороподібні утвори.



### Коротко про головне

Наслідком адаптацій організмів до середовища життя може бути біологічний прогрес або біологічний регрес. Біологічний прогрес може досягатися шляхом ароморфозу, ідіоадаптацій або загальної дегенерації.

Існують різні гіпотези, які намагаються пояснити походження життя на нашій планеті. Креаціонізм вважає, що життя створене Богом. Гіпотези абіогенезу стверджують, що життя на нашій планеті виникло шляхом небіологічного (абіогенного) синтезу органічних сполук з неорганічних, з подальшим виникненням первинних клітин та їхньою подальшою еволюцією. Гіпотези біогенезу пояснюють походження життя на нашій планеті його потраплянням з космосу (гіпотеза панспермії).

і завдяки мізерній власній масі можуть звідти потрапляти у відкритий космос.

Отже, у космосі присутні спори прокариотів, які неначе дощем безперервно могли потрапляти на планети за умов відсутності щільної атмосфери. За сприятливих умов з них виходили активні форми прокариотів різних видів, які утворювали первинні екосистеми. У подальшому еволюція таких «первинних» видів відбувалася в різних напрямках відповідно до змін умов довкілля на певних небесних тілах.

### Ключові терміни та поняття:

біологічний прогрес, біологічний регрес, ароморфоз, ідіоадаптації, загальна дегенерація, креаціонізм, гіпотези абіогенезу та біогенезу.

### Перевірте здобуті знання



1. Що таке біологічний прогрес та біологічний регрес? 2. Якими шляхами може бути досягнутий біологічний прогрес? 3. Чим характеризуються ароморфози? 4. Назвіть характерні риси ідіоадаптації. 5. Чим характеризується загальна дегенерація? 6. Що таке креаціонізм? 7. У чому полягає суть абіогенних гіпотез виникнення життя? 8. Які основні положення гіпотези панспермії?

### Поміркуйте



На прикладі певних груп організмів визначте риси ароморфозів, ідіоадаптацій або загальної дегенерації в їхній організації. Свої висновки обґрунтуйте.

## §44. ЕТАПИ ЕВОЛЮЦІЇ ЛЮДИНИ

*Пригадайте* місце виду Людина розумна в системі органічного світу. Що таке дивергенція? Які систематичні одиниці використовують у зоології? Що таке вища нервова діяльність, абстрактне мислення, друга сигнальна система? Що таке біологічний прогрес?

**Походження людини.** Одне з найзагадковіших питань, які цікавлять не тільки науковців, а й пересічних людей, – це походження виду Людина розумна (*Homo sapiens*). З погляду різних релігій людина була створена Богом і залишається незмінною із часів акту творіння. Як ви пам'ятаєте, ці погляди викладено у Священних книгах: Біблії (у християнстві), Торі (в іудаїзмі), Корані (у мусульманстві).

Проте ще з давніх часів учені помічали подібні риси організації сучасної людини та людиноподібних мавп. Так, К. Лінней, створюючи свою систему тваринного світу, на підставі подібності будови помістив людину в ряд Примати. Але, оскільки він вважав, що людина, як й інші види живих істот, створена Богом, зазначив: «Пам'ятай про свого Творця».

Інших поглядів дотримувався Ж.-Б. Ламарк (див. мал. 1). Він вважав людину, що перебуває на вищому щаблі еволюції, прямим нащадком мавпоподібних істот. Натомість Ч. Дарвін (див. мал. 198) у своїй праці «Походження людини та статевий добір» (1881) наголошував, що людина та людиноподібні мавпи походять у колишні геологічні епохи від спільного предка. Дослідники систематичне положення виду Людина розумна визначають так:



**Вид:** Людина розумна (*Homo sapiens*).

**Рід:** Люди (*Homo*): крім сучасного виду Людина розумна, включає низку вимерлих видів.

**Родина:** Гомініди (*Hominidae*), крім роду Люди, включає низку сучасних родів великих людиноподібних мавп (шимпанзе, горила, орангутан) та деякі вимерлі (наприклад, австралопітеки).

**Ряд:** Примати (*Primates*) включає найбільш прогресивних представників ссавців; крім згаданих раніше представників родини Гомініди; це інші мавпи (макаки, павіани, гібони тощо), а також лемури, довгоп'яти та ін.

**Клас:** Ссавці (*Mammalia*).

**Тип:** Хордові (*Chordata*).

### Активізуйте свої знання

*Пригадайте* з курсу біології 7–8 класів ознаки, що свідчать про приналежність виду Людина розумна до **типу Хордові**: закладання під час зародкового розвитку хорди (згодом її заступає хребет), зябрових щілин (через певний час вони заростають), нервової трубки на спинному боці тіла. Чотирикамерне серце, теплокровність, добре розвинена кора півкуль головного мозку, розвиток молочних залоз, наявність диференційованих зубів, які в дорослих особин мають корені – про приналежність до **класу Ссавці**. Як і в інших представників **ряду Примати**, у людини великий палець верхніх п'ятипалих кінцівок протиставлений іншим, що дає змогу здійснювати різноманітні рухи, зокрема хапальні.

Про походження людини від твариноподібних предків свідчать деякі рудименти та атавізми. Так, у процесі еволюції редукувались м'язи, які рухають вушну раковину, що дозволяє краще вловлювати звуки. Але в деяких людей така мускулатура розвинена більш або менш добре. Трапляються й люди, у яких сильно розвинений куприковий відділ хребта («хвіст») або занадто розвинений волосяний покрив на обличчі (див. мал. 193).

Про походження людини від спільних з людиноподібними мавпами предків свідчать і дані молекулярно-генетичних досліджень. *Пригадайте*: геноми людини та шимпанзе збігаються майже на 99 %. Досить близькі й каріотиби людини та шимпанзе: людина в диплоїдному наборі має 46 хромосом, тоді як шимпанзе – 48.

Процес походження та еволюції людини має назву **антропогенез** (від грец. *антропос* – людина та *генезис* – походження). На відміну від еволюції інших видів приматів, еволюція Людини розумної має свої особливості: вона пов'язана з переходом до прямоходіння, здатністю до трудової діяльності, членороздільної мови та абстрактного мислення.

**Здатність до прямоходіння позначилася на особливостях будови людини** (мал. 236). Зокрема, збільшився об'єм мозкового відділу черепа, що пов'язано з прогресивним розвитком головного мозку. У сучасної людини менш потужні щелепи, зменшилися розміри надбрівних дуг та утворився підборідковий виступ, пов'язаний зі здатністю до членороздільної мови. Потиличний отвір у людини перемістився ближче до центру основи черепа, що дозволяло краще зберігати рівновагу у вертикальному положенні.

У зв'язку з прямоходінням у сучасної людини стали потужнішими нижні кінцівки, масивнішими кістки тазового поясу, оскільки на ніжні кінцівки припадає основна маса тіла. Стопа людини набула склепінчастої форми, що

### Цікаво знати


Маса головного мозку людиноподібних мавп становить у середньому: у шимпанзе – до 500 г, горили – 600 г. У дорослої людини середня маса головного мозку близько 1300–1400 г. Проте маса головного мозку в різних людей може варіювати в досить широких межах: наприклад, у відомого французького письменника Анатолья Франса вона становила 1017 г, а в англійського поета Джорджа Байрона – 2238 г.


### Цікаво знати

Учені встановили, що спільний предок шимпанзе та людини існував близько 6 млн років тому. При цьому генні послідовності цих двох видів збігаються приблизно на 99 %. Водночас результати аналізу генома людини свідчать про надзвичайно високу подібність послідовностей ДНК у різних індивідуумів: будь-які дві людини є ідентичними за нуклеотидними послідовностями на 99,5 %, тобто вся сукупність різноманітних фенотипів у людини зумовлена варіаціями тільки 0,5 % генома.



Мал. 236. Порівняльна характеристика скелетів людини розумної (I) та горили (II). **Завдання.** Уважно вивчіть малюнок і, користуючись текстом підручника, знайдіть відмінності в будові скелета людини та горили й поясніть їхнє значення

 **Запам'ятаємо:** слово – найважливіший засіб спілкування між людьми. Мова набула величезного значення в еволюції людини, вища нервова діяльність якої, на відміну від тварин, базується на тісних взаємодіях двох сигнальних систем: першої та другої.

 **Запам'ятаємо:** еволюція людини спочатку базувалася на тих самих біологічних закономірностях, що й еволюція інших мешканців нашої планети. Здатність до прямоходіння звільнила верхні кінцівки, які набули здатності виробляти знаряддя праці й застосовувати їх для здійснення складних операцій у трудовій діяльності. Спільна трудова діяльність сприяла тіснішому спілкуванню членів людських спільнот, виникненню членороздільної мови та другої сигнальної системи. Усе це, у свою чергу, забезпечувало розвиток свідомості. Членороздільна мова та свідомість створили умови для накопичення досвіду, набутого попередніми поколіннями, та передачі його нащадкам. Так у процесі еволюції людини – антропогенезу – біологічні чинники поступово втрачали своє значення, натомість помітно зростала роль чинників соціальних, які й зумовили формування виду Людина розумна як **біосоціальної істоти**.

## Цікаво знати

Як предки сучасної людини перейшли до прямоходіння? Одні з гіпотез припускають, що це було пов'язано з хапальною діяльністю: збирання їжі, перенесення дітей, – необхідністю оглядати місцевість у заростях рослин, аби вчасно виявити небезпеку. Інші гіпотези стверджують, що прямоходіння виникло у предків людини як адаптація до пересування по мілководдю, де вони збирали їжу.

зменшує втомлюваність під час тривалого ходіння або під час бігу (*пригадайте*: площа опори кінцівок зменшується у тварин, здатних до швидкого бігу: коней, оленів, вовків тощо).

Хребет у людини порівняно з мавпами набув S-подібної форми, що полегшує підтримання тіла у вертикальному положенні та зменшує поштовхи й струси головного мозку під час стрибків або падіння. Грудна клітка набула форми зрізаного конуса. Це, з одного боку, збільшило її об'єм, а з іншого – дозволило краще зберігати рівновагу під час прямоходіння.

Верхні кінцівки людини стали коротшими, порівняно з людиноподібними мавпами, оскільки відпала потреба спиратись на них під час пересування. Звільнення верхньої кінцівки від функції опори розширило її функціональні можливості й створило передумови для здійснення трудової діяльності

Рушійними силами антропогенезу були не тільки біологічні чинники, а й соціальні. Предки сучасної людини вели суспільний спосіб життя. Вони жили групами, колективно полювали, спільно захищалися від ворогів, виховали нащадків. Трудова діяльність згуртувала членів первісного соціуму (тобто суспільства як цілісної соціальної одиниці). У процесі виготовлення знарядь праці члени соціуму більше спілкувалися між собою, а старші члени соціуму передавали свої знання молодшим: учили їх ефективно полювати, уникати зустрічі з хижаками, виготовляти знаряддя праці, добувати й підтримувати вогонь тощо.

Потреба у спілкуванні між собою сприяла появі членороздільної мови. Так на певних етапах еволюції людини, крім першої сигнальної системи, з'явилась і друга.

## Активізуйте свої знання



**Сигнальна система** – сукупність рефлексорних процесів, які забезпечують сприймання та аналіз інформації, а також формування відповідних реакцій організму на певні подразники. **Перша сигнальна система** є як в людини, так і у тварин. Вона сприймає за допомогою відповідних сенсорних систем ті чи інші подразники (сигнали) навколишнього середовища (зорові, слухові, смакові тощо). Натомість **друга сигнальна система** є лише в людини. Вона проявляється в спілкуванні за допомогою усної та писемної мови. Мова з'явилася в результаті суспільно-історичного способу життя, у результаті спілкування людей під час виконання спільних дій. Слова, які вимовляє людина, чує чи читає, становлять собою умовні подразники, які сприймає і розрізняє кора великих півкуль головного мозку.

Здатність до членороздільної мови вплинула й на подальший прогресивний розвиток головного мозку людини, здатність до абстрактного мислення (*пригадайте*: що це таке).

**Основні етапи еволюції людини.** Досі тривають дискусії щодо можливого безпосереднього предка виду Людина розумна, оскільки не виявлено форми, які можна було б вважати перехідними між вимерлими видами роду Люди і видом Людина розумна. Тому можна лише розглянути основні етапи еволюції сучасної людини.

Найбільш близькими до роду Люди вчені вважають **австралопітеків**<sup>1</sup> (від лат. *аустралис* – південний та грец. *питекос* – мавпа) (мал. 237). Рештки цих істот уперше знайдено 1924 р. на території Південної Африки (пустеля Калахарі). Вони мешкали близько 4,4–1,8 млн років тому. У будові черепа австралопітеків є риси, притаманні й сучасній людині: слабкий розвиток щелеп, відсутність масивних іклів, об'єм головного мозку – близько 530 см<sup>3</sup>. Цим істотам було притаманне прямоходіння. Зріст здебільшого становив 120–140 см. Пізні австралопітеки могли самостійно виготовляти примітивні знаряддя праці: заточені камені, палиці тощо.

Питання, чи були австралопітеки безпосередніми предками роду Люди, досі залишається дискусійним. Багато дослідників розглядають австралопітеків як сліпу гілку еволюції, хоча й близьку до роду Люди.

Найдавнішим видом роду Люди вважають **Людину вмілу**. Цей вид з'явився 2,3 млн років тому, а вимер приблизно 1,4 млн років тому. Вперше рештки представників виду Людина вміла знайшли на території Танзанії (Східна Африка), а згодом – і в інших регіонах Східної та Південної Африки. Ці істоти були низькорослими (100–150 см заввишки), з масою тіла близько 30–50 кг (мал. 238). Середній об'єм головного мозку становив 650 см<sup>3</sup>.

Людина вміла відрізнялася від австралопітеків прогресивнішою будовою тазового поясу, рук і ніг, зокрема, великий палець ніг був розташований паралельно іншим. Прогресивна будова кисті розширювала функціональність руки, зокрема давала змогу виготовляти різні знаряддя праці та полювати. Здатність до трудової діяльності позитивно вплинула на розвиток розумових здібностей, перетворила людину вмілу на активного мисливця.

Іншими цікавими представниками роду Люди були Людина працююча та Людина прямоходяча. Ці два види виникли майже одночасно й мали подібні риси організації.

**Людина працююча** мешкала приблизно 1,8–1,3 млн років тому в Африці. Ріст цих істот становив близько 170 см (іноді – до 190 см), маса тіла – до 65 кг (мал. 239). У будові черепа, порівняно з людиною вмілою, було більше ознак, притаманних сучасній людині: кістки черепа були тоншими, зуби дрібнішими. Об'єм головного мозку в середньому становив 900 см<sup>3</sup> (варіювався в межах 700–1250 см<sup>3</sup>). Людина працююча виготовляла досконаліші знаряддя праці, наприклад двосічне рубало, що й зумовило назву цього виду. Вважають, що істоти цього виду могли використовувати вогонь.

**Людина прямоходяча** з'явилася приблизно 1,9 млн років тому на території Східної Африки. Об'єм головного мозку цього виду коливався у межах 800–1200 см<sup>3</sup> (мал. 240). У будові черепа спостерігають такі примітивні ознаки, як товсті стінки черепної коробки, низьку лобову кістку та великі надбрівні дуги. Людина прямоходяча виготовляла досить складні знаряддя праці з каменів,

<sup>1</sup> За сучасними поглядами рід Австралопітеки включає шість видів. Під назвою «австралопітекові» мають на увазі, крім роду Австралопітеки, ще п'ять близьких родів вимерлих вищих приматів.



Мал. 237. Австралопітек



Мал. 238. Людина вміла



Мал. 239. Людина працююча



Мал. 240. Людина прямоходяча

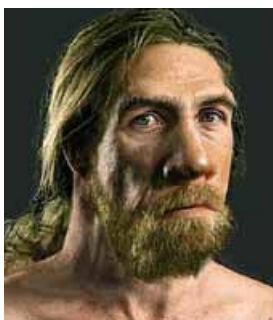


## Цікаво знати

Дані сучасних досліджень свідчать, що останні представники людини прямоходячої на території сучасного Афганістану зникли лише 27 тис. років тому, тобто певний час жили одночасно із сучасною людиною. Дослідження Х-хромосоми, виконане в 2008 р., показало, що азійська лінія Людини прямоходячої могла схрещуватися з представниками виду Людина розумна.



Мал. 241. Людина неандертальська



Мал. 242. Людина розумна (кроманьйонець)



Мал. 243. Людські раси: європейська (1), монголоїдна (2), негроїдна (3)

загострені дерев'яні палиці. Вона мешкала в печерах, виготовляла одяг зі шкур тварин, можливо, використовувала вогонь для приготування їжі. Цей вид приблизно 1,8 млн років тому через Близький Схід поширився по Євразії, утворивши низку підвидів: пітекантропа (з території Індонезії), синантропа (Китай), людину грузинську (з території сучасної Грузії).

Цікавим представником роду Люди є **Людина неандертальська**, або **неандерталець** (мал. 241). Назва цього виду походить від назви долини Неандерталь (Німеччина), де в 1856 р. уперше виявили рештки цих людей (череп і залишки скелета). Неандертальці мали досить широкий ареал: Європа, Середня Азія, Близький та Середній Схід тощо. Середній зріст становив від 150 до 170 см, маса тіла – 65–80 кг. Ці люди мали дуже потужну статуру: їхня м'язова маса була на 30–40 % більшою, ніж у сучасної людини. Вони мали великий і масивний череп з потужними щелепами та маленьким підборіддям, лоб був скошений назад, а надбрівні дуги – масивні. Об'єм головного мозку в середньому становив 1600 см<sup>3</sup>. Руки та ноги неандертальців були потужні. Учені припускають, що їм було притаманне складне мовлення. Ці люди виготовляли досить досконалі знаряддя праці та зброю, широко застосовували в побуті вогонь.

Хоча геном неандертальців ще не повністю розшифровано, дослідження показали, що він на 99,5 % збігається з геномом Людини розумної. Відомі рештки окремих особин, що виникли внаслідок схрещування неандертальців із Людиною розумною, проте значного поширення цей процес не набув. Ці два види певний час співіснували, ворогуючи між собою.

**Людина розумна** – єдиний існуючий на сьогодні вид роду Люди. Від людини неандертальської його представники відрізняються низкою ознак будови: високий лоб, редуковані надбрівні дуги, відсутній потиличний виступ, наявний підборідковий виступ, який свідчить про високу здатність до членороздільної мови, сплюснена грудна клітка та довші кінцівки (мал. 242).

Перші представники виду Людина розумна з'явилися приблизно 200 тис. років тому – їх виділяють в окремий вимерлий підвид – Людина розумна найстаріша. Сучасний підвид – Людина розумна розумна<sup>1</sup> відрізняється від вимерлого підвиду прогресивними рисами будови черепа та менш масивним скелетом. Дослідники вважають, що близько 74 тис. років тому, імовірно після потужного вулканічного виверження, вони мігрували з території сучасної Індонезії до Африканського континенту, де стали предками сучасних людей. Приблизно 60–40 тис. років тому ці люди потрапили до Азії, а звідти розселилися на інші континенти: до Європи (близько 40 тис. років тому), Америки та Австралії (35–15 тис. років тому).

Для Людини розумної розумної характерні прогресивний розвиток нервової системи, досконала вища нервова діяльність, здатність до абстрактного мислення, високі інтелектуальні здібності. У процесі своєї еволюції Людина

<sup>1</sup> Цей підвид ще називають «кроманьйонцем», оскільки перші рештки цих людей виявили в печері Кроманьйон на території Франції.

Вид Людина розумна пройшов тривалу еволюцію, яку називають антропогенезом. Це насамперед пов'язано зі здатністю до прямоходіння, трудової діяльності, появою членороздільної мови та здатністю до абстрактного мислення.

Найбільш близькими до роду Люди вважають австралопітеків, в організації яких спостерігають певні риси, притаманні й сучасній людині (здатність до прямоходіння, слабкий розвиток щелеп, будова нижніх кінцівок та тазового поясу).

Вид Людина розумна – єдиний сучасний вид роду Люди. До цього роду належить і низка вимерлих видів (людина вміла, людина працююча, людина прямоходяча, людина неандертальська тощо). Під впливом певних умов проживання, які склалися в різних регіонах нашої планети, сформувалися різні раси людей: європеоїдна, монголоїдна та негроїдна.

розумна перейшла від збирання рослин та полювання на тварин до ведення сільського господарства: вирощування культурних рослин і розведення свійських тварин. Вважають, що цей важливий етап розвитку сучасної людини відбувся близько 10 тис. років тому. Осілий спосіб життя сприяв виникненню великих поселень, торгівлі, згодом – стрімкому розвитку промисловості (технічній революції).

На сьогодні Людина розумна заселила всі існуючі континенти, її поселення існують навіть на території Антарктиди. Цей вид перебуває у стані біологічного прогресу, оскільки його чисельність стрімко зростає: якщо в 1800 р. населення нашої планети нараховувало 1 млрд особин, то в 2011 – понад 7 млрд. Вважають, що у 2016 р. населення нашої планети становило 7,3 млрд особин.

У процесі історичного розвитку виду Людина розумна залежно від умов проживання сформувалися різні етнічні групи – *раси*, основними з яких є європеоїдна, монголоїдна та негроїдна (мал. 243). Незважаючи на певні відмінності в зовнішній будові, представники всіх рас належать до одного виду – Людина розумна.

### Ключові терміни та поняття:

антропогенез, австралопітеки, неандертальці, кроманьйонці, Людина розумна.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке антропогенез? 2. Назвіть рушійні сили антропогенезу. 3. Чому на певних етапах антропогенезу стали переважати біологічні чинники? 4. Назвіть ознаки, притаманні представникам роду Люди. 5. Чим характеризується вид Людина розумна? 6. Які особливості еволюції людини розумної?

### Поміркуйте

Що спільного й відмінного в еволюції Людини розумної та людиноподібних мавп?

**Творче завдання.** Запропонуйте свої варіанти застосування методів моделювання в дослідженні різноманітних еволюційних процесів.

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Укажіть назву системи поглядів про незмінність живої природи із часів її виникнення: а) еволюційне вчення; б) гіпотеза панспермії; в) креаціонізм; г) гіпотеза абіогенезу.
2. Укажіть назву гіпотез походження життя, які засновані на тому, що жива матерія виникла з неживої: а) біогенетичні; б) абіогенетичні; в) панспермії; г) креаціонізм.
3. Назвіть учених, які висунули абіогенетичну (біохімічну) гіпотезу виникнення життя: а) С. Арреніус та В. Вернадський; б) О. Опарін та Дж. Холдейн; в) Л. Пастер та Р. Вірхов; г) Е. Геккель та К.Тимірязєв.
4. Укажіть період часу, коли з'явився вид Людина розумна: а) близько 10 млн років тому; б) близько 5 млн років тому; в) близько 600 тис. років тому; г) близько 200 тис. років тому.
5. Укажіть назву еволюційного перетворення, пов'язаного з підвищенням рівня організації організмів: а) ароморфоз; б) ідіоадаптація; в) загальна дегенерація; г) біологічний прогрес.
6. Зазначте принцип, покладений в основу сучасної класифікації організмів: а) монофілії; б) поліфілії; в) панспермії; г) конвергенції.
7. Укажіть елементарну одиницю еволюції: а) порода тварин; б) сорт рослин; в) популяція; г) вид.
8. Укажіть середовище еволюційних процесів: а) екосистема; б) рід організмів; в) популяція; г) вид організмів.
9. Укажіть форму ізоляції, яку спостерігають за умов роз'єднання популяцій певними просторовими перешкодами: а) екологічна; б) географічна; в) сезонна; г) генетична.
10. Зазначте, як називають здатність до наслідування добре захищених організмів погано захищеними: а) дивергенція; б) конвергенція; в) атавізм; г) мімікрія.

11. Назвіть приклад ідіоадаптації: а) виникнення квітки; б) утворення ластів у ластоногих; в) зникнення кишечнику у стьожкових червів; г) поява щелеп у хребетних тварин.

12. Зазначте назву процесу незалежного розвитку подібних ознак в організмів, що не мають безпосередніх родинних зв'язків: а) дивергенція; б) адаптивна радіація; в) філогенез; г) конвергенція.

13. Виберіть ознаки, притаманні макроеволюційним процесам: а) відбуваються за тривалі історичні проміжки часу, недоступні для безпосереднього спостереження; б) відбуваються всередині популяції; в) сприяють виникненню нових видів; г) джерело мінливості – модифікації.

14. Визначте положення біогенетичного закону: а) нові види виникають шляхом розходження у нащадків ознак предків унаслідок пристосувань до різних умов довкілля; б) виживають і залишають нащадків найбільш пристосовані особини виду; в) процес еволюції відбувається шляхом поступового накопичення дрібних корисних змін, які підсилюються та комбінуються; г) онтогенез (індивідуальний розвиток) є стислим повторенням філогенезу (історичного розвитку виду).

15. Зазначте систематичну одиницю, виникненню якої сприяють мікроеволюційні процеси: а) родина; б) підвид; в) вид; г) рід.

16. Назвіть форму природного добору, яка сприяє зміні норми реакції організмів у певному напрямку: а) рушійний; б) розриваючий; в) стабілізуючий; г) штучний.

17. Укажіть приклад аналогічних органів: а) колючки барбарису та колючки кактусів; б) вуса суниць і вусики винограду; в) крила кажанів і птахів; г) бульбокорені жоржин та бульби топінамбура.

18. Виберіть гомологічні органи: а) крила кажанів та крила комах; б) крила кажанів та плавці китів; в) зябра річкового рака та річкового окуня; г) додаткові корені картоплі та ризоїди зозулиного льону.

#### *Утворіть логічні пари*

19. Установіть відповідність між еволюційними процесами та їхнім визначенням.

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1 мікроеволюція | <b>A</b> еволюційні процеси, які призводять до виникнення нових видів   |
| 2 видоутворення | <b>B</b> еволюційні процеси, які призводять до виникнення надвидових систематичних одиниць                        |
| 3 макроеволюція | <b>B</b> еволюційні процеси, які призводять до виникнення подібних ознак у представників неспоріднених організмів |
| 4 конвергенція  | <b>Г</b> еволюційні процеси, які призводять до виникнення нових популяцій та підвидів                             |

20. Визначте ознаки організмів, які є прикладами ароморфозів, ідіоадаптацій, загальної дегенерації, атавізмів та рудиментів у тварин.

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1 ароморфоз            | <b>A</b> дзижчальця у мух   |
| 2 ідіоадаптація        | <b>B</b> чотирикамерне серце у птахів                                 |
| 3 загальна дегенерація | <b>B</b> гачкуватий дзьоб хижих птахів                                |
| 4 рудименти            | <b>Г</b> поява недорозвинених кінцівок у безногої ящірки веретільниці |
|                        | <b>Д</b> відсутність кишечнику у стьожкових червів                    |

21. Установіть відповідність між біологічними процесами та їхньою сутністю.

- |                |   |
|----------------|---|
| 1 філогенез    | <b>A</b> індивідуальний розвиток особини  |
| 2 онтогенез    | <b>B</b> формування подібних ознак у неспоріднених організмів унаслідок мешкання в подібному середовищі |
| 3 дивергенція  | <b>B</b> історичний розвиток виду або іншої систематичної групи   |
| 4 конвергенція | <b>Г</b> розходження ознак у нащадків спільного предка внаслідок пристосування до різних умов мешкання  |

22. Установіть приналежність структур та органів рослин і тварин до гомологічних чи аналогічних.

- |  |  |
|--|--|
| 1 гомологічні структури та органи рослин | <b>A</b> колючки кактусів та глоду     |
| 2 аналогічні структури та органи рослин  | <b>B</b> зябра раків та риби           |
| 3 гомологічні структури та органи тварин | <b>B</b> колючки кактусів та барбарису |
| 4 аналогічні структури та органи тварин  | <b>Г</b> крила птахів та кажанів       |
|  | <b>Д</b> крила птахів та комах         |

23. Визначте ознаки, притаманні різним шляхам еволюції.

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1 ароморфоз            | <b>A</b> поява ознак, притаманних предкам   |
| 2 ідіоадаптація        | <b>B</b> значне ускладнення організації організмів  |
| 3 загальна дегенерація | <b>B</b> зміни в будові, не пов'язані зі зміною загального рівня організації                            |
|                        | <b>Г</b> спрощення будови; спостерігають в організмів, які ведуть паразитичний або сидячий спосіб життя |



Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей

24. Визначте характерні ознаки основних шляхів еволюції.

<b>Ароморфози</b>	<b>Ідіоадаптації</b>	<b>Загальна дегенерація</b>
1 підвищення рівня організації організмів, які дають можливість засвоювати нові середовища мешкання	1 спрощення організації в організмів, які перейшли до сидячого, малорухливого чи паразитичного способу життя	1 зміни організмів, які не зачіпають рівня їхньої організації та слугують пристосуванням до конкретних умов мешкання
2 зміни організмів, які не зачіпають рівня їхньої організації та слугують пристосуванням до конкретних умов мешкання	2 підвищення рівня організації організмів, які дають можливість засвоювати нові середовища мешкання	2 спрощення організації в організмів, які перейшли до сидячого, малорухливого чи паразитичного способу життя
3 спрощення організації в організмів, які перейшли до сидячого, малорухливого чи паразитичного способу життя	3 зміни організмів, які не зачіпають рівня їхньої організації та слугують пристосуванням до конкретних умов мешкання	3 підвищення рівня організації організмів, які дають можливість засвоювати нові середовища мешкання

25. Назвіть ознаки, притаманні різним формам природного добору.

<b>Рушійний</b>	<b>Стабілізуючий</b>	<b>Дизруптивний (розриваючий)</b>
1 сприяє виникненню декількох різних фенотипових груп особин одного виду	1 зберігається середня норма реакції	1 фенотип змінюється у певному напрямку, відповідно до напрямку змін у довкіллі
2 зберігається середня норма реакції	2 фенотип змінюється в певному напрямку, відповідно до напрямку змін у довкіллі	2 сприяє виникненню декількох різних фенотипових груп особин одного виду
3 фенотип змінюється в певному напрямку, відповідно до напрямку змін у довкіллі	3 сприяє виникненню декількох різних фенотипових груп особин одного виду	3 зберігається середня норма реакції

26. Укажіть ознаки, притаманні різним представникам родини Гомініди.

<b>Шимпанзе</b>	<b>Австралопітек</b>	<b>Людина вміла</b>
1 маса головного мозку становить у середньому 420 г	1 об'єм головного мозку становив в середньому 530 см <sup>3</sup>	1 об'єм головного мозку становив понад 1000 см <sup>3</sup>
2 здатність виготовляти складні знаряддя праці	2 здатність виготовляти складні знаряддя праці	2 здатність виготовляти складні знаряддя праці
3 великий палець стопи розташований паралельно іншим пальцям	3 великий палець стопи розташований паралельно іншим пальцям	3 великий палець стопи протиставлений іншим пальцям

Завдання з відкритою відповіддю

27. Як з позицій еволюційних поглядів Ч. Дарвіна та Ж.-Б. Ламарка можна пояснити появу в процесі еволюції довгої шиї у жирафи?

28. Що спільного та відмінного в сучасних еволюційних поглядах та теорії Ч. Дарвіна?

29. Чому екологічні чинники одночасно є й факторами еволюції?

30. Чим, з точки зору сучасних еволюційних поглядів, можна пояснити вимирання видів у процесі еволюції до появи людини?

31. Чому в процесі антропогенезу біологічні чинники поступово втратили свою провідну роль?

32. Чому наслідком дії еволюційних факторів є або пристосування (адаптація) до умов мешкання, або вимирання?

33. Чи могли різні рівні організації живої матерії на нашій планеті сформуватись одночасно?

34. Яке значення мав процес горизонтального перенесення генів для еволюції різних груп організмів?



## ТЕМА 7. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- основи еволюційної філогенії та систематики;
- різноманітність органічного світу: неклітинні форми життя (віруси), основні групи прокаріотів (археї та бактерії) та еукаріотів (рослини, гриби та тварини).

**Запам'ятаємо:** учені-систематики описують усіх істот, які мешкають на нашій планеті тепер або ж мешкали колись, дають їм назви та класифікують, тобто розподіляють по таксонах різного рангу.



Мал. 244. Кіт лісовий (*Felis silvestris*) (1) та рись (*Felis lynx*) (2) – два види, що належать до роду Кіт (під *Felis*)



Мал. 245. Меліса лікарська (*Melissa officinalis*)

### §45. ОСНОВИ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ФІЛОГЕНІЇ ТА СИСТЕМАТИКИ

Пригадайте, які систематичні одиниці використовують у систематиці рослин, грибів і тварин. Що таке філогенія? Які критерії виду використовують у сучасній біології? Що таке мікроеволюція, видоутворення та макроеволюція? Які існують варіанти видоутворення? Які види називають видами-двійниками?

**Систематика – наука про різноманітність організмів.** Головним завданням систематики є розроблення принципів класифікації організмів. Створюючи системи окремих груп організмів, учені-систематики прагнуть створити єдину всеосяжну систему органічного світу.

Систематику як науку започаткував видатний шведський учений Карл Лінней. Як і сучасні вчені, він вважав, що вид – це сукупність особин, подібних між собою за будовою, які дають плодючих нащадків. Звісно, сучасні погляди на вид у біології значно ширші. Вони враховують, зокрема, ще й мінливість видів та існування видів-двійників. З курсу біології 6 та 7 класів ви знаєте, що саме К. Лінней ввів у науку **принцип подвійних назв видів**. Отже, назва кожного виду складається з двох слів латинською мовою, наприклад: *Felis silvestris*<sup>1</sup> – кіт лісовий, *Felis lynx* – рись (мал. 244). У цих видових назвах перше слово (*Felis*) означає назву роду, до якого належить вид, а друге – видову назву. Така назва виду є науковою, тобто єдиною для вчених усіх країн.

Щоб зрозуміти, у чому полягає різниця між науковими (подаються латинською мовою) та народними (подаються мовою певних країн) назвами організмів, згадаємо поширену в Україні рослину – мелісу лікарську (мал. 245). У народі її називають по-різному: «лимонна м'ята», «роївник», «бджолина трава», «медівка» тощо. Але наукова її назва одна – *Melissa officinalis*.

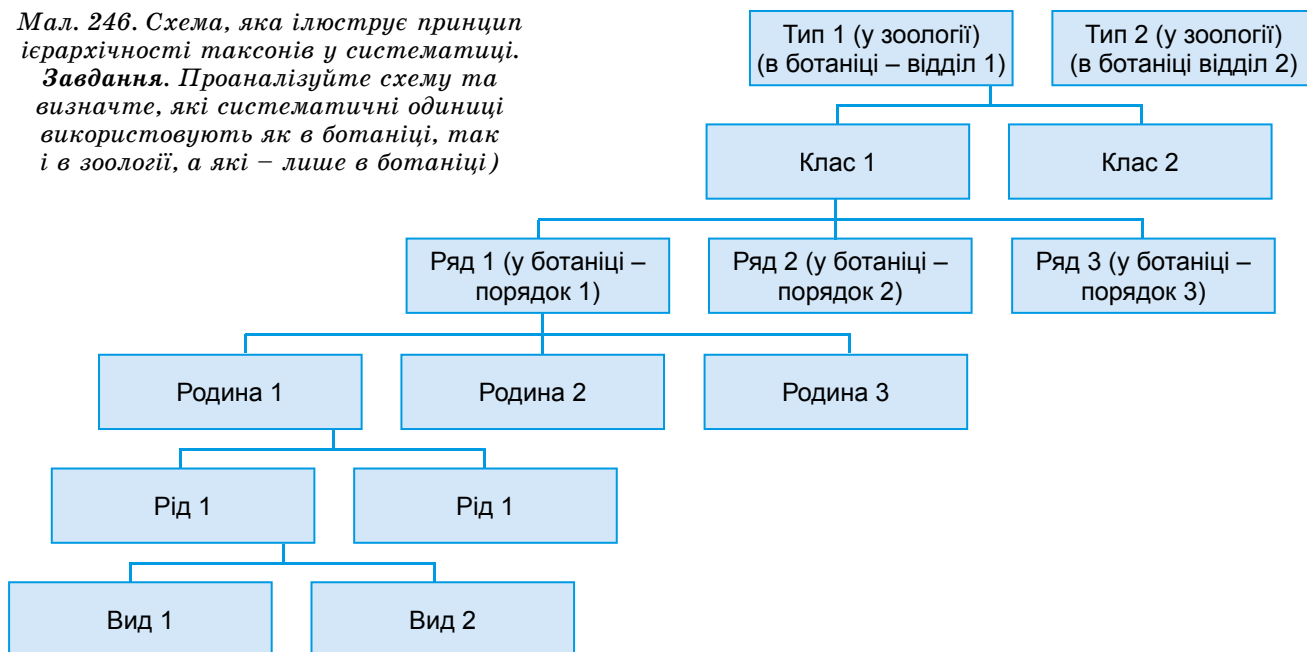
Ще одним важливим внеском К. Ліннея було застосування системи взаємопідпорядкованих таксонів (ієрархічного принципу) у систематиці (мал. 246).

Як і в систематиці рослин або грибів, так і в систематиці тварин споріднені **види** об'єднують у **роди**. Так, види кіт лісовий і рись належать до роду Кішки. Близькі роди об'єднують у **родини**. Наприклад, роди Кішки та Великі

<sup>1</sup> Латинські назви організмів наведено не для запам'ятовування.

Мал. 246. Схема, яка ілюструє принцип ієрархічності таксонів у систематиці.

**Завдання.** Проаналізуйте схему та визначте, які систематичні одиниці використовують як в ботаніці, так і в зоології, а які – лише в ботаніці)



Кішки (до цього роду входять лев, тигр, леопард та ягуар) – до родини Котячі. Близькі родини об'єднують у **ряди**. Наприклад, родини Котячі та Бовчі – це дві родини ряду Хижі. Близькі ряди, у свою чергу, складають **клас**. Наприклад, ряди Хижі, Гризуни та інші відносять до класу Ссавці. Класи об'єднують у **типи**. Наприклад, класи Птахи і Ссавці – це класи типу Хордові. Найвищою систематичною категорією є **царство**. Так, усі типи тварин складають царство Тварини. Таксон, що включає кілька царств, у сучасній біологічній класифікації організмів має назву **домен**. Тож царство Тварини належить до домену Еукаріоти (або Ядерні).

К. Лінней та інші вчені тих часів, створюючи свої системи різних груп організмів, спиралися лише на деякі, часто довільні, ознаки їх подібності. Тепер такі системи називають «штучними», оскільки вони часто не відповідають родинним зв'язкам між організмами.

### Цікаво знати

К. Лінней помістив у рід Ящірка не тільки справжніх ящірок, а й саламандр і крокодилів (мал. 248). Однак ці тварини належать до різних класів: саламандри – до класу Амфібії, ящірки та крокодили – до класу Рептилії.

**Принципи сучасної систематики.** Сучасна **філогенетична**, або **природна**, **систематика** базується на таких принципах:



Мал. 248. Приклад штучної системи організмів: К. Лінней, спираючись на схожість у зовнішній будові, об'єднав в один рід і ящірок (1), і саламандр (2), і крокодилів (3)

### Цікаво знати

Значний внесок у розвиток сучасної систематики зробив американський біолог **Ернст Уолтер Майр** (мал. 247). Він брав участь у розробленні біологічної концепції виду та розвитку синтетичної теорії еволюції, зокрема досліджував механізми видоутворення.



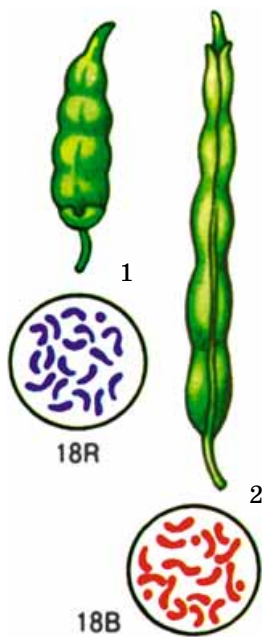
Мал. 247. **Ернст Уолтер Майр** (1904–2005), професор Гарвардського університету (США): відомий своїм внеском у розвиток еволюційної теорії та працями в галузі орнітології – науки про птахів



## Цікаво знати

У сучасній біосфері налічують близько 2 млн видів живих істот, з них тварин – понад 1,5 млн, рослин – близько 600 тис., грибів – понад 100 тис. видів, решта – прокаріоти. Вважають, що життя на Землі з'явилося 3,8 млрд років тому. На сьогодні описано кілька сотень тисяч вимерлих видів. Учені припускають, що у викопному стані зберігається не більше ніж 0,1–1 % дійсного числа видів, що існували в різні відрізки часу історії Землі. Загальна кількість сучасних і вимерлих видів може становити від 100 млн видів і більше. Це величезне біорізноманіття зумовлене існуванням різних рівнів організації живої матерії та пристосуваннями організмів до різних умов життя.

**Запам'ятаємо:** що більше спільних груп генів мають організми певних груп, то тісніші між організмами родинні зв'язки. *Пригадайте:* геноми Людини розумної (рід Люди) та шимпанзе звичайного (рід Шимпанзе), які належать до родини Гомініди, збігаються на 98,7 %. Натомість послідовності молекул ДНК різних рас Людини розумної відрізняються тільки на 0,5 % генома.



Мал. 249. Каріотиби капусти (1) та редьки (2). Завдання. Знайдіть відмінності між ними

- усі сучасні види є нащадками викопних форм, цим забезпечується безперервність життя;
- види утворюються переважно в результаті дивергенції, тому кожна систематична група є *монофілетичною*, тобто всі її члени походять від спільного предка;
- кожний тип (відділ) організмів має притаманний лише йому загальний план будови, який докорінно відрізняється від інших;
- різноманіття видів є наслідком їхніх пристосувань (адаптацій) до умов довкілля.

Сучасна систематика спирається на дані різноманітних наук. Особливу увагу приділяють молекулярно-генетичним дослідженням. Оскільки споріднені групи організмів походять від спільного предка, то вони успадковують від нього і багато груп спільних генів. Учені досліджують не лише ядерні гени, а й гени мітохондрій і хлоропластів.

Важливе значення для побудови сучасних систем організмів мають дослідження їхнього каріотипу: у споріднених організмів особливості хромосомного набору подібніші, ніж у неспоріднених. Навіть якщо два види мають подібну кількість хромосом (як-от, капуста та редька – по 18 у диплоїдному наборі; мал. 249), вони відрізнятимуться за особливостями будови хромосом окремих пар.

Сучасна систематика базується на **біологічній концепції виду**:

- види складаються з популяцій; групи популяцій одного виду можуть відрізнитись між собою за однією або декількома ознаками, утворюючи підвиди;
- наявність підвидів у межах певного виду свідчить про екологічну пластичність виду, а також є показником того, що всередині виду інтенсивно відбуваються мікроеволюційні процеси (*пригадайте*, що це за процеси);
- популяції одного виду мають подібний генофонд, тому особини з різних популяцій можуть схрещуватись між собою;
- вид – єдина систематична одиниця, яка реально існує в природі;
- вид – це екологічна єдність: особини популяції взаємодіють як єдине ціле не тільки між собою, а й з популяціями інших видів певної екосистеми;
- особини різних видів між собою не схрещуються (явище репродуктивної ізоляції); якщо ж таке схрещування і відбувається, міжвидові гібриди зазвичай розмножуватись не здатні (вони стерильні).

Основні галузі систематики: класифікація і номенклатура. **Класифікація** – встановлення рангу і характеристика певних систематичних груп. Процес класифікації передуює найменуванню таксонів, адже характер назви таксонів залежить від їхнього рангу. Спочатку вчені класифікують, тобто визначають ранг таксона, з яким вони мають справу. І лише після того вони надають правильні назви таким таксонам. Наприклад, учені-систематики виявили раніше не відомий науці організм і описують його як новий вид. Але такі організми водночас можуть виявитись і новим для науки родом.

Часто від точного визначення виду залежать і результати досліджень. Наприклад, малярійний комар, якого колись розглядали як один вид, насправді становить

комплекс із шести видів-двійників. З них одні здатні переносити збудника малярії, інші – ні.

**Сучасна система органічного світу – відображення процесу його еволюції.** Ми вже згадували, що сучасна систематика базується на тому, що споріднені таксони походять від спільного предка. *Пригадайте:* ще у другій половині XIX ст. видатний німецький учений Е. Геккель запропонував відображати родинні зв'язки між різними групами організмів у вигляді філогенетичних дерев. Тепер дослідники для графічного відображення родинних зв'язків між різними групами організмів використовують спеціальні комп'ютерні програми, які аналізують різноманітні риси подібності та відмінності між ними та будують так звані *кладограми*. На підставі аналізу численних ознак комп'ютер розподіляє досліджувані види по групах. При цьому довжина гілок, що сполучають окремі таксони, свідчать про тісноту родинних зв'язків між ними: що ці лінії коротші, то тісніші між ними родинні зв'язки.

Щорічно вчені описують десятки тисяч нових видів, тому за прогнозами фахівців, кількість сучасних видів може становити до 5 млн і більше. І кожний новий для науки вид має посісти своє місце в системі органічного світу. Разом з кількістю описаних нових видів зростає й кількість нових надвидових таксонів.

Отже, успіхи в галузі створення систем різних груп організмів привели вчених до ідеї про те, що ступінь подібності певних груп (видів, родів тощо) одна до одної визначається їх історичним походженням від спільного предка. Оскільки різні таксони організмів виникли у процесі еволюції неодноразово, то, аналізуючи певні кладограми, можна зробити висновок, які таксони утворилися раніше, а які – пізніше.

**Прокаріоти та еукаріоти.** Сучасна класифікація організмів базується, зокрема, на особливостях будови їхніх клітин. Наприклад, клітини організмів домену Прокаріоти (Доядерні) мають просту будову: у них відсутнє сформоване ядро, більшість органел, оточених двома (мітохондрії, пластиди) чи однією (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми тощо) мембранами. До прокаріотів належать дві групи (царства): Археї та Бактерії.

Клітини організмів, що належать до домену Еукаріоти (Ядерні), хоча б на певних етапах розвитку (як-от, еритроцити більшості ссавців, ситоподібні трубки рослин) мають ядро. Їм притаманні різноманітні органели. Традиційно еукаріотів поділяють на групи (царства) Рослини, Гриби, Тварини. Нині вчені, ґрунтуючись на даних молекулярно-генетичних досліджень, пропонують іншу систему царств цих організмів.

Крім організмів, які мають клітинну будову, є й неклітинні форми життя: пріони, віроїди (про них ви дізналися раніше), а також віруси.

### **Ключові терміни та поняття:**

принцип подвійних назв організмів, штучна та природна (філогенетична) системи організмів, домен, монофілетична група, кладограма.

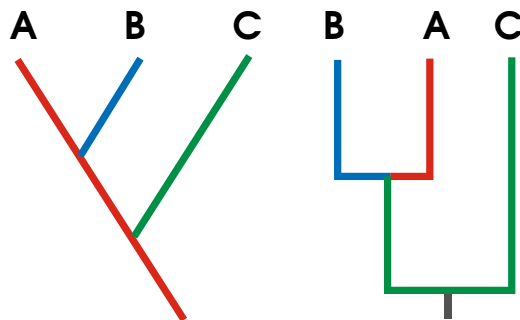
### **Цікаво знати**

Під час утворення наукових назв певних груп організмів дослідники керуються положеннями **кодексів біологічної номенклатури**. Це зведення правил, які регламентують утворення й застосування наукових назв живих організмів. Існують «Міжнародний кодекс зоологічної номенклатури», «Міжнародний кодекс ботанічної номенклатури», «Міжнародний кодекс номенклатури бактерій», «Вірусологічний кодекс».

**Кладограма** (від грец. *κλαδον* – гілка) – спосіб графічного відображення родинних зв'язків між окремими групами організмів.

### **Цікаво знати**

На малюнку 250 наведено дві кладограми, які містять одну й ту саму інформацію. Аналізуючи їх, можна зробити висновок, що таксони **A** та **B** мають тісніші родинні зв'язки, ніж кожний з них із таксоном **C**. Якщо таксони **A**, **B**, **C** – це види, можна припустити, що види **A** та **B** належать до одного роду, а вид **C** – до іншого. Лінія в основі кладограми вказує, що обидва роди походять від спільного предка.

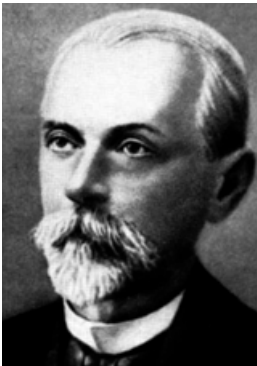


*Мал. 250. Два варіанти кладограм, які відображають родинні зв'язки між трьома таксонами: A, B та C. Завдання. Поміркуйте, які з таксонів виникли раніше, а які – пізніше*

## Коротко про головне

Головним завданням систематики є розроблення принципів класифікації організмів як тих, що існують тепер, так і тих, що мешкали колись. Базуючись на даних досліджень різних наук, учені-систематики створюють природні (філогенетичні) системи організмів. Ці групи мають бути монофілетичними, тобто повинні включати всіх нащадків спільного предка.

Сучасна система органічного світу є відображенням процесу його еволюції, тобто показує, у якій послідовності ті чи інші групи організмів відокремлювались від спільного предка. Залежно від будови клітин усіх організмів поділяють на прокаріотів та еукаріотів.



Мал. 251. Дмитро Йосипович Івановський (1864–1920) – основоположник науки про віруси

## Цікаво знати

Віруси відкрив Д.Й. Івановський (мал. 251), коли вивчав мозаїчну хворобу тютюну. Він довів, що витяжка від уражених рослин, коли її ввести здоровим, спричиняє їхнє захворювання. Це відбувалося навіть після проходження витяжки через керамічні фільтри достатньо малого діаметра, здатні затримувати найдрібніші бактерії. Д.Й. Івановський вважав збудників мозаїчної хвороби тютюну найдрібнішими організмами. Але вони не були здатні рости на будь-якому з поживних середовищ. Цю подію в усьому світі визнано як народження науки вірусології.

## Перевірте здобуті знання

1. Що вивчає систематика? 2. Які системи організмів називають штучними, а які – природними (філогенетичними)? 3. Які групи організмів називають монофілетичними? 4. Що таке класифікація організмів? 5. У чому полягає принцип подвійних назв організмів? Наведіть приклади. 6. Чим характеризуються прокаріоти та еукаріоти?

## Поміркуйте

Чому філогенетичну систему організмів вважають відображенням процесу еволюції?

## §46. НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ – ВІРУСИ. ПРОКАРІОТИ

Пригадайте характерні ознаки життя? Що таке геном? Які особливості будови клітин прокаріотів? Що таке плазмід? Що таке домен?

Будову і функції вірусів, їхні властивості, шляхи передачі, способи лікування і профілактики вірусних захворювань вивчає наука **вірусологія**.

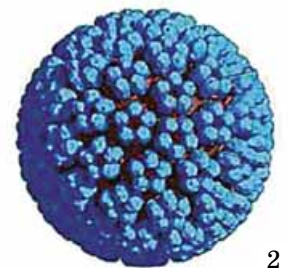
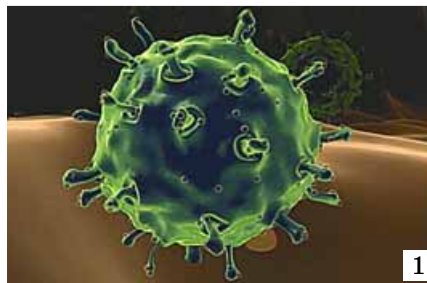
**Віруси – неклітинні форми життя.** Це виключно внутрішньоклітинні паразити різних організмів: людини, тварин, рослин, грибів і бактерій. Для свого розмноження віруси використовують будівельний матеріал та енергію клітини-хазяїна. Наслідком взаємодії між вірусом та клітиною-хазяїном часто стають вірусні захворювання.

На підставі багаторічних досліджень було визначено основні властивості вірусів:

- дуже малі розміри: більшість вірусних частинок – **віріонів** – можна вивчати лише за допомогою електронного мікроскопа;
- наявність тільки одного типу нуклеїнової кислоти – або ДНК, або РНК; відсутність власних систем, здатних синтезувати білки;
- внутрішньоклітинний паразитизм – здатність розмножуватись лише в клітині-хазяїні;
- відсутність проявів життєдіяльності поза клітиною-хазяїном.

Досі не існує єдиної точки зору на походження вірусів. Останнім часом більшість учених схиляється до гіпотези, за якою віруси виникли у прадавні часи незалежно від клітин, використовуючи їхні можливості для перетворення енергії та синтезу білків.

Усі віруси поділяють на прості й складні (мал. 252). **Прості віруси** складаються тільки з білка та нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК). До складу оболонки **складних вірусів** входять також ліпіди та вуглеводи.



Мал. 252. 1 – складний вірус групи; 2 – простий вірус папіломи



Важлива відмінність вірусів від прокариотів та еукаріотів полягає в їхньому унікальному способі утворювати нові дочірні вірусні частинки. Якщо всі клітинні форми життя використовують різні форми розмноження клітин (*пригадайте* які), то у вірусів цей процес пов'язаний з утворенням в інфікованій клітині одразу великої кількості (від одиниць до сотень) віріонів під час так званого *самозбирання* (мал. 253). Цей процес дещо нагадує складання автомобіля на конвеєрі. Вірусні частинки збираються з великої кількості вірусних білків, які синтезувала клітина (структура цих білків кодується генами вірусної нуклеїнової кислоти). Кінцевим етапом такого збирання є включення в оболонку вірусу його нуклеїнової кислоти. Після цього вірус може виходити з клітини, набуваючи здатності інфікувати нові клітини.

Прості віруси виходять з клітини зазвичай унаслідок руйнування клітинної мембрани вірусними ферментами або в результаті загибелі клітини. У складних вірусів віріон захоплює частину клітинної мембрани, яку використовує як власну зовнішню оболонку. Цей процес називають *брунькуванням вірусу* (мал. 254).

Класифікація вірусів ґрунтується на особливостях будови вірусної частинки та типу нуклеїнової кислоти. Нині вона перебуває на стадії розроблення, однак основний її принцип подібний до принципу класифікації прокариотів та еукаріотів. Для прикладу наведемо класифікацію пневмовірусу, що спричиняє гостре респіраторне вірусне захворювання (ГРВЗ) (не для запам'ятовування):

Царство *Віра*

Порядок *Мононегавіруси*

Родина *Параміксовіруси*

Підродина *Пневмовіруси*

Рід *Пневмовірус*

**Віруси рослин.** Рослинні клітини, крім плазматичної мембрани, вкриті також міцною целюлозною клітинною оболонкою. Тому вірус може проникнути в цитоплазму тільки після її ушкодження (подряпини листкових пластинок чи кореневих волосків, з допомогою тварин-переносників, які живляться соком рослин).

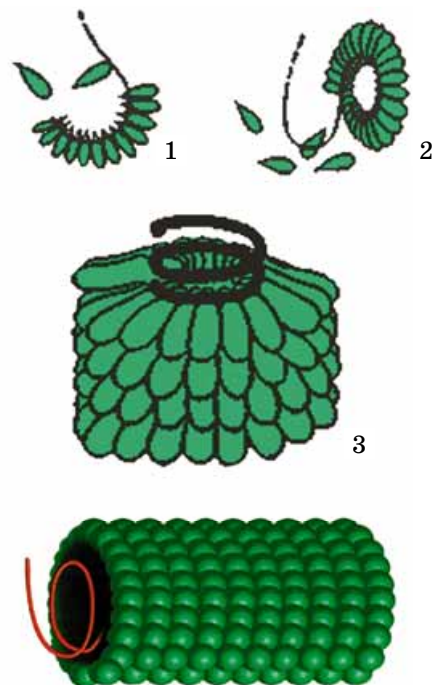
Під час перебування вірусу в клітині синтезуються вірусні білки. Одні з них використовуються як ферменти, що забезпечують подальше відтворення молекул вірусної РНК, інші – як структурні білки, з яких будуватимуться оболонки нових вірусних частинок. Усі ці процеси забезпечуються органелами клітини з її амінокислот та нуклеотидів за рахунок її енергії. Новоутворені вірусні частинки можуть знову потрапляти до тварин-переносників.

**Віруси бактерій, або бактеріофаги.** Бактеріальна клітина, як і рослинна, надійно захищена клітинною оболонкою. Тому віруси бактерій – бактеріофаги мають свою «стратегію» проникнення до цитоплазми клітини-хазяїна. Розглянемо цей процес на прикладі бактеріофага Т4 (мал. 255). До кінця його хвостового відростка приєднані довгі білкові нитки, які закінчуються специфічною структурою, що виконує функції рецептора. На поверхні бактеріальної клітини (бактеріофаги Т4 вражають бактерії кишкову паличку) є глікопротеїди (*пригадайте*: так називають сполуки білків з вуглеводами), з якими і зв'я-

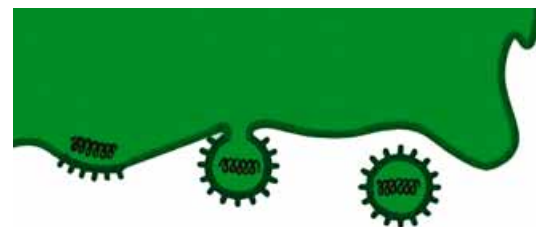
## Цікаво знати

Дуже довго, аж до кінця ХХ ст., тривала дискусія на тему, чи належать віруси до живої природи. І саме те, що їм властиві спадковість і мінливість, доводить, що віруси безумовно є об'єктами живої природи, хоча й належать до неклітинних форм життя.

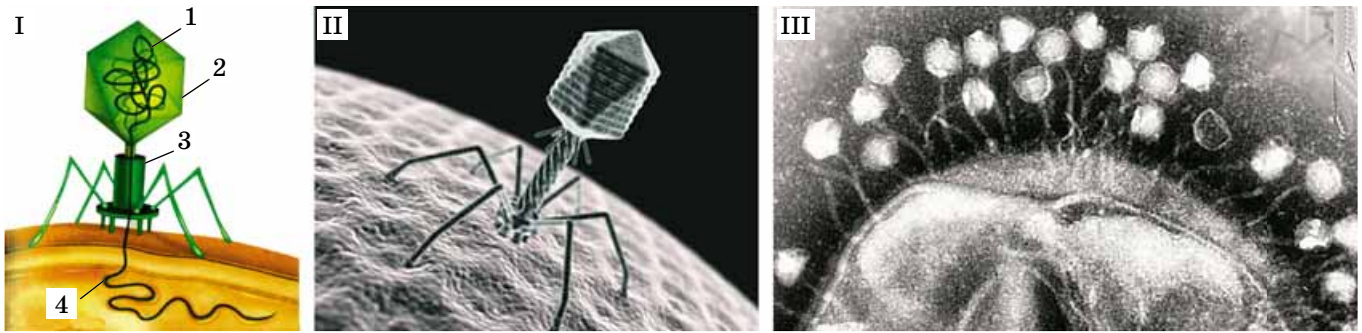
**Запам'ятаємо:** віруси розглядають як окрему групу (царство) органічного світу, але не організмів, а неклітинних форм життя.



Мал. 253. Самозбирання вірусу тютюнової мозаїки. **Завдання.** Охарактеризуйте цей процес



Мал. 254. Вихід складного вірусу з клітини



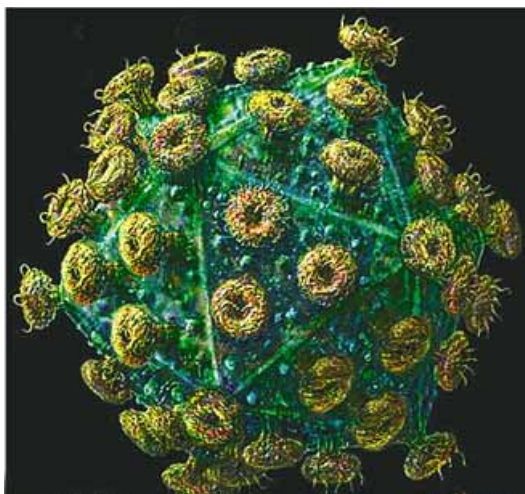
Мал. 255. I. Схематична будова бактеріофага T4: 1 – геном у вигляді дволанцюгової ДНК, 2 – головка бактеріофага, 3 – хвостовий відросток із чохлам, 4 – ДНК, яку бактеріофаг впорскує в клітину бактерії. II. Фото бактеріофага, зроблене за допомогою сканувального мікроскопа. III. Електронно-мікроскопічне фото впорскування ДНК бактеріофагів T4 у цитоплазму бактеріальної клітини

### Цікаво знати

У клітині рослин у процесі трансляції генетична інформація з молекули ДНК переписується на молекулу мРНК. У вірусів рослин молекула РНК, вивільнившись з оболонки, відразу прямує до рибосом, її генетична інформація реалізується у вигляді утворення нових вірусних білків.

### Цікаво знати

Запис генетичної інформації у вигляді РНК сприяє збільшенню кількості самочинних мутацій. Унаслідок цього генетична інформація РНК-умісних вірусів дуже швидко змінюється. Так утворюються генетично неоднорідні популяції вірусів.



Мал. 256. Фото вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ)

зуються рецептори вірусу. Щойно рецептори зв'язалися з відповідним клітинним білком, бактеріофаг щільно пригортається до клітинної оболонки хвостовим відростком і впорскує свою ДНК у цитоплазму клітини (мал. 255).

**Віруси людини і тварин.** Розглянемо особливості розмноження **вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ)**. Це складний вірус (мал. 256), його генетичний матеріал – дві молекули РНК, оточені білковою оболонкою. Зовні від неї є ще одна оболонка, яка є ділянкою мембрани клітини, з якої вийшов цей вірус. Вона інкрустована вірусними поверхневими білками. Їх ВІЛ використовує для пошуку і прикріплення до чутливих клітин (зазвичай це Т-лімфоцити). У результаті такої взаємодії поверхнева оболонка вірусу зливається з плазматичною мембраною клітини й РНК вірусу опиняється у цитоплазмі. Там вірусний фермент починає синтезувати на молекулах такої РНК дволанцюгові молекули ДНК.

Новосинтезована дволанцюгова ДНК ВІЛ транспортується до ядра, де взаємодіє з однією з хромосом генетичного апарату клітини. Там вона може тривалий час співіснувати з хромосомою, не реалізуючи власну вірусну генетичну інформацію. Інфікованих вірусом імунодефіциту пацієнтів на такому етапі вірусної інфекції називають **носіями ВІЛ**.

Під дією певних чинників клітинного середовища ДНК вірусу може активізуватися, починається її переписування (транскрипція) і далі – синтез вірусних білків. У результаті цих процесів у цитоплазмі накопичуються структурні білки ВІЛ. Кінцевим етапом розвитку інфекції ВІЛ буде вихід вірусних частинок унаслідок «відбрунькування» від оболонки клітини. Оскільки ВІЛ уражає Т-лімфоцити, їхня загибель призводить до дефіциту імунних клітин в організмі. Звідки й походить його назва – вірус імунодефіциту людини. Нагадаємо, що цей вірус спричиняє смертельно небезпечне захворювання людини – **синдром<sup>1</sup> набутого імунодефіциту людини (СНІД)**.

**Прокаріоти** – доядерні організми, які включають два царства: Археї (колишня назва – Архебактерії) та Бактерії (раніше – Еубактерії, або Справжні бактерії). У свою

<sup>1</sup> Синдром (від грец. *синдроме* – той, хто біжить разом) – подання ознак (симптомів) певного захворювання.



чергу, до Бактерій належать власне бактерії, ціанобактерії (у ботаніці їх називають синьо-зелені водорості) та деякі інші групи прокаріотів (актиноміцети та мікоплазми). На сьогодні описано близько 3000 видів прокаріотів (з них майже 2000 видів ціанобактерій), але їхня реальна кількість у природі значно більша. Бактерій вивчає наука **бактеріологія**.

Прокаріоти були першими організмами, які з'явилися на нашій планеті. *Пригадайте*: прокаріоти не мають типових хромосом, характерних для еукаріотів: їхні молекули ДНК не взаємодіють з ядерними білками. ДНК прокаріотів насамперед зосереджена в ядерній зоні (нуклеоїді), крім того, у цитоплазмі їхніх клітин знаходяться плазміді (позахромосомні фактори спадковості).

**Археї** відрізняються від бактерій особливостями будови та процесів життєдіяльності. Їхні клітини мають мікроскопічні розміри, в середньому близько 1 мкм (мінімальні розміри – 0,4 мкм), а клітинна оболонка не містить полімерної сполуки – муреїну. Форма клітин різноманітна, існують сферичні, паличкоподібні, спіральні, трикутні й прямокутні види (мал. 257). Багато видів мають джгутіки. Спадковий матеріал археїв представлено кільцевою молекулою ДНК.

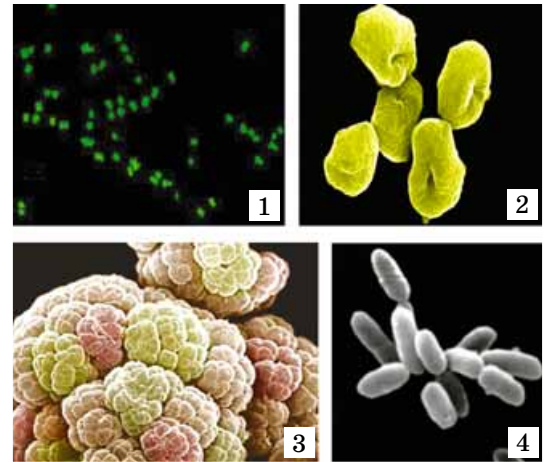
Археїв часто виявляють в екстремальних умовах, у яких не існують інші живі істоти. Серед них є види, здатні існувати в гарячих джерелах за температури +45°...+113 °С (такі види мають у своєму складі білки, стійкі до дії високих температур). Є також представники, що витримують тиск до 700 атмосфер, тривалі посушливі періоди тощо. Археї трапляються в різних середовищах: ґрунті, болотах, водах океанів, оселяються в інших організмах. Наприклад, певні види мешкають у товстому кишечнику людини і жуйних тварин, допомагаючи здійснювати процеси травлення. Серед археїв майже відсутні паразитичні види, але є види, які можна використовувати для утилізації (розкладання) органічних решток.

Серед археїв є аероби та анаероби, автотрофні (хемотрофи та фототрофи, фотосинтезуючим пігментом є **бактеріородопсин**) та гетеротрофні види. Деякі з археїв здатні фіксувати атмосферний азот. Розмножуються археї поділом навпіл, брунькуванням і фрагментацією. На відміну від бактерій, археї спор не утворюють.

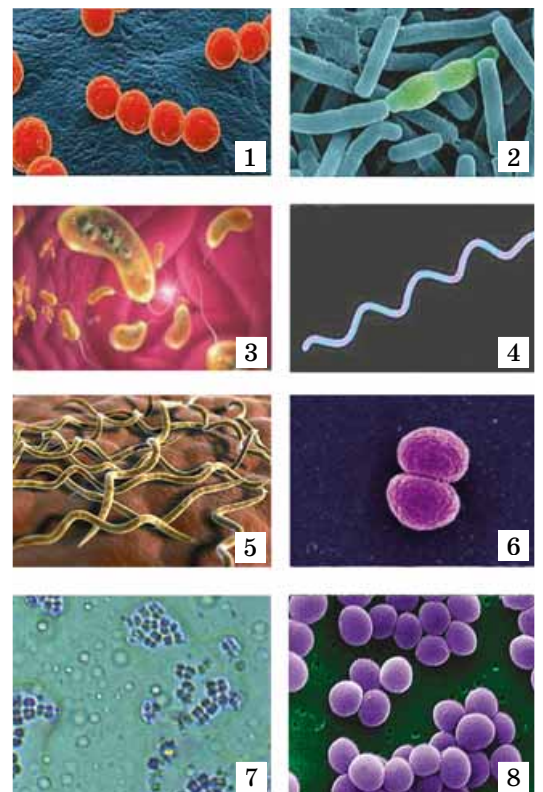
### Цікаво знати

У ґрунті, що прилип до коренів засушених рослин з одного гербарію у Великій Британії, було виявлено життєздатні спори, вік яких перевищував 300 років. Учені припускають, що в деяких випадках спори бактерій здатні зберігати життєздатність і до 1000 років. Бактерії з роду Анаеробактер здатні утворювати до 7 ендоспор, що можна розглядати як особливий спосіб нестатевого розмноження.

До **Бактерій** належать різноманітні за особливостями будови клітин і процесів життєдіяльності види. Форма клітин бактерій різноманітна (мал. 258): куляста (*коки*), паличкоподібна (*бацили*), комоподібна (*вібріони*), у вигляді спірально закрученої палички (*спірили*), довгої та тонкої спірально закрученої клітини (*спірохети*) тощо.



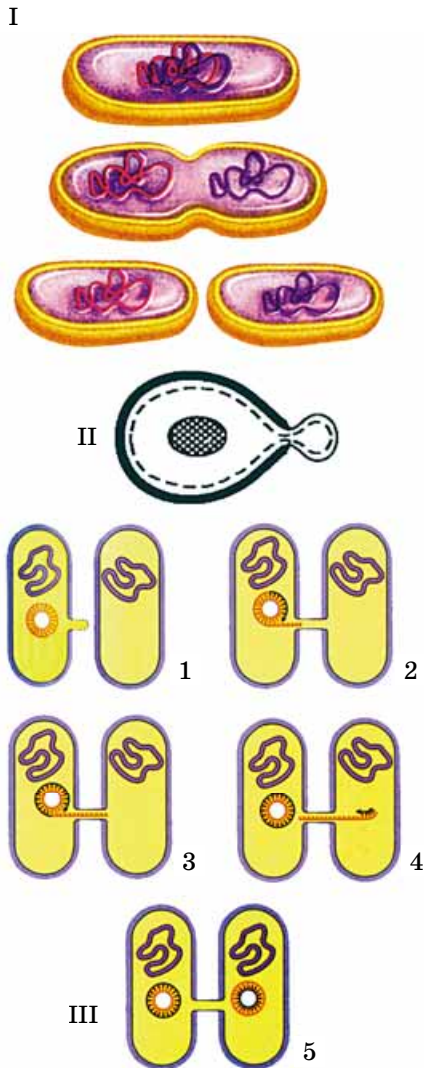
Мал. 257. Археї: 1 – рід Галобактерія; 2 – рід Сульфолобус; 3 – рід Галоквадратум; 4 – рід Метаносарціна (не для запам'ятовування)



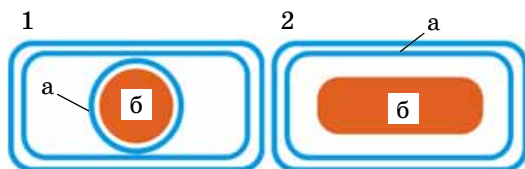
Мал. 258. Форма клітин бактерій: 1 – коки; 2 – бацили; 3 – вібріони; 4 – спірили; 5 – спірохети; 6 – диплококи; 7 – тетракоки; 8 – стафілококи



● **Бродіння** – анаеробний (безкисневий) процес розщеплення молекул органічних сполук за участі певних ферментів, спряжений із синтезом молекул АТФ.



Мал. 259. Форми розмноження та статевого процесу в бактерій: I – розмноження поділом клітини навпіл; II – схема процесу брунькування; III – послідовність процесу обміну спадковою інформацією за допомогою кон'югації



Коки, що зібрані попарно називають *диплококами*, по чотири – *тетракоками*, у вигляді грон – *стафілококами*, ниток – *стрептококами* тощо. Є й багатоклітинні види (серед ціанобактерій та актиноміцетів). Одні з бактерій нерухомі, інші здатні пересуватись за допомогою джгутиків чи виділяючи слиз.

У деяких прокаріотів (зелені сірчані та пурпурні бактерії, ціанобактерії) є свій особливий фотосинтетичний апарат. Так, у ціанобактерій завдяки вгинанням плазматичної мембрани виникають пласкі мішечки, які містять хлорофіл (див. мал. 84).

**Особливості процесів життєдіяльності бактерій.** Серед прокаріотів є як автотрофи, так і гетеротрофи (сапротрофи, паразити тощо). Серед автотрофів є як фототрофи (зелені, пурпурні бактерії, ціанобактерії), так і хемотрофи (нітріфікуючі, залізо- та сіркобактерії).

У бактерій відомо три основні способи отримання енергії: бродіння, аеробне дихання, хемо- та фотосинтез. Під час усіх цих процесів синтезуються молекули АТФ.

**Завдання:** з допомогою учителя охарактеризуйте види бродіння (спиртове, молочнокисле, оцтовокисле, маслянокисле). Зробіть доповідь на тему, як людина використовує ці процеси в своєму господарстві.

**Пригадайте:** фотосинтез у бактерій може відбуватись як без виділення кисню, так і з виділенням. Перший варіант фотосинтезу притаманний бактеріям, у яких замість хлорофілу у клітині присутній інший фотосинтезуючий пігмент – **бактеріохлорофіл** (зелені та пурпурні бактерії). У них у процесі фотосинтезу задіяно лише одну фотосистему, а донорами електронів є  $H_2S$ ,  $S_2$  (пурпурні бактерії),  $H_2$  та інші сполуки. Другий варіант фотосинтезу здійснюють ціанобактерії з використанням **хлорофілу**, у яких у процесі фотосинтезу задіяно дві фотосистеми.

Клітини прокаріотів розмножуються зазвичай нестатевим шляхом: поділом навпіл (мал. 259. I), рідше – брунькуванням (при цьому материнська клітина відбруньковує від себе дрібніші дочірні) (мал. 259. II). Перед поділом клітина збільшується в розмірах, її спадковий матеріал (молекула ДНК) подвоюється. Кожна з дочірніх клітин, які утворилися внаслідок поділу материнської, отримує свою частину спадкової інформації.

Статевий процес прокаріотів може відбуватися у формі **кон'югації** (мал. 259. III). Між двома сусідніми клітинами утворюється тимчасовий зв'язок, завдяки якому відбувається обмін молекулами ДНК.

За настання несприятливих умов у деяких прокаріотів відбувається споро- або цистоутворення (мал. 260, 1). При спороутворенні найчастіше частина цитоплазми материнської клітини вкривається багатопаровою оболонкою, утворюючи спору. Такі спори завдяки низькому вмісту води дуже стійкі до дії високих температур, витримують значні дози іонізуючого опромінення, впливи різних хімічних сполук тощо.

Під час цистоутворення (мал. 260, 2) щільною оболонкою вкривається вся клітина. Цисти прокаріотів стійкі

Мал. 260. Схема утворення спори всередині клітини (1) та цисти (2) (додаткова оболонка оточує клітину ззовні): а – оболонка клітини; б – цитоплазма

до дії радіації, висушування, але, на відміну від спор, не здатні витримувати дію високих температур.

Ціанобактерії, подібно до азотфіксуєчих бактерій, здатні фіксувати атмосферний азот. Оскільки молекулярний кисень робить неактивними ферменти, що забезпечують процеси фіксації атмосферного азоту, у нитчастих ціанобактерій формуються особливі клітини – гетероцисти. Внутрішній вміст гетероцист захищений від надходження кисню ззовні двома додатковими товстими оболонками. Вони зв'язані із сусідніми клітинами мікроскопічними каналцями.

### Ключові терміни та поняття:

віруси прості та складні, вірус імунodefіциту людини (ВІЛ), синдром набутого імунodefіциту людини (СНІД), прокаріоти, археї.

### Перевірте здобуті знання

1. Яка наука вивчає віруси? 2. Як було відкрито віруси? 3. Які віруси називають простими та складними? 4. Чим характеризуються віруси бактерій – бактеріофаги? 5. Охарактеризуйте особливості будови та життєвий цикл вірусу імунodefіциту людини. 6. Чим клітини прокаріотів за будовою відрізняються від клітин еукаріотів? 7. Як розмножуються прокаріоти? 8. Яке біологічне значення процесів споруутворення та інцистування у прокаріотів? 9. Чим клітини археїв відрізняються від клітин бактерій?

### Поміркуйте

1. Будова вірусних частинок значно простіша, ніж клітин еукаріотів і прокаріотів. Чи могли віруси виникнути раніше, ніж організми, які мають клітинну будову? 2. Учені вважають, що спірохетоподібні бактерії могли слугувати «предками» певних органел клітин еукаріотів (подібно до того, як деяких аеробних бактерій вважають предками мітохондрій, а ціанобактерій – хлоропластів). На вашу думку, що це за органели?

## **§47. ЕУКАРІОТИ: ГРИБИ, РОСЛИНИ, ТВАРИНИ**

*Пригадайте* особливості будови і функцій клітин еукаріотів. Які органи рослин і грибів належать до репродуктивних?

До еукаріотів належать одно- та багатоклітинні організми, чії клітини, хоча б на певних етапах розвитку, мають ядро, оточене двома мембранами, а також різноманітні органели (*пригадайте які*). Крім ядра, в еукаріотів молекули ДНК можуть міститися в мітохондріях і пластидах. Клітинний поділ в еукаріотів зазвичай відбувається шляхом мітозу або мейозу, з формуванням веретена поділу.

Традиційно еукаріотів поділяють на три групи (царства): Гриби, Рослини та Тварини.

**Гриби** – різноманітна група гетеротрофних організмів, які споживають розчини органічних сполук. Вивчає гриби наука **мікологія**.

Розміри грибів різноманітні: від мікроскопічних (наприклад, дріжджі) до велетнів, плодові тіла яких сягають до 50 см і більше. Багато представників цього царства належать до **редуцентів**, – організмів здатних розкласти органічні речовини до простих неорганічних. Серед грибів є одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні види. *Пригадайте*: тіло багатьох видів грибів складається

## **Коротко про головне**

Віруси – неклітинні форми життя. Це виключно внутрішньоклітинні паразити бактерій, грибів, рослин, тварин і людини. За межами клітин організму хазяїна вірусні частинки не виявляють жодних ознак живого. Їхнє розмноження можливе лише всередині клітини, у якій вони паразитують.

Залежно від особливостей хімічного складу оболонки вірусних частинок віруси поділяють на прості та складні. У простих вірусів оболонка складається лише з білків, у складних – до її складу входять також ліпиди та вуглеводи.

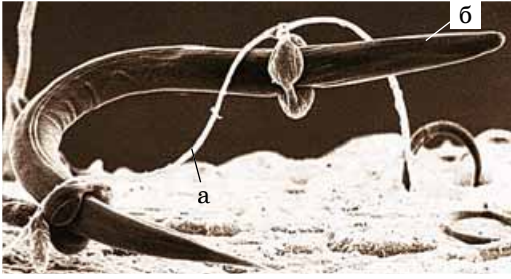
Оскільки віруси не мають клітинної будови, їх відносять до неклітинних форм життя. Класифікація вірусів ґрунтується на особливості будови вірусної частинки. Усі віруси відносять до групи (царства) Віра.

Прокаріоти – доядерні організми, які включають два царства: Археї та Бактерії.

Археї відрізняються від бактерій особливостями будови та процесів життєдіяльності. Їхня клітинна оболонка не містить муреїну, характерного для бактерій. Багато видів мають джгутики. Спадковий матеріал археїв – кільцева молекула ДНК. Археї не здатні синтезувати ферменти, які забезпечують розщеплення складних органічних сполук, тому можуть завоювати лише прості.

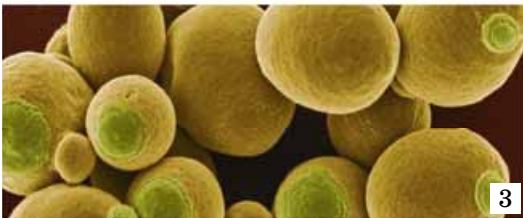
До бактерій належать різноманітні за особливостями будови клітин та процесів життєдіяльності види.





Мал. 261. Хижий гриб (а) за допомогою гіфів вловлює, а згодом – і споживає нематоду (б). Такі хижі види грибів можна використовувати в біологічному методі боротьби зі шкідливими видами нематод

**Запам'ятаємо:** у більшості грибів (наприклад, шапинкових) міцелій багатоклітинний, в інших – одноклітинний (як-от, у мукора) (мал. 262, 1).



Мал. 262. 1. Одноклітинний гриб мукор. 2. Будова шапинкового гриба. 3. Клітини дріжджів

Мал. 263. Несправжні гриби: 1 – вегетативне тіло фуліго септичного; 2 – слизовик трихія

з окремих ниток – *гіфів*. Їхня сукупність має назву *грибниця*, або *міцелій*.

За характером живлення грибів поділяють на сапротрофів, симбіотрофів (живляться завдяки симбіозу з іншими істотами), паразитів і, навіть, хижаків (які живляться дрібними безхребетними істотами; мал. 261).

Частина міцелію розташована всередині того субстрату, на якому зростає гриб, частина – на його поверхні (мал. 262, 2). За рахунок повітряного міцелію утворюються репродуктивні органи грибів, які забезпечують як нестатеве, так і статеве розмноження. Така будова грибів значно збільшує їхню поверхню і забезпечує тісний контакт із субстратом, на якому вони зростають.

Є гриби, що не мають міцеліальної будови, наприклад, дріжджі (мал. 262, 3). За рахунок інтенсивного розмноження клітин у таких грибів утворюються ланцюжки клітин.

У деяких грибів, наприклад слизовиків (їх відносять до *грибоподібних організмів*) клітини не мають пружної клітинної оболонки, завдяки чому вони можуть змінювати свою форму (мал. 263). Ці організми здатні захоплювати їжу за допомогою фагоцитозу та формувати травні вакуолі.

Є гриби, які здатні формувати *плазмодії* – багатоядерні (від кількох до десятків тисяч ядер) утвори, позбавлені щільної оболонки. Їхні розміри можуть бути вражаючими: до 50 см (у деяких слизовиків, як-от у фуліго) (мал. 263, 1). Плазмодії можуть бути нерухомими або пересуватися за допомогою псевдоподій.

Клітини *справжніх грибів*, як і клітини рослин, мають щільні клітинні оболонки. Здебільшого до їхнього складу входить нітрогеновмісний хітин та інші полісахариди. Хітин посилює міцність і стійкість клітинної оболонки до впливу різних хімічних речовин. Клітинні оболонки грибів часто забарвлені завдяки наявності певних пігментів (зокрема, меланінів).

У цитоплазмі клітин більшості грибів, подібно до клітин тварин, відкладається запасна речовина – полісахарид глікоген, а у вакуолях – гранули білків. Серед грибів є як аероби, так і анаероби (наприклад, дріжджі, які викликають спиртове бродіння). Продуктом їхнього обміну речовин є сечовина.

Гриби розмножуються різними способами. Нестатеве розмноження зазвичай здійснюється за допомогою спор. Дріжджі, як ви пам'ятаєте з курсу біології 6 класу, розмножуються брунькуванням їхніх клітин, рідше – поділом. Вегетативне розмноження найчастіше відбувається за допомогою відокремлення ділянок міцелію (фрагментацією).





Понад 100 000 видів справжніх грибів і грибоподібних організмів живуть у ґрунті, різноманітних водоймах, органічних рештках, продуктах харчування, а також на поверхні або всередині живих організмів, спричиняючи різноманітні захворювання.

Нині є різні погляди на систематику грибів. Ви вже знаєте, що їх умовно поділяють на грибоподібні організми та справжні гриби. У межах кожної групи виділяють окремі відділи. Наприклад, серед грибоподібних організмів відомі відділи Акразіомікотові та Міксомікотові слизовики. Відділи Хітридіомікотові, Зигомікотові, Аскомікотові та Базидіомікотові гриби об'єднують у групу справжніх грибів (не для запам'ятовування).

Особливою групою справжніх грибів є **лишайники**, або **ліхенізовані гриби**, – симбіотичні асоціації представників певних груп грибів та фотосинтезуючих організмів – зелених водоростей і ціанобактерій (мал. 264).

Відомо близько 20 000 видів лишайників, поширених повсюдно: від арктичної тундри до Антарктиди. Вони оселяються на різноманітних, часто збіднених на органіку, субстратах: камінні, пісках, стовбурах дерев тощо. Живуть лишайники довго – сотні та навіть тисячі років (учені встановили вік знайденого в Гренландії лишайнику – приблизно 4500 років).

**Рослини.** Серед рослин є одноклітинні (діатомові, деякі зелені, червоні водорості тощо), колоніальні (деякі діатомові, зелені водорості та ін.) та багатоклітинні (бурі, багато видів червоних, зелених водоростей, вищі спорові та насінні рослини) (мал. 265, 266). У більшості багатоклітинних рослин (мохи, хвощі, папороті, плауни, голонасінні, покритонасінні) є тканини та органи – вегетативні (корінь і пагін) й репродуктивні (спорангії, квітки тощо). Особливостями будови тканин рослин є те, що в них відсутня або слабко розвинена міжклітинна речовина, натомість можуть бути міжклітинники.

Характерними ознаками представників групи (царства) Рослини є насамперед будова клітин. Вони мають щільну клітинну оболонку, до складу якої входять різні полісахариди, зокрема целюлоза, пектин. Сусідні клітини зв'язані між собою через мікроскопічні каналці в оболонках. Цитоплазма часто містить вакуолі з клітинним соком, а також різні типи пластид. Завдяки хлорофілам більшість рослин здатна до фотосинтезу, тобто автотрофного живлення. Унаслідок процесу фотосинтезу в цитоплазмі рослинних клітин відкладаються полісахариди (крохмаль у зелених водоростей та вищих рослин, ламінарин – у бурих водоростей, багрянковий крохмаль – у червоних та ін.). Окремі види рослин, переважно паразитичних, не мають хлорофілу і є гетеротрофами (наприклад, повитиця – паразит інших видів рослин). Рослини здебільшого ведуть прикріплений спосіб життя; до активного руху здатні лише певні види водоростей, чії клітини мають джгутики (як-от, хламідомонада, вольвокс).

Різноманітність рослин, їхню будову, процеси життєдіяльності, взаємозв'язки з іншими організмами та середовищем існування, закономірності поширення тощо вивчає комплексна наука **ботаніка**. Учені нараховують понад 320 тисяч рослин.

## Цікаво знати

Гриби здатні швидко рости: є гриби в яких за одну добу утворюється міцелій завдовжки понад один кілометр.

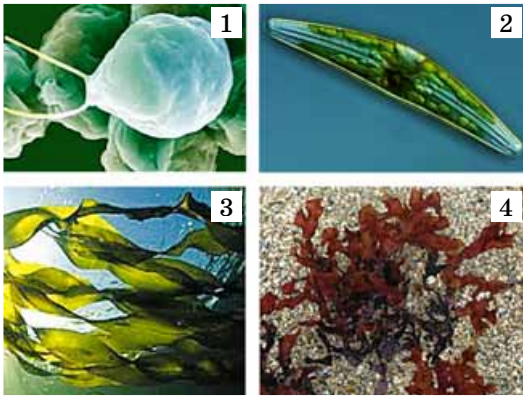
## Цікаво знати

Гриби можуть утворювати значну кількість спор (наприклад, велетенський дощовик – майже  $7 \cdot 10^{12}$ ), які поширюються здебільшого вітром, водою чи тваринами.



Мал. 264. Типи зовнішньої будови лишайників: 1 – накипні, 2 – листуваті, 3 – кущисті





Мал. 265. Різні представники водоростей: 1 – зелена водорість (хламідомонада); 2 – діатомова водорість; 3 – бура водорість (ламінарія); 4 – червона водорість (філофора)

### Цікаво знати

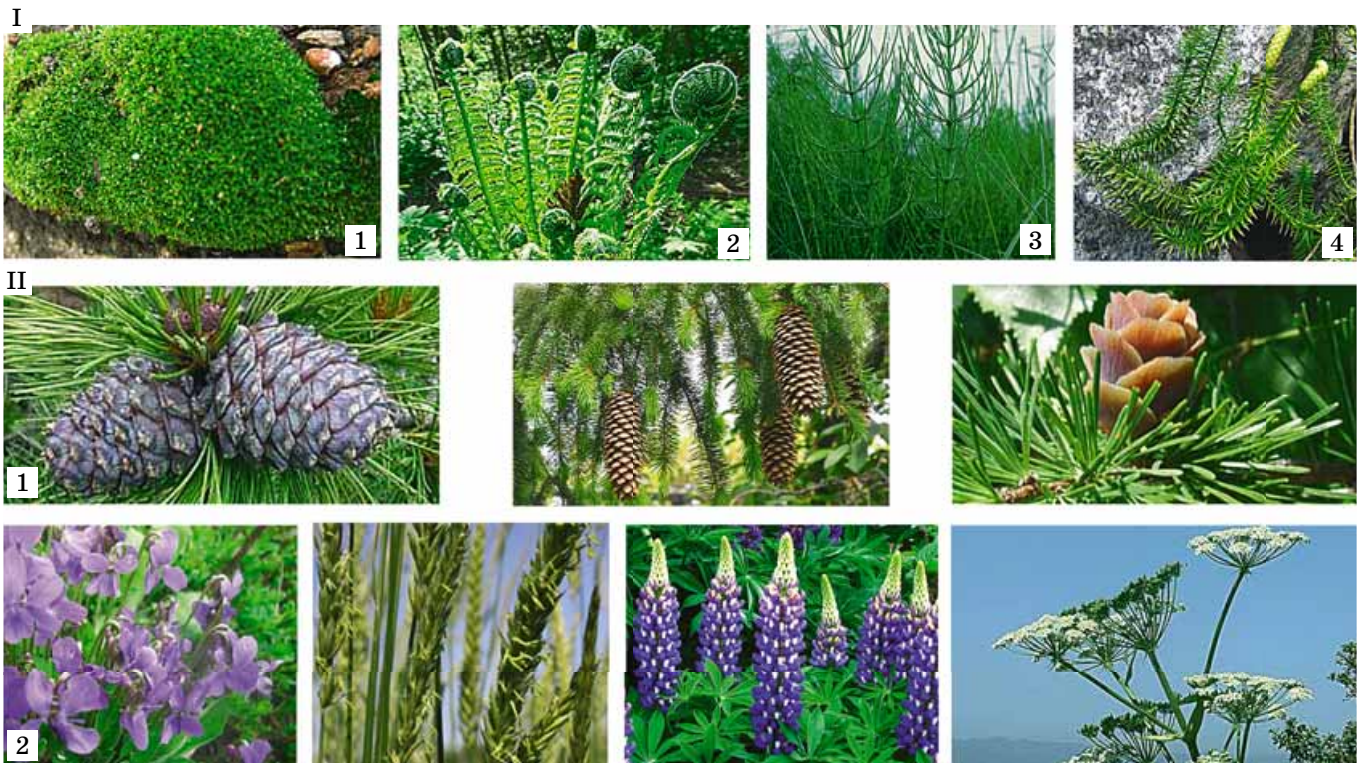
Раніше рослини поділяли на вищі та нижчі, тепер такий поділ вважають застарілим. Колись до складу нижчих рослин, крім водоростей, включали навіть бактерії і гриби.

**Водорості** – група відділів, до складу яких входять одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні види (див. мал. 265). У багатоклітинних видів відсутня провідна система та диференціація тіла на багатоклітинні органи. Водорості – автотрофні організми, мешкають у різних типах водойм, вологому ґрунті, на надземних субстратах, можуть вступати в симбіоз з грибами або рослинами.

**Вищі спорові рослини** – група відділів багатоклітинних рослин, у яких, на відміну від водоростей, формуються справжні тканини та органи (за винятком деяких представників мохоподібних). Свою назву дістали тому, що в них нестатеве розмноження відбувається за допомогою спор, які формуються в спорангіях – репродуктивних органах особин нестатевого покоління. До вищих спорових рослин належать відділи: Мохоподібні, Папоротеподібні, Хвоцеподібні та Плауноподібні (див. мал. 266. I). Останні три відділи об'єднують у групу судинних рослин, оскільки вони мають судини – провідні елементи такої тканини, як ксилема. Натомість мохоподібні такої тканини не мають.

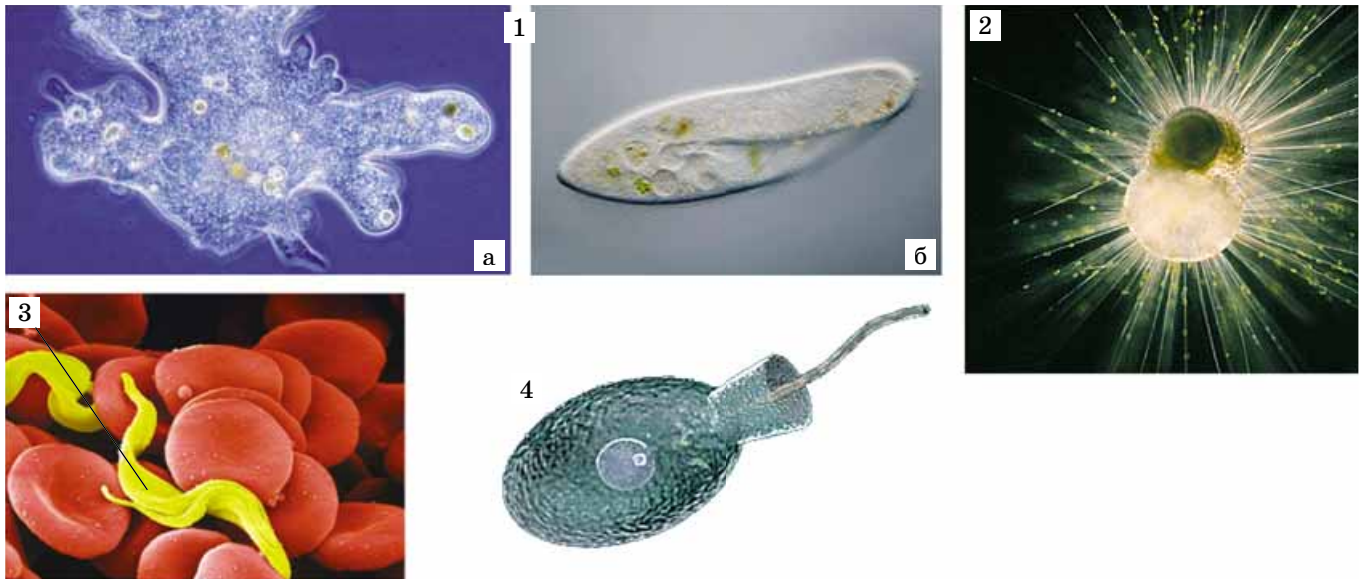
**Насінні рослини** – два відділи вищих рослин (Голонасінні та Покритонасінні), представники яких здатні формувати насінини – структури, які слугують для розмноження та поширення (див. мал. 266. II). *Пригадайте:* насінина вкрита насінною шкіркою й містить зародок та ендосперм (зародкову тканину із запасом поживних речовин для зародка).

**Тварини** – переважно гетеротрофні одноклітинні, колоніальні чи багатоклітинні організми. Більшість тварин, на відміну від рослин і грибів, здатні до активного руху. Тваринні клітини над плазматичною мембраною мають тонкий пружний шар – глікокалікс та запасують глікоген. Тварини, за винятком деяких одноклітинних (напри-



Мал. 266. Різноманітність вищих рослин: I – вищі спорові рослини: 1 – мохоподібні; 2 – папоротеподібні; 3 – хвоцеподібні; 4 – плауноподібні; II – насінні рослини: 1 – голонасінні; 2 – покритонасінні (квіткові) рослини





Мал. 267. Різні представники одноклітинних тварин:  
 1 – мешканці прісних водойм: а – амеба протей;  
 б – інфузорія-туфелька; 2 – мешканці морів – форамініфери;  
 3 – паразит крові людини і ссавців – трипаносома;  
 4 – представник комірцевих джгутикових (їх вважають  
 предками багатоклітинних рослин)

### Цікаво знати

Нині вчені виділяють не три царства еукаріотів, а п'ять або шість.

клад, евглени зеленої), не мають хлоропластів і тому не здатні до фотосинтезу.

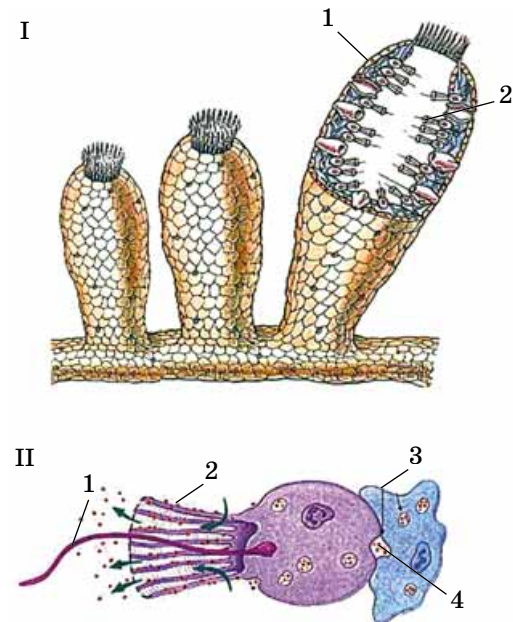
Тварини поширені у прісних і солоних водоймах – від поверхні до найбільших глибин; на суходолі – від тропіків до полярних шапок, живуть у ґрунті. Багато видів тварин мешкають усередині інших організмів. З організмом хазяїна вони можуть вступати в різні відносини: серед них є мутуалістичні види, коменсали та паразити. Можуть розмножуватись нестатевим або статевим способами. Будову, процеси життєдіяльності, різноманітність і поширення тварин, а також їхнє значення у природі й житті людини досліджує наука **зоологія**.

Раніше тварин поділяли на два підцарства – Одноклітинні, або Найпростіші, та Багатоклітинні. Проте таку систему вважають застарілою, тепер система тваринного світу активно переробляється: представники з тих, яких раніше відносили до підцарства Одноклітинні, або Найпростіші (мал. 267), опинилися у складі різних царств еукаріотів.

Тіло **багатоклітинних тварин** складається з багатьох клітин, які виконують різні функції й відрізняються за будовою (**явище диференціації клітин**). Багатоклітинних тварин поділяють на первинних багатоклітинних та справжніх багатоклітинних.

**Первинні багатоклітинні** не формують справжніх тканин, вони позбавлені й нервової системи. Тому такі життєві функції, як живлення, газообмін, сприйняття подразників – це функції певних типів клітин, а не цілісного організму. Типовими представниками первинних багатоклітинних тварин є представники типу Губки (мал. 268).

Зверніть увагу на будову комірцевих клітин губок (див. мал. 268. II) та клітин одноклітинних тварин – комірцевих джгутикових (див. мал. 267, 4). Вони подібні не тільки за будовою, а й за набором спадкової інформації. Тому комірцевих джгутикових вважають предками багатоклітинних тварин.



Мал. 268. I. Схема будови губки: 1 – зовнішній шар клітин, 2 – внутрішній шар клітин, серед якого зустрічаються і комірцеві; II. Схема будови комірцевої клітини, джгутики цих клітин створюють потоки води в тілі губок: 1 – джгутик; 2 – комірець з виростів цитоплазми, через який проціджуються частинки їжі; 3 – клітина амебоцит; 4 – частинки їжі, які передаються від комірцевої клітини до амебоциту



## **Коротко про головне**

До еукаріотів належать організми, чії клітини, хоча б на певних етапах розвитку, мають ядро, а також різноманітні одномембранні та двомембранні органели. Традиційно еукаріотів поділяють на три групи (царства): Гриби, Рослини та Тварини.

Гриби – різноманітна група гетеротрофних організмів, які зазвичай споживають розчини органічних сполук. Гриби можуть бути одноклітинними та багатоклітинними.

Серед рослин є одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні види. У більшості багатоклітинних рослин є тканини та органи – вегетативні та репродуктивні.

Тварини – переважно гетеротрофні одноклітинні чи багатоклітинні організми. Тваринні клітини над плазматичною мембраною мають глікокалікс, часто здатні до фагоцитозу та запасують глікоген. Серед багатоклітинних тварин виділяють первинних багатоклітинних (наприклад, тип Губки, у яких не формуються тканини та справжні органи) і справжніх багатоклітинних (більшість типів багатоклітинних тварин, у яких формуються справжні тканини, органи й системи органів).

У справжніх багатоклітинних тварин подібні за будовою та функціями клітини зібрані в тканини. З них складаються органи та системи органів. Спеціалізуючись на виконанні певних функцій, багато клітин тварин втрачають свою індивідуальність. Зовнішній шар клітин утворює покриви, які відокремлюють внутрішні тканини та органи від зовнішнього середовища. Так виникає внутрішнє середовище організму. Такі тварини мають нервову систему, тому їхні життєві функції регулюються не тільки біологічно активними речовинами, а й завдяки нервовій системі. Подвійна регуляція забезпечує досконалий контроль життєвих функцій багатоклітинних тварин, а в певних представників – й складні форми поведінки.

### Ключові терміни та поняття:

гриби, рослини, тварини.

### **Перевірте здобуті знання**

1. Які організми належать до еукаріотів? 2. Чим характеризуються представники царства Гриби? 3. У яких багатоклітинних еукаріотів не формуються справжні тканини? 4. Які групи виділяють серед вищих рослин? 5. Чим відрізняються первинні багатоклітинні та справжні багатоклітинні тварини?

### **Поміркуйте**

Чому клітини одноклітинних еукаріотів зазвичай мають складнішу будову, ніж клітини багатоклітинних, що входять до складу певних тканин?

### **Творче завдання**

Використовуючи знання, отримані під час вивчення курсу біології в попередні роки, пригадайте найбільш поширені інфекційні (збудники – віруси, бактерії, гриби) та інвазійні (збудники – одноклітинні та багатоклітинні тварини) захворювання людини. З допомогою вчителя запропонуйте ефективні заходи профілактики та боротьби з їхніми збудниками.

## **\*ПРАКТИЧНА РОБОТА 4 (НА ВИБІР УЧИТЕЛЯ)**

### **Порівняння будови та процесу розмноження клітинних і неклітинних форм життя**

**Мета:** закріпити матеріал, засвоєний під час проходження теоретичного курсу. Навчитися на схемах і мікропрепаратах визначати особливості будови неклітинних форм життя – вірусів, клітин прокаріотів та еукаріотів, порівнювати процеси їхнього розмноження.

**Обладнання і матеріали:** мікроскопи, схеми та мікрофотографії із зображенням вірусу бактеріофага Т4, клітин кишкової палички та епідермісу людини, схеми, які ілюструють проникнення та розмноження бактеріофага в клітині хазяїна, схема, що ілюструє поділ бактеріальної клітини, схеми будови та мікрофотографії епітеліальної клітини, схеми та мікропрепарати різних фаз мітозу.

#### **Хід роботи**

1. Уважно вивчіть запропоновані схеми та мікрофотографії бактеріофага Т4. Охарактеризуйте особливості будови цього вірусу.
2. Уважно вивчіть схеми, на яких зображено процес проникнення бактеріофага Т4 в клітину хазяїна та його розмноження там. Охарактеризуйте основні етапи формування вірусних частинок у клітині-хазяїні.
3. Уважно вивчіть запропоновані схеми та мікрофотографії клітини бактерії кишкової палички. Знайдіть основні компоненти будови її клітини (оболонку, цитоплазму, нуклеоїд, рибосоми, джгутики). Охарактеризуйте особливості будови прокаріотичної клітини.
4. Уважно вивчіть схеми, на яких зображено поділ клітини кишкової палички. Охарактеризуйте цей процес.

5. На мікропрепаратах, схемах і мікрофотографіях ознайомтеся з особливостями будови клітин епідермісу. Знайдіть основні компоненти будови такої клітини: оболонку, цитоплазму, ядро, основні органели. Охарактеризуйте особливості будови еукаріотичної клітини. Знайдіть риси подібності та відмінності в будові прокариотичних та еукаріотичних клітин.

6. На мікропрепаратах, схемах та мікрофотографіях ознайомтеся з процесом поділу еукаріотичної клітини – мітозом. Охарактеризуйте різні фази мітотичного поділу. Знайдіть риси подібності та відмінності в процесах поділу прокариотичної та еукаріотичної клітини.

7. Зробіть висновки й запишіть їх у зошит.

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Назвіть біологічні системи, які перебувають на клітинному рівні організації: а) пріони; б) археї; в) віроїди; г) віруси.

2. Зазначте органели, спільні для клітин прокариотів та еукаріотів: а) ядро; б) ендоплазматична сітка; в) мітохондрії; г) рибосоми.

3. Назвіть організми, під час здійснення фотосинтезу яких не відбувається виділення кисню: а) пурпурні бактерії; б) зелені водорості; в) червоні водорості; г) діатомові водорості.

4. Визначте, чим справжні багатоклітинні тварини відрізняються від первинних багатоклітинних: а) у них наявні диференційовані клітини; б) у них наявна нервова система; в) їхні клітини мають ядра; г) у них відсутні м'язові клітини.

5. Зазначте, чим справжні гриби відрізняються від грибоподібних організмів: а) здатні до фагоцитозу; б) до складу оболонки клітин входить хітин; в) формують справжні тканини; г) клітини мають ядро.

6. Зазначте, чим ціанобактерії відрізняються від інших бактерій: а) наявністю ядра; б) здатністю до фотосинтезу; в) наявністю хлорофілу; г) наявністю мітохондрій.

7. Зазначте структури, з якими пов'язана здатність ціанобактерій до фіксації атмосферного азоту: а) товсто-стінні клітини – гетероцисти; б) газові вакуолі; в) вп'ячування плазматичної мембрани, що оточують хлорофіл; г) вакуолі з клітинним соком.

*Утворіть логічні пари*

8. Визначте відповідність між клітинами різних груп еукаріотів та притаманними їм органелами руху.

- |                  |   |
|------------------|---|
| 1 справжні гриби | <b>A</b> джгутики, що складаються лише з однієї мікротрубочки |
| 2 рослини        | <b>B</b> лише джгутики, що складаються з груп мікротрубочок   |
| 3 тварини        | <b>B</b> джгутики, війки та псевдоподії                       |
| 4 бактерії       | <b>Г</b> спеціалізованих органел руху не мають                |

9. Визначте науки, які вивчають ті чи інші групи організмів.

- |                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| 1 бактеріологія | <b>A</b> віруси               |
| 2 ботаніка      | <b>B</b> одноклітинні тварини |
| 3 зоологія      | <b>B</b> водорості            |
| 4 мікологія     | <b>Г</b> ціанобактерії        |
|                 | <b>Д</b> дріжджі              |

10. Порівняйте ознаки, притаманні представникам різних царств організмів.

- |            |   |
|------------|---|
| 1 бактерії | <b>A</b> мають глікокалікс                              |
| 2 гриби    | <b>B</b> клітини мають лише один тип нуклеїнових кислот |
| 3 рослини  | <b>B</b> клітинна оболонка містить хітин                |
| 4 тварини  | <b>Г</b> клітинна оболонка містить муреїн               |
|            | <b>Д</b> у цитоплазмі відкладається крохмаль            |

*Запитання з відкритою відповіддю*

11. Які органи і системи органів беруть участь у регуляції життєвих функцій в тварин?
12. Яких одноклітинних тварин вважають предками багатоклітинних? Чому?
13. Чому вірусів не вважають предками організмів, що мають клітинну будову?
14. Вважають, що такі органели еукаріотів, як хлоропласти та мітохондрії походять від певних типів клітин прокариотів. Яких? Відповідь обґрунтуйте.
15. Чому розмноження вірусів можливе лише в клітині-хазяїні?
16. Що об'єднує та відрізняє археїв та бактерій?
17. Що спільного та відмінного між справжніми грибами та грибоподібними організмами?
18. Чому лишайники відносять до справжніх грибів, а не до водоростей чи ціанобактерій?
19. Що спільного та відмінного між первинними багатоклітинними та справжніми багатоклітинними тваринами?



## ТЕМА 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- основні закономірності дії екологічних факторів на живі організми та їхнє угруповання;
- структуру та закономірності функціонування екосистем, їхню різноманітність;
- трофічні зв'язки, потоки енергії та колообіг речовин в екосистемах;
- стабільність екосистем та причини її порушення;
- єдину глобальну цілісну екосистему – біосферу; закономірності її функціонування;
- вплив людини на стан біосфери; основні методи охорони видового різноманіття організмів і стану навколишнього середовища.

**Запам'ятаємо:** екологія – наука про взаємозв'язки живих організмів та їхніх угруповань між собою і навколишнім середовищем, про структуру та функціонування надорганізмів систем (популяцій, екосистем, біосфери тощо).



Мал. 269. 1. Хвоц польовий – індикатор підвищеної кислотності ґрунтів;  
2. Біле латаття – індикатор чистоти води

### §48. ЕКОЛОГІЯ. ЕКОСИСТЕМА ТА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*Пригадайте*, що таке моніторинг і моделювання в біології. Що таке популяція, вид, екосистема?

**Екологія як біологічна наука** існує вже понад 150 років. Назву «екологія» запропонував 1866 р. видатний німецький біолог Е. Геккель (див. мал. 219).

Основні завдання екології:

- з'ясування закономірностей взаємозв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та умовами довкілля;
- дослідження структури та функціонування угруповань організмів;
- спостереження за змінами в окремих екосистемах і біосфері в цілому, прогнозування їхніх наслідків;
- створення баз даних і розроблення рекомендацій для екологічно безпечного планування господарської та соціальної діяльності людини;
- застосування екологічних знань у справі охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів.

Предметом вивчення екології є різноманітність і структура зв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та середовищем життя; склад і закономірності функціонування угруповань організмів (популяцій, екосистем, біосфери в цілому).

Учені-екологи використовують різноманітні засоби й методи досліджень. Зокрема, *методи екологічної індикації* дають змогу визначити стан і властивості екосистем за видовим складом і співвідношенням між собою певних (індикаторних) груп видів (мал. 269). Це види, які чітко реагують на ті чи інші зміни в довкіллі. Для проведення постійних спостережень застосовують *метод екологічного моніторингу*. Широко впроваджують у сучасних екологічних дослідженнях *моделювання* та *статистичну обробку* отриманих результатів. Різноманітні екологічні установи спрямовують свою діяльність на екологічну про- світу населення.



### Популяція як структурна одиниця виду та екосистеми.

Раніше ви ознайомилися з популяційно-видовим рівнем організації живої матерії.

Ви знаєте, що кожна популяція є структурно-функціональною одиницею виду. Це пов'язано з тим, що кожен вид становить собою систему взаємопов'язаних популяцій. Лише зрідка (як-от, у деяких рідкісних і зникаючих видів) вид може бути представлений лише однією популяцією. Вам також відомо, що популяція є елементарною одиницею еволюції, оскільки в ній відбуваються мікроеволюційні процеси (спадкова мінливість, популяційні хвилі, ізоляція тощо), які можуть спричинити утворення нових видів.

Також вам відомо, що популяції різних видів існують у природі не відокремлено, а пов'язані між собою різноманітними взаємозв'язками.

### Цікаво знати

Угрупування взаємопов'язаних між собою популяцій організмів різних видів, які населяють ділянку місцевості з однорідними умовами існування називають **біоценозом** (від грец. *біос* – життя і *койнос* – спільний). Цей термін запропонував 1877 р. німецький учений Карл Август Мебіус (мал. 270).

**Екосистема.** Популяції видів, які входять до складу певного угруповання, тісно пов'язані не лише між собою, а й з умовами фізичного середовища життя (тобто неживою природою). Зокрема, вони отримують з навколишнього середовища речовини, потрібні для забезпечення їхньої життєдіяльності, і виділяють туди продукти обміну речовин. Таким чином, угруповання організмів утворюють з фізичним середовищем єдину функціональну систему – **екосистему**.

### Цікаво знати

Поняття «екосистема» запропонував 1935 р. англійський еколог Артур Тенслі (мал. 271). Він розглядав екосистеми як функціональні одиниці природи нашої планети, що можуть охоплювати будь-які ділянки біосфери.

1942 р. відомий еколог Володимир Миколайович Сукачов (мал. 272) запропонував поняття **біогеоценоз** (від грец. *біос* – життя, *ге* – Земля та *койнос* – спільний). Це певна територія з більш-менш однорідними умовами життя, населена взаємопов'язаними популяціями різних видів, об'єднаних між собою і фізичним середовищем життя колообігом речовин і потоками енергії. На відміну від екосистеми, біогеоценоз займає ділянку місцевості з однорідними умовами існування. Основою будь-якого біогеоценозу є фотосинтезуючі організми.

В екосистемі виділяють біотичну (сукупність популяцій організмів – біоценоз) та абіотичну (умови фізичного середовища життя) частини (мал. 273).

Кожна екосистема характеризується певним видовим різноманіттям, біомасою, продуктивністю, густиною видових популяцій, площею або об'ємом, яку вона займає.



Мал. 270. Карл Август Мебіус (1825–1908), один із засновників екології; вивчав морські угруповання організмів, зокрема устриць

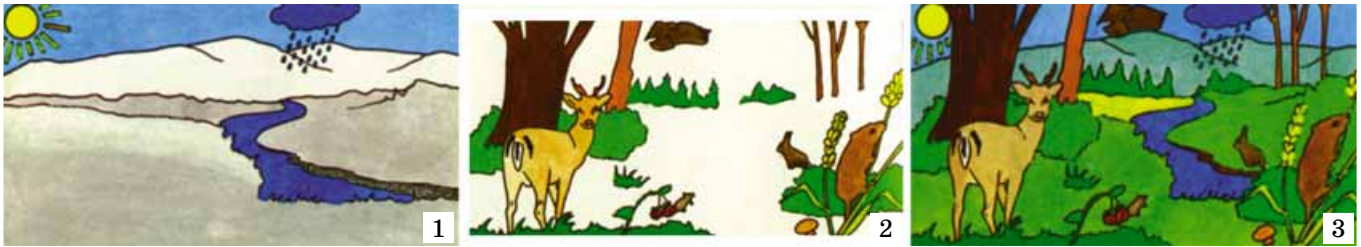


Мал. 271. Артур Тенслі (1871–1955) – британський ботанік, один із засновників екології угруповань

**Запам'ятаємо:** **екосистема** (від грец. *ойкос* – житло, місцеперебування і *система* – поєднання) – сукупність популяцій організмів різних видів, які взаємодіють між собою і з неживою природою таким чином, що всередині такої системи виникають потоки енергії і колообіг речовин.



Мал. 272. Володимир Миколайович Сукачов (1880–1967) – відомий учений у галузі вивчення рослинних угруповань. Один із засновників біогеоценології (науки про багатовидові угруповання організмів)



Мал. 273. Структура екосистеми: 1 – абіотична частина; 2 – біотична частина; 3 – екосистема, що включає як біотичну, так й абіотичну частини



Мал. 274. Приклади маловидових (1 – тундра) та багатовидових (2 – кораловий риф) екосистем.  
Завдання. Визначте, у якому із цих типів екосистем переважають окремих видів виражене чіткіше

**Видове різноманіття** екосистеми визначається числом видів, популяції яких входять до її складу. Є екосистеми з незначним (пустелі, тундра) і багатим (тропічні ліси, коралові рифи) видовим різноманіттям (мал. 274). Видове різноманіття залежить від тривалості існування екосистеми: у процесі її становлення і розвитку видове різноманіття здебільшого зростає. Види з найчисленнішими популяціями визначають характер екосистеми (наприклад, ковила в ковиловому степу, дуб і граб у дубово-грабовому лісі).

Кожна екосистема характеризується певною структурою: видовою, просторовою, екологічною. **Видова структура** зумовлена як видовим різноманіттям, так і співвідношенням чисельності й густоти популяцій окремих видів. Види, які переважають чисельно, називають **домінуючими**.

**Просторова структура** визначається, насамперед, ярусністю. Таке розташування в екосистемі в рослин знижує конкуренцію за світло, у тварин – за кормові ресурси.

#### Ключові терміни та поняття:

екосистема, біоценоз, біогеоценоз.

#### Перевірте здобуті знання

1. Що вивчає екологія? 2. Які основні завдання екології? 3. Якими методами досліджень користуються екологи? 4. Що таке екосистема? Яка її структура?

#### Поміркуйте

1. Який зв'язок існує між екологією та охороною природи. 2. У той час, коли В. М. Сукачов запропонував термін «біогеоценоз», уже існувало поняття «екосистема». Чим, на вашу думку, була викликана необхідність введення терміна «біогеоценоз»?

### §49. ХАРЧОВІ ЗВ'ЯЗКИ. ПОТОКИ ЕНЕРГІЇ В ЕКОСИСТЕМАХ. ПРОДУКТИВНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ

*Пригадайте*, які організми належать до автотрофів, а які – до гетеротрофів. Що таке паразитизм?

**Взаємозв'язки між організмами в екосистемах.** Усі популяції організмів, які входять до складу певної екосистеми, пов'язані між собою більш-менш тісними прямими та непрямыми взаємозв'язками. *Прямі зв'язки* безпосередньо зв'язують популяції двох видів (наприклад, популяції хижака та його здобичі, популяції рослин і рослиноїдних видів тварин). У разі *непрямих зв'язків* популяція одного виду впливає на популяцію іншого опосередковано, через популяції третього. Наприклад, хижа-

#### Коротко про головне

Екологія – комплекс біологічних наук про взаємозв'язки живих організмів та їхніх угруповань між собою і довкіллям, про структуру та функціонування надорганізованих систем (популяцій, екосистем, біосфери тощо).

Популяції різних видів існують у природі не відокремлено, а пов'язані між собою різноманітними взаємозв'язками. Завдяки цьому утворюються угруповання різних видів організмів. Унаслідок взаємодії популяцій організмів різних видів з неживою природою формуються екосистеми.





Мал. 275. Бурі ведмеді та вовки – хижачки, які можуть конкурувати за здобич

**Запам'ятаємо: конкуренція** (від лат. *конкурентіа* – стикатись) – такі взаємозв'язки між популяціями одного (внутрішньовидова) або різних (міжвидова) видів, за яких використання певного ресурсу навколишнього середовища одними з них зменшує його доступність для інших (мал. 275).

ки, регулюючи чисельність здобичі, водночас впливають і на популяції організмів, якими живляться їхні жертви. Зв'язки між популяціями різних видів бувають антагоністичними, нейтральними та мутуалістичними.

За *антагоністичних взаємозв'язків* (наприклад, конкуренція, паразитизм, хижацтво) кожна із взаємодіючих популяцій різних видів відчуває негативний вплив іншої.

Найгострішу конкуренцію спостерігають між представниками одного виду або різних видів з подібними екологічними вимогами (див. мал. 207). Прикладом внутрішньовидової конкуренції може слугувати одновіковий сосновий ліс (див. мал. 199, 2).

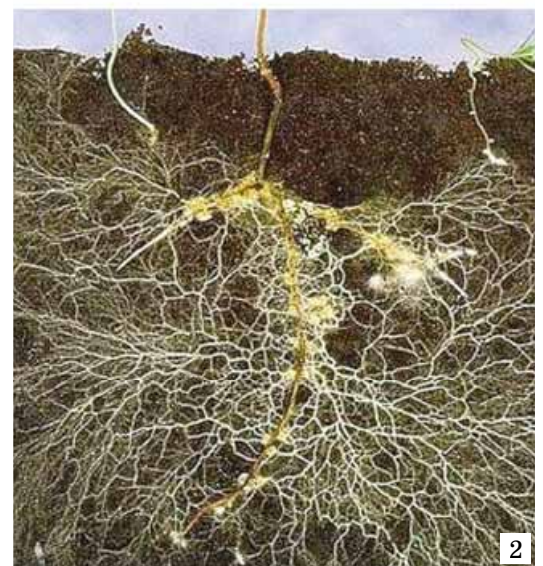
За *нейтральних взаємозв'язків* жоден з видів, що мешкають на спільній території, не відчуває на собі безпосереднього негативного чи позитивного впливу іншого. Наприклад, популяції хижаків різних видів, які живляться різними видами здобичі, можуть не конкурувати між собою. Але стан їхніх популяцій опосередковано залежить від густоти популяцій рослин, які є кормовою базою для популяцій здобичі – різних рослиноїдних видів.

За *мутуалістичних* (взаємовигідних) *взаємозв'язків* кожний із взаємопов'язаних видів отримує певну користь (*пригадайте* взаємозв'язки бульбочкових бактерій і бобових рослин, одноклітинних тварин – джгутикових – і комах, у кишечнику яких вони мешкають тощо). На малюнку 276 наведено приклади мутуалістичних відносин. *Завдання:* охарактеризуйте, яку користь від таких відносин отримує кожен з організмів.

Біотичну частину екосистеми складають різні групи організмів, об'єднані між собою просторовими і харчовими (трофічними) зв'язками (мал. 277):

*продуценти* (від лат. *продуцентіс* – той, що створює) – популяції автотрофних організмів, здатних синтезувати органічні речовини з неорганічних (фототрофні або хемотрофні організми);

*консументи* (від лат. *консумо* – споживаю) – популяції гетеротрофних організмів, які живляться живими істотами чи мертвою органічною речовиною (фітофаги, хижачки, паразити, сапротрофи);



Мал. 276. Приклади мутуалістичних відносин: 1 – рак-самітник та актинія; 2 – мікориза (гриби і коренева система дерева)





Мал. 277. Різні трофічні групи організмів, що входять до складу екосистеми

**Запам'ятаємо:** завдяки взаємодії популяцій різних видів організмів з неживою природою всередині екосистем виникають колообіг речовин і потоки енергії, які зв'язують усі їхні складові в єдину цілісну систему (див. мал. 277).

**Запам'ятаємо:** між популяціями різних видів, які входять до складу екосистеми, виникають складні й різноманітні взаємозв'язки. Їхня сукупність забезпечує функціонування екосистеми та її саморегуляцію. Що різноманітніші та розгалуженіші взаємозв'язки, то стабільніша екосистема.

**редуценти** (від лат. *редуцентіс* – той, що повертає, відновлює) – популяції організмів, які, споживаючи мертву органічну речовину, розкладають її до неорганічних сполук (різноманітні бактерії, гриби).

**Пригадайте: колообіг речовин** – це обмін речовинами між абіотичною (неживою) і біотичною (живою) частинами екосистем.

**Перетворення енергії в біогеоценозах.** Функціонування будь-якої екосистеми пов'язане з перетворенням енергії та колообігом речовин, тобто хімічними та фізичними процесами, які забезпечують життєдіяльність біологічних систем. Основним джерелом енергії є сонячне світло. Фототрофи вловлюють його і перетворюють на енергію хімічних зв'язків органічної речовини, яку вони синтезують. Частину накопиченої енергії рослини витрачають на забезпечення власних процесів життєдіяльності, інша – переходить до організмів, які споживають зелені рослини або їхні рештки.

Гетеротрофи отримують необхідну їм енергію внаслідок ферментативного розщеплення органічних речовин. Вони засвоюють для побудови речовин свого тіла лише незначну частину енергії хімічних зв'язків їжі (10–20 %), а решта розсіюється у вигляді тепла, витрачаючись на процеси життєдіяльності. Подібне спостерігають і під час поїдання фітофагів хижаками і т. п. Отже, на кожному етапі передачі енергії від одних організмів до інших більша частина її витрачається (розсіюється у вигляді тепла); і лише незначна частка перетворюється в потенційну енергію хімічних зв'язків синтезованих ними сполук (див. мал. 277).

Послідовності, у яких особини одного виду, їхні рештки або продукти життєдіяльності слугують об'єктом живлення для організмів іншого, називають **ланцюгами живлення**. Кожний ланцюг живлення складається з певної кількості ланок (мал. 278). Оскільки під час переходу від попередньої ланки до наступної значна частина енергії втрачається, то кількість ланок обмежена і, зазвичай, не перевищує 4–5.

Популяція кожного виду займає в певному ланцюзі живлення певне положення – *трофічний рівень*. Здебільшого, першою ланкою слугують продуценти. Наступні трофічні рівні належать консументам, вони і визначають кількість ланок, через яку до них надходить енергія продуцентів.

Так, рослиноїдні тварини займають наступний, після продуцентів, трофічний рівень (*консументи I порядку*), далі йде рівень хижаків, які живляться рослиноїдними видами (*консументи II порядку*) тощо.

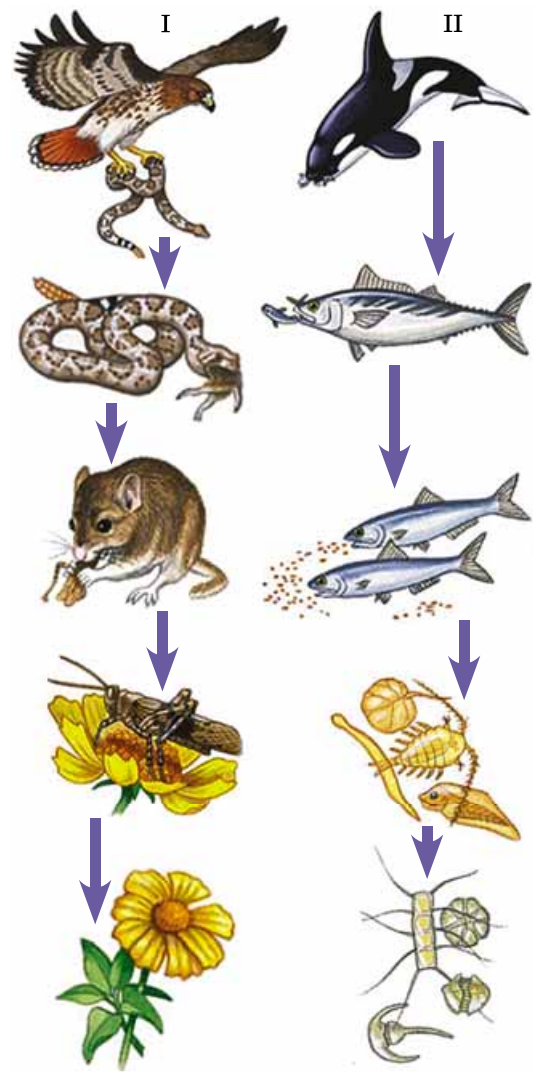
Якщо консументи споживають різні види їжі, вони можуть перебувати на різних трофічних рівнях. Наприклад, сіра ворона може житися зерном (консумент I порядку); пташенятами зерноїдних (консумент II порядку) чи комахоїдних видів птахів (консумент III порядку). Відмерлі продуценти або їхні частини, як-от листяний опад, рештки чи продукти життєдіяльності організмів, становлять кормову базу консументів і редуцентів, які в кілька етапів розкладають органічні сполуки до неорганічних.

Таким чином, в екосистемі енергія у вигляді хімічних зв'язків органічних сполук накопичується на рівні продуцентів, проходить через організми консументів і редуцентів, але на кожному з послідовних трофічних рівнів частково розсіюється у вигляді тепла. Енергія, яка зберігається в мертвій органічній речовині, значною мірою переходить у тепло внаслідок діяльності редуцентів.

Оскільки під час передачі енергії від нижчого трофічного рівня до вищого більша її частина втрачається у вигляді тепла, колообіг енергії, на відміну від колообігу речовини, неможливий. Для функціонування екосистеми потрібне постійне надходження енергії ззовні, тому незаперечною умовою існування будь-якої екосистеми є наявність зелених рослин, які вловлюють сонячну енергію.

У будь-якій екосистемі ланцюги живлення тісно переплетені завдяки тому, що представники одного й того самого виду можуть бути ланками різних ланцюгів живлення. Переплітаючись, вони формують *трофічну сітку* (мал. 279). Її існування забезпечує стійкість екосистеми, бо в разі коливань чисельності популяцій певних видів і навіть зникнення певних кормових об'єктів вони замінюються організмами на інші, і сумарна продуктивність екосистеми майже не змінюється. Отже, що розгалуженіша трофічна сітка, то стійкіший біогеоценоз.

**Продуктивність екосистем.** Кожна екосистема характеризується певною продуктивністю. Її виражають в одиницях маси або енергії. Розрізняють продуктивність *первинну* та *вторинну*, створену відповідно автотрофними та гетеротрофними організмами. Для всіх екосистем характерні певні закономірності передачі енергії та біомаси між трофічними рівнями. Їх відображає *правило екологічної піраміди*: на кожному попередньому трофічному рівні кількість біомаси та енергії, що запасуються організмами за одиницю часу, значно більша, ніж на наступних. Графічно це можна зобразити у вигляді піраміди, складеної з окремих блоків. Кожен із блоків відповідає продуктивності організмів на відповідному трофічному рівні ланцюга живлення. Так, кількісні закономірності передачі маси органічної речовини від одного трофічного рівня ланцюга живлення до іншого (продуктивність орга-



Мал. 278. Приклади ланцюгів живлення: I – наземної екосистеми; II – водної екосистеми. **Завдання.** Охарактеризуйте характер живлення організмів, які задіяні в цих ланцюгах живлення, і визначте їхній трофічний рівень



Мал. 279. Приклад трофічної сітки. **Завдання.** Простежте за малюнком ланцюги живлення, які на ньому представлені; відзначте місця, де вони перетинаються





Мал. 280. Приклад екологічної піраміди біомаси. **Завдання.** Відзначте трофічні рівні, на яких розміщені організми, що входять до цього ланцюга живлення

### Коротко про головне

Усі популяції організмів, які входять до складу певної екосистеми, пов'язані між собою більш-менш тісними прямими та непрямыми взаємозв'язками.

Біотичну частину екосистеми складають різні групи організмів, об'єднані між собою просторовими і харчовими (трофічними) зв'язками: продуценти, консументи та редуценти.

Популяція кожного виду займає в певному ланцюзі живлення певний трофічний рівень.

Правило екологічної піраміди: на кожному попередньому трофічному рівні кількість біомаси та енергії, яку запасують організми за одиницю часу, значно більша, ніж на наступних.

нізмів при цьому виражають у одиницях маси сухої речовини) відбиває **піраміда біомаси** (мал. 280).

Піраміда біомаси демонструє ту закономірність, що консументи I порядку запасують у 5–10 разів меншу біомасу, ніж біомаса продуцентів, яку вони споживають. І так далі: з кожною наступною ланкою ланцюга живлення біомаса, яку запасують організми вищого трофічного рівня, зменшується в 5–10 разів порівняно з тією, яку вони споживають.

Відповідні закономірності передачі енергії від однієї ланки ланцюга живлення до іншої демонструє **піраміда енергії**. Кожний її блок відповідає кількості хімічної енергії, яка запасується на відповідному трофічному рівні. Вона показує, що більша частина енергії під час передачі з нижчого трофічного рівня на вищий витрачається у вигляді тепла, а запасується лише 10–20 % порівняно з попереднім.

### Ключові терміни та поняття:

продуценти, консументи, редуценти, трофічний рівень, правило екологічної піраміди.

### Перевірте здобуті знання

1. Яка роль в екосистемах продуцентів, консументів і редуцентів?
2. Що таке продуктивність?
3. На які екологічні групи поділяють організми за типом живлення?
4. Які типи взаємозв'язків виникають між популяціями організмів, які входять до складу певної екосистеми?
5. Як відбуваються перетворення енергії в екосистемах?
6. Що таке ланцюги живлення та трофічні рівні?
7. Що таке екологічна піраміда біомаси?

### Поміркуйте

Наведіть приклади первинної та вторинної продукції екосистеми.

## §50. БІОТИЧНІ, АБІОТИЧНІ ТА АНТРОПОГЕННІ ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ

*Пригадайте*, які ви знаєте екологічні фактори. Що таке паразитизм, мутуалізм, симбіоз?

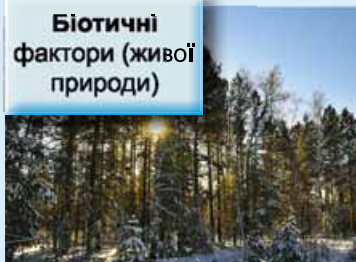
**Екологічні фактори та їх класифікація.** Усі складові навколишнього середовища, які впливають на стан і властивості живих організмів та їхніх угруповань, називають **екологічними факторами**, або **екологічними чинниками**. Залежно від природи та особливостей дії їх ділять на абіотичні, біотичні та антропогенні (мал. 281).

### Екологічні фактори

**Абіотичні фактори**  
(неживої природи)



**Біотичні фактори**  
(живої природи)



**Антропогенні** – прямий вплив людини на навколишнє середовище та наслідки її діяльності



Мал. 281. Класифікація екологічних факторів





Мал. 282. 1. Катастрофа на Чорнобильській атомній електростанції 1986 р. 2. Спорудження оновленого саркофага над зруйнованим четвертим блоком 2016 р.

**Абіотичні фактори** – це компоненти та властивості неживої природи (температура, освітленість, вологість, газовий склад повітря, тиск, сольовий склад води, тип ґрунту тощо), які прямо або опосередковано впливають на окремі організми та їхні угруповання.

**Біотичні фактори** – це різні форми взаємодій між особинами в популяціях і між популяціями в угрупованнях. Будь-яка жива істота постійно взаємодіє з особинами свого (внутрішньовидові зв'язки) та інших (міжвидові зв'язки) видів. Будь-який організм унаслідок процесів своєї життєдіяльності змінює середовище життя як представників інших видів, так і власне: при цьому одні ресурси із середовища життя вилучаються, інші, навпаки, вносяться.

**Антропогенні фактори** – різні форми господарської діяльності людини, що змінюють стан середовища життя всіх видів живих істот, серед яких і сама людина. За відносно короткий період існування людини як біологічного виду її господарська діяльність докорінно змінила вигляд нашої планети, і щорічно цей вплив на природу зростає. Інколи антропогенний вплив набуває форми катастрофи, як, наприклад, вибух на Чорнобильській атомній електростанції в 1986 р. (мал. 282).

**Інтенсивність дії екологічних факторів** – це певні їхні кількісні значення (наприклад, показники температури, вологості, освітленості тощо). Інтенсивність дії деяких екологічних факторів може залишатися відносно постійною протягом тривалих історичних періодів розвитку біосфери, наприклад сонячне випромінювання, сила тяжіння, сольовий склад морської води, газовий склад атмосфери. Однак більшість з них має мінливу інтенсивність (температура, вологість тощо). Ступінь цієї мінливості залежить від особливостей середовища життя. Наприклад, температура на поверхні ґрунту може коливатися у значних межах залежно від пори року, часу доби тощо, тоді як на глибині понад 3 м такі перепади температури майже відсутні.

Зміни екологічних факторів можуть бути: *періодичними*, залежно від часу доби, пори року тощо; *неперіодичними*, наприклад виверження вулканів, землетруси, урагани, цунамі (мал. 283) тощо; *спрямованими* протягом значних історичних проміжків часу, наприклад зміни клімату.

Одним з основоположних принципів екології є **принцип єдності організмів та їхнього середовища життя**, який полягає в тому, що особини кожного виду протягом



Мал. 283. 1. Вулкан Сопутан в Індонезії, що діє (5 січня 2016 р.). 2. Унаслідок землетрусу в Новій Зеландії утворилися «стіни» заввишки 5 м. 3. У грудні 2004 р. підводний землетрус зсунув тектонічні плити Індійського океану, що призвело до цунамі. 4. Тайфун на Філіппінах

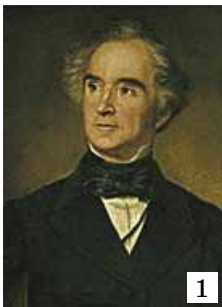


1



2

Мал. 284. Кріт (1) і сліпак (2) – ссавці, які постійно мешкають у ґрунті; кріт має розширеними передніми кінцівками, а сліпак – різцями



1



2

Мал. 285. 1. Юстус фон Лібіх (1803–1873) – видатний німецький учений, автор одного з перших екологічних законів – закону мінімуму: ріст рослини залежить від того елемента живлення, який перебуває в довіллі у мінімальній кількості. 2. Віктор Ернест Шелфорд (1877–1968) – відомий американський зоолог та еколог, автор закону толерантності: можливість існування виду за певних умов може визначатись як надлишком, так і нестачею будь-якого з екологічних факторів, чия інтенсивність дії наблизитиметься до критичних точок мінімуму та максимуму (верхньої та нижньої межі толерантності)

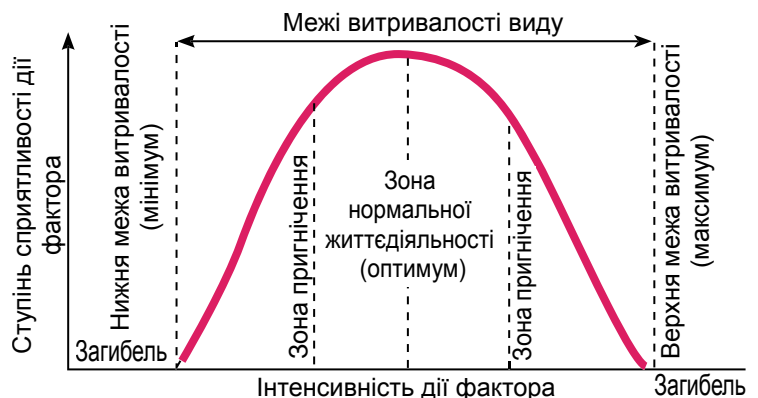
тривалого історичного розвитку пристосовуються до певного середовища життя, при цьому у них виникають пристосування (адаптації).

*Пригадайте:* адаптації визначають можливість існування живих істот у найрізноманітніших умовах довкілля. За час існування виду залежно від змін впливів екологічних факторів одні адаптації з'являються, а ті, що втратили своє значення, зникають.

**Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми.** Хоча екологічні фактори дуже різноманітні за своєю природою та характером впливу на біологічні системи, існують закономірності їхнього впливу на живі істоти, а також реакцій організмів на їхню дію. Згідно з **правилом екологічної індивідуальності**, кожний вид пристосований до певної сукупності умов існування особливим чином, тобто не існує двох близьких видів з повністю однаковими адаптаціями (мал. 284). Добра пристосованість організмів до певного фактора довілля не означає такої самої адаптованості до інших. Наприклад, лишайники здатні витримувати значні коливання температури та вологості, але чутливі до забруднення повітря.

Кожний з факторів має лише певні межі позитивного впливу на організми (**закон оптимуму**). Сприятливі для істот певного виду інтенсивності впливу екологічного фактора мають назву *зони оптимуму*. Що більше інтенсивність дії певного екологічного фактора відхилятиметься від оптимальної в той чи інший бік, то більше буде виражений його негативний вплив на організми (*зони пригнічення*). Значення інтенсивності дії екологічного фактора, за якими існування організмів стає неможливим, називають *верхньою та нижньою межами витривалості*, або *толерантності (критичні точки максимуму і мінімуму)* (мал. 286). Відстань між межами витривалості визначає діапазон інтенсивності дії екологічного фактора, у якому можливе існування особин певного виду (так звані межі витривалості виду) (мал. 286).

Окремі фактори діють на організми не ізольовано, а спільно: унаслідок цього вплив котрогось із них може дещо пом'якшуватись або, навпаки, підсилюватись. Наприклад, у суху безвітряну погоду легше витримувати низькі температури. Це означає, що зона оптимуму та межі витривалості стосовно дії певного фактора можуть зсуватися в певний бік залежно від того, з якою силою і в якому поєднанні діють інші чинники. Ця закономірність дістала назву **явище взаємодії екологічних факторів**.



Мал. 286. Схема дії екологічного фактора





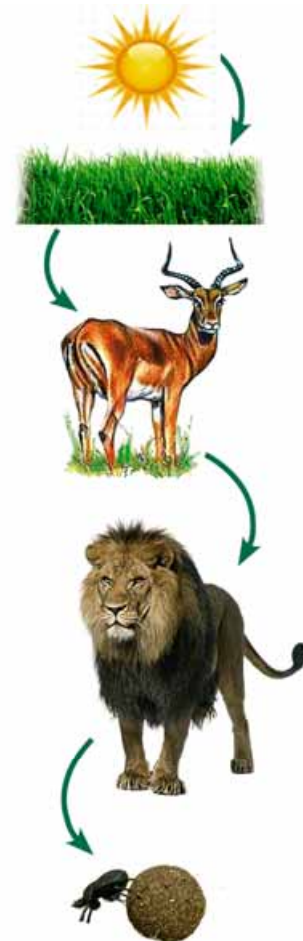
## Коротко про головне

Залежно від природи та особливостей дії екологічні фактори ділять на абіотичні, біотичні та антропогенні.

Абіотичні фактори – компоненти та властивості неживої природи. Біотичні фактори – різні форми взаємодій між особинами в популяціях і між популяціями в угрупованнях.

Окрему групу екологічних факторів становлять різні форми господарської діяльності людини, що змінюють стан середовища життя всіх видів живих істот, серед яких і сама людина (антропогенні фактори).

Кожний з факторів має лише певні межі позитивного впливу на організми (закон оптимуму).



Мал. 287. Схема, що ілюструє цілісність екосистеми. Завдання.

Уважно розгляньте малюнок. Охарактеризуйте роль кожного компонента екосистеми. Як зв'язки між ними забезпечують цілісність екосистеми?

**Закон взаємокомпенсації факторів** стверджує, що відсутність або нестача деяких екологічних факторів може бути частково компенсована завдяки іншим подібним чинникам. Так, нестача світла в житті рослин може бути частково компенсована надлишком карбон(II) оксиду. Але взаємокомпенсація екологічних факторів має певні межі, і жоден із життєво важливих факторів не може бути повністю замінений іншими: якщо інтенсивність дії хоча б одного з них виходить за межі витривалості, існування виду стає неможливим, незважаючи на оптимальну інтенсивність дії інших. У місцях, де багато стронцію, молюски під час росту їхніх черепашок здатні лише частково замінювати ним кальцій у карбонатах. Нестача води гальмуватиме процес фотосинтезу навіть за оптимальних освітленості та концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері.

### Ключові терміни та поняття:

екологія, екологічні фактори, закон оптимуму.

### Перевірте здобуті знання

1. На чому ґрунтується явище взаємодії екологічних факторів?
2. Чому взаємокомпенсація екологічних факторів обмежена?

### Поміркуйте

Наведіть приклади первинної та вторинної продукції екосистеми.

### Навчальний проект.

Виявлення рівня антропогенного впливу в екосистемах своєї місцевості.

## §51. СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ І ПРИЧИНИ ЇЇ ПОРУШЕННЯ

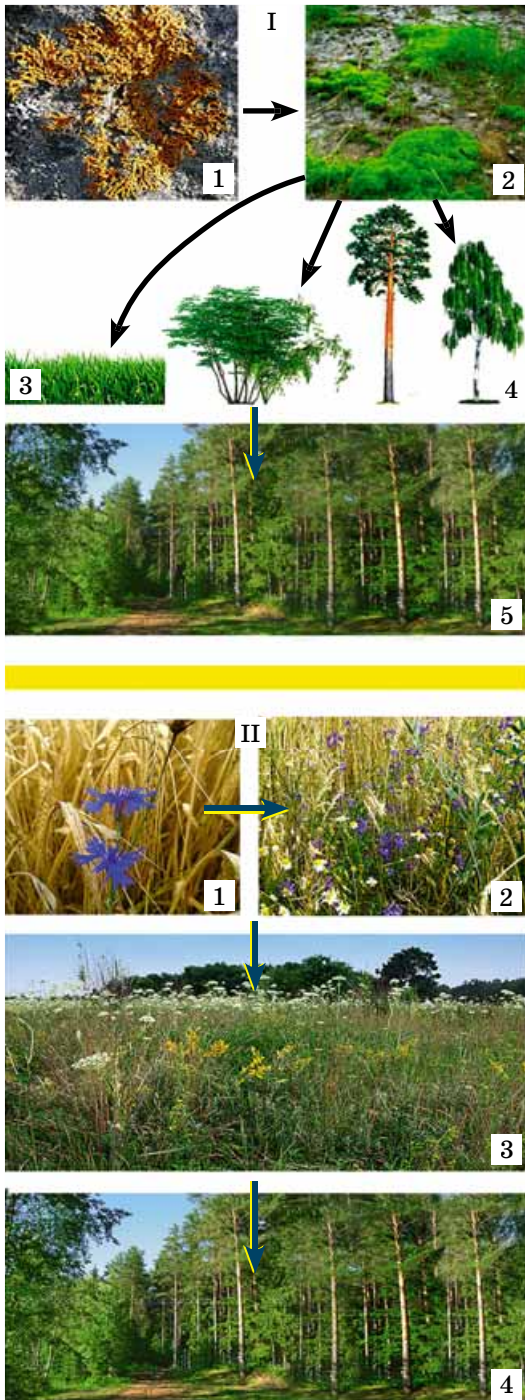
*Пригадайте*, що таке біоритми організмів, гомеостаз.

**Стабільність екосистем.** Становлення певної екосистеми – це складний і тривалий процес, під час якого живі організми різних видів адаптуються до умов фізичного середовища життя, а також один до одного. За цей час ускладнюється її структура, формуються властивості – цілісність, стійкість, здатність до самовідтворення та саморегуляції.

**Цілісність екосистем** забезпечують взаємодії популяцій організмів усередині угруповання між собою та з фізичним середовищем, що створюють потоки енергії та колообіг речовин (мал. 287). **Здатність екосистем до самовідтворення** зумовлена властивістю організмів відновлювати свою чисельність та умови власного існування. **Стійкість екосистем** проявляється в їхній властивості протистояти несприятливим зовнішнім впливам без руйнування власної структури.

**Саморегуляція екосистем** полягає в тому, що кількісні та якісні показники їхньої біопродуктивності, густоти видових популяцій, швидкості колообігу речовин та потоків енергії коливаються навколо певних оптимальних значень. Регулювальними факторами є внутрішньовидові та міжвидові зв'язки, що корегують чисельність окремих популяцій, унаслідок чого підтримується гомеостаз системи в цілому. Щойно густина популяції певного виду пе-





Мал. 288. Приклади сукцесії:  
 I – первинна сукцесія: 1 – оселення лишайників на скельній породі; 2 – заселення первинного ґрунту мохами; 3 – утворення трав'янистого рослинного покриття; 4 – формування угруповання із світлолюбних деревних і трав'янистих рослин; 5 – формування екосистеми лісу;  
 II – вторинна сукцесія: замість культурних рослин (1) розвиваються бур'яни (2); 3 – формування трав'янисто-чагарникової рослинності; 4 – формування молодого соснового лісу

ревищить деякий середній (оптимальний) рівень, у біогеоценозі починають діяти регулювальні механізми (наприклад, вплив популяцій хижаків на популяції здобичі, паразитів – на популяції хазяїна, фітофагів – на популяції рослин тощо). Порухення взаємозв'язків організмів в екосистемах унаслідок діяльності людини можуть призвести до різкого скорочення чисельності одних видів та одночасного масового розмноження інших, зокрема шкідників лісу та сільського господарства (наведіть приклади).

**Як екологічні фактори впливають на зміни в екосистемах?** Будь-яка екосистема може нормально функціонувати лише за більш-менш стабільних умов довкілля, що потрібно для здійснення колообігу речовин. Екосистеми певною мірою здатні підтримувати сталість своєї структури (гомеостаз), однак у них можуть відбуватися циклічні або поступальні зміни.

**Циклічні зміни** є наслідком пристосувань екосистем до періодичних (добових, сезонних тощо) змін навколишнього середовища. Це явище ґрунтується на адаптації популяцій окремих видів, які можуть проявлятися як періодичні зміни густоти окремих популяцій, їхньої вікової структури, активності особин популяцій різних видів тощо.

**Поступальні зміни** відбуваються в разі відновлення зруйнованих екосистем (наприклад, відтворення лісів і степів на місці згаріщ тощо) або необоротних змін у певному напрямі кліматичних умов (вологості, середньорічної температури тощо). Вони можуть приводити до заміни екосистеми одного типу на інший.

Спрямовані послідовні зміни угруповань організмів, які із часом приводять до перетворення самої екосистеми, називають **сукцесією**. Угруповання організмів, які існують на початкових етапах сукцесії, характеризуються незначним видовим різноманіттям, слабо розгалуженими трофічними сітками, різкими коливаннями чисельності й густоти окремих популяцій та низькою здатністю підтримувати гомеостаз популяцій. Тому вони із часом заміщуються більш конкурентоспроможними видами. Унаслідок підвищується здатність екосистем до саморегулювання. Цей процес триває, аж поки не сформується багатовидова екосистема з максимально можливим в даних умовах ступенем стійкості. Процес сукцесії триває, доки екосистема не досягне значної видової різноманітності, стабілізації процесів колообігу речовин і перетворень енергії.

Сукцесії можуть бути первинними і вторинними. **Первинні сукцесії** – це поява й розвиток рослинних угруповань у місцях, де рослинності раніше не було (оселення лишайників на скельних породах або вищих рослин на піщаних узбережжях тощо) (мал. 288. I). Наприклад, оселення сосни звичайної на пісках значно змінює умови існування такого угруповання: затінюючи поверхню ґрунту, сприяючи надходженню до нього органіки, утриманню ґрунтової води, вона створює можливість для оселення інших видів рослин. Тип рослинного угруповання, у свою чергу, визначає видовий склад тварин.

**Вторинні сукцесії** – відновлення природної рослинності після певних порушень, наприклад відновлення лісів після пожеж. Наприклад, вторинну сукцесію можна спостерігати на прикладі кинутого поля (мал. 288. II).

Культурні рослини витісняються дикорослими трав'янистими, а згодом можлива поява кущів і дерев.

Прикладом штучної екосистеми, не здатної до саморегуляції, є **агроценози** – збіднені видами високопродуктивні угруповання рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, створені людиною для отримання сільськогосподарської продукції. Від природних екосистем агроценози докорінно відрізняються властивостями та особливостями функціонування. Незначне видове різноманіття та погано розгалужені трофічні сітки зумовлюють слабку стійкість агроценозів, але високу продуктивність одного чи кількох видів у його складі. Незважаючи на те, що до складу агроценозів можуть входити представники дикої фауни та флори, без яких вони не здатні існувати, в агроценозах, на відміну від природних біогеоценозів, практично відсутня саморегуляція; без постійного втручання людини вони руйнуються і зникають.

Унаслідок вирощування на значних площах протягом років однієї чи кількох рослинних культур в агроценозах можливе масове розмноження бур'янів, шкідників та паразитів (комах, гризунів, паразитичних грибів тощо). Для забезпечення функціонування агроценозів людина має постійно запобігати процесам сукцесії, бо культурні рослини менш конкурентоспроможні, ніж дикі. На відміну від природних біогеоценозів, в агроценозах не відбувається колообіг речовин, бо більшу частину продукції людина вилучає у вигляді врожаю.

Створюючи агроценози, людина повинна враховувати зв'язки, що існують між організмами в природних угрупованнях, а також ті, які можуть виникати між культурними та дикими організмами за їх спільного існування.

### Ключові терміни та поняття:

сукцесія, агроценоз.

### Перевірте здобуті знання

1. Які основні властивості екосистем? 2. У чому полягає саморегуляція екосистем? 3. Які властивості екосистем? 4. Що таке сукцесія? 5. Які сукцесії називають первинними та вторинними?

### Поміркуйте

Які основні відмінності між природною екосистемою та агроценозом?


## §52. БІОСФЕРА ЯК ЦІЛІСНА СИСТЕМА

*Пригадайте*, що таке колообіг речовин та потоки енергії в екосистемах.

**Загальна характеристика біосфери.** Планета Земля оточена оболонками (мал. 289) – твердою (літосферою), рідкою (гідросферою) та газоподібною (атмосферою).

**Літосфера** – зовнішня тверда оболонка Землі. Вона складається з поверхневого шару переважно осадових порід, сформованого за участю живих істот (вапняк, крейда, кремнезем тощо), граніту (середній шар) та базальту (нижній шар).

Сукупність усіх водойм (океанів, морів, річок, озер тощо) утворює водну оболонку – **гідросферу**, яка охоплює

 **Запам'ятаємо:** сукцесія завершується формуванням **зрілих стійких екосистем** зі значним видовим різноманіттям, розвиненими механізмами саморегуляції (підтримання гомеостазу) і здатністю до самовідтворення. Такі дозрілі екосистеми перебувають у стані рівноваги з фізичним середовищем.

**Завдання.** Проаналізуйте риси відмінності та подібності між природними та штучними екосистемами (агроценозами).  
1. Поясніть, чому агроценози не можуть тривалий час існувати без підтримки людиною. З допомогою вчителя запропонуйте заходи з підвищення стійкості та продуктивності агроценозів. Поясніть необхідність наукових досліджень для розв'язання таких завдань.  
2. Обґрунтуйте необхідність дотримання екологічної культури під час ведення бізнесу в промисловості та сільському господарстві. Поясніть, чому перед реалізацією бізнесових проєктів обов'язково слід проводити попередні екологічні дослідження (екологічну експертизу).

### **Коротко про головне**

Цілісність екосистем забезпечують взаємодії популяцій організмів усередині угруповання між собою та фізичним середовищем. Ці взаємодії зумовлюють потоки енергії та колообіг речовин усередині екосистем.

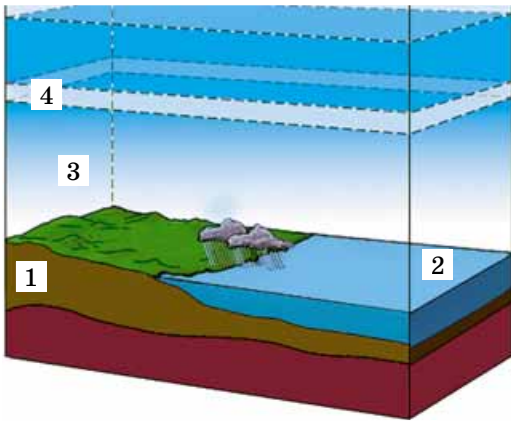
Здатність екосистем до самовідтворення зумовлена властивістю організмів відтворювати свою чисельність та умови власного існування.

Стійкість екосистем проявляється у їхній властивості протистояти несприятливим зовнішнім впливам без руйнування власної структури.

Саморегуляція екосистем полягає в тому, що кількісні та якісні показники їхньої біопродуктивності, густоти видо-вих популяцій, швидкості колообігу речовин та потоків енергії коливаються навколо певних оптимальних значень.

Спрямовані послідовні зміни угруповань організмів, які із часом приводять до перетворення самої екосистеми, називають сукцесією.





Мал. 289. Межі біосфери:  
1 – літосфера; 2 – гідросфера;  
3 – атмосфера; 4 – озоновий екран



Мал. 290. Е. Зюсс (1831–1914)

### Цікаво знати

Поняття **біосфери** запропонував **Е. Зюсс** (мал. 290) 1875 р., а вчення про неї як частину геологічних оболонок Землі, населену живими організмами, створив український учений В.І. Вернадський.

майже 71 % поверхні планети та в деяких місцях сягає понад 11 км завтовшки.

**Атмосфера** – це газова оболонка, розташована над поверхнею літосфери та гідросфери.

**Біосфера** не утворює окремої оболонки Землі, а охоплює верхню частину літосфери, всю гідросферу та нижній шар атмосфери. Вона є сукупністю всіх біогеоценозів Землі, єдиною глобальною екосистемою.

У *літосфері* життя сконцентровано здебільшого у ґрунті. Деякі види здатні до життя в порожнинах корінних порід; найбільш різноманітне населення печер. На глибинах 2–4 км можуть існувати лише деякі групи бактерій, переважно в нафтоносних шарах. Обмеження проникнення живих істот у глиб літосфери зумовлено високою температурою (понад +100 °С) гірських порід і підземних вод на глибинах 1,5–15 км. У *гідросфері* життя існує на будь-яких глибинах. Поширення організмів у *атмосфері* (переважно спор і цист) визначається положенням озонового екрана, бо вище нього практично все живе гине під дією космічного випромінювання. Максимальна висота, на якій було виявлено спори бактерій і грибів, – близько 22 км. Найвища концентрація біомаси в місцях з найбільш різноманітними умовами на межах літосфери та атмосфери, атмосфери та гідросфери, гідросфери та літосфери.

**Жива речовина біосфери та її властивості.** Усю сукупність організмів на планеті Земля В.І. Вернадський називав *живою речовиною*. Основними її характеристиками є сумарна біомаса, хімічний склад та енергія. Енергія живої речовини біосфери насамперед проявляється у здатності організмів до розмноження та поширення. Життя на нашій планеті має значну стійкість до змін інтенсивності різних екологічних факторів. Тому живих організмів у межах біосфери немає лише в товщі льодовиків і кратерах діючих вулканів.

Однією з властивостей живої речовини є її постійний обмін з довкіллям. Організмам потрібні певні речовини й енергія, які вони отримують з навколишнього середовища, значно змінюючи його. У результаті різні хімічні елементи надходять у живі істоти, можуть у них накопичуватись і виходити в довкілля лише через певний час або лише після їхньої загибелі.

Жива речовина (продуценти) здатна вловлювати сонячну світлову енергію, перетворюючи її на енергію хімічних зв'язків синтезованих сполук. Сумарна продукція автотрофних організмів визначає біомасу біосфери в цілому. Завдяки фотосинтезу щорічно жива речовина Землі продукує близько 160 млрд тонн сухої органічної речовини, з якої приблизно 1/3 припадає на екосистеми біогеоценозу Світового океану, а 2/3 – суходолу.

**У чому полягають біохімічні функції живої речовини?** Жива речовина виконує різноманітні функції, які забезпечують існування біосфери як цілісної системи.

**Газова функція.** Організми в процесі своєї життєдіяльності впливають на газовий склад атмосфери, Світового океану та ґрунту. Аеробні істоти під час дихання поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ. Зелені рослини, деякі одноклітинні тварини та ціанобактерії у процесі фотосинтезу поглинають вуглекислий газ і виділяють



кисень. Життєдіяльність організмів, наприклад певних груп прокариотів, може впливати на концентрацію інших газів (сірководню, метану, азоту тощо).

**Окисно-відновна функція.** За допомогою організмів у ґрунті, воді та атмосферному повітрі окиснюються чи відновлюються певні сполуки. Так, залізобактерії здатні окиснювати сполуки Феруму, сіркобактерії – Сульфур, а денітрифікуючі – відновлювати нітрати та нітрити до молекулярного азоту або оксидів Нітрогену.

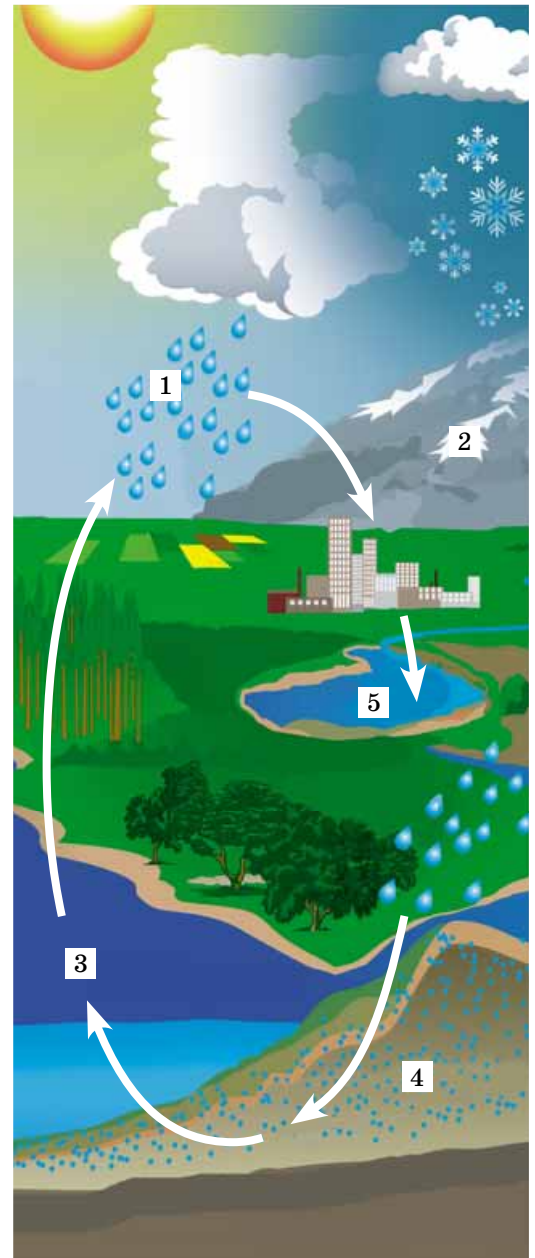
**Концентраційна функція.** Живі істоти можуть вбирати певні хімічні елементи з навколишнього середовища і накопичувати їх у своїх організмах. Так, молюски, форамініфери, десятиногі раки, хребетні тварини можуть накопичувати у своїх організмах, передусім у скелетах, панцирах, черепашках, неорганічні сполуки Кальцію та Фосфору, радіолярії – Стронцію та Силіцію, бурі водорості – Йоду тощо.

**Біогеохімічні цикли.** Здійснення функцій живої речовини пов'язано з міграцією атомів молекул у процесі колообігу речовин, тобто біогеохімічних циклів. У біосфері постійно триває колообіг води і всіх хімічних елементів, які входять до складу живих організмів.

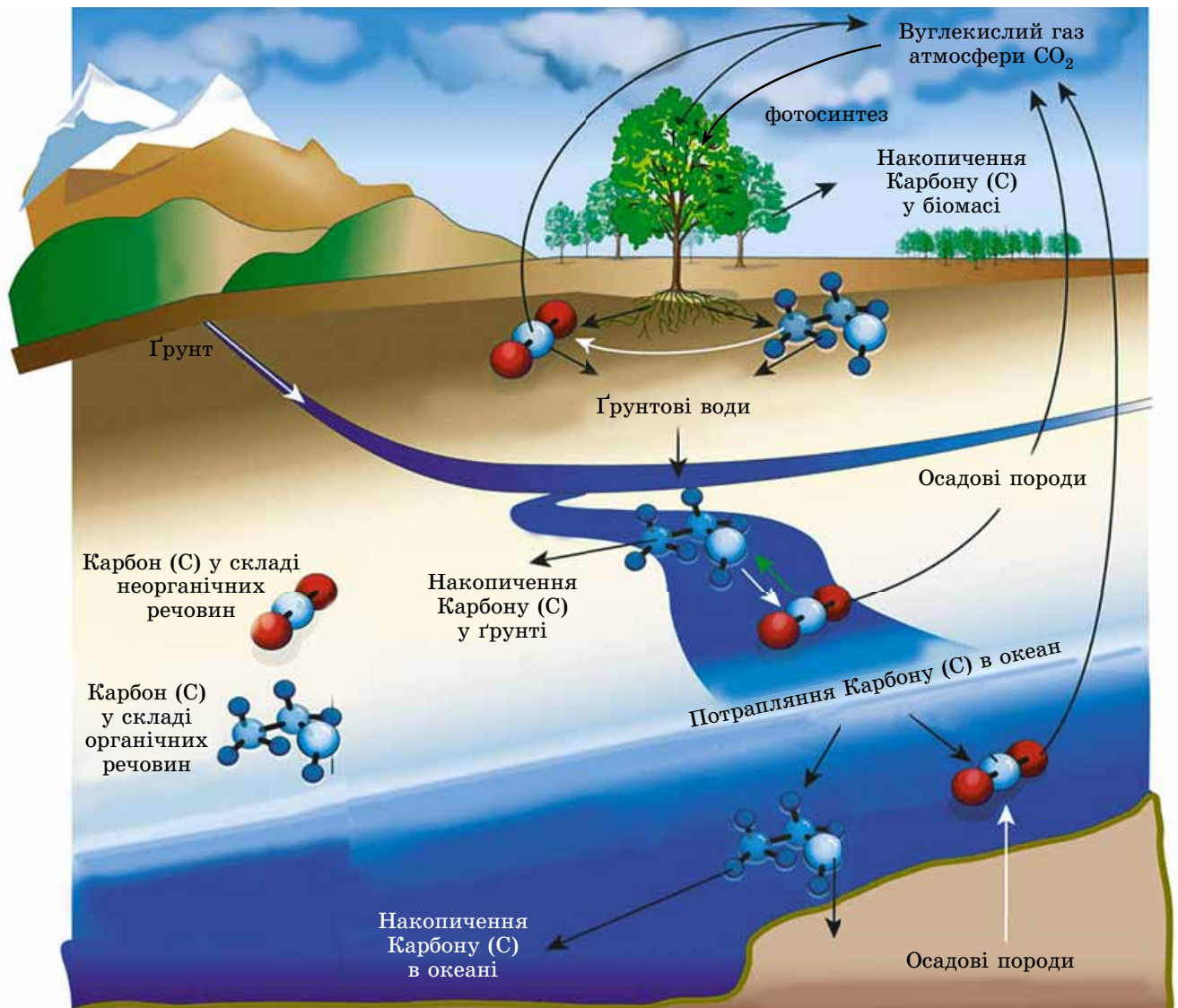
**Біогеохімічний цикл води** (мал. 291). Вода є найпоширенішою хімічною сполукою в біосфері. Її сукупні запаси на Землі становлять 1,5 млрд км<sup>3</sup>. Водяна пара надходить в атмосферу під час випаровування з поверхні водойм, транспірації рослин, дихання тощо; у складі повітря її переміщує вітер. З атмосфери вода випадає у вигляді дощу або снігу. У морях та океанах її запас поповнюється завдяки стокам річок та опадів. Морські течії переносять воду різної температури на значні відстані, впливаючи на клімат певних ділянок земної поверхні. Вода спричинює геологічні явища вимивання, перенесення та відкладання речовин. Воду поглинають істоти, і вона включається у їхній обмін речовин. Організми виділяють воду з відходами життєдіяльності, під час дихання, випаровування тощо.

**Біогеохімічний цикл Оксигену.** Поглинаючи молекулярний кисень (O<sub>2</sub>) під час дихання, живі істоти забезпечують свої енергетичні потреби. Атмосферний та розчинений у воді кисень здатні окиснювати органічні рештки, а також неорганічні сполуки оболонки Землі. Частина атмосферного кисню під дією ультрафіолетових сонячних променів і електричних розрядів перетворюється на озон (O<sub>3</sub>). Вміст кисню в нижніх шарах атмосфери становить близько 21 % і знижується зі збільшенням висоти.

**Біогеохімічний цикл Карбону** (мал. 292). Карбон входить до всіх органічних сполук – основи складу та біохімічних процесів живих організмів. Автотрофи здатні фіксувати вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) і синтезувати різноманітні органічні сполуки, використовуючи для цього світлову енергію (фототрофи) або енергію хімічних реакцій (хемотрофи). Ці речовини в подальшому ланцюгами живлення потрапляють до гетеротрофів. Карбон у живих організмах існує у вигляді органічних сполук і карбонатів, а поза ними – в органічних речовинах ґрунту, вуглекислому газі та різноманітних осадових породах (мармурі, вапняку, крейді тощо). На певний час Карбон, який міститься в цих сполуках, вилучається з біохімічних циклів, але



Мал. 291. Колообіг води в природі:  
1 – вода атмосфери; 2 – вода льодовиків; 3 – вода океану;  
4 – підґрунтові води; 5 – вода річок



Мал. 292. Колообіг Карбону в природі.  
Завдання. Використовуючи текст підручника, охарактеризуйте ці процеси

згодом, унаслідок життєдіяльності живих організмів та хімічних перетворень осадових порід (вивітрювання, розчинення), він знову залучається до біогеохімічних процесів.

**Біогеохімічний цикл Нітрогену.** Вміст вільного газоподібного азоту ( $N_2$ ) в атмосфері становить близько 79 %. З атмосфери деяка його кількість надходить у воду та ґрунт переважно у вигляді нітроген(II) оксиду ( $NO_2$ ) та амоніаку ( $NH_3$ ), які утворюються під впливом космічних променів, грозових розрядів та ін. Основна частина сполук Нітрогену потрапляє у ґрунт та воду завдяки фіксації атмосферного азоту прокаріотами (азотфіксуючі бактерії, деякі ціанобактерії тощо). Нітроген у складі хімічних речовин, які можуть бути засвоєні живими організмами, має назву *фіксований*. Він може засвоюватись безпосередньо з ґрунту зеленими рослинами або завдяки мутуалістичному співіснуванню з бульбочковими азотфіксуючими бактеріями. Зі сполук Нітрогену рослини синтезують амінокислоти, з яких складаються білки, нуклеїнові кислоти та ін. Далі нітрогеновмісні органічні сполуки передаються ланцюгами живлення. У результаті дисиміляції складні сполуки Нітрогену в організмах розкладаються до простіших (амоніак, сечовина, сечова кислота, гуанін



Планета Земля оточена оболонками – твердою (літосферою), рідкою (гідросферою) та газоподібною (атмосферою). Частину цих геологічних оболонок Землі, населену живими організмами, називають біосферою. Учення про біосферу створив В.І. Вернадський.

Усю сукупність організмів на планеті Земля В.І. Вернадський називав живою речовиною. Основними її характеристиками є сумарна біомаса, хімічний склад та енергія. Жива речовина виконує різноманітні функції, які забезпечують існування біосфери як цілісної системи: газову, окисно-відновну, концентраційну. Здійснення функцій живої речовини пов'язано з міграцією атомів і молекул у процесі колообігу речовин, тобто біогеохімічних циклів.

Живі організми беруть активну участь у перетворенні оболонок нашої планети: утворенні осадових порід, ґрунту, формуванні атмосфери, змінюючи оболонки Землі.

тощо) та потрапляють назовні під час видиху, із потом, сечею, екскрементами та ін. Білки та інші органічні сполуки Нітрогену надходять у довкілля з рештками організмів. Їх розкладають редуценти.

### Яка роль організмів у перетворенні оболонок Землі?

Живі організми беруть участь в утворенні осадових порід, ґрунту, формуванні атмосфери, змінюючи оболонки Землі.

Осадові породи виникають на дні водойм унаслідок на шарування різних нерозчинних речовин, значна частина яких має біогенне походження. З решток істот, які накопичують у своїх скелетах, черепашках, панцирах карбонати, фосфати, силіцій(II) оксид, утворюються різноманітні осадові породи (вапняк, крейда, кремнезем, радіолярити, діатоміти), які часто сягають значної товщини. У накопиченні кремнеземних осадових порід ( $\text{SiO}_2$ ) беруть участь одноклітинні еукаріоти – радіолярії та діатомові водорості. Так, радіолярити (осадові породи, утворені переважно зі скелетів радіолярій) представлені кременястими глинами, родовищами напівкоштовних каменів (яшми, халцедону). Поклади фосфоритів та апатитів (солі ортофосфатної кислоти, що їх застосовують як мінеральні добрива та сировину для промисловості) утворені залишками особливих вимерлих груп морських тварин, які мали черепашки із кальцій ортофосфату.

Кам'яне (викопні вищі спорові) та буре (викопні голонасінні) вугілля і торф (мохи) утворилися за особливих умов з відмерлих решток рослин. Поклади залізної руди – це здебільшого наслідки діяльності хемотрофних залізобактерій. Є гіпотези біогенного походження нафти, природного газу, горючих сланців тощо.

Організми беруть участь і у вивітрюванні (руйнуванні) гірських порід. Наприклад, лишайники, оселяючись на скелях, виділяють органічні кислоти, які руйнують гірські породи. Цим процесам сприяють і гіфи грибів, що проникають у тріщини скельних порід.

Організми забезпечують основні ґрунтоутворювальні процеси: розкладання органічної речовини до мінеральних сполук, утворення гумусу та його розпад тощо. Унаслідок цього мінеральні елементи літосфери включаються в біогенну частину колообігу речовин.

Завдяки життєдіяльності організмів підтримується *газовий склад атмосфери*. Так, атмосферний кисень має фотосинтетичне походження. Рослинність Землі щорічно поглинає близько  $1,7-10^8$  тонн вуглекислого газу і виділяє близько  $1,2-10^8$  тонн кисню, який використовують у процесі дихання всі аеробні організми.

### Ключові терміни та поняття:

біосфера, жива речовина біосфери.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке біосфера і які її межі? 2. Які основні характеристики живої речовини Землі? 3. Які біогеохімічні функції живої речовини? Що таке біогеохімічні цикли? 4. Яка роль живих організмів у перетворенні оболонок Землі?

### Поміркуйте

Обґрунтуйте, чому біосфера не становить окремої оболонки Землі.





Мал. 293. Меганоліс (м. Київ)



Мал. 294. Ярусна ерозія ґрунту: виникнення та збільшення розмірів ярів, що робить землі непридатними для сільськогосподарського використання



Мал. 295. Вирубування лісів у Карпатах загрожує стати екологічною катастрофою

## §53. ЗАХИСТ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОСФЕРИ, ОСНОВНІ ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Пригадайте основні форми господарської діяльності людини.

**У чому полягає сучасна екологічна криза?** Людина на певному етапі розвитку цивілізації та техніки почала активно перетворювати природу, а її вплив на довкілля збільшувався з кожним сторіччям, доки не став провідним екологічним фактором – *антропогенним*. Перелік екологічних проблем, породжених діяльністю людини, досить великий – зростання народонаселення, нестача продовольства, енергії, прісної води, забруднення навколишнього середовища тощо. Вони поставили людство на межу всеосяжної біосферної кризи.

**Зростання чисельності населення.** За підрахунками вчених, у VII тисячолітті до нашої ери населення Землі налічувало не більше ніж 10 млн, на початку нашої ери – близько 300 млн, у середині XVII ст. – близько 700 млн, за XX ст. зросло майже вчетверо, 2016 р. воно становило майже 7,4 млрд, а у 2030 р. може сягнути 9 млрд. Лише за останні 50 років населення нашої планети збільшилося вдвічі, що змушує говорити про справжній *демографічний вибух*, наслідки якого можуть бути непередбачуваними.

Зростання населення Землі та розвиток промисловості супроводжуються інтенсивною розбудовою міських поселень (*урбанізація*), зокрема появою велетенських міст – *меганолісів* (мал. 293). Нині в містах проживає понад 40 % населення, хоча вони займають не більше як 0,5 % площі нашої планети. Міста та їхні околиці є прикладом антропогенно зміненого природного середовища: майже повне знищення природних екосистем, високий рівень забруднення промисловими та побутовими відходами, інтенсивний рух транспорту тощо. У містах унаслідок скупчення населення постійно існує високий ступінь ризику розвитку епідемій грипу, СНІДу, холери, черевного тифу (сальмонельоз), туберкульозу тощо, зараження паразитичними червами, кліщами, комахами.

**Забезпечення населення Землі продуктами харчування** потребує щорічного збільшення площі орних земель. Але вплив знарядь і способів обробітку, вирубування лісів, які захищають ґрунти від дії вітрів і підземні води, та інші фактори спричиняють їхню ерозію. **Ерозія ґрунтів** – це зменшення товщі їхнього верхнього, найродючішого, шару в результаті знесення вітром, водою або внаслідок утворення ярів (мал. 294). Через ерозію та інші явища (засолювання тощо) запаси родючих ґрунтів щорічно зменшуються на 24 млн т, а площа пустель лише за останні 20 років збільшилася на 100 млн га.

**Знищення лісів.** Протягом останніх 10 тисяч років під впливом діяльності людини площа лісів на нашій планеті скоротилася не менше ніж на третину (мал. 295). Нині фітоценози деревних рослин щорічно скорочуються на 17 млн гектарів насамперед за рахунок тропічних лісів, які відіграють провідну роль у підтриманні екологічної рівноваги на нашій планеті. Як відомо, зменшення площі лісів є однією з причин накопичення в атмосфері вуглекислого газу.

**Проблеми достатності енергоресурсів.** Проблема енергозабезпечення тісно пов'язана з екологічним станом планети: ефективне використання енергоресурсів дає змогу знизити не тільки собівартість виробництва, а й рівень видобутку корисних копалин і тим самим зменшити рівень забрудненості довкілля. Зокрема, збільшення споживання електроенергії потребує будівництва нових електростанцій, серед яких і атомні (АЕС). Експлуатація АЕС, які діють у понад 30 країнах світу, пов'язана з вирішенням проблем їхньої безаварійної роботи, забруднення радіонуклідами довкілля, ізоляції (поховання) відпрацьованого палива тощо.

Не виключена і можливість аварій на АЕС, унаслідок яких великі території стають непридатними для проживання та господарського використання. Такі аварії були на АЕС у Три Майл Айленд (США), ядерному заводі на Уралі поблизу Єкатеринбурга, у квітні 1986 р. на Чорнобильській АЕС, у березні 2011 р. у Японії на АЕС «Фукусіма-1» (мал. 296).

**Кліматичні зміни.** Діяльність людини є однією з причин змін клімату Землі. Зокрема, інтенсивний розвиток промисловості та енергетичного комплексу збільшує концентрацію вуглекислого газу в атмосфері, що в свою чергу спричиняє так званий *тепличний*, або *парниковий*, ефект (мал. 297): за останні двісті років уміст  $\text{CO}_2$  збільшився на 25 %, а температура біля поверхні Землі зросла на 0,5 °С.

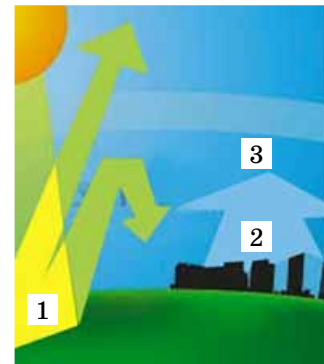
**Вплив діяльності людини на стан атмосфери.** Забруднення атмосфери спричиняють викиди шкідливих для здоров'я людини та інших організмів відходів промислових підприємств, вихлопних газів автомобільного транспорту ( $\text{H}_2\text{S}$  та  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  та  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ , важких металів тощо). Підприємства будівельної і вугільної промисловості (цементні та гіпсові заводи, відкриті вугільні кар'єри тощо) є джерелами забруднення атмосфери пилом. Особливу небезпеку для довкілля становлять *кислотні дощі*, спричинені забрудненням атмосфери  $\text{H}_2\text{S}$  та  $\text{NO}_2$ . Сполучаючись із молекулами води, вони утворюють сильні неорганічні кислоти – сульфатну  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та нітратну  $\text{HNO}_3$ . Кислотні дощі призводять до тяжких наслідків: гинуть екосистеми лісів та прісних водойм (мал. 298).

Іншою небезпекою для здоров'я людини може стати послаблення озонового екрана. Це відбувається внаслідок потрапляння в атмосферу хлорфторвуглецевих сполук, які використовують в охолоджувальних агрегатах, кондиціонерах, аерозольних балончиках – розпилювачах лаків, фарб, парфумів тощо.

**Вплив діяльності людини на гідросферу.** Діяльність людини негативно впливає на водні екосистеми. Це, зокрема, забруднення промисловими та побутовими відходами, пестицидами й добривами, які змиваються з полів, зведення гідротехнічних споруд, осушення, витік нафтопродуктів тощо (мал. 299). Погіршення санітарного стану водойм, а також виснаження водних ресурсів (насамперед прісних водойм і ґрунтових вод) загострює проблему питної води. Навіть очищені стічні води варто лише обмежено використовувати для потреб промисловості, енергетики, зрошування орних земель тощо.



Мал. 296. Пожежа на АЕС «Фукусіма-1»



Мал. 297. Схема тепличного ефекту: 1 – тепло, яке надходить із сонячними променями, відбивається від поверхні Землі; 2 – робота промисловості та транспорту забезпечує збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері, що заважає відтоку тепла у верхні шари атмосфери (3), унаслідок чого зростає температура біля поверхні Землі



Мал. 298. Наслідки кислотних дощів





Мал. 299. Забруднення води нафтою

**Запам'ятаємо:** **ноосфера** – це якісно нова форма організації біосфери, яка формується внаслідок її взаємодії із людським суспільством, коли буде досягнуте гармонійне співіснування природи та людини.



1



2



3

Мал. 300. Приклади використання альтернативних джерел енергії:  
1 – заряджання сучасного електромобіля; 2 – сонячні батареї;  
3 – вітрові електростанції

**Зникнення видів.** Інтенсивний вплив людини на природні біогеоценози спричинює вимирання певних видів тварин і рослин унаслідок прямого винищення, руйнування місць їхнього існування, забруднення довкілля тощо. За підрахунками вчених, за останнє тисячоліття з нашої планети зникло понад 130 видів та підвидів ссавців, близько 260 видів і підвидів птахів, а кількість зниклих видів безхребетних тварин, рослин і грибів взагалі важко підрахувати.

**Сучасний стан природних ресурсів України.** Унаслідок інтенсивної господарської діяльності людини, особливо з другої половини ХІХ ст., природні ландшафти України дуже змінилися. Спотворено середовища життя диких видів тварин і рослин. Нині площа, охоплена природними угрупованнями, становить лише 29 % території країни. Зокрема, лісові масиви скоротилися до 14,3 % порівняно із 28 % у 1850 р. та 45 % на межі I та II тисячоліть. Майже повністю знищено цілинний степ, змінено гідрологічний режим багатьох територій через побудову гребель, водосховищ, осушення боліт Полісся та обводнення територій степової зони. Зокрема, унаслідок створення каскаду «штучних морів» у Дніпрі практично зникли осетрові риби через перекриття їм доступу із Чорного моря на нерест (осетер, білуга тощо). Надмірне антропогенне забруднення значних територій природних екосистем хімічними сполуками, радіонуклідами створює загрозу генофонду багатого й різноманітного тваринного та рослинного світу України.

В Україні зменшується чисельність видів ссавців – об'єктів полювання (лося, козулі та ін.). Знижується промисел риби у водоймах.

**Які є шляхи подолання екологічної кризи?** Розвиток природничих наук зумовив розуміння того, що людина повинна підпорядковуватися законам природи як її складова частина, а не намагатися їх змінити (*ойкуменічний світогляд*). В.І. Вернадський ще в першій половині ХХ ст. передбачав, що біосфера переходить у новий стан – ноосферу – під впливом наукової думки й людської праці.

До вирішення будь-яких проблем людина повинна підходити з позицій *екологічного мислення*, тобто підпорядкування повсякденної практичної діяльності людини законам природи та вимогам охорони природного середовища.

**Альтернативні джерела енергії** – це поновлювані джерела, до яких відносять енергію сонячного випромінювання, вітру, морів, річок, біомаси, теплоти Землі, та вторинні енергетичні ресурси, які існують постійно або виникають періодично в довкіллі (мал. 300).

Важливе використання нових джерел енергії, зокрема біопалива. **Біопаливо** – це паливо з рослинної або тваринної сировини, продуктів життєдіяльності організмів або органічних промислових відходів. На відміну від інших природних енергетичних ресурсів (нафта, вугілля, ядерне паливо), біопаливо – поновлюване джерело енергії; його повністю розкладають мікроорганізми і тому воно безпечне для навколишнього середовища.

**Охорона природи** – це прикладна галузь знання про збереження стану біосфери, для якої екологія слугує теоретичною базою. Лише з розвитком екології людство



поступово почало розуміти значення дослідження взаємозв'язків між організмами та їхнім довкіллям, виявлення закономірностей, які керують функціонуванням біосфери. Адже навіть незначний вплив людини на навколишнє середовище спричиняє ланцюгову реакцію, здатну призвести до непередбачених наслідків у глобальному масштабі. Щоб уникнути глобальної екологічної кризи, потрібні об'єднані зусилля всіх країн у справі охорони природного середовища.

**Які основні напрями збереження різноманітності організмів?** Збереження та поліпшення стану біосфери неможливе без збереження біологічного різноманіття (біорізноманіття) організмів, які населяють нашу планету. Для збереження видового різноманіття багато країн світу (серед яких і Україна) приєдналися до розробленої МСОП *Всесвітньої стратегії охорони природи*.

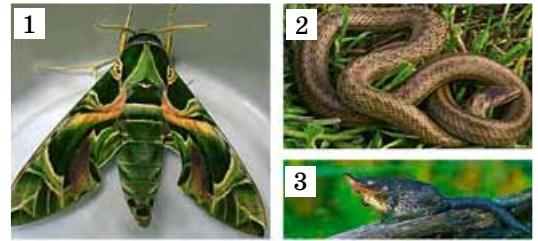
Розуміння необхідності ретельного обліку рідкісних і зникаючих видів організмів зумовило створення 1948 р. при МСОП постійної Комісії з видів рослин і тварин, яким загрожує зникнення. Результатом роботи комісії стало створення *Міжнародної Червоної книги*, окремі випуски якої почали видавати з 1966 р. Водночас провадять роботу зі складання так званих *Чорних списків* видів, які зникли з лиця Землі починаючи з 1600 р. Підставою для введення певного виду до Чорного списку є відсутність достовірних його знахідок принаймні протягом останніх 50 років. Створюються списки видів, які потребують охорони на теренах окремих держав, та національні Червоні книги.

*Червона книга України* – це державний документ про сучасний стан видів тварин і рослин, які перебувають під загрозою зникнення, та про заходи щодо їхнього збереження та науково обґрунтованого відтворення. До неї заносять види тварин і рослин, які постійно чи тимчасово (наприклад, перелітні птахи) мешкають у природних умовах на території України або в межах її територіальних вод. Для кожного із занесених до Червоної книги України видів наведено дані про їхнє поширення, особливості будови, функціонування, життєвий цикл, чисельність у природі, вжиті або ті, що плануються, заходи щодо охорони тощо. Нині до Червоної книги України занесено 826 видів рослин і грибів та 542 види тварин (мал. 301, 302, форзаці).

Фахівці України вперше у світі розробили *Зелену книгу*, до якої заносять рідкісні й типові для певної місцевості рослинні угруповання, що потребують встановлення особливого режиму їх використання.

Види, занесені до Червоної книги, охороняють і відновлюють зокрема на різноманітних природоохоронних територіях. Відтворення та використання цих територій, які є національним надбанням, здійснюються згідно із *Законом України «Про природнозаповідний фонд» (1992)*.

*Біосферні заповідники* (Асканія-Нова, Карпатський, Чорноморський, Дунайський) мають міжнародне значення і створені з метою збереження у природному стані найтипівіших природних комплексів біосфери та проведення екологічного моніторингу. У біосферних заповідниках здійснюють міжнародні наукові та природоохоронні програми.



Мал. 301. Тварини Червоної книги: 1 – бражник олеандровий; 2 – мідянка; 3 – хохуля звичайна; 4 – рись звичайна; 5 – дельфін білобocca; 6 – лелека чорний; 7 – сорокопуд сірий; 8 – саламандра плямиста; 9 – пелікан кучерявий





Мал. 302. Рослини Червоної книги: 1 – зозулинець салепів; 2 – підсніжник білосніжний; 3 – пізньоцвіт осінній; 4 – зозулині черевички; 5 – тюльпан двоквітковий; 6 – горицвіт весняний; 7 – лілія лісова; 8 – анемона дібровна; 9 – сон-трава; 10 – пальчатокорінник травневий

## Цікаво знати

В Україні створено такі національні природні парки: Азово-Сиваський, «Білобережжя Святослава», Білоозерський, «Бузький Гард», «Великий Луг», Верховинський, Вижницький, Галицький, Гетьманський, Голосіївський, «Гомільшанські ліси», «Гуцульщина», Дворічанський, Дермансько-Острозький, Деснянсько-Старогутський, Джарилгацький, «Залісся», Ічнянський, «Кармелюкове Поділля», Карпатський, «Кременецькі гори», Мезинський, Нижньосулський, Пирятинський, «Північне Поділля», «Подільські Товтри», «Прип'ять Стохід», «Приазовський», «Святі гори», «Синевир» і «Синьогора», «Сіверсько-Донецький», «Сколівські Beskidi», Слобожанський, «Тузлівські лимани», Ужанський, Хотинський, «Чарівна гавань», Черемоський, Шацький, Яворівський.

**Природні заповідники** – це природоохоронні науководослідні установи загальнодержавного значення, які створюють з метою збереження у природному стані типових для даної місцевості або унікальних природних комплексів, вивчення природних процесів і явищ, що в них відбуваються, розробки наукових засад охорони природи. На території України природні заповідники розміщені в усіх природних зонах. Так, у зоні мішаних лісів розташовані Древлянський, Поліський, Рівненський, Черемоський; лісостеповий – Канівський, «Розточчя», «Медобори», «Михайлівська цілина»; степовий – Луганський, Український степовий, Дніпровсько-Орільський, «Сланецький степ», Опукський; у Криму – Казантипський, Карадазький, Кримський, Ялтинський гірськолісовий, «Мис Март'ян»; в Українських Карпатах – «Горгани».

**Національні природні парки** – природоохоронні, науководослідні та культурно-просвітні установи, покликані зберігати цінні природні, а також історико-культурні комплекси та об'єкти. На їхній території за умов дотримання заповідного режиму дозволено організований туризм і певні форми відпочинку.

**Регіональні ландшафтні (пейзажні) парки** – природоохоронні заклади місцевого або регіонального значення, покликані виконувати ті самі завдання, що й національні природні парки.

**Заказники** – природні території, створені з метою збереження і відтворення певних природних комплексів або окремих видів організмів. Наукова та деякі види господарської і культурно-просвітньої діяльності дозволені на їхній території з дотриманням вимог охорони навколишнього природного середовища.

*Пам'ятки природи* – окремі унікальні природні утворення, які мають природоохоронне, наукове, естетичне або пізнавальне значення.

Особливе місце у здійсненні природоохоронних заходів посідають *ботанічні сади та зоологічні парки*, які створюють з метою вивчення, збереження, акліматизації та ефективного господарського використання рідкісних й інших видів місцевої та світової фауни й флори. Вони здійснюють і просвітницьку діяльність.

### Ключові терміни та поняття:

ерозія ґрунтів, кислотні дощі, ноосфера, екологічне мислення, Червона книга, Зелена книга.

### Перевірте здобуті знання

1. У чому причини сучасної екологічної кризи? 2. Чим небезпечно стрімке зростання чисельності народонаселення Землі? 3. Які наслідки урбанізації для біосфери та здоров'я людини? 4. Які причини ерозії та засолення ґрунтів? 5. Яку екологічну небезпеку становлять АЕС? 6. Як учені розуміють поняття «ноосфера» та «екологічне мислення»? 7. У чому полягають основні принципи раціонального природокористування? 8. Які ви знаєте альтернативні джерела енергії? 9. Які основні напрями охорони природи?

### Поміркуйте

1. Як ви оцінюєте сучасну екологічну ситуацію в Україні? 2. Які відмінності в природоохоронному статусі є між такими категоріями природоохоронних територій, як біосферні заповідники; природні заповідники; національні природні парки; регіональні ландшафтні (пейзажні) парки; заказники; пам'ятки природи.

## Коротко про головне

Стрімкий ріст народонаселення нашої планети та активна господарська діяльність людини здатні спричинити глобальну екологічну кризу. Перелік екологічних проблем, породжених діяльністю людини, досить великий – зростання народонаселення, нестача продовольства, енергії, прісної води, забруднення навколишнього середовища тощо.

До вирішення будь-яких проблем людина повинна підходити з позицій екологічного мислення, тобто підпорядкування повсякденної практичної діяльності людини законам природи та вимогам охорони навколишнього природного середовища.

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

- Зазначте, як називають усі можливі типи співіснування організмів різних видів в екосистемі: а) паразитизм; б) мутуалізм; в) коменсалізм; г) симбіоз.
- Укажіть, чим визначаються межі певного біогеоценозу: а) межами певного тваринного угруповання; б) межами певного рослинного угруповання; в) довільно; г) чітких меж не існує.
- Визначте, як називають тип симбіозу, за якого організми різних видів отримують взаємну користь: а) паразитизм; б) коменсалізм; в) мутуалізм; г) конкуренція.
- Зазначте, як називають просторове та трофічне положення популяції певного виду в екосистемі: а) місцеперебування; б) трофічний рівень; в) симбіоз; г) екологічна ніша.
- Зазначте, що таке ноосфера: а) розумова оболонка Землі; б) частина оболонок Землі, заселена живими істотами; в) новий стан біосфери, зумовлений розумовою діяльністю людини; г) сукупність усіх природоохоронних територій.
- Укажіть типи природоохоронних територій, які функціонують в Україні: а) лише заповідники; б) лише заказники; в) лише національні природні парки; г) заповідники, національні природні парки, заказники.
- Визначте, як називають фактори неживої природи: а) абіотичні; б) біотичні; в) антропогенні; г) антропічні.
- Укажіть, як називають угруповання організмів, штучно створені людиною з метою отримання сільськогосподарської продукції: а) екосистема; б) ботанічний сад; в) популяція; г) агроценоз.
- Визначте, що собою становить ерозія ґрунтів: а) відкладення солей на поверхні ґрунту; б) зменшення товщі їх родючого шару; в) знищення корисних ґрунтових мешканців; г) вирубування лісів.
- Назвіть мету, з якою створено Зелену книгу: а) охорона окремих рідкісних видів; б) охорона окремих зникаючих видів; в) охорона рідкісних і типових тваринних угруповань; г) охорона рідкісних і типових рослинних угруповань.

*Утворіть логічні пари*

11. Установіть відповідність між видами екологічних факторів та прикладами, які їх ілюструють.

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>А</b> абіотичні    | <b>1</b> взаємодія хижак – здобич                |
| <b>Б</b> біотичні     | <b>2</b> підвищений уміст радіонуклідів у ґрунті |
| <b>В</b> антропогенні | <b>3</b> уміст газів у ґрунті                    |



12. Установіть відповідність між формами симбіозу та прикладами, що їх ілюструють.

- |                      |   |
|----------------------|---|
| <b>А</b> мутуалізм   | <b>1</b> співіснування уссурійського тигра та лісового kota                               |
| <b>Б</b> коменсалізм | <b>2</b> мешкання аскариди в кишечнику людини   |
| <b>В</b> паразитизм  | <b>3</b> оселення рачків морських жолудів на тілі китів                                   |
| <b>Г</b> нейтралізм  | <b>4</b> мешкання багатоджгутикових одноклітинних тварин у кишечнику тарганів та термітів |

13. Установіть відповідність між парами видів та відносинами, які між ними можуть виникати.

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <b>А</b> підосичник – осика            | <b>1</b> коменсал – хазяїн          |
| <b>Б</b> орхідеї – тропічні дерева     | <b>2</b> паразит – хазяїн           |
| <b>В</b> малярійний комар – людина     | <b>3</b> кровосисний вид – живитель |
| <b>Г</b> малярійний плазмодій – людина | <b>4</b> хижак – здобич             |
|  | <b>5</b> мутуалістичні відносини    |

14. Установіть відповідність між формами діяльності людини та їхніми наслідками:

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| <b>А</b> Викиди в атмосферу хлорфторвуглецевих сполук      | <b>1</b> Утворення озонових дірок |
| <b>Б</b> Нераціональне поливання ґрунтів                   | <b>2</b> Тепличний ефект          |
| <b>В</b> Інтенсивна діяльність промисловості та транспорту | <b>3</b> Ерозія ґрунтів           |
| <b>Г</b> Масове вирубування лісів                          | <b>4</b> Засолення ґрунтів        |

*Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей*

15. Визначте організми, що належать до тих чи інших екологічних груп.

Продуценти	Консументи	Редуценти
1 ціанобактерії	1 хлорела	1 бактерії-сапротрофи
2 кишкова паличка	2 хвощ польовий	2 пурпурні бактерії
3 чумна паличка	3 сарана перелітна	3 евгена зелена

*Запитання з відкритою відповіддю*

16. Які рівні організації живої матерії вивчає екологія? Які розділи екології вивчають ті чи інші рівні організації живої матерії?

17. Чому стабільність екосистем залежить від їхнього видового різноманіття? Відповідь обґрунтуйте.

18. Еволюція багатьох видів квіткових рослин і комах у складі екосистем відбувалася спільно. Які спільні пристосування в них виробилися і чим вони залежать одне від одного?

19. Чому слід охороняти не окремі рідкісні або зникаючі види, а цілісні – екосистеми, до складу яких вони входять? Відповідь обґрунтуйте.

20. Чому глобальну екологічну катастрофу можна відвернути лише спільними зусиллями урядів та громадськості різних країн? Відповідь обґрунтуйте.

21. Чому діяльність людини виділяють в окрему групу екологічних факторів?

22. На чому базується принцип єдності організмів і їх середовища життя?

23. Чому конкуренція між близькими в систематичному відношенні видами відбувається гостріше, ніж між віддаленими? Відповідь обґрунтуйте.

24. Темпи змін видового складу організмів на кинутому пшеничному полі із часом значно уповільнюються. Чим це можна пояснити?

25. У процесі змін видового складу організмів продуктивність екосистеми зростає. Чим це можна пояснити?

26. Чому біосферу не можна вважати окремою оболонкою Землі? Відповідь обґрунтуйте.

27. Чому два види з однаковими екологічними вимогами не можуть існувати в одній екосистемі? Відповідь обґрунтуйте.

28. Що має змінити у своєму ставленні до природи людина, щоб уникнути глобальної екологічної кризи?

29. Як людина впливає на колообіг речовин у біосфері?

30. Чому екосистеми не можуть існувати без продуцентів? Відповідь обґрунтуйте.

31. Який зв'язок існує між господарською діяльністю людини та змінами клімату Землі?



## ТЕМА 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- завдання сучасної селекції;
- основні напрями сучасної селекції рослин, тварин і мікроорганізмів;
- завдання та основні напрями сучасної біотехнології;
- роль генетичної інженерії в сучасних біотехнологіях і медицині;
- генетично-модифіковані організми та проблеми, які з ними пов'язані.

### §54. ЗАВДАННЯ СУЧАСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ

*Пригадайте* внесок Ч. Дарвіна в розвиток біології. Що таке чисті лінії, генофонд, гібридизація? Що таке аналізуюче схрещування? Для чого його застосовують? Яке схрещування називають спорідненим і неспорідненим? Що таке летальні та сублетальні алельні гени?

**Селекція** – наука про теоретичні основи та методи створення нових і поліпшення існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів, пристосованих до сучасних вимог сільського господарства та промисловості. Теоретичними основами селекції слугують результати генетичних досліджень і вчення про штучний добір. Для досягнення ефективних результатів селекціонер має бути добре обізнаним також з особливостями розмноження, індивідуального розвитку та процесів життєдіяльності видів, з якими він працює.

*Пригадаємо:* **породою тварин** або **сортом рослин** називають сукупність особин одного виду з певними спадковими ознаками (особливостями будови, процесів життєдіяльності, продуктивності тощо), створену людиною внаслідок штучного добору (мал. 303). **Штам** – це чиста культура (тобто нащадки однієї клітини) мікроорганізмів (мал. 304). Від однієї материнської клітини за допомогою селекції можна отримати різні штами, які відрізняються за продуктивністю, чутливістю до антибіотиків тощо.

Породи тварин, сорти рослин чи штами мікроорганізмів є своєрідними штучними популяціями. Без підтримки людини вони можуть вироджуватись – втрачати притаманні їм властивості.

Селекція відіграє значну роль у вирішенні основного завдання сільського господарства – забезпеченні максимального обсягу виробництва високоякісних харчових продуктів за мінімальних вкладених коштів і витрат енергоносіїв. У нашій країні селекційна робота зосереджена в науково-дослідних інститутах, племінних господарствах, на сортовипробувальних станціях тощо.

**Завдання:** з допомогою вчителя назвіть провідні наукові селекційні установи в Україні та охарактеризуйте основні напрями їхніх досліджень.



Мал. 303. Групи порід собак: знайдіть на малюнку вихідну форму – вовка, а також представників службових, мисливських і декоративних порід



Мал. 304. Штами мікроорганізмів вирощують на поживних середовищах, наприклад на агарі, який отримують із червоних водоростей; від складу поживного середовища часто залежить продуктивність того чи іншого штаму

**Запам'ятаємо:** **районування** – комплекс заходів, спрямованих на перевірку відповідності властивостей тих чи інших порід або сортів умовам певної кліматичної зони. Це необхідна умова раціонального використання порід і сортів у межах будь-якої країни.

### Цікаво знати

Формування порід і сортів почалося з приручення людиною диких видів тварин і вирощування диких видів рослин. Основою різноманіття певних порід і сортів є один або кілька видів диких предків. Наприклад, предком усіх порід свійської собаки (яких нараховують близько 500) вважають вовка (див. мал. 303), а свійського голуба (понад 750) – сизого голуба (припускають, що в утворенні деяких порід брав участь і скельний голуб; таким чином, у формуванні порід тих чи інших тварин могли брати участь різні види диких предків) (мал. 305).



1



2



3



4

Мал. 305. Приклади порід свійського голуба: 1 – кучерявий; 2 – миколаївська порода; 3 – кінг; 4 – німецький монах

Для успіху селекційної роботи дуже важливе генетичне різноманіття вихідного матеріалу. Тому вчені постійно шукають ознаки, що їх цікавлять, серед диких видів. Збільшенню різноманіття вихідного матеріалу сприяють використання для селекційної роботи плідників різного географічного походження, вплив різних факторів, зокрема мутагенних (у селекції рослин і мікроорганізмів).

Породи тварин і сорти рослин, які мають високу продуктивність в одних географічних зонах, не завжди придатні для використання в інших. Тому вчені всебічно досліджують властивості нових порід і сортів та перевіряють їх придатність для використання в певній кліматичній зоні, тобто здійснюють районування.

**Методи селекції.** Класичні методи селекції – це штучний добір і гібридизація.

### Цікаво знати

На початкових етапах створення культурних форм діяв *несвідомий добір*: надаючи переваги під час розмноження певним особинам, людина не ставила свідомо перед собою завдань вивести нові породи та сорти і не застосовувала різних систем схрещувань та типів штучного добору. Згодом починаючи з другої половини XVIII ст. несвідомий штучний добір було замінено *плановим (методичним)*. Він ґрунтується на підборі батьківських пар, застосуванні різних варіантів схрещування та плановому доборі серед отриманих нащадків за певними ознаками, що дає змогу створювати породи або сорти із заздалегідь запланованими властивостями.

**Штучний добір** – це відбір людиною найбільш цінних щодо господарських цілей тварин, рослин, мікроорганізмів для отримання від них нащадків з бажаними ознаками. Це найважливіший елемент будь-якої селекційної роботи, потрібний для збереження та подальшого вдосконалення досягнутих результатів.

Штучний добір здійснюють за кілька послідовних етапів. Серед багатьох тварин або рослин певного виду людина підмічає особин, які відрізняються від інших цікавими для неї варіантами ознак, і відбирає їх для подальшого розмноження. З покоління в покоління бажаний варіант ознаки проявляється дедалі більше, оскільки як плідників відбирають особин, у яких він виражений краще. Одночасно за допомогою гібридизації людина може поєднувати в нащадках різні корисні для неї ознаки батьківських форм. Штучний добір, зазвичай, приводить і до змін деяких інших ознак, а із часом – до помітної перебудови самого організму, тобто до створення нового сорту або породи (див. мал. 303).

Ознаки, які відбирає людина, не завжди виявляються корисними для самих організмів: створені породи чи сорти часто не здатні до самостійного існування і потребують постійної турботи з боку людини. Наприклад, важко собі уявити, як можуть врятуватися від хижаків у дикій природі півні певних порід з довгим хвостом (мал. 306) або особини м'ясних порід великої рогатої худоби, що мають масивне тіло та коротенькі ноги.



Застосовують масову та індивідуальну форми штучного добору. За *масового добору* з вихідного матеріалу відбирають особин з певними фенотиповими особливостями. Хоча масовий добір простий у застосуванні і дає непогані результати, але має низку недоліків. Групи ззовні подібних особин можуть виявитися генетично різнорідними (наприклад, особини гомозиготні за домінантними алелями та гетерозиготні можуть мати однаковий фенотип), що обов'язково вплине на ефективність добору. Так, у разі схрещування між собою гетерозиготних організмів у гібридів перших поколінь частка особин з бажаними для селекціонера станами ознак буде значною. Але в міру накопичення гомозиготних за рецесивним алелем нащадків ефективність добору в подальшому буде знижуватися.

За *індивідуального добору* кожного плідника обирають на підставі детального вивчення як його фенотипу, так і генотипу. Інформацію про генотип цих організмів можна отримати, вивчаючи родоводи за допомогою аналізуючих схрещувань тощо.

Ефективність селекції залежить не лише від форми штучного добору, а й від правильного вибору батьківських пар плідників і застосування відповідної системи схрещування організмів – **гібридизації**. Гібриди виникають унаслідок статевого процесу або шляхом об'єднання нестатевих клітин. Ядра гібридних клітин можуть зливатися (мал. 307) або ж залишаються відокремленими. За допомогою гібридизації у фенотипі нащадків поєднують бажані для практичного застосування стани ознак батьків і запобігають проявам негативних наслідків споріднених схрещувань.

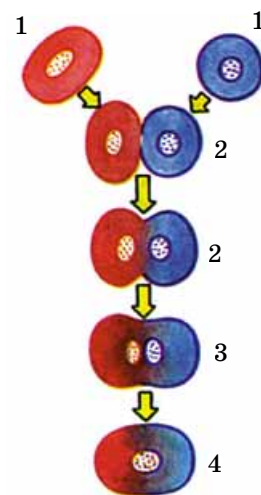
Гібридизація можлива між особинами одного (внутрішньовидова) та різних видів з одного чи двох родів (міжвидова, або віддалена) організмів. **Внутрішньовидова гібридизація** буває спорідненою і неспорідненою. Найтісніші форми спорідненої гібридизації, або **інбридингу**, спостерігають серед самозапильних рослин і гермафродитних самозапильних тварин. В організмів з перехресним заплідненням найбільш тісні форми спорідненого схрещування спостерігають у разі парування нащадків спільних батьків і батьків із власними нащадками. Унаслідок послідовних споріднених схрещувань з кожним наступним поколінням підвищується гомозиготність.

Біологічним результатом спорідненого схрещування є ослаблення або навіть виродження нащадків унаслідок фенотипового прояву летальних чи сублетальних рецесивних алелів, які переходять у гомозиготний стан. Отже, тісний інбридинг часто призводить до появи організмів з різноманітними спадковими аномаліями. У селекції споріднене схрещування застосовують для отримання **чистих ліній**: інбридинг дає можливість отримати цінні ознаки в гомозиготному стані та закріпити їх серед нащадків. З одного боку, отримання чистих ліній організмів з бажаними властивостями може бути кінцевим результатом селекційної роботи. З іншого боку, чисті лінії можуть бути використані для подальшої гібридизації (*пригадайте* досліди Г. Менделя) та наступного добору.

**Неспоріднене схрещування**, або **аутбридинг**, – гібридизація представників різних ліній, сортів чи порід одного виду. *Пригадайте*: неспорідненими вважають особин,



Мал. 306. Півні породи Фенікс мають довгий хвіст, який за рік може відростати на 90 см



Мал. 307. Гібридизація соматичних клітин: 1 – батьківські клітини; 2 – початкові етапи злиття цитоплазми; 3 – утворення єдиної клітини з двома ядрами; 4 – злиття ядер гібридної клітини



Мал. 308. Бройлер Редбро: маса курей сягає 4 кг, півнів – 7 кг; кури починають нести яйця з 4-місячного віку, за рік одна курка відкладає до 300 яєць

**Запам'ятаємо:** **гетерозис** – явище, коли перше покоління гібридів, отриманих унаслідок неспорідненого схрещування, має підвищені життєздатність і продуктивність порівняно з батьками.

у яких спільних предків не було принаймні протягом попередніх шести поколінь. Неспоріднене схрещування здійснюють, щоб поєднати в нащадках цінні властивості, притаманні різним лініям, породам чи сортам. За своїми генетичними наслідками аутбридинг прямо протилежний інбридингу: за неспорідненого схрещування з кожним наступним поколінням підвищується гетерозиготність нащадків. У нащадків, отриманих унаслідок неспорідненого схрещування, часто спостерігають явище гібридної сили, або **гетерозису**.

У гетерозисних особин сублетальні й летальні рецесивні алелі переходять у гетерозиготний стан, завдяки чому їхній несприятливий вплив не проявляється у фенотипі. До того ж у генотипі гібридних особин можуть поєднуватися сприятливі домінуючі алелі, які були в різному наборі в обох батьків (*пригадайте*: для прояву у фенотипі певного варіанта ознаки іноді необхідна взаємодія домінуючих алелів двох або більшого числа неалельних генів).

Прикладом явища гетерозису є **бройлери** – скоростиглі гібриди свійських тварин (курей, качок, кролів тощо), отримані схрещуванням між собою представників різних порід (мал. 308).

Гетерозис найчіткіше проявляється в першому поколінні гібридів, а в наступних поколіннях унаслідок розщеплення ознак і переходу частини генів у гомозиготний стан ефект гібридної сили слабшає й до восьмого покоління сходить нанівець. У рослин гетерозисні зміни фенотипу передаються нащадкам під час вегетативного та партеногенетичного розмноження.

Явище гетерозису широко застосовують у сільському господарстві, оскільки воно дає змогу значно підвищити продуктивність кукурудзи (до 20–25 %), цибулі, помідорів, огірків, баклажанів, цукрового буряку тощо. У тваринництві схрещування представників різних порід прискорює ріст і статеве дозрівання, поліпшує якість м'яса, молока тощо. При схрещуванні несучих порід курей між собою (наприклад, леггорнів з австралорнами) продуктивність гібридів зростає на 20–25 яєць на рік.

**Віддалену гібридизацію** – схрещування представників різних видів – здійснюють для отримання високопродуктивних гібридів. За допомогою віддаленої гібридизації створено гібриди пшениці та пирію (мал. 309, 1), що вирізняються високою продуктивністю (до 300–450 ц/га зеленої маси) та стійкістю до полягання, пшениці з житом, китайської цукрової тростини з дикими видами, що дало



Мал. 309. Приклади міжвидових гібридів у тварин і рослин: 1 – гібрид пшениці та пирію; 2 – мул – гібрид самки коня і самця віслюка; 3 – бістер – гібрид, отриманий методом віддаленої гібридизації: сягає завдовжки до 170 см, маса тіла – до 30 кг. Цей міжвидовий гібрид виявився плодючим: самки відкладають до 300 тис. ікринок

Селекція – наука про теоретичні основи та методи створення нових і поліпшення існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів, пристосованих до сучасних вимог сільського господарства та промисловості. Теоретичними основами селекції слугують результати генетичних досліджень і вчення про штучний добір.

Штучний добір – це відбір людиною найбільш цінних щодо господарських цілей тварин, рослин, мікроорганізмів для отримання від них нащадків з бажаними ознаками. Штучний добір буває масовим та індивідуальним.

У селекції застосовують різні форми гібридизації: внутрішньовидову (яка може бути спорідненою та неспорідненою) та міжвидову (яку ще називають віддаленою). Наслідком неспорідненої або віддаленої гібридизації може бути явище гібридної сили – гетерозис.

змогу підвищити цукристість. Відомі міжвидові гібриди й серед плодкових культур (малини та ожини, сливи та терену, горобини та сибірського глоду тощо). У тваринництві також виведено значну кількість міжвидових гібридів. Гібриди кобили й віслюка (мули; мал. 309, 2) чи одногогорбого й двогогорбого верблюдів вирізняються значною силою, витривалістю і довголіттям. Гібрид білуги та стерляді (бістер) характеризується швидким ростом і високими смаковими якостями (мал. 309, 3). Але селекціонери часто стикаються з проблемою безпліддя міжвидових гібридів, гамети яких зазвичай не дозрівають. Так, мули не здатні до розмноження; у гібрида яка (жуйної тварини, що походить з Тибету) і великої рогатої худоби самці безплідні, а самки – плодючі.

### Ключові терміни та поняття:

сорт, порода, штам, селекція, штучний добір, гібридизація, гетерозис.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке селекція? Які завдання сучасної селекції? 2. Що таке районування? Для чого його здійснюють? 3. Що таке штучний добір? Хто автор теорії штучного добору? 4. Від чого залежить ефективність штучного добору? 5. Що таке гібридизація? 6. Що таке споріднене та неспоріднене схрещування і які їхні наслідки? 7. Що таке віддалена гібридизація? Для чого її застосовують? 8. Чому міжвидові гібриди часто безплідні?

### Поміркуйте

1. Що спільного та відмінного в механізмах дії штучного та природного добору? 2. Чому для обґрунтування своєї концепції природного добору Ч. Дарвін звертався до практики сільського господарства?

## **§55. ОСОБЛИВОСТІ СЕЛЕКЦІЇ ТВАРИН, РОСЛИН ТА МІКРООРГАНІЗМІВ**

*Пригадайте:* що таке поліплоїдія. Як вона впливає на фенотип організмів? Що таке щеплення в рослин?

Археологічні та палеонтологічні дослідження дали змогу з'ясувати, що перші вдалі спроби введення в культуру рослин і приручення тварин було здійснено 20–30 тис. років тому. Вважають, що головними вихідними центрами зародження сільського господарства були п'ять регіонів світу: Південно-Східна Азія (Близький Схід – долини річок Тигру та Євфрату – найстародавніший регіон виробництва продуктів харчування, де було окультурено найбільшу кількість рослин і тварин); Китай (долини річок Янцзи та Хуанхе); Центральна Америка (територія сучасної Мексики та прилеглі до неї регіони Центральної Америки); Південна Америка (південноамериканські Анди); схід Північної Америки. Більшість цих регіонів відрізнялись найбільшим розмаїттям диких рослин і тварин, придатних для використання у сільському господарстві.

**Особливості селекції рослин.** *Центри походження і різноманітності культурних рослин* дослідив М.І. Вавилов (мал. 310). Під його керівництвом у 20–30-х роках ХХ ст. було організовано численні експедиції в різні куточки нашої планети. Вони встановили, що для кожного з видів культурних рослин існує свій центр різноманіт-



Мал. 310. Микола Іванович Вавилов (1887–1943) – всесвітньо відомий генетик і селекціонер



## Цікаво знати



Завдяки експедиціям М.І. Вавилова було створено унікальну колекцію насіння приблизно 1600 видів рослин, яку використовували для селекційної роботи. Родинні зв'язки культурних рослин і диких видів встановлюють на підставі аналізу особливостей каріотипів та інших ознак, насамперед завдяки молекулярно-генетичним, біохімічним та фізіологічним дослідженням тощо.



Мал. 311. Тюльпан Шренка – один з найгарніших видів тюльпанів. В Україні трапляється в південно-східних регіонах, найчисленніший на території Криму. Занесений до Червоної книги України

ності, де виявлено найбільшу кількість їхніх сортів і форм. Учений зробив висновок: центри різноманітності культурних рослин є водночас районами їхнього походження (таблиця 8).

Культурні рослини належать до більш ніж 25 тис. видів. Учені вважають, що одними з перших ввели в культуру кукурудзу, гарбуз, кокосову пальму, цибулю, горох посівний, ячмінь, пшеницю, рис. Диких предків деяких культурних рослин у природі не знайдено (наприклад, цибулі городньої), інші – дотепер поширені в природних екосистемах (наприклад, дикі капуста та морква). Деякі культурні рослини було виведено за допомогою віддаленої гібридизації (наприклад, ріпак – гібрид, отриманий унаслідок схрещування капусти і свиріпи).

Хоча землеробство на території України розвивається понад 5 тисячоліть, всі культурні рослини, які вирощують у нас, походять з інших країн. Утім, багато їхніх сортів виведено саме в нас. Єдиний вид на сучасних теренах України, одомашнений татарами за часів Кримського ханства, – це характерний для степової зони тюльпан Шренка (мал. 311). Через Туреччину він потрапив до Європи, і з кінця XVI ст. лідером із селекції декоративних сортів тюльпана поступово стають Нідерланди.

В Україні функціонує багато центрів селекції рослин. Один з найвідоміших у світі – це Миронівський інститут пшениці (Київська область), який тривалий час очолював видатний український селекціонер академік В.М. Ремесло (мал. 312). Тепер цей інститут носить його ім'я.

У селекції рослин є можливість використовувати різні форми штучного добору (як масовий, так і індивідуальний). Для підвищення різноманітності вихідного матеріалу для

Таблиця 8

### Центри різноманітності та походження культурних рослин, за М.І. Вавиловим (не для запам'ятовування)

Назва центру	Де розташований	Які види походять
Південно-азійський тропічний	Індія, Індокитай, Південний Китай, острови Південно-Східної Азії	Огірки, кілька видів цитрусових і бананів, рис, цукрова тростина
Східноазійський	Центральний і Східний Китай, Японія, Корея, Тайвань	Соя, гречка, редька, яблуня, груша, слива, шовковиця, кілька видів проса
Південно-західно-азійський	Мала і Середня Азія, Кавказ, Іран, Афганістан, Північно-Західна Індія	Горох посівний, сочевиця, морква, цибуля ріпчаста, бавовник, льон, виноград, абрикос, мигдаль, волоський горіх, кілька видів м'якої пшениці, жита, ячменю та вівса
Середземноморський	Узбережжя Середземного моря	Цукровий буряк, капуста, олива, конюшина, люпин
Абіссінський	Абіссінське нагір'я, південь Аравійського півострова	Тверда пшениця, зернове сорго, особливий вид бананів, кавове дерево
Центральноамериканський	Південна Мексика та острови Карибського моря	Кукурудза, червоний перець, гарбуз, тютюн, какао, довговолокнутий бавовник, соняшник
Південноамериканський (Андійський)	Частина Анд уздовж узбережжя Південної Америки	Картопля, помідори, арахіс, ананас, хінне дерево

селекції рослин застосовують різні форми гібридизації спільно з використанням штучних мутагенів. Міжвидові гібриди рослин часто безплідні, проте їх розмножують вегетативно або долають безпліддя, подвоюючи число хромосом гібридів. Створено поліплоїдні високопродуктивні сорти різних культурних рослин: картоплі, садових суниць, цукрового буряку, гречки, льону, кавуна, м'якої пшениці, жита, кукурудзи, проса тощо.

Широко в селекції рослин використовують **щеплення** (мал. 313) – особливий спосіб штучного об'єднання частин різних особин. Частину рослини, яку прищеплюють, називають **прищепою**, а рослину, до якої прищеплюють, – **підщепою**.

Щеплення відрізняється від справжньої гібридизації тим, що приводить лише до неспадкових змін фенотипу прищепленої особини, не змінюючи генотипи таких рослин. Щеплення здійснюють для підсилення бажаних змін фенотипу, поєднуючи властивості прищепи й підщепи та поширюючи їх на весь новостворений організм. Наприклад, прищеплення до зимостійкої дички живців від південних високопродуктивних сортів плодкових культур забезпечує поєднання високих смакових якостей прищепи з холодостійкістю підщепи.

**Особливості селекції тварин.** Райони одомашнювання і походження порід **свійських тварин** зазвичай пов'язані з давніми центрами землеробства (див. табл. 9), але точно встановити ці місця складніше, ніж культурних рослин. Це пояснюють здатністю тварин до активного пересування та зміною ареалів протягом історичного розвитку. У свійських тварин відбулися значні зміни в будові, життєвих функціях, індивідуальному розвитку, поведінці. Тому більшість з них не здатна існувати без підтримання людиною.

Таблиця 9

### Предки деяких свійських тварин

Свійські тварини	Їхні предки
Собака свійський	Вовк
Кіт свійський	Кіт лісовий
Вівця	Муфлон
Кінь	Тарпан
Велика рогата худоба	Дикий бик – тур
Свиня свійська	Дикий кабан
Кури свійські	Дикі банківські кури
Качка свійська	Дика качка-крижень
Гуси свійські	Гуска сіра
Індичка свійська	Дика американська індичка
Короп	Сазан

Одного з перших, 10–15 тис. років тому, у декількох районах Євразії одомашнено собаку свійського, якого спочатку використовували для захисту і як помічника в



Мал. 312. Василь Миколайович Ремесло (1907–1983). Під його керівництвом створено 20 сортів пшениці, які вирощують у багатьох країнах. Найвідомішим є сорт «Миронівська-808», який вважають шедевром світової селекції рослин



Мал. 313. Форми щеплення рослин: 1 – зближення; 2 – копулювання; 3 – у прикладку; 4 – у розціп; 5 – окулірування (6 – вічко)

**Запам'ятаємо:** виявлення центрів різноманітності культурних рослин підказало вченим, де саме потрібно шукати генетично різноманітний вихідний матеріал для селекційної роботи.

**Запам'ятаємо:** отримані за допомогою щеплення гібриди необхідно постійно підтримувати, проводячи періодичні повторні щеплення, бо інакше виродження (повернення до предкових диких форм) сорту неминуче.

### Цікаво знати

Дикий кінь Пржевальського (мал. 314), який зберігся майже виключно на територіях природно-заповідного фонду, не є безпосереднім предком свійського коня: вони мають різний хромосомний набір (66 та 64 відповідно). Тарпана та коня Пржевальського більшість дослідників розглядають як різні підвиди дикого коня. З 1998 р. коней Пржевальського завезли в зону відчуження Чорнобильської АЕС. Там ці тварини прижилися, їхня кількість наближується до сотні. Це одна з найбільших популяцій коня Пржевальського у світі.



Мал. 314. Кінь Пржевальського – єдиний нині існуючий вид диких коней

полюванні. Приблизно 6 тис. років тому на території Близького Сходу та Давнього Єгипту для захисту запасів зерна від гризунів приручено kota свійського.

Одними з перших об'єктів скотарства, вік одомашнення яких оцінюють у 10 тис. років, були вівці та кози. Вівчарство виникло в гірських регіонах Близького Сходу, Греції, Кавказу, Малої та Середньої Азії. До найбільш стародавніх об'єктів скотарства відносять також свинарство (дика свиня – кабан – була одомашнена близько 10 тис. років тому) та велику рогату худобу (8 тис. років тому). Предком великої рогатої худоби був дикий бик – тур, який жив на території лісостепової та степової зон Євразії та в Північній Африці (останню тварину цього виду знищено 1627 р. у Польщі). Вважають, що його було одомашнено в Південно-Західній Азії та Північній Африці.

До найважливіших свійських тварин належить кінь. Його предком був вимерлий дикий кінь – тарпан, якого одомашнено приблизно 6 тис. років тому в степовій зоні на території нинішньої України. Кінь, якого спочатку було одомашнено заради шкіри, м'яса і молока, згодом став основним транспортним засобом.

Свійського кроля, якого тепер розводять у всьому світі заради м'яса та хутра, одомашнено не більше ніж 2 тис. років тому в південних регіонах Європи. Його предок – дикий кріль – і нині трапляється в південних областях України (його туди було завезено ХІХ ст.). Одомашнені й розводяться людиною такі хутрові звірі, як норка, соболь, песець, лисиця, нутрія, ондатра.

Важливою галуззю тваринництва в Україні є свинарство. Предком свині свійської є кабан, який і нині поширений у природі (мал. 315, 1). Вважають, що одомашнення свиней розпочалося близько 13 тис. років тому на Близькому Сході, звідки вони потрапили на територію Європи. На сьогодні число свійських свиней на нашій планеті становить близько 1 млрд особин, які належать до понад 100 різних порід. В Україні поширені такі породи, як велика біла, українська степова біла, миргородська, українська степова ряба тощо (мал. 315, 2–4).

Людина одомашнила й багато видів птахів. Так, свійські кури походять від диких банківських курей, одомашнених 5–6 тис. років тому на теренах Південної та Південно-Східної Азії. Індіанські племена Центральної Америки одомашнили близько 5 тис. років тому інших представників ряду куроподібних – індичок (предок – дика індичка), яких, як і курей, розводять заради м'яса, яєць та пуху. Свійська качка походить від дикої качки – крижня, поширеної в Північній півкулі. Різноманітні породи свійської качки (українську, московську тощо) розводять заради м'яса, а також яєць. Приблизно одночасно з качкою (близько 4 тис. років тому) з подібною метою людина одомашнила сіру гуску. Голуба свійського було одомашнено заради м'яса, а деякий час його використовували для транспортування кореспонденції («голубина пошта»). Цьому сприяла здатність поштових голубів знаходити домівку: їх брали із собою в подорож, і якщо виникала потреба, до ніжки голуба прив'язували листа і випускали. Численні породи свійського голуба (декоративні, поштові та м'ясні) походять від дикого сизого





Мал. 315. Кабан (1) та породи свїйських свиней: 2 – дюрок-джерсїйська; 3 – беркширська; 4 – українська степова біла

голуба, який мешкає в гірських місцевостях помірних широт Євразії та Північної Африки. Нині штучно розводять деякі інші види птахів – перепелів, куріпок, фазанів тощо.

Багато декоративних порід золотих рибок виведено в Китаї від сріблястого карася близько 5 тис. років тому. Предком різних порід коропа (дзеркального, українського, ропшинського тощо) був сазан, який і сьогодні мешкає у прісних водоймах Євразії.

Понад 5 тис. років тому в Китаї виникла нова галузь виробництва – шовківництво, а в тропічних і субтропічних регіонах Євразії – бджільництво (мал. 316). Шовковичний шовкопряд і медоносна бджола в дикому стані нині невідомі, однак бджоли часто дичавіють. Введення в культуру диких видів рослин та одомашнення тварин триває дотепер.

Особливостями селекції тварин є те, що свїйським тваринам притаманне лише статеве розмноження, а вегетативне розмноження безплідних міжвидових гібридів неможливе. У селекції тварин майже не застосовують масовий добір, бо кількість нащадків незначна і тому кожна особина має велику цінність.

У селекції тварин застосовують споріднене (для переведення певних генів у гомозиготний стан) та неспоріднене схрещування, а також віддалену гібридизацію (для виведення нових порід). Широко використовують і явище гетерозису. Наприклад, схрещуючи дюрок-джерсїйську та беркширську породи свиней, отримують швидкостиглих нащадків, які за неповний рік сягають значної маси (до 300 кг і більше) (див. мал. 315, 2, 3).

Практично важливі спадкові ознаки можуть не проявлятися у фенотипі в особин однієї зі статей. Наприклад, у самців великої рогатої худоби не проявляються молочність і жирномолочність, у півнів – несучість. Тому для виявлення подібних властивостей застосовують **метод визначення якостей плідників за властивостями нащадків**. При цьому порівнюють продуктивність нащадків плідників протилежної статі (наприклад, корів – дочок одного бугая) із середніми показниками по породі. Із кінця ХХ ст. у селекції тварин дедалі частіше застосовують клонування (детальніше цю методику ми розглянемо в § 58).

**Селекція мікроорганізмів.** Мікроорганізми (прокаріоти та деякі мікроскопічні еукаріоти, наприклад дріжджі) широко використовують у харчовій, мікробіологічній, виноробній та інших галузях, для біологічної боротьби зі шкідниками тощо. Вони мають низку особливостей, які потрібно враховувати в селекційній роботі. Насамперед,



Мал. 316. Кокони і метелики шовковичного шовкопряда (1) та медоносна бджола (2) – свїйські безхребетні тварини; людина вивела багато порід цих комах

## Цікаво знати

Одним з видатних селекціонерів тварин, робота якого пов'язана з Україною, був академік Михайло Федорович Іванов (1871–1935). За його ініціативи 1925 р. засновано племінну станцію в Асканії-Новій (Херсонська обл.), нині – Інститут тваринництва степових районів ім. М.Ф. Іванова – Національний науковий селекційно-генетичний центр з вівчарства. М.Ф. Іванов вивів такі відомі породи, як асканійська порода тонкорунних овець та українська степова біла порода свиней.

## **Коротко про головне**

Селекція різних груп живих істот (тварин, рослин, мікроорганізмів) має певні відмінності, пов'язані з їхніми біологічними особливостями.

В.І. Вавилов встановив центри походження і різноманітності культурних рослин, які є водночас районами їхнього походження. Райони одомашнювання і походження порід свійських тварин пов'язані з давніми центрами землеробства.

гібридизація для більшості видів мікроорганізмів неможлива через відсутність статевого процесу. Тому для збільшення різноманітності вихідного матеріалу здійснюють штучний мутагенез, а потім відбирають найпродуктивніші штами для подальшої роботи з ними; також застосовують методи генної і клітинної інженерії. Багато прокариотів мають гаплоїдний набір генів – єдину кільцеву молекулу ДНК, тому мутації проявляються вже в першому поколінні нащадків. Завдяки високим темпам розмноження можна швидко отримати потрібну кількість «мутантів» з певними властивостями. За допомогою вірусів-бактеріофагів, здатних переносити спадкову інформацію від однієї бактеріальної клітини до іншої, штучно об'єднують спадковий матеріал клітин із різних штамів чи видів (про методи генетичної інженерії ви дізнаєтеся з § 58).

### Ключові терміни та поняття:

щеплення рослин, метод визначення якостей плідників за властивостями нащадків.

### **Перевірте здобуті знання**

1. Які методи застосовують у селекції рослин? Які їхні особливості?
2. Для чого здійснюють щеплення культурних рослин?
3. Як можна підвищити різноманітність вихідного матеріалу в селекції рослин?
4. Які особливості селекції тварин порівняно із селекцією рослин?
5. Що таке оцінка плідників за якостями нащадків?
6. Для чого здійснюють селекцію мікроорганізмів і які її особливості?

### **Поміркуйте**

Чим можна пояснити, що райони одомашнення тварин зазвичай збігаються із центрами походження культурних рослин?

## **§ 56. ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ БІОТЕХНОЛОГІЙ**

*Пригадайте*, що таке ферменти, інтерферони, вітаміни, антибіотики, ферменти. Яка роль дощових черв'яків у процесах ґрунтоутворення? Що таке біологічні методи боротьби зі шкідливими видами?

**Біотехнологія** (від грец. *біос* – життя, *техне* – мистецтво, майстерність і *логос* – учення) – сукупність промислових методів, у яких використовують живі організми або біологічні процеси. Біотехнологія виникла внаслідок взаємодії біологічних, хімічних і технічних наук. Завдання цієї науки – вирішувати актуальні проблеми сучасного людства: забезпечення його продовольством, джерелами енергії, лікарськими препаратами, збереження та поліпшення стану навколишнього природного середовища.

Біохімічні процеси людина з давніх часів використовує для виробництва різних речовин і харчових продуктів (сирів, молочних продуктів, тіста, пива тощо), але сам термін «біотехнологія» у нинішньому розумінні запропоновано лише в 70-х роках ХХ ст.

Нині використання біотехнологічних процесів, у яких задіяні мікроорганізми, у промислових масштабах можна проілюструвати схематично (мал. 317).

Важко переоцінити роль біотехнології в галузі збереження здоров'я людини. За допомогою біотехнологій створено багато нових високоефективних лікарських

## **Цікаво знати**

Уперше термін «біотехнологія» застосував угорський інженер Карл Ереккі 1917 р. для описання процесу широкомасштабного вирощування свиней. К. Ереккі запропонував використовувати цукровий буряк (**сировину**) як корм для свиней (**біотрансформація**) для отримання їхнього дешевого м'яса (**кінцевий продукт**).

препаратів (антибіотиків, вітамінів, амінокислот, гормонів та ін.) та біологічно активних сполук, препаратів, призначених для ранньої діагностики захворювань.

Використовують високопродуктивні штами мікроорганізмів, які дають змогу збільшити випуск високоякісних продуктів харчування (кисломолочних, сирів, пива) і кормів для тварин (силос, кормові дріжджі) тощо. Селекціонери створили штами грибів, здатні синтезувати кормові білки з відходів рослинництва, нафти й нафтопродуктів, та штами бактерій, які можуть вилучати сполуки цінних рідкоземельних елементів і дорогоцінні метали з руд і промислових відходів. Бактерії поглинають їх з навколишнього середовища та накопичують у своїх клітинах. Мікроорганізми виробляють основну кількість харчової лимонної кислоти.

В останні роки біотехнології дедалі ширше використовують для отримання біопалива. **Біопаливо** – органічні матеріали, які людина використовує для отримання енергії (деревина, сільськогосподарська продукція, спирти тощо).

Переваги біопалива над традиційними джерелами енергії (нафтою, природним газом, кам'яним вугіллем та ін.) полягають у тому, що воно є прикладом відновлювальних джерел енергії. Біопаливо повністю розкладається мікроорганізмами і тому не забруднює довкілля. Останнім часом як сировину для отримання біопалива використовують сільськогосподарські рослини, такі як кукурудзу та сою (у США), льон і ріпак (у країнах Європи), цукрову тростину (у Південній Америці), пальмову олію (у Південно-Східній Азії). За участі мікроорганізмів побутові та промислові відходи можна перетворювати на біогаз.

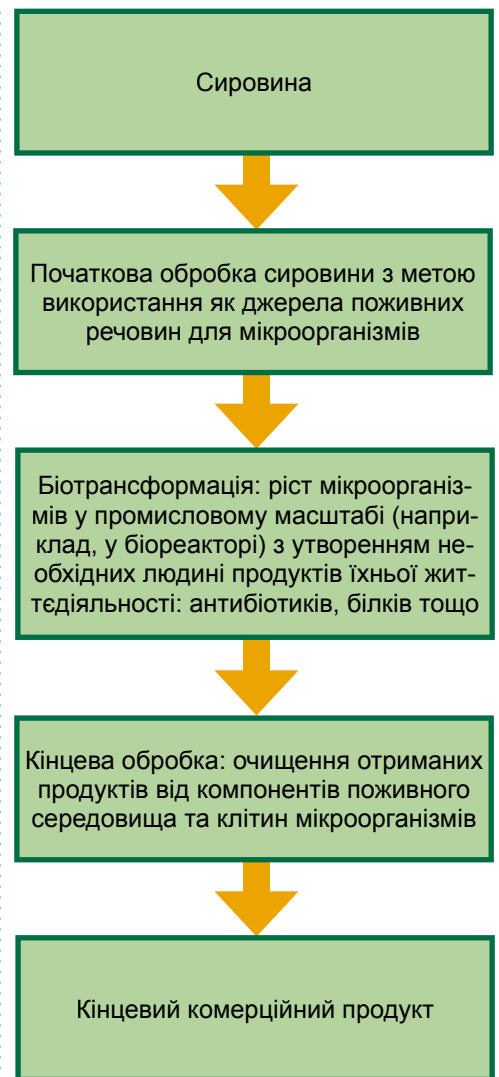
Біотехнологічні методи застосовують для очищення навколишнього середовища, зокрема стічних вод і ґрунтів, від побутового і промислового забруднення. Вони базуються на здатності гетеротрофних бактерій і грибів розкладати органічні сполуки. Штучно створені штами руйнують сполуки, стійкі до впливу природних мікроорганізмів.

Для очищення стічних вод і природних водойм використовують здатність деяких видів бактерій, водоростей, одноклітинних тварин накопичувати певні сполуки у своїх клітинах.

За допомогою різних груп мікроорганізмів можна очищувати ґрунт, стічні води тощо від різноманітних забруднювачів, зокрема пестицидів. *Пригадайте: пестициди* – хімічні сполуки, які використовують для боротьби зі шкідливими видами організмів (паразитичними видами, бур'янами, видами, здатними пошкоджувати запаси продуктів, будівельні матеріали, різноманітні товари, переносниками збудників небезпечних хвороб людини, свійських тварин та культурних рослин тощо).

У відходах харчової промисловості та залишках харчових продуктів залишається ще багато корисних для людини сполук. Отримати їх також допомагають методи біотехнології.

Штами мікроорганізмів, а також штучні популяції певних видів паразитичних нематод, кліщів і комах



Мал. 317. Основні етапи біотехнологічного процесу: від початкової обробки сировини до отримання очищеного кінцевого продукту

### Цікаво знати

Біопаливом вважають будь-яке паливо, у якому вміст продуктів, отриманих від живих організмів, не менше ніж 80 % від його об'єму.





Мал. 318. Широко використовують для перероблення компостів (1) (суміш рослинних решток та посліду тварин) представника дощових черв'їв – ейсенію пахучу (промислова назва – каліфорнійський червоний черв) (2). Наслідком діяльності ейсенії є отримання високо-ефективного добрива – біогумусу (3).

застосовують у **біологічному методі боротьби** зі шкідниками сільського та лісового господарств, членистоногими – паразитами свійських тварин і людини та кровосисними видами. Необхідною умовою використання організмів у біологічному методі боротьби зі шкідливими для людини видами є їхня безпечність для інших організмів. Застосування цих методів зменшує рівень забрудненості довкілля шкідливими для здоров'я людини і свійських тварин сполуками.

На великих фермах і птахофабриках личинок багатьох видів мух завдяки спеціальним біотехнологіям використовують для швидкого перероблення посліду. Ці продукти перероблення використовують як добриво; а багатих на білки личинок вбивають гарячою водяною парою та у свіжому чи висушеному і розмеленому вигляді додають до кормів; це значно збільшує приріст біомаси свійських тварин. Так само для перероблення органічних решток використовують деякі види дощових черв'їв, наприклад **каліфорнійського червоного черва** (наукова назва – **ейсенія пахуча**). Наслідком діяльності ейсенії є створення високо-ефективного добрива – біогумусу. За допомогою селекції створено високопродуктивні поліплоїдні форми цих тварин (мал. 318).

Галузі господарства, де використовують біотехнологічні процеси, наведено в таблиці 10.

Отже, у своїх дослідженнях біотехнологія взаємодіє з різними науками (мал. 319).

Таблиця 10

### Застосування біотехнології в господарстві людини

Технологія	Галузь господарства				
	охорона здоров'я	харчова промисловість	сільське господарство	енергетика	хімічна промисловість
Бродіння	Ферменти, вітаміни, амінокислоти, діагностичні препарати	Лимонна кислота, ферменти, біополімери, виноробство, пивоваріння	Біологічні препарати для боротьби з видами-шкідниками	Енергетичні сполуки (етанол, біогаз тощо)	Етилен, ацетон, бутанол тощо
Генна інженерія	Інтерферони, гормони, вакцини		Біологічні препарати для боротьби зі шкідливими видами		
Клітинна інженерія (культури клітин і тканин)	Інтерферони, вакцини, антитіла	Кормові білки	Клонування свійських тварин		



Мал. 319. Біотехнологи використовують результати досліджень різних наук

У своїй роботі біотехнологи використовують різні типи біологічних систем: віруси, мікроорганізми, багатоклітинні організми, їхні клітинні лінії тощо. Досить часто такі біологічні системи зазнають генетичної модифікації: їхній спадковий матеріал змінюється (про це йтиметься у § 58). Класичним об'єктом, який застосовують у біотехнології, є бактерія кишкова паличка. Ця бактерія входить до складу нормальної мікрофлори кишечника людини, але трапляється і за його межами – у ґрунті та водоймах.

У біотехнологічних процесах часто застосовують **клітинні культури** – генетично однорідні групи клітин, які утримують за певних умов на штучних поживних середовищах. Завдяки клітинним культурам людина може отримувати цінні біологічно активні речовини, такі як гормони, антибіотики, інтерферони, вітаміни.

Основні напрями досліджень у сучасній біотехнології такі: розроблення наукових засад створення нових біотехнологій за допомогою методів молекулярної біології, генетичної та клітинної інженерії; одержання й використання біомаси мікроорганізмів і продуктів мікробіологічного синтезу.

### Ключові терміни та поняття:

біотехнологія, клітинні культури, пестициди, біологічні методи боротьби, біопаливо.

### Перевірте здобуті знання

1. Що таке біотехнологія? 2. Які завдання стоять перед біотехнологією? 3. З якими біологічними науками взаємодіє біотехнологія? 4. Які основні етапи біотехнологічного процесу? 5. Який зв'язок має біотехнологія із збереження й поліпшення стану навколишнього природного середовища?

### Поміркуйте

Які перспективи в майбутньому відкривають перед людством застосування біотехнологій?

### Цікаво знати

Підраховуючи кількість клітин кишкової палички в певному об'ємі води, визначають її чистоту: що більша їхня кількість, то вищий вміст органіки у воді й то більше вона забруднена.

**Запам'ятаємо:** біотехнологія – це комплекс різних наук і технічних засобів, спрямованих на використання різних біологічних систем (вірусів, бактерій, одноклітинних та багатоклітинних еукаріотів) з метою отримання комерційного продукту, яким можуть бути як самі організми, так і продукти їхньої життєдіяльності (ферменти, інтерферони, антибіотики, вітаміни тощо).

### Коротко про головне

Біотехнологія – сукупність промислових методів, у яких використовують живі організми або біологічні процеси. Вона виникла внаслідок взаємодії біологічних, хімічних та технічних наук. Біотехнологія покликана вирішувати актуальні проблеми сучасного людства: забезпечення його продовольством, джерелами енергії, збереження здоров'я, збереження та поліпшення стану навколишнього природного середовища.

У своїй роботі біотехнологи використовують різні типи біологічних систем: віруси, мікроорганізми, багатоклітинні організми, їхні клітинні лінії тощо. Досить часто такі біологічні системи зазнають генетичної модифікації: їхній спадковий матеріал змінюється. У біотехнологічних процесах часто застосовують клітинні культури – генетично однорідні групи клітин, що утримуються на штучних поживних середовищах за певних умов.

**Запам'ятаємо:** методика рекомбінантної ДНК пов'язана з перенесенням генетичного матеріалу (молекули нуклеїнової кислоти) з одного організму в інший.

## §57. ГЕНЕТИЧНА (ГЕННА) ІНЖЕНЕРІЯ. ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ

*Пригадайте* методи втручання у спадковий матеріал різних організмів. Чим представлено спадковий матеріал бактерій? Що таке рекомбінація? Які їхні джерела? Що таке геном, плазмиди, кодон та антикодон? Що таке генна терапія та молекулярна діагностика спадкових захворювань?

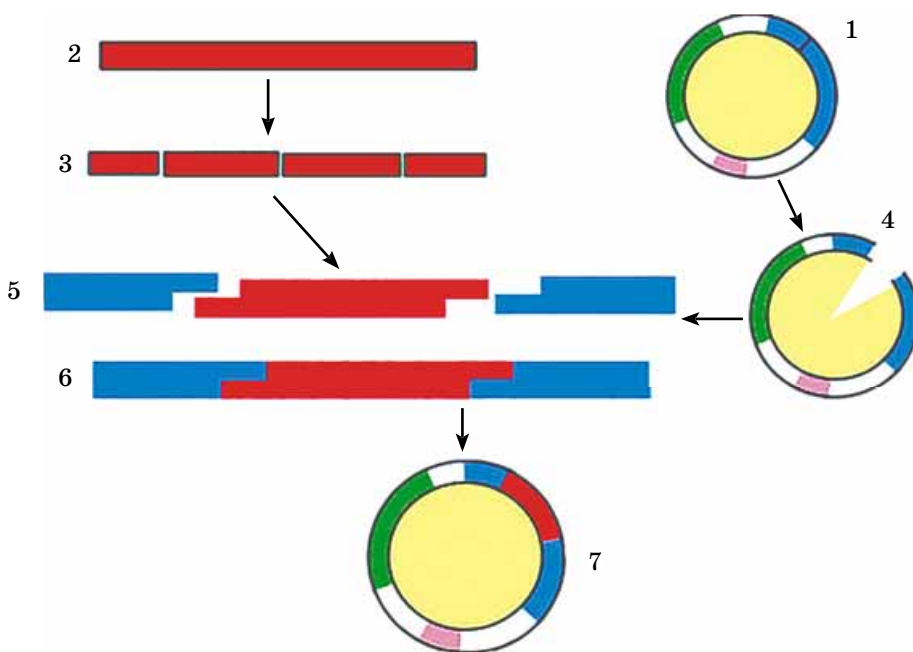
**Генна (генетична) інженерія.** Завданнями *генної (генетичної) інженерії* є розроблення та вдосконалення методів перебудови геномів організмів видаленням або введенням окремих генів чи їхніх груп. Сучасні біотехнологічні процеси часто базуються на методах генної інженерії – отриманні рекомбінантних ДНК. Під **рекомбінантними** розуміють молекули ДНК, утворені шляхом об'єднання двох або більшої кількості фрагментів ДНК, виділених з різних джерел (мал. 320).

Як переносники (вектори) рекомбінантних молекул ДНК використовують віруси та плазмиди (кільцеві або лінійні молекули ДНК, розташовані в цитоплазмі поза ядерною зоною бактеріальної клітини). З геному, який містить певний ген, виділяють молекулу мРНК, на якій синтезують комплементарну нитку ДНК. Так виникає ДНК-РНК-комплекс, з якого мРНК видаляють, а на нитці ДНК, що залишилася, за принципом комплементарності синтезують другу. Її вбудовують у молекулу ДНК плазмиди, яка слугує переносником.

За іншої методики молекулу ДНК розділяють на окремі фрагменти. Далі ці фрагменти сполучають із заздалегідь переведеною у лінійну форму молекулою векторної ДНК. У такому вигляді вони потрапляють усередину клітини, відділяються від переносника та приєднуються до ДНК хазяїна. Під час перенесення із клітини в клітину еукаріотів метафазних хромосом вони зазвичай розпадаються на фрагменти, одні з яких зникають, інші – вбудовуються в хромосому клітини-хазяїна.

### Цікаво знати

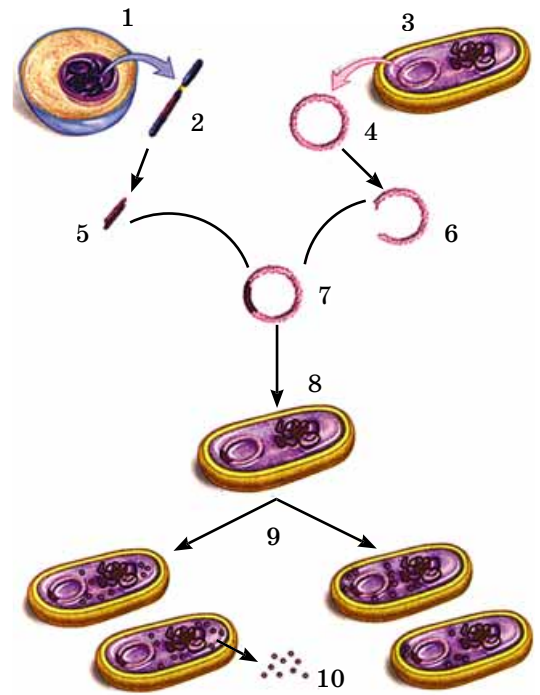
У клітини еукаріотів, наприклад рослин, молекули ДНК можна вводити і без переносників, а за допомогою скляної голки (мікроін'єкції ДНК). Молекули ДНК та цілі хромосоми також уводять за допомогою **ліпосом**. Це оточені подвійним ліпідним шаром порожнисті кульки діаметром близько 100 нм. Молекулу ДНК вміщують усередину ліпосом, яку потім уводять у клітину. Ліпідний шар захищає ДНК від розкладу ферментами клітини.



Мал. 320. Технологія створення рекомбінантної молекули ДНК: 1 – плазмиди, виділена з клітини бактерії; 2 – молекула ДНК, фрагмент якої цікавить дослідників; 3 – дослідники за допомогою ферментів розшивають молекулу ДНК на фрагменти; 4 – за допомогою відповідного ферменту розшивають плазмиду; 5 – з молекули ДНК за допомогою ферментів виділяють фрагмент; 6 – фрагмент молекули ДНК вставляють у плазмиду (зверніть увагу, під час вишивання фрагмента ДНК використовують комплементарні кінці цієї молекули та плазмиди); 7 – плазмиди із вбудованим фрагментом молекули ДНК



Мал. 321. Перенесення генів у бактеріальну клітину: 1 – людська клітина; 2 – молекула ДНК людської клітини; 3 – клітина бактерії; 4 – бактеріальна плазміда; 5 – ген, який кодує гормон інсулін; 6 – за допомогою ферменту бактеріальну плазмиду «розшивають»; 7 – за допомогою іншого ферменту вводять ген гормону інсуліну в бактеріальну плазмиду, отримуючи рекомбінантну ДНК; 8 – плазмиду-переносник уводять у клітину бактерії; 9 – під час розмноження бактеріальної клітини відбувається клонування гену інсуліну; 10 – молекули синтезованого інсуліну



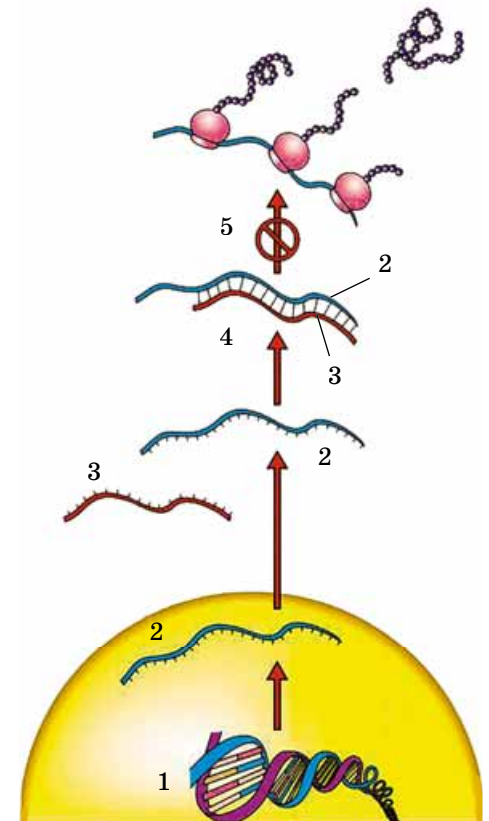
Об'єктами досліджень генної інженерії раніше були переважно прокаріоти. Наприклад, у геном бактерій введено гени пацюка і людини, які відповідають за синтез гормону інсуліну, необхідного хворим на цукровий діабет (мал. 321). Якщо гени еукаріотів просто ввести у прокаріотичну клітину, то досить складно змусити їх «працювати». Для цього потрібно, щоб ці гени потрапили під контроль регуляторних елементів клітини хазяїна.

Механізми регуляції активності генів у клітинах прокаріотів та еукаріотів відрізняються. Тому під час перенесення генів еукаріотів у клітини прокаріотів потрібно враховувати, що в клітинах еукаріотів кожний структурний ген має власний набір регуляторних елементів, які активуються специфічними сигналами в різні періоди клітинного циклу. Натомість структурні гени прокаріотичних клітин об'єднані у групи, що мають спільні елементи регуляції.

У генетичній інженерії застосовують також метод **РНК-інтерференції** – систему контролю активності генів еукаріотичних клітин, що здійснюється за допомогою коротких (20–25 нуклеотидів) молекул РНК. Ці молекули можуть вступати у взаємодію з комплементарними послідовностями мРНК і посилювати або, навпаки, пригнічувати їхню активність. Явище РНК-інтерференції характерне для більшості еукаріотів, воно є своєрідним захисним механізмом від чужорідних генів (наприклад, генів вірусів), які можуть потрапляти в їхній геном. Невелика молекула РНК (мікроРНК) може взаємодіяти з комплементарною ділянкою відповідної мРНК як у ядрі (під час транскрипції), так і в цитоплазмі. У будь-якому разі пригнічується активність певного гена.

**Практичне застосування результатів генної інженерії.** РНК-інтерференцію можна використовувати в медичній практиці та селекції. Для цього створюють так звані **антисенсорні молекули РНК** (мал. 322). За складом вони відповідають послідовності нуклеотидів молекули мРНК певної клітини (сенсорна РНК). Припустімо, що така сенсорна РНК кодує шкідливі для організму або небажані для селекціонера білки. Тоді вчені синтезують і вводять у клітину молекулу антисенсорної РНК. Її нуклеотиди зв'язуються з нуклеотидами сенсорної РНК. Це блокує біосинтез білків, закодованих у молекулі сенсорної РНК. Наприклад, застосовуючи антисенсорні технології, можна послабити симптоми ВІЛ-інфекції, коли антисенсорні молекули РНК зв'язують комплементарну мРНК вірусу, що гальмує його розмноження.

Застосування антисенсорної технології має вже певні практичні результати й у селекції рослин. Наприклад,



Мал. 322. Методика застосування антисенсорної РНК: 1 – ділянка молекули ДНК, яка кодує небажані для організму білки; 2 – молекула мРНК, яка синтезується на цій ділянці молекули ДНК; 3 – антисенсорна молекула РНК; 4 – за принципом комплементарності антисенсорна молекула РНК сполучається із сенсорною; 5 – це блокує біосинтез небажаних для організму білків



Мал. 323. Хар Гобінд Корана (1922–2011) – відомий учений у галузі молекулярної біології, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини 1968 р. за розшифрування генетичного коду (разом з Робертом Холлі та Маршаллом Ніренбергом)

у помідорів є ферменти, які сприяють їхньому швидкому дозріванню. Але фермерам потрібно, щоб ці овочі достигали поступово, оскільки важко реалізувати значні обсяги продукції за короткий термін. Крім того, один з ферментів прискорює розщеплення полісахариду пектину в клітинних стінках, унаслідок чого плоди швидко псуються. Завдяки введенню в геном помідорів антисенсорних молекул РНК синтез відповідних ферментів гальмується.

Метод РНК-інтерференції застосовують для з'ясування деяких теоретичних питань під час досліджень з використанням культур клітин або живих організмів. За рахунок синтезованих малих дволанцюгових молекул РНК, які вибірково впливають на активність тих чи інших генів, можна з'ясувати функції цих генів. Молекула мікроРНК після введення пригнічує активність специфічного гена, і за результатами цього процесу вчені роблять висновки щодо його функцій.

Завдяки методам генної інженерії від генетично змінених бактеріальних клітин отримано білки інтерферони (захищають організми людини і тварин від вірусних захворювань, наприклад грипу, пригнічуючи розмноження вірусів), гормон росту (дає можливість лікувати деякі форми карликовості), вакцини проти збудників дифтерії, гепатиту В та ін. (див. мал. 320). Перелік медичних препаратів, отриманих за допомогою методів генної інженерії, щорічно зростає. Наприклад, з використанням різних штамів цвілевих грибів, актиноміцетів, бактерій отримують понад 4500 різних видів антибіотиків.

Слід зазначити, що будь-який ген (відповідний фрагмент ДНК) можна синтезувати хімічним шляхом. Уперше це зробив американський учений Х.Г. Корана (мал. 323), який 1970 р. синтезував ген тРНК дріжджів.

Результати генної інженерії важливі і для розвитку теоретичної біології. Завдяки їм було зроблено важливі відкриття про будову та функціонування генів, структуру геномів та ін. Для генної інженерії важливим є створення **банків генів**, тобто колекцій генів і геномів різних організмів.

#### Застосування методів генної інженерії в медицині.

*Пригадайте:* перспективним напрямом у медичній генетиці є *генна терапія* – медична процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин (крові, епітелію шкіри або кишечнику та ін.), замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм. Завдяки цьому в організмі хворої людини можуть синтезуватися білки, яких до цього не вистачало (див. мал. 189).

За певних онкологічних та інфекційних захворювань методами генної терапії можна пригнічувати активність генів, не притаманну нормальній клітині, або посилювати її (наприклад, для збільшення синтезу гемоглобіну у хворих на серпоподібноклітинну анемію; *пригадайте*, що це за захворювання).

Ще одним напрямом генної терапії, що ґрунтується на методиках визначення алелів, які зумовлюють певні спадкові захворювання або схильність до них, є молекулярна діагностика спадкових захворювань, про яку ви дізналися з §37. Методи молекулярної діагностики дають можливість поставити діагноз задовго до появи симпто-

#### Цікаво знати

Нині на стадії розроблення (й навіть клінічних випробувань) є кілька сотень проєктів, спрямованих на лікування онкологічних, інфекційних (СНІД, гепатит, туберкульоз) та спадкових захворювань.

мів захворювання і, відповідно, розпочати профілактику або лікування.

**Генетично модифіковані організми.** Нині багато уваги приділяють *генетично зміненим*, або *трансгенним, організмам (генетично модифіковані організми – ГМО)*. Наприклад, методами генної інженерії в геном рослин уводять певні гени, які забезпечують стійкість до дії пестицидів, шкідників, збудників захворювань, інших несприятливих факторів навколишнього. Зокрема, до геному певних сортів картоплі вбудовано гени бактерій, що робить цю рослину неїстівною для колорадського жука. Генетично модифіковані організми часто мають підвищені показники продуктивності та плодючості, що важливо для розв'язання проблеми забезпечення людства продуктами харчування.

З 1996 р. у США, Канаді, Аргентині та інших країнах розпочали масово вирощувати генетично змінені рослини. Але до таких організмів, доки вони не пройдуть належної всебічної перевірки, слід ставитись обережно. Є дані, що споживання генетично змінених рослин може спричиняти в людини харчові алергії та отруєння, погіршення здоров'я тощо. Невідомо також, впливатиме чи ні їхнє споживання на генотип людей і як генетично змінені організми впливатимуть на природні екосистеми, їхнє біологічне різноманіття.

Дискусії щодо трансгенних організмів зумовили прийняття в Україні закону «Про державну систему біобезпеки під час здійснення генетично-інженерної діяльності». Він передбачає обов'язкову наукову оцінку ризику застосування генетично змінених організмів. В Україні широке вирощування генетично змінених рослин не проводилося, але в різних наукових установах випробовували сорти картоплі, стійкі до колорадського жука, а також озимого ріпака та цукрового буряку – стійких до дії гербіцидів. Невідомо, яку площу земель України фактично засівають трансгенними культурами, що потрапили до нашої країни незаконно, без будь-яких досліджень чи випробувань.

Процес створення трансгенних тварин складніший, ніж рослин (мал. 324). Фрагмент молекули ДНК іншого виду вводять у запліднену яйцеклітину, яка ділиться у штучних умовах. Так вирощують ембріон до стадії бластули. Потім цей ембріон імплантують у так звану сурогатну матір. Після народження нащадків сурогатною матір'ю їх перевіряють на наявність введених генів, аналізуючи ДНК молекулярно-генетичними методами.

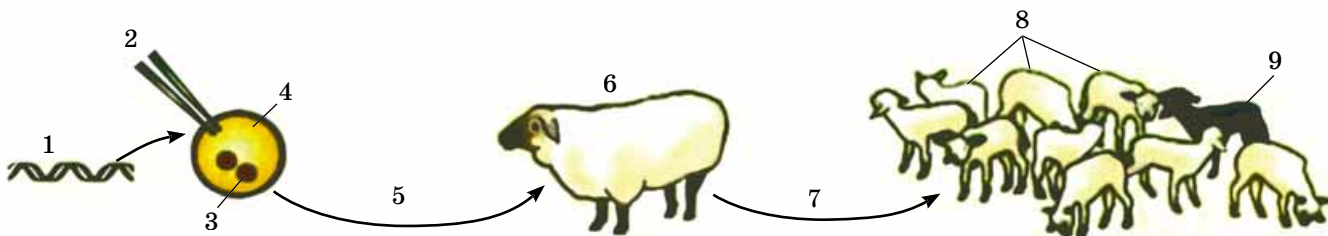


**Запам'ятаємо: біологічна безпека (біобезпека)** – збереження живими організмами своєї біологічної сутності, біологічних якостей та запобігання масштабним втратам біологічної цілісності унаслідок впливу генної або клітинної інженерії на органи, тканини та організми; проникнення в екосистеми невластивих для них видів; забруднення природних ресурсів (ґрунту, води, харчових ресурсів) тощо.

### Цікаво знати



Стрімкий розвиток науки, нових високотехнологічних досліджень часто породжує в недостатньо поінформованих людей панічне, або *алармістське* (від англ. – *алармізм* – панікерство), ставлення до них. Прикладом алармістських настроїв серед населення різних країн може слугувати ставлення до ГМО, генетичної (генної) терапії тощо. Алармістські настрої в суспільстві часто підігриваються засобами масової інформації, які поширюють не підтверджені наукою або взагалі спотворені дані. Сучасна людина має розуміти, що подальший прогрес людства неможливий без стрімкого розвитку нових наукоємних технологій.



Мал. 324. Метод отримання трансгенних тварин: 1 – ДНК-конструкція; 2 – позаядерна реакція; 3 – проядро; 4 – запліднена яйцеклітина; 5 – імплантація; 6 – самка-раципієнт (сурогатна матір); 7 – вагітність; 8 – нетрансгенні нащадки; 9 – трансгенний засновник



## **Коротко про головне**

Завданнями генної (генетичної) інженерії є розроблення та вдосконалення методів перебудови геномів організмів видаленням або введенням окремих генів чи їхніх груп. Сучасні біотехнологічні процеси часто базуються на методах генної інженерії – отриманні рекомбінантних ДНК.

У генетичній інженерії застосовують також метод РНК-інтерференції – систему контролю активності генів еукаріотичних клітин, що здійснюється за допомогою коротких (20–25 нуклеотидів) молекул РНК.

За допомогою методів генної інженерії отримують генетично модифіковані організми (ГМО). Такі організми відкривають широкі перспективи отримання високопродуктивних сортів культурних рослин та порід свійських тварин. Але їхнє широке застосування потребує подальших ретельних досліджень.



**Запам'ятаємо:** клітинна інженерія, або цитотехнологія, – це напрям біології, який спеціалізується на культивуванні рослинних і тваринних клітин та тканин поза організмом з метою отримання необхідних людини сполук та організмів.

Учені також можуть поєднувати клітини, навіть такі, які належать різним видам. Наприклад, схрещують лімфоцити та пухлинні клітини, здатні до швидкого поділу, з метою отримання антитіл. Таким чином, клітинна інженерія здатна створювати клітини нового типу на основі їх гібридизації та культивування на поживних середовищах поза живими організмами.



**Запам'ятаємо:** патологія (від грец. патос – страждання та логос – учення) – наука про структурні, біохімічні та функціональні зміни в клітинах, тканинах та органах, спричинені хворобою.

У разі підтвердження наявності введених генів у нащадків їх схрещують між собою для отримання чистих трансгенних ліній. Така селекція триває досить швидко; наприклад, для створення невеликої групи трансгенних кіз потрібно лише 1,5–2 роки. Одними з перших трансгенних тварин були миші, у геном яких вбудовано ген гормону росту пацюка. Деякі з них швидко росли та досягали велетенських порівняно з контрольними особинами розмірів.

Штучне втручання в геноми, крім технічних труднощів, пов'язане також із проблемами етичного плану. Зміна генотипів організмів, особливо людини, може призвести до непередбачених наслідків незалежно від намірів експериментаторів.

### Ключові терміни та поняття:

генна (генетична) інженерія, рекомбінантна ДНК, банк генів, генетично модифіковані організми (ГМО).

### Перевірте здобуті знання

1. Які завдання генної інженерії? 2. Які методики генна інженерія використовує в своїх дослідженнях? 3. Що собою становлять рекомбінантні молекули ДНК? Як їх можна отримати? 4. З якою метою застосовують метод РНК-інтерференції? 5. Що таке генетично модифіковані організми? 6. Які перспективи застосування генетичної інженерії в медицині? 7. Що таке банки генів? З якою метою їх створюють?

### Поміркуйте

Яка роль генної інженерії в розвитку теоретичної біології.

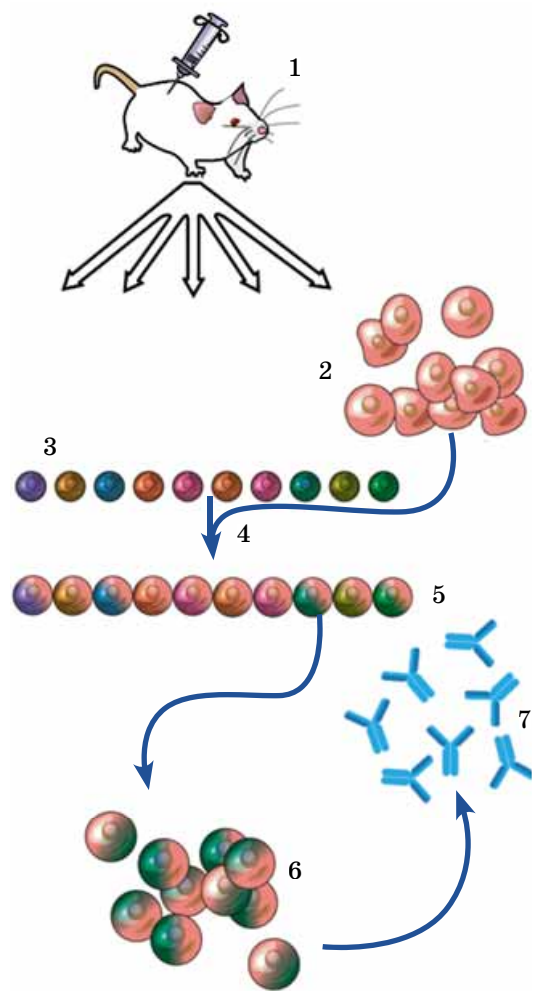
## **§58. КЛІТИННА (ТАНИННА) ІНЖЕНЕРІЯ**

*Пригадайте*, що таке культури клітин. Які клітини називають стовбуровими?

**Клітинна (танинна) інженерія** – галузь біотехнології, у якій використовують методи виділення клітин з організму, їхньої перебудови і вирощування на поживних середовищах (створення культури клітин; так звані **цитотехнології**). *Пригадайте*: такі культури дають змогу отримати важливі сполуки: вітаміни, гормони, фітогормони, цілющі препарати (наприклад, женьшень) у потрібних кількостях, що значно знижує їхню собівартість. Вони слугують для різноманітних експериментів, наприклад вивчення дії лікарських препаратів та інших речовин тощо. Культури клітин застосовують і для культивування вірусів, які згодом можуть бути використані як переносники в генній інженерії, для діагностики вірусних захворювань чи отримання вакцин. Ще один з важливих напрямів цитотехнології – діагностування патологій різних органів завдяки дослідженню виділених з них клітин.

Методами клітинної інженерії здійснюють віддалену **гібридизацію соматичних клітин** організмів, яку неможливо зробити іншим способом (людини і миші, людини і моркви, курки і дріжджів тощо). За допомогою цього методу можна з'єднати в одну кілька попередньо оброблених соматичних клітин (зокрема, у клітин рослин треба зруйнувати клітинні оболонки), які належать

Мал. 325. Технологія отримання гібридбм: 1 – імунізація миші: їй вводять антигени, під впливом яких активуються В-лімфоцити (2), що продукують антитіла; 3 – культура клітин мієломи (так називають онкологічне захворювання, унаслідок якого відбувається неконтрольований поділ клітин); 4 – злиття клітин В-лімфоцитів та мієломних клітин, унаслідок чого отримують гібридоми (5); 6 – отримання культури гібридом; 7 – отримання високоспецифічних антитіл, які використовують для знищення злоякісних пухлин



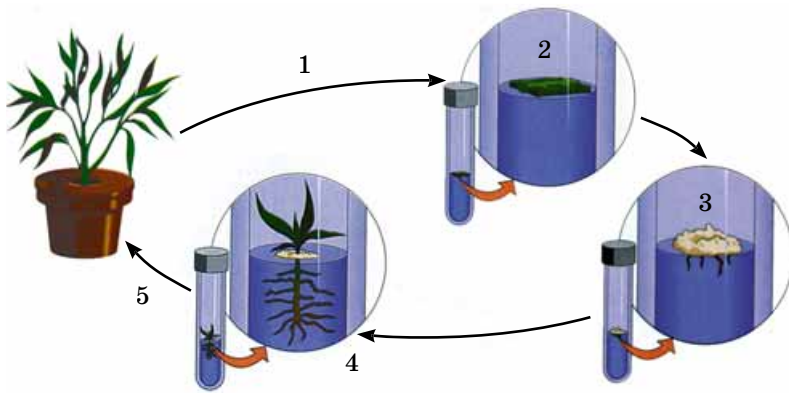
віддаленим щодо систематичного положення організмів. Для рослин така процедура може привести до виведення нового сорту з новими властивостями. Гібридизацію соматичних клітин ссавців (наприклад, людини та китайського хом'ячка) широко використовують у дослідницьких цілях: гібридна клітина часто втрачає всі хромосоми людини, крім однієї, завдяки чому можна встановити, які гени там містяться.

За допомогою гібридизації лімфоцитів (здатних виробляти антитіла певного типу) та пухлинних клітин (здатних необмежено розмножуватись у культурі) отримують так звані *гібридбми* – клітини, що виробляють високоспецифічні антитіла (мал. 325). Вони знищують клітини злоякісних пухлин, не діючи на здорові. Також за допомогою гібридизації здійснюють штучне запліднення: злиття статевих клітин, яке неможливе природним шляхом; перенесення клітин із культури в організм тощо. Генетично модифіковані ембріональні клітини (після їх розмноження в культурі) вводять в ембріон на стадії бластули та поміщають такий ембріон у сурогатну матір.

Одним з напрямів клітинної інженерії є *використання стовбурових клітин* для відновлення ушкоджених тканин та органів. У лабораторних умовах можливі розмноження та подальша спеціалізація стовбурових клітин. Це уможливує штучне вирощування тканин та деяких органів людини і тварин з метою їхнього подальшого введення в організми. Властивістю стовбурових клітин є те, що вони можуть кровоносною системою просуватись до джерела ураження й відновлювати пошкоджені органи та тканини. У лабораторних умовах можна стимулювати стовбурові клітини до розмноження та подальшої спеціалізації. Це відкриває перспективи отримати тканини та органи людини й тварин поза організмом з метою їхнього подальшого введення в організм. Як вихідний матеріал стовбурових клітин людини використовують, наприклад, клітини пупкового канатика, що сполучає зародок з організмом матері.

Важливою етичною проблемою залишається питання отримання стовбурових клітин з матеріалу, який залишається після переривання вагітності. Тому альтернативним джерелом, як уже зазначалось, можуть слугувати стовбурові клітини, які містяться в пуповинній крові.

Крім етичних проблем, на шляху до широкого впровадження методик пересаджування стовбурових клітин або отриманих із них тканин чи органів є багато невирішених наукових питань. Зокрема, важко досягти того, щоб організм розпізнавав уведені тканини чи органи як «свої» та не боровся з ними. Тому нині стовбурові клітини використовують для лікування лише незначної кількості



Мал. 326. Клонування рослин: 1 – отримання клітинного матеріалу від рослини-донора; 2 – культивування клітин на штучному поживному середовищі; 3 – отримання культури недиференційованих клітин; 4 – завдяки диференціації клітин з'являються тканини та органи клонованої рослини; 5 – клоновану рослину висаджують у ґрунт

### Цікаво знати

Майже половина клонованих тварин має значні порушення в будові й функціонуванні органів, які можуть передаватися наступним поколінням (наприклад, всесвітньо відома, клонована 1996 р., вівця Доллі померла від хвороб уже у 2003 р.). Слід враховувати також і те, що клонований організм, народжений з певними вадами, є живою істотою, яку не можна викинути на смітник, мов зіпсований прилад.

### Цікаво знати

У давньогрецькому міфі Химера – істота з лев'ячою головою, козячим тулубом і хвостом дракона (мал. 327).



Мал. 327. Химера – істота, яка згадується в міфах Давньої Греції

**Запам'ятаємо:** химерний організм – це організм, що складається з генетично різнорідних клітин.

захворювань. Зокрема, на піддослідних тваринах показано, що після введення їхніх власних стовбурових клітин, отриманих із червоного кісткового мозку, в уражений після інфаркту серцевий м'яз, він майже повністю відновлювався.

Ще одним напрямом клітинної інженерії є **клонування організмів**. Клон – це сукупність клітин або особин, отриманих від спільного предка нестатевим шляхом. Клон складається з генетично однорідних клітин або організмів. Клонування організмів базується на тому, що кожна соматична клітина містить повну генетичну інформацію, притаманну певному організму. Тому з неї, за певних умов, теоретично можна виростити цілий організм. Для рослин, які здатні розмножуватися вегетативним шляхом (тобто саме із соматичних клітин), така процедура є звичайною в сучасній біотехнології (мал. 326).

Методика клонування тварин починається з того, що з незаплідненої яйцеклітини видаляють ядро і пересаджують до неї ядро соматичної клітини іншої особини. Після цього таку штучну зиготу імплантують у матку самки, де й відбувається розвиток ембріона. Цю методику створено в розрахунок на можливість отримувати від цінних за своїми якостями плідників необмежену кількість нащадків, які є їхньою точною генетичною копією. Але оскільки в кожній спеціалізованій соматичній клітині тварин певні групи генів заблоковано, для клонованих організмів (отриманих уже для багатьох хребетних тварин) характерний високий рівень смертності, вкорочений час життя та поява різних аномалій. Отже, хоча роботи з клонування тварин мають вагомий науковий інтерес, практична цінність їх наразі залишається невисокою. У принципі можна клонувати й людину, проте в багатьох країнах це заборонено законодавством, насамперед, з етичних міркувань.

**Пригадайте:** за допомогою вивчення каріотипу зародкових клітин, отриманих з навколоплідної рідини, можна визначати певні спадкові захворювання, пов'язані зі зміною кількості хромосом або будови окремих хромосом (назвіть ці захворювання).

**Гістотехнології** – напрям досліджень, який розробляє методики тривалого зберігання (консервації) тканин поза організмом і виготовлення тканинних та клітинних препаратів для наступного вивчення й практичного застосування. Наприклад, проби тканин заморожують, а потім із застосуванням різних методів мікроско-



Клітинна (тканинна) інженерія – галузь біотехнології, в якій використовують методи виділення клітин з організму, їхньої перебудови і вирощування на поживних середовищах. Методами клітинної інженерії здійснюють віддалену гібридизацію соматичних клітин організмів, яку неможливо здійснити іншим способом. Одними з напрямів клітинної інженерії є використання стовбурових клітин для відновлення ушкоджених тканин та органів і клонування організмів.

Гістотехнології – напрям досліджень, який розробляє методики тривалого зберігання (консервації) тканин поза організмом і виготовлення тканинних і клітинних препаратів для наступного вивчення та практичного застосування.

пінної техніки розрізають на тоненькі пластинки, зневоднюють, забарвлюють різними сполуками тощо. Гістотехнологічні методи дають змогу вчасно встановити наявність патологічних змін у тканинах, які свідчать про розвиток певного захворювання, зокрема злоякісних пухлин.

В Україні будь-яке хірургічне втручання, а також відключення свідомості хворого або знеболювання під дією певних сполук (**анестезія**) заборонено без урахування результатів попереднього аналізу стану структури й життєдіяльності його тканин, органів та їхніх систем.

Окремо слід згадати про створення **химерних організмів**. Це штучно створені істоти, які мають клітини, що належать різним біологічним видам. Учені, які створюють химерні організми, стверджують, що це допоможе розробляти нові способи лікування раку або цукрового діабету. Химерні організми використовують для дослідження генетичного апарату їхніх клітин, закономірностей сумісності тканин під час трансплантації органів. Фактично химерними є рослини, отримані за допомогою щеплення, коли прищепта та підщепта належать до різних видів чи навіть родів. Але дослідження зі створення химерних тварин небезпідставно викликають негативне ставлення з боку не тільки простих людей, але й багатьох учених.

### **Ключові терміни та поняття:**

клітинна (тканинна) інженерія, гібридизація соматичних клітин, гібридоми, клонування організмів, гістотехнології, химерні організми.

### **Перевірте здобуті знання**

1. Які завдання клітинної (тканинної) інженерії? 2. Що таке клонування організмів? Яка методика цього процесу? 3. З якими проблемами стикаються дослідники під час клонування організмів? 4. З якою метою отримують гібридоми? Яка методика цього процесу? 5. Що таке гістотехнології? Яке їхнє практичне застосування? 6. Що таке химерні організми? З якою метою їх створюють?

### **Поміркуйте**

Поміркуйте, які проблеми етичного плану можуть виникнути під час клонування людини.

## **ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАТЬ**

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Назвіть прізвище вченого, який започаткував теоретичні основи штучного добору: а) Г. Мендель; б) Т. Шванн; в) М. Вавилов; г) Ч. Дарвін.
2. Зазначте, яке угруповання організмів у природі відповідає породі тварин чи сорту рослин: а) вид; б) зграя; в) родина; г) популяція.
3. Укажіть, чим супроводжується споріднене схрещування організмів: а) підвищенням гомозиготності нащадків; б) підвищенням гетерозиготності нащадків; в) гетерозисом; г) не впливає на генотип нащадків.
4. Назвіть прізвище вченого, який встановив центри походження і різноманітності культурних рослин: а) М. Вавилов; б) Г. Мендель; в) Ч. Дарвін; г) Г. Карпеченко.
5. Зазначте покоління гібридів, у якому найповніше проявляється гетерозис: а) перше; б) четверте; в) п'яте; г) восьме.
6. Зазначте, що таке біотехнологія: а) галузь генетики; б) галузь цитології; в) галузь біохімії; г) сукупність промислових методів, у яких використовують живі організми чи біологічні процеси.

7. Укажіть організми, внаслідок селекції яких часто отримують поліплоїдні форми: а) тварини; б) рослини; в) прокаріоти; г) віруси.

8. Укажіть організми, у селекції яких застосовують метод визначення якості плідників за властивостями нащадків: а) рослини; б) гриби; в) тварини; г) бактерії.

9. Визначте, як називають нащадків однієї клітини: а) породою; б) сортом; в) штамом; г) генофондом.

10. Укажіть форму штучного добору, яку найчастіше застосовують у селекції тварин: а) масовий; б) розриваючий; в) стабілізуючий; г) індивідуальний.

11. Укажіть мінімальну кількість поколінь, протягом яких особини не повинні паруватись із близькими родичами, щоб схрещування вважали неспорідненим: а) два; б) три; в) чотири; г) шість.

*Утворіть логічні пари*

12. Установіть відповідність між різними типами схрещування та ознаками організмів.

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| 1 споріднене             | <b>A</b> здійснюється між особинами одного виду, які не мають спільних предків протягом шести останніх поколінь |
| 2 неспоріднене           | <b>B</b> здійснюється між особинами одного виду, які мають спільних предків протягом шести останніх поколінь    |
| 3 віддалена гібридизація | <b>B</b> здійснюється між представниками різних видів одного класу  |

13. Установіть відповідність між формами штучного добору та притаманними їм ознаками.

- |                  |   |
|------------------|---|
| 1 масовий        | <b>A</b> обирають окремих особин за наслідками вивчення фенотипу та генотипу; застосовують у селекції рослин і тварин       |
| 2 індивідуальний | <b>B</b> обирають групу особин за наслідками вивчення фенотипу; зазвичай не застосовують у селекції тварин                  |
|                  | <b>B</b> обирають групу особин за наслідками вивчення як фенотипу, так і генотипу; застосовують у селекції рослин та тварин |

14. Визначте, з яких центрів різноманітності походять ті чи інші культурні рослини.

- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1 центральноамериканський   | <b>A</b> кукурудза        |
| 2 південноамериканський     | <b>B</b> картопля         |
| 3 південноазійський         | <b>B</b> тверда пшениця   |
| 4 південно-Західноазійський | <b>Г</b> цукрова тростина |
|                             | <b>Д</b> виноград         |

15. Визначте предків свійських тварин:

- |                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| 1 кінь           | <b>A</b> сазан           |
| 2 свійські кури  | <b>B</b> судак           |
| 3 свійські качки | <b>B</b> тарпан          |
| 4 короп          | <b>Г</b> крижень         |
|                  | <b>Д</b> банківські кури |

16. Установіть відповідність між різними галузями та методами біології.

- |                      |   |
|----------------------|---|
| 1 селекція           | <b>A</b> клонування організмів  |
| 2 генна інженерія    | <b>B</b> штучний добір  |
| 3 клітинна інженерія | <b>B</b> стабілізуючий добір  |
| 4 біотехнологія      | <b>Г</b> генна терапія  |
|                      | <b>Д</b> використання у промисловості живих організмів або біологічних процесів |

*Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей*

17. Назвіть методи, які використовують у селекції мікроорганізмів, рослин і тварин.

Селекція мікроорганізмів	Селекція рослин	Селекція тварин
1 штучний мутагенез	1 визначення якостей плідників за властивостями нащадків	1 щеплення
2 гістотехнології	2 отримання гібридом	2 визначення якостей плідників за властивостями нащадків
3 неспоріднене схрещування	3 щеплення	3 штучний мутагенез

18. Охарактеризуйте методи, які застосовують у біотехнології.

Метод отримання гібридом	Метод генної терапії	Метод отримання химерних організмів
1 створення організмів, які мають клітини, що належать різним біологічним видам	1 процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин, замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм	1 гібридизація лімфоцитів та пухлинних клітин
2 гібридизація лімфоцитів та пухлинних клітин	2 створення організмів, які мають клітини, що належать різним біологічним видам	2 процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин, замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм
3 процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин, замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм	3 гібридизація лімфоцитів та пухлинних клітин	3 створення організмів, які мають клітини, що належать різним біологічним видам

19. Охарактеризуйте клоновані, генетично модифіковані та химерні організми.

Клоновані організми	Генетично модифіковані організми	Химерні організми
1 організми, у геном яких вводять певні гени	1 організми, які мають клітини, що належать різним біологічним видам	1 генетично однорідні організми, отримані від спільного предка нестатевим шляхом
2 організми, які мають клітини, що належать різним біологічним видам	2 генетично однорідні організми, отримані від спільного предка нестатевим шляхом	2 організми, у геном яких вводять певні гени
3 генетично однорідні організми, отримані від спільного предка нестатевим шляхом	3 організми, у геном яких вводять певні гени	3 організми, які мають клітини, що належать різним біологічним видам

*Запитання з відкритою відповіддю*

20. Чому центри стародавнього землеробства й походження культурних рослин зазвичай знаходяться в гірській місцевості?

21. У чому полягає складність перенесення генів еукаріотів у прокариотичну клітину?
22. У чому можливі негативні наслідки створення химерних організмів?
23. Чи варто відмовитись від подальших досліджень у галузі створення трансгенних організмів?
24. Яке значення для подальшого розвитку генетики, селекції та біотехнології має створення банків генів?
25. З якою метою у селекції організмів можуть застосовувати мутації, які супроводжуються кратним зменшенням кількості наборів хромосом?
26. Чому ефективність селекції залежить від різноманітності вихідного матеріалу?
27. Що спільного та відмінного в селекції тварин, рослин та мікроорганізмів?
28. Якими шляхами модифіковану молекулу ДНК можна ввести у клітину?
29. Які можливі напрями застосування генетично модифікованих рослин і тварин?
30. Як за допомогою генної терапії можна лікувати певні захворювання людини?
31. Поміркуйте, чому безпліддя міжвидових гібридів тварин неможливо подолати шляхом створення поліплоїдних форм.



## Основні загальні властивості живих систем

Питання про появу і суть життя здавна хвилювали вчених, філософів і широкі верстви населення; це зрозуміло, адже ми й самі – живі істоти. Незважаючи на бурхливий розвиток біологічних наук, застосування фізико-хімічних методів досліджень, методів генної та клітинної інженерії, електронної мікроскопії та складної обчислювальної техніки, сутність життя досі залишається загадковою для людства. Сучасна наука не здатна штучно створити навіть найпростіший живий організм, невідомі причини старіння й смерті, причини появи життя на нашій планеті. Тому дотепер визначення життя має описовий характер і складається з перерахування його основних форм і властивостей:

1. *Живі організми складаються з тих самих хімічних елементів, що й неживі тіла.* На відміну від неживої природи, процентне співвідношення хімічних елементів у всіх живих істотах майже однакове. Чотири *органогенні елементи* (Карбон, Оксиген, Гідроген, Нітроген) становлять до 98 % біомаси; близько 1,9 % припадає на 8 *макроелементів* (Фосфор, Сульфур, Хлор, Калій, Натрій, Кальцій, Магній, Ферум), а 0,1 % – на частку більш ніж 30 *мікроелементів* (Алюміній, Купрум, Цинк, Молібден, Кобальт, Нікель, Стронцій, Йод, Селен, Флуор, Бром, Бор і ін.).

2. *Живі істоти складаються з особливих, переважно високомолекулярних, органічних сполук, води й деяких інших неорганічних речовин.* Серед органічних речовин основні – це білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи й ліпіди. З неорганічних речовин виняткове значення має вода, що становить 60–99 % біомаси різних організмів, а також солі та неорганічні кислоти.

3. *Обмін речовинами та енергією з навколишнім середовищем – необхідна умова існування живих систем.* Дві його сторони – асиміляція й дисиміляція, взаємно врівноважуючись, забезпечують динамічну сталість будови та властивостей внутрішнього середовища біологічних систем (*гомеостаз*), що складає основу їхньої здатності до *саморегуляції*.

4. *Жива матерія характеризується різними взаємозалежними рівнями організації:* молекулярним, клітинним, організованим, популяційно-видовим, екосистемним, або біогеоценотичним, і біосферним. Інтеграція взаємодій окремих складових кожного рівня зменшується від нижчого до вищого.

5. *Живій матерії властива дискретність.* Це означає, що на будь-якому рівні організації обов'язково існують структурно-функціональні одиниці – молекули, клітини, організми, популяції, біогеоценози.

6. *Живі істоти здатні до розмноження, росту та індивідуального розвитку.* Неперервність життя забезпечують *життєві цикли*. Усі нові клітини та організми утворюються, незважаючи на розмаїтість способів розмноження, винятково з материнських клітин.

7. *Спадкова інформація закодована у вигляді певної послідовності нуклеотидів молекул нуклеїнових кислот (ДНК чи вірусної РНК).* Під час поділу клітини вона або повністю (мітотичний поділ), або частково (мейотичний поділ) передається кожній з дочірніх клітин.

8. *Генотип реалізується у фенотипі під час матричного синтезу білків і може змінюватися за рахунок мутацій і рекомбінацій.* Фенотип формується за рахунок взаємодії генотипу організму з факторами навколишнього середовища.

9. *Процеси життєдіяльності клітин забезпечуються органелами, а багатоклітинних організмів – ще й тканинами та органами.* Для всіх живих істот характерна подразливість; функції більшості багатоклітинних тварин регулюють нервова (шляхом рефлексів), ендокринна (за допомогою гормонів та інших біологічно активних речовин) та імунна системи.

10. *Еволюція – процес виникнення адаптацій організмів до змін навколишнього середовища в послідовних рядах поколінь.* Здатність живих істот та надорганізованих живих систем пристосовуватись до умов середовища – показник ступеня їхньої *екологічної пластичності*. Процес адаптацій відбувається в елементарних еволюційних одиницях (популяціях) у середовищі біогеоценозів. Темпи еволюції залежать від швидкості змін умов довкілля.

11. *Біологічний прогрес будь-якого виду залежить від його здатності підтримувати оптимальну густоту (гомеостаз) окремих популяцій.* Вимирання або виживання виду під час біоценотичних криз залежить від його здатності швидко пристосовуватися до змін середовища (*еволюційна пластичність*). Тому історичний час існування як окремого виду, так і надвидових груп (родів і т. д.) не залежить від ступеня морфологічного ускладнення та частоти зміни поколінь.

12. *Живі системи всіх рівнів організації можуть нормально функціонувати лише за умови підтримання їхнього гомеостазу.* Порушення гомеостазу хоча б на одному із цих рівнів веде до структурно-функціональних змін на всіх інших.

13. *Найменш інтегровані та, відповідно, уразливі для зовнішніх впливів популяційно-видовий, екосистемний і біосферний рівні.* Зниження біорізноманіття призводить до дестабілізації екосистем, руйнування ланцюгів живлення. Найзгубніше впливають на стабільність надорганізмових біологічних систем фактори, інтенсивність дії яких неперіодично змінюється і виходить за межі витривалості біологічних систем, насамперед *антропогенні*.

**Можливості й перспективи застосування досягнень біології у забезпеченні існування людства.** Біологічні дослідження потрібні для створення наукових основ прогнозування та планування розвитку збалансованого процвітаючого людського суспільства майбутнього. Для цього необхідно відвернути наявну загрозу біосферної кризи, яку в пресі часто називають «екологічною». Специфічність загрози сучасної екологічної кризи, як і всіх майбутніх, – у змінах біосфери, спричинених господарською діяльністю людини.

Одне з важливих завдань біології – це вивчення біорізноманіття істот нашої планети. Воно далеко не завершене: учені-систематики вважають, що невідомими науці залишаються не менше як мільйон видів нині існуючих живих організмів.

Селекціонери широко застосовують штучні мутації для отримання високопродуктивних сортів сільськогосподарських рослин і промислових штамів мікроорганізмів. Штучні мутації також потрібні для розроблення генетичних методів контролю чисельності популяцій шкідливих організмів, що в майбутньому унеможливить масове розмноження цих видів в агроценозах і людських поселеннях.

Значні перспективи має *генетична (генна) інженерія*. Крім практичних напрямів (підвищення продуктивності штамів мікроорганізмів, перенесення в клітини прокаріотів генів еукаріотів, які відповідають за синтез важливих сполук – вітамінів, гормонів, ферментів тощо), у майбутньому вона зможе розв'язувати глобальні проблеми. Так, у галузі боротьби зі спадковими захворюваннями будуть знайдені методи вилучення з хромосом генів – носіїв інформації про ці захворювання, із заміною на безпечні алелі, та інші способи відповідних змін генотипу, а також штучні антимураційні засоби для зниження частот нових, насамперед шкідливих, мутацій. Перенесення генів бульбочкових бактерій, які визначають здатність до фіксування атмосферного азоту, до каріотипу вищих рослин дало б можливість значно економити кошти, які витрачаються на виробництво і внесення азотних добрив, а також знизило б небезпеку забруднення довкілля нітратами. Для подальшого розвитку генетичної інженерії створюють банки генів – колекції генів різноманітних організмів, вбудованих в плазміді.

Широко застосовуватимуть у майбутньому генетично змінені, так звані *трансгенні*, або *генетично модифіковані, організми*. Вони часто характеризуються стійкістю до впливу несприятливих чинників, високою продуктивністю і плодючістю, що може допомогти розв'язати проблему забезпечення людства продуктами харчування.

Багато чекають у майбутньому від *клітинної інженерії*. Унаслідок штучного поєднання соматичних клітин організмів різних видів, що можуть належати до різних родин і рядів, буде отримано багато високопродуктивних гібридів. Гібридизація соматичних клітин дає можливість створювати препарати, які підвищують стійкість організму до різноманітних інфекцій, високопродуктивні популяції породи, сорти та штами промислових і сільськогосподарських організмів тощо.

Завдяки виділенню соматичних клітин з організму та перенесенню на поживні середовища будуть створювати культури клітин (тканин) для отримання цінних речовин, що значно зменшить собівартість і припинить вилучення цілющих рослин та інших організмів з природи. Крім того, оскільки соматичні клітини містять усю спадкову інформацію, притаманну особині, існує можливість вирощувати із них значну кількість нащадків з ідентичними спадковими властивостями, тобто клонування.

Застосування *стовбурових клітин* у медицині дасть можливість лікувати різноманітні захворювання, зокрема онкологічні, відновлювати ушкоджені органи, омолоджувати організм тощо.

На прощання автори цієї книжки бажають вам успіхів у вивченні та збереженні різноманітного і чудового світу живої природи.

## Короткий словник термінів

### А

**Абіогенез** (від грец. *а* – заперечна частка, *біос* – життя та *генезис* – походження) – загальна назва гіпотез про виникнення життя із неживої матерії.

**Адаптації** (від лат. *адапто* – пристосовую) – пристосування організмів до умов середовища життя.

**Акросома** (від грец. *акрон* – вершина, кінець та *сома* – тіло) – особлива органела на кінці голівки сперматозоїда, утворена з елементів комплексу Гольджі; яка забезпечує проникнення останнього в яйцеклітину.

**Алельні гени** (від грец. *алельон* – один одного, взаємно та *генос* – рід) – різні стани певного *гена*, які займають подібне положення (локус) у гомологічних хромосомах та визначають різні стани певної ознаки.

**Альбіноси** (від лат. *альбус* – білий) – особини, у поривах яких не утворюються пігменти.

**Аналізуюче схрещування** здійснюють між особинами, які мають рецесивний та домінантний варіанти певної ознаки, з метою встановлення генотипу останньої.

**Аналогії** (від грец. *аналогія* – подібність) – схожість за будовою органів, які мають різне походження, але виконують однакові функції у неспоріднених видів.

**Ароморфоз** (від грец. *айро* – піднімаю та *морфозис* – форма, зразок) – еволюційне перетворення, яке підвищує складність організації організму в цілому і сприяє пристосуванню до різноманітних умов існування.

**Ареал** (від лат. *ареа* – площа, простір) – частина біосфери, яку населяють особини певного виду чи систематичної групи.

**Атавізми** (від лат. *атавіс* – предок) – прояв в окремих представників певного виду ознак, притаманних їхнім предкам.

**Аутбридинг** (від англ. *аут* – ззовні та *бридінг* – розведення) – див. *неспоріднене схрещування*.

**Аутосоми** (від грец. *автос* – сам та *сома*) – усі хромосоми каріотипу, крім статевих.

### Б

**Біогенез** (від грец. *біос* та *генезис*) – загальна назва гіпотез про життя як особливу форму матерії, яке відтворює саме себе та не може виникнути з неживих елементів.

**Біогенний колообіг речовин** (від грец. *біос* та *генезис*) – обмін речовин між абіотичною (неживою) та біотичною (живою) частинами екосистем.

**Біологічний прогрес** – еволюційний розвиток певної систематичної групи, який супроводжується збільшенням чисельності популяцій, розширенням ареалів й утворенням нових підвидів та видів у межах певної групи.

**Біологічний регрес** – наслідок неспроможності певної групи пристосуватися до змін довкілля; проявляється у зменшенні чисельності популяцій, звуженні ареалів і може призвести до вимирання.

**Біомаса** – маса особин, що припадає на одиницю її площі або об'єму.

**Біополімери** – великі молекули органічних речовин, побудовані з розмічених у певних послідовностях простіших молекул (мономерів).

**Біопродуктивність** – біомаса, що створюється в певному біоценозі за одиницю часу.

**Біосфера** (від грец. *біос* та *сфера*) – частина геологічних оболонок земної кулі (атмосфери, гідросфери, літосфери), заселена живими організмами.

**Біотехнологія** (від грец. *біос*, *техне* – мистецтво, майстерність та *логос*) – сукупність промислових методів, які застосовують для виробництва різних речовин з використанням організмів та біологічних процесів чи явищ.

**Біотичні зв'язки** – будь-які взаємодії між різними біологічними об'єктами, що впливають на їхню життєдіяльність.

**Бластомер** (від грец. *бластос* та *мерос* – частина) – клітина, що утворюється внаслідок дроблення.

**Бластула** (від грец. *бластос*) – стадія ембріогенезу багатоклітинних тварин, що формується внаслідок дроблення; має вигляд порожнистого утвору, стінки якого складаються з одного шару бластомерів.

**Близнюковий метод** генетичних досліджень – вивчення та порівняння фенотипів однойцевих близнюків.

### В

**Взаємодія генів** – явище, коли кілька генів (алельних або неалельних) спільно визначають фенотиповий прояв певної ознаки.

**Віддалена гібридизація** – схрещування особин, які належать до різних видів чи родів.

**Вид** – сукупність популяції особин, подібних між собою за будовою, функціями, положенням у біогеоценозі (екологічна ніша), населяють певну частину біосфери (ареал), вільно схрещуються між собою в природі, дають плідних нащадків і не гібридизуються з іншими видами.

**Видове різноманіття** – сукупність популяцій різних видів, які входять до складу певного біоценозу, будь-якої ділянки Землі чи біосфери в цілому.

**Видоутворення** – еволюційний процес виникнення нових видів.

### Г

**Гамети (статеві клітини)** (від грец. *гамете* – дружина або *гаметес* – чоловік) – клітини, що беруть участь у копуляції та мають порівняно із соматичними клітинами даного організму половинний набір хромосом.

**Гаметогенез** (від грец. *гамете* або *гаметес* та *генезис*) – процес утворення статевих клітин (гамет), який проходить послідовні стадії розмноження, росту, дозрівання та формування.

**Гаплоїдний набір хромосом** (від грец. *гаплоос* – поодинокий) – хромосомний набір ядра, у якому всі хромосоми відрізняються між собою (умовно позначається 1n, де n – кількість хромосом).

**Ген** (від грец. *генос* – рід) – ділянка молекули ДНК (у деяких вірусів – РНК), що містить інформацію про первинну структуру молекул поліпептиду, білка, певного типу РНК або взаємодіє з регуляторним білком, тобто є елементарним носієм спадкової інформації.



**Генеалогічний метод** генетичних досліджень – установлення характеру успадкування ознак за допомогою вивчення родоводів організмів.

**Генетична інженерія** – галузь генетики та біохімії, яка розробляє методи перебудови геномів організмів шляхом вилучення або введення окремих генів чи їхніх груп, штучного синтезу генів тощо.

**Генетичний код** – властива всім живим організмам єдина система кодування спадкової інформації в молекулах нуклеїнових кислот у вигляді послідовності нуклеотидів, яка визначає порядок введення амінокислот до поліпептидного ланцюга під час його синтезу.

**Геном** – сукупність молекул ДНК притаманна гаплоїдному набору хромосом організмів певного виду.

**Генотип** (від грец. *генос* і *типос* – відбиток) – сукупність усієї генетичної інформації, закованої в генах клітини або організму в цілому.

**Генофонд** (від грец. *ген* та франц. *фонд* – основа) – сукупність усіх генів та їхніх алелів особин певної популяції, групи популяцій або виду.

**Гетерозис** (від грец. *гетероіозис* – зміна, перевтілення) – явище, за якого перше покоління гібридів, одержаних шляхом неспорідненого схрещування, має підвищені життєздатність та продуктивність порівняно з батьками.

**Гібриди** (від грец. *гібрида* – суміш) – нащадки від схрещування батьків, які відрізняються між собою за одним чи більше станами ознак.

**Гібридологічний метод** у генетиці полягає в схрещуванні (гібридизації) організмів, які відрізняються за певними станами однієї чи кількох ознак.

**Гібридологічний аналіз** – дослідження характеру успадкування станів ознак за допомогою системи схрещувань.

**Гібридизація** – див. *схрещування*.

**Гідросфера** (від грец. *хідор* та *сфера*) – водна оболонка Землі, тобто сукупність усіх водойм (океанів, морів, річок, озер тощо).

**Гомозигота** (від грец. *гомос* – рівний, однаковий та *зиготос*) – диплоїдна або поліплоїдна клітина (особина), гомологічні хромосоми якої містять однакові алелі певного гена.

**Гомології** (від грец. *гомологія* – відповідність) – подібність загального плану будови органів різних видів, зумовлена їхнім спільним походженням, хоча внаслідок адаптації до тих чи інших умов існування такі органи можуть зовні значно різнитися між собою.

**Гомологічні хромосоми** – хромосоми однієї пари, які мають однакові розміри, будову та набір генів.

**Група зчеплення** – сукупність генів певної хромосоми.

## Д

**Дарвінізм** – теорія Ч. Дарвіна, згідно з якою еволюція організмів відбувається на підставі спадкової мінливості під дією боротьби за існування, наслідком якої є природний добір.

**Дивергенція** (від лат. *диверго* – відхиляюсь, відходжу) – явище розходження ознак у нащадків як наслідок пристосувань особин предкового виду до різних умов довкілля.

**Дизруптивний добір** (від лат. *дизруптус* – розірваний) спрямовує мінливість у двох, рідше кількох різних напрямках, однак не сприяє середнім ступеням прояву станів ознак.

**Диплоїдний набір хромосом** (умовно позначають  $2n$ , де  $n$  – кількість хромосом у гаплоїдному наборі) – хромосомний набір ядра, у якому є по дві гомологічні хромосоми, що належать до кожної пари.

**Домінантний алель** (від лат. *домінантіс* – панівний) – алель, який кодує стан ознаки, що проявляється у фенотипі гетерозиготних за цим геном особин (умовно позначається великою літерою латинського алфавіту – *A, B, C, D* тощо).

**Домінантні види** (від лат. *домінантіс*) – види, популяції яких у даному біоценозі найчисленніші.

**Домінування** (від лат. *домінантіс*) – явище пригнічення прояву одного алеля іншим.

**Дрейф генів** (від голланд. *дрівен* – плавати, гнати) – неспрямована зміна частот зустрічальності певних алелів у популяції під впливом випадкових причин.

**Дроблення** – ряд послідовних мітотичних поділів зиготи або партеногенетичної яйцеклітини, за якого утворені клітини (бластомери) в інтерфазах не ростуть.

## Е

**Екологічна ніша** – притаманне кожному виду унікальне положення в біогеоценозах, яке є наслідком його взаємодії із сукупністю екологічних факторів.

**Екологічна піраміда** – графічне відображення трофічної структури ланцюга живлення.

**Екосистема** (від грец. *ойкос* та *система* – об'єднання, сполучення) – сукупність популяцій різних видів, які взаємодіють між собою та з фізичним середовищем життя таким чином, що виникає потік енергії, який створює певні ланцюги живлення і забезпечує біогенний колообіг речовин.

**Елементарні фактори еволюції** – згідно із синтетичною теорією еволюції, це фактори еволюції, що діють у популяціях: спадкова мінливість, хвилі життя (популяційні хвилі), ізоляція, дрейф генів.

**Ембріональний (зародковий) період** онтогенезу – час, протягом якого новий організм (ембріон) розвивається всередині материнського організму або яйця, насінини тощо; завершується народженням (вилупленням, проростанням).

**Енергетичний обмін** – сукупність реакцій розщеплення складних сполук в організмі чи окремій клітині, які супроводжуються виділенням енергії.

## Ж

**Життєвий цикл** – сукупність усіх фаз розвитку чи різних за будовою та проявами життєдіяльності поколінь організмів певного виду; відбувається між однаковими фазами розвитку двох чи більше послідовних поколінь.

## З

**Загальна дегенерація** (від лат. *дегенеро* – вироджувюсь) – явище спрощення будови організмів унаслідок еволюції, здебільшого характерне для паразитів і малорухомих видів.

**Закон гомологічних рядів спадкової мінливості** полягає в тому, що споріднені види та роди характеризуються подібними рядами спадкової мінливості з такою правильністю, що, вивчивши ряд форм у межах одного виду чи роду, можливо передбачити знахідки форм з подібним поєднанням ознак у межах близьких видів чи родів.

**Закон незалежного комбінування ознак** полягає в тому, що під час дигібридного чи полігібридного схрещування розщеплення станів за кожною з ознак відбувається незалежно від інших.

**Закон одномоантності гібридів першого покоління (закон домінування)** полягає в тому, що в гібридів першого покоління у фенотипі проявляються виключно домінантні стани (варіанти) ознак.

**Закон розщеплення ознак** полягає в тому, що при схрещуванні гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігається явище розщеплення станів ознак: у фенотипі чверті особин проявляється рецесивний, а трьох четвертих – домінантний стани певної ознаки.

**Зчеплене успадкування** – успадкування ознак, закодованих у генах однієї хромосоми.

## I

**Ідіоадаптація** (від грец. *idios* – особливий, своєрідний та лат. *адаптація* – пристосування) – зміна будови організму, яка має характер пристосування до певних умов і не змінює його рівень організації.

**Ізоляція** (від франц. *ізолясьйон* – розділення) – унеможливлення схрещувань між особинами одного виду в природі.

**Інбридинг** (від англ. *in* – усередині та *бридинг* – розведення) – див. *споріднене схрещування*.

## K

**Каріотип** (від грец. *каріон* та *типос* – форма, зразок) – специфічний для кожного виду набір хромосом ядра.

**Клітинна (тканинна) інженерія** – галузь біотехнології, у якій застосовують методи виділення клітин з організму та перенесення їх на штучні поживні середовища; за її допомогою можна поєднувати частини соматичних клітин різних видів, родів тощо.

**Клон** (від грец. *клон* – гілка, нащадок) – сукупність клітин або особин, які виникли від спільного предка нестатевим шляхом.

**Кодомінування** (від лат. *ко* – разом та *домінантис*) – явище, коли обидві алелі певного гена повністю проявляються у фенотипах гібридних особин.

**Комбінативна мінливість** – спадкова мінливість, спричинена рекомбінаціями алельних генів.

**Коменсалізм** (від лат. *ком* та *менса*) – тип взаємозв'язків різних видів, за якого один з них (коменсал) використовує їжу чи житло іншого (хазяїна), не завдаючи останньому помітної шкоди.

**Консументи** (від лат. *консумо* – споживаю) – гетеротрофні організми, які споживають інші організми або їх рештки.

**Кон'югація** (від лат. *кон'югатіо* – сполучення) – загальна назва кількох форм статевого процесу: при кон'югації (тимчасовому з'єднанні) дві клітини прокаріот обмінюються частинами молекул ДНК через цитоплазматичний місток; у деяких водоростей і грибів кон'югація відбувається шляхом злиття вмісту двох вегетативних клітин; у інфузорій кон'югація – обмін генеративними ядрами між двома клітинами.

**Копуляція** (від лат. *копуляціо* – з'єднання) – процес злиття двох гамет, а також процес парування різностатевих особин.

**Креаціонізм** (від лат. *креаціо* – створення) – система поглядів на незмінність живої природи із часу її виникнення.

**Кросинговер (перехрест хромосом)** (від англ. *кросинговер* – перехрест) – обмін певними ділянками між гомологічними хромосомами під час кон'югації їх.

## L

**Ланцюги живлення** – послідовності, у яких організми одного виду, їх рештки або продукти життєдіяльності слугують об'єктом живлення організмів іншого виду.

**Летальний алель** (від лат. *Лета* – назва річки в міфічному царстві мертвих) – алель, який, проявляючись у фенотипі, призводить до загибелі організму.

**Літосфера** (від грец. *літос* – камінь та *сфера*) – зовнішня тверда оболонка Землі завглибшки до 50–200 км.

**Локус** (від лат. *локус* – місце) – певна ділянка хромосом, де розташовані алелі відповідного гена.

## M

**Макроеволюція** (від грец. *макрос* – довгий та *еволюція*) – еволюційні процеси, що приводять до виникнення надвидових таксонів (рід, родина і т.д. аж до царства).

**Межі витривалості** (верхня та нижня) – величина інтенсивності дії екологічного фактора, за якою існування організмів певного виду стає неможливим.

**Мезодерма** (від грец. *мезос* – середній, проміжний та *дерма*) – середній зародковий листок більшості багатоклітинних тварин.

**Методи генетичної інженерії** – методи, за допомогою яких з організмів виділяють окремі гени або синтезують їх штучно, перебудовують гени і включають їх у геноми інших клітин або організмів.

**Міжнародна Червона книга** – видання Міжнародної спілки охорони природи і природних ресурсів (МСОП), куди заносять види, яким загрожує знищення.

**Міжнародна спілка охорони природи і природних ресурсів (МСОП)** – неурядова організація, що координує зусилля урядів різних країн, наукових, освітніх і громадських організацій у галузі охорони природи; видає Міжнародну Червону книгу.

**Мікроеволюція** (від грец. *мікрос* – маленький та *еволюція*) – сукупність еволюційних процесів, які відбуваються в популяціях одного виду.

**Мінливість** – здатність організмів набувати нових ознак та їхніх станів у процесі онтогенезу.

**Моделювання** (від лат. *модулюс* – устрій, зразок) – метод дослідження та демонстрації структур, функцій, процесів за допомогою їхнього спрощеного відтворення (імітації).

**Модифікаційна (неспадкова) мінливість** (від лат. *модус* – міра, вид та *фаціо* – роблю) – зміни фенотипу, спричинені різними екологічними факторами та не пов'язані зі змінами генотипу.

**Монофілія** (від грец. *монос* та *філон* – вид, рід, плем'я) – походження всіх членів будь-якої систематичної групи від спільного предка.

**Мутагени** (від лат. *мутаціо* – зміна та *генос*) – фактори довкілля різної природи (фізичні, хімічні, біологічні), здатні спричинити мутації.

**Мутаційна мінливість** – спадкова мінливість, спричинена мутаціями.

**Мутації** (від лат. *mutatio* – зміна) – стійкі зміни генів чи хромосом, які виникають раптово і призводять до змін тих чи інших спадкових ознак організму.

**Мутуалізм** (від лат. *mutuus* – взаємний) – форма симбіозу, за якого кожен із співіснуючих видів дістає певну користь від іншого.

## Н

**Нейтралізм** (від лат. *нейтер* – ніякий) – форма співіснування популяцій двох видів, за якої жоден з них не відчуває на собі безпосереднього впливу іншого.

**Неокатастрофізм** (від грец. *неос* – новий та *катастрофе* – переворот) – система еволюційних поглядів, яка базується на факті етапності розвитку життя на Землі.

**Неспоріднене схрещування (аутбридинг)** (від англ. *аут* – поза та *бридінг*) – гібридизація організмів, які не мають тісних родинних зв'язків, тобто представників різних чистих ліній, сортів чи порід одного виду.

**Ноосфера** (від грец. *ноос* – розум та *сфера*) – новий стан біосфери, за якого розумова діяльність людини стає визначальним чинником її розвитку.

**Норма реакції** – межі модифікаційної мінливості, які визначаються генотипом організму.

## О

**Обмежувальний (лімітуючий) фактор** – екологічний фактор, інтенсивність дії якого виходить за межі витривалості (толерантності).

**Онтогенез** (індивідуальний розвиток) (від грец. *онтос* – ество та *генезіс*) – розвиток багатоклітинних організмів, що починається від однієї клітини (зиготи, спори тощо) чи багатоклітинного зачатка (при вегетативному розмноженні) та закінчується смертю.

**Оогенез** – (від лат. *ово* та *генезіс*) – процес формування яйцеклітин.

## П

**Партеногенез** (від грец. *партенос* – дівчина та *генезіс*) – розвиток організму з незаплідненої яйцеклітини.

**Підвид** – сукупність подібних між собою популяцій, які відрізняються від інших популяцій того самого виду однією або небагатьма станами ознак.

**Плоідність** (від грец. *плоос* – кратний та *ейдос* – вид) – число хромосомних наборів клітин організму.

**Поліембріонія** (від грец. *поліс* та *ембріон* – зародок) – розвиток кількох зародків із однієї заплідненої яйцеклітини.

**Поліморфізм** (від грец. *поліс* та *морфе* – вигляд) – наявність кількох різних фенотипових форм у популяції.

**Поліплоїдний набір хромосом** (від грец. *поліс*, *плоос* – кратний та *ейдос* – вид) – хромосомний набір ядра, у якому кожна хромосома представлена трьома чи більшим числом гомологів.

**Популяційні хвилі** (хвилі життя) – періодичні коливання чисельності особин у популяції.

**Популяція** (від лат. *популюс* – народ, населення) – сукупність особин виду, які тривалий час мешкають у певній частині його ареалу, частково чи повністю ізольовано від інших подібних сукупностей цього самого виду.

**Порода** – штучно створена внаслідок селекції популяція тварин з корисними для людини властивостями.

**Постембріональний (післязародковий) період** (від лат. *пост* – після, пізніше та грец. *ембріон*) онтогенезу триває від народження (вилуплення, проростання) до набуття здатності до розмноження.

**Правило екологічної піраміди** полягає в тому, що на кожному попередньому трофічному рівні ланцюга живлення кількість біомаси та енергії, що запасуються організмами за одиницю часу, значно більша, ніж на наступних.

**Правило (закон) чистоти гамет** стверджує, що в гібридного (гетерозиготного) диплоїдного організму кожна гамета містить лише один алельний ген з їхньої сукупності.

**Природний добір**, за **Ч. Дарвіном**, – це наслідок боротьби за існування, який проявляється в переважаючому виживанні та розмноженні найприспособованіших до умов довкілля організмів певного виду.

**Продуценти** (від лат. *продуцентіс* – той, що виробляє, створює) – популяції автотрофних організмів, здатних синтезувати органічні сполуки з неорганічних.

**Проміжний характер успадкування** проявляється у випадках, коли жоден з алелів не домінує над іншим; тому фенотип гетерозиготної особини буде усереднений порівняно з фенотипами гомозигот по обох алелях.

## Р

**Редуценти** (від лат. *редуцентіс* – той, що повертає, відновлює) – популяції гетеротрофних організмів, які живляться органічною речовиною решток організмів чи продуктів їхньої життєдіяльності, розкладаючи її до неорганічних сполук.

**Рекомбінація** (від лат. *рекомбінаціо* – возз'єднання) – поєднання алелів різних генів у гаметах гібридних особин, які відрізняються від таких сполучень у гаметах батьків.

**Рецесивний алель** (від лат. *рецесус* – відступ) – алель, який кодує стан ознаки, що не проявляється у фенотипі гетерозиготних за цим геном особин (умовно позначається малою літерою латинського алфавіту – *a*, *b*, *c*, *d* тощо).

**Решітка Пеннета** – таблиця, за допомогою якої можна продемонструвати результати схрещування.

**Розщеплення ознак** – прояв обох станів ознаки (рецесивного та домінантного) у фенотипах нащадків гібридної особини.

**Рудименти** (від лат. *рудиментум* – зачаток, першооснова) – органи, недорозвинені чи спрощені в певних видів порівняно з подібними утворами предкових форм унаслідок втрати своїх функцій протягом філогенезу.

## С

**Сальтаціонізм** (від лат. *сальто* – стрибок) – гіпотеза про стрибкоподібні різкі еволюційні зміни, що спричинені зростанням темпів еволюції, масовим вимиранням старих і виникненням нових систематичних груп (видів, родів і т.д.) під час біоценотичних криз.

**Селекція** (від лат. *селекціо* – вибір, добір) – наука про теоретичні основи та методи створення нових і поліпшення вже існуючих сортів рослин, порід тварин та штамів мікроорганізмів.



**Симбіоз** (від грец. *сим* та *біос*) – будь-які форми співіснування різних видів організмів.

**Синтетична теорія еволюції** – комплекс уявлень про еволюційний процес, що склався в 20–50-х роках ХХ ст. внаслідок поєднання уявлень про мутації як єдине джерело спадкової мінливості, популяцію як основну одиницю еволюції та дарвінівських уявлень про боротьбу за існування та природний добір.

**Соматичні (нестатеві) клітини** (від грец. *сома* – тіло) – клітини, що виконують вегетативні функції та у більшості багатоклітинних організмів мають диплоїдний набір хромосом.

**Сорт** – штучно створена внаслідок селекції популяція рослин з корисними для людини властивостями.

**Спадкова мінливість** виникає внаслідок змін генотипу (комбінативна та мутаційна).

**Сперматогенез** (від грец. *сперматос* – сім'яна рідина та *генезис*) – процес формування сперматозоїдів (сперміїв).

**Сперматозоїд** (від грец. *сперматос* – сім'яна рідина та *зоон* – жива істота) – чоловіча гамета.

**Споріднене схрещування (інбридинг)** (від англ. *in* – в, усередині та *бридінг* – розведення) – схрещування організмів, що протягом останніх шести поколінь мають безпосередніх спільних предків.

**Стабілізуючий добір** проявляється в постійних умовах довкілля; підтримує сталість певного фенотипу, що найбільше відповідає навколишньому середовищу, і відкидає будь-які зміни, як менш адаптаційні, тим самим звужуючи норму реакції.

**Статевий диморфізм** (від грец. *ди* – подвійний та *морфа* – форма) – явище, коли особини різної статі за будовою, забарвленням тощо помітно відрізняються одна від одної; є наслідком статевого добору.

**Статевий добір** – явище суперництва особин однієї статі за парування з особинами іншої статі у багатьох тварин, переважно хребетних.

**Стовбурові клітини** здатні продукувати різні клітини; давати початок клітинам різних типів; визначають здатність до регенерації.

**Стопкодони** – особливі триплетти (УАА, УАГ, УГА), кожен з яких визначає припинення синтезу поліпептидного ланцюга.

**Сукцесії** (від лат. *сукцесіо* – послідовність, наступність) – спрямовані послідовні зміни угруповань організмів, які призводять до перетворення самого біогеоценозу.

**Схрещування (гібридизація)** – отримання нащадків від пари організмів, що різняться між собою за одним або кількома станами спадкових ознак.

## Т

**Трофічні зв'язки** (від грец. *трофе* – живлення, їжа) – форма біотичних зв'язків, за якої організми одного виду безпосередньо або продукти їхньої життєдіяльності є об'єктом живлення для особин іншого.

**Трофічний рівень** (від грец. *трофе* – живлення, їжа) – місце популяції певного виду в ланцюзі живлення.

## У

**Успадкування ознак, зчеплене зі статтю**, – явище, коли деякі ознаки закодовані в генах гетерохромосом.

## Ф

**Фактори еволюції** – чинники, які спричиняють незворотні адаптивні зміни організмів, популяцій і видів протягом існування біосфери.

**Фен** (від грец. *фаїно* – являю, знаходжу) – певний стан ознаки.

**Фенотип** (від грец. *фаїно* – являю і *типос* – відбиток) – сукупність усіх ознак і властивостей організму, що формується внаслідок взаємодії генотипу з факторами довкілля.

**Філогенез** (від грец. *філон* – рід, плем'я та *генезис*) – історичний розвиток певної систематичної групи.

**Філогенетичний ряд** – послідовність історичних змін організмів у цілому чи їх окремих органів у межах певної систематичної групи.

**Філогенія** (від грец. *філон* – рід, плем'я та *генезис*) – біологічна наука про шляхи історичного розвитку (філогенезу) певних систематичних груп.

**Фітоценоз** (від грец. *фітон* – рослина та *койнос* – загальний) – угруповання популяцій різних видів рослин (рослинність), що разом ростуть на спільній території.

**Фототрофи** (від грец. *фотос* – світло та *трофос* – живлення, їжа) – автотрофні організми, які для процесів синтезу використовують енергію світла.

## Х

**Харчова (трофічна) сітка** – сплетіння ланцюгів живлення в біогеоценозах унаслідок того, що один і той самий вид одночасно може бути ланками різних ланцюгів.

**Хемосинтетики, або хемотрофи** (від грец. *хемейя* – хімія та *трофе* – живлення, їжа), – автотрофні організми, які для синтезу органічних речовин використовують енергію хімічних реакцій окиснення неорганічних сполук.

## Ч

**Чергування поколінь** – явище, коли в життєвому циклі чергуються два або більше різних за будовою та способом розмноження поколінь.

**Чисельність популяції** – число особин, які входять до складу популяції.

**Чисті лінії** – генотипово однорідні нащадки, отримані від однієї особини шляхом самоzapліднення, гомозиготні за більшістю генів.

**Чорні списки** – списки видів, які зникли з лиця Землі починаючи з 1600 року.

## Ш

**Штам** (від нім. *штамм* – стовбур, основа, сім'я, плем'я) – культура мікроорганізмів, отримана від однієї клітини.

**Штучний добір** – добір, який людина проводить з метою виведення сортів, порід чи штамів із корисними для неї властивостями.

**Щеплення (у рослин)** – особливий спосіб штучного об'єднання частин різних рослин, що призводить до неспадкових змін фенотипу.

## Я

**Ярусність** – просторове розташування популяцій різних видів рослин у біоценозі.

## Зміст

Дорогі дев'ятикласниці та дев'ятикласники . . . . .	3
<b>Вступ</b>	
§1. Біологія – комплексна наука про живу природу. Рівні організації біологічних систем. Основні методи біологічних досліджень . . . . .	4
<b>Тема 1. Хімічний склад клітини. Біологічні молекули</b>	
§2. Вода, її властивості та функції у складі біологічних систем. Інші неорганічні сполуки . . . . .	11
§3. Поняття про органічні речовини. Ліпіди та вуглеводи . . . . .	15
§4. Білки: будова та властивості . . . . .	19
§5. Функції білків . . . . .	22
§6. Нуклеїнові кислоти. Властивості та функції РНК . . . . .	25
§7. Будова, властивості та функції ДНК . . . . .	27
§8. Поняття про перетворення енергії в біологічних системах. АТФ . . . . .	30
Практична робота 1. Розв'язання елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот. . . . .	33
<b>Тема 2. Структура клітини</b>	
§9. Методи дослідження клітин. Типи мікроскопії . . . . .	36
§10. Структура еукаріотичної клітини: поверхневий апарат . . . . .	39
§11. Структура еукаріотичної клітини: цитоплазма, рибосоми, органели руху, клітинний центр . . . . .	43
§12. Структура еукаріотичної клітини: ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі . . . . .	47
§13. Структура еукаріотичної клітини: мітохондрії і пластиди . . . . .	51
§14. Ядро: будова та функції . . . . .	53
§15. Типи клітин та їхня порівняльна характеристика. Будова прокариотичної клітини . . . . .	57
Лабораторна робота. Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин . . . . .	61
<b>Тема 3. Принципи функціонування клітини</b>	
§16. Обмін речовин та перетворення енергії в клітині. Біохімічні механізми дихання . . . . .	63
§17. Енергетичний обмін. Кисневий (аеробний) етап . . . . .	67
§18. Особливості процесів пластичного обміну. Фотосинтез: світлова фаза . . . . .	71
§19. Фотосинтез: темнова фаза. Хемосинтез . . . . .	74
<b>Тема 4. Збереження та реалізація спадкової інформації</b>	
§20. Особливості організації генів і геномів прокариотичних та еукаріотичних організмів . . . . .	79
§21. Роль різних типів молекул РНК у кодуванні та реалізації спадкової інформації. Генетичний код . . . . .	82
§22. Біосинтез білків . . . . .	85
Практична робота 2. Розв'язування елементарних вправ з транскрипції та трансляції . . . . .	89
§23. Клітинний цикл. Мітоз . . . . .	90
§24. Мейоз . . . . .	93
§25. Типи розмноження організмів. Статеві клітини . . . . .	96
§26. Процеси запліднення . . . . .	100
§27. Етапи індивідуального розвитку організмів. Ембріональний розвиток тварин . . . . .	105
§28. Післязародковий розвиток і ріст організмів . . . . .	108
<b>Тема 5. Закономірності успадкування ознак</b>	
§29. Генетика – наука про закономірності спадковості й мінливості організмів . . . . .	113
§30. Методи генетичних досліджень . . . . .	116
§31. Закономірності спадковості, які встановив Г. Мендель. Статистичний характер законів спадковості та їхні цитологічні основи . . . . .	120
Практична робота 3. Складання схем схрещування . . . . .	124
§32. Явище зчепленого успадкування. Хромосомна теорія спадковості . . . . .	126
§33. Генетика статі. Успадкування, зчеплене зі статтю . . . . .	130
§34. Генотип організму як цілісна інтегрована система . . . . .	133
§35. Форми мінливості. Модифікаційна мінливість – наслідок взаємодії генотипу та умов довкілля . . . . .	136
§36. Види мутацій та причини їх виникнення . . . . .	139
§37. Спадкові захворювання людини. Генетичне консультування . . . . .	144

## Тема 6. Еволюція органічного світу

§38. Процес еволюції як універсальна властивість біологічних систем . . . . .	152
§39. Еволюційні погляди Ж.-Б. Ламарка. Теорія еволюції Ч. Дарвіна . . . . .	156
§40. Основні положення сучасної теорії еволюції. Популяція як елементарна одиниця еволюції . . . . .	160
§41. Видоутворення. Основні напрями еволюційного процесу . . . . .	164
§42. Роль різних наук в обґрунтуванні теорії еволюції . . . . .	169
§43. Світоглядні та наукові погляди на походження та історичний розвиток життя . . . . .	173
§44. Етапи еволюції людини . . . . .	178

## Тема 7. Біорізноманіття

§45. Основи еволюційної філогенії та систематики . . . . .	186
§46. Неклітинні форми життя – віруси. Прокаріоти . . . . .	190
§47. Еукаріоти: гриби, рослини, тварини . . . . .	195
Практична робота 4. Порівняння будови та процесу розмноження клітинних і неклітинних форм життя . . . . .	200

## Тема 8. Надорганізмові біологічні системи

§48. Екологія. Екосистема та її характеристики . . . . .	202
§49. Харчові зв'язки. Потоки енергії в екосистемах. Продуктивність екосистем . . . . .	204
§50. Біотичні, абіотичні та антропогенні екологічні фактори . . . . .	208
§51. Стабільність екосистем і причини її порушення . . . . .	211
§52. Біосфера як цілісна система . . . . .	213
§53. Захист та збереження біосфери, основні заходи щодо охорони навколишнього середовища . . . . .	218

## Тема 9. Біологія як основа біотехнології та медицини

§54. Завдання сучасної селекції . . . . .	225
§55. Особливості селекції тварин, рослин та мікроорганізмів . . . . .	229
§56. Огляд традиційних біотехнологій . . . . .	234
§57. Генетична (генна) інженерія. Генетично модифіковані організми . . . . .	238
§58. Клітинна (тканинна) інженерія . . . . .	242
Основні загальні властивості живих систем . . . . .	248
Короткий словник термінів . . . . .	251

### Навчальне видання

ОСТАПЧЕНКО Людмила Іванівна, БАЛАН Павло Георгійович,  
ПОЛІЩУК Валерій Петрович

## БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**Видає за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Головний редактор *Наталія Заблоцька*. Редактор *Людмила Мялківська*.  
Обкладинка *Тетяни Куц*. Художнє оформлення *Людмили Кузнецової*.  
Технічний редактор *Цезарина Федосіхіна*.

Комп'ютерна верстка *Людмили Ємець*. Коректор *Інна Борік*

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 29,76. Обл.-вид. арк. 25,37.  
Тираж 141 662 пр. Вид. № 1879. Зам. № 10-3398.

Видавництво «Гене́за», вул. Тимошенка, 2-л, м. Київ, 04212.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 5088 від 27.04.2016.

Віддруковано на ТОВ «НВП Поліграфсервіс», вул. Юрія Коцюбинського, 4, к. 25, м. Київ, 04053.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 3751 від 01.04.2010.





**Айстра альпійська**  
*Aster alpinus*



**Білотка альпійська**  
*Leontopodium alpinum*



**Ковила пухнастолиста**  
*Stipa dasyphylla*



**Дельфіній руський**  
*Delphinium cuneatum*



**Альдрованда пухирчаста**  
*Aldrovanda vesiculosa*



**Марсилея чотирилиста**  
*Marsilea quadrifolia*



**Язичок зелений**  
*Coeloglossum viride*



**Сосна Станкевича** *Pinus stankewiczii*



**Тюльпан скіфський**  
*Tulipa scythica*



**Шафран Палласа**  
*Crocus pallasii*



**Адiant венерин волос**  
*Adiantum capillus-veneris*



**Півонія вузьколиста**  
*Paeonia tenuifolia*



**Плаун річний**  
*Lycopodium annotinum*



**Тирлич безстебловий**  
*Gentiana acaulis*



ТВАРИНИ

ЧЕРВОНА  
КНИГА  
УКРАЇНИ



Бражник мертва голова  
*Acherontia atropos*



Гадюка Нікольського  
*Vipera nikolskii*



Тюлень-монах  
*Monachus monachus*



Пугач *Bubo bubo*



Горностаї *Mustela erminea*



Дибка степова  
*Saga pedo*



Білуґа *Huso huso*



Беркут  
*Aquila chrysaetos*



Тритон карпатський  
*Lissotriton montandoni*



Краб кам'яний  
*Eriphia verrucosa*



Аскалаф строкатий  
*Libelloides macaronius*



Їжачок вухатий  
*Hemiechinus auritus*



Афаліна звичайна *Tursiops truncatus*



Зубр *Bison bonasus*



Нетопир середземноморський  
*Pipistrellus kuhlii*