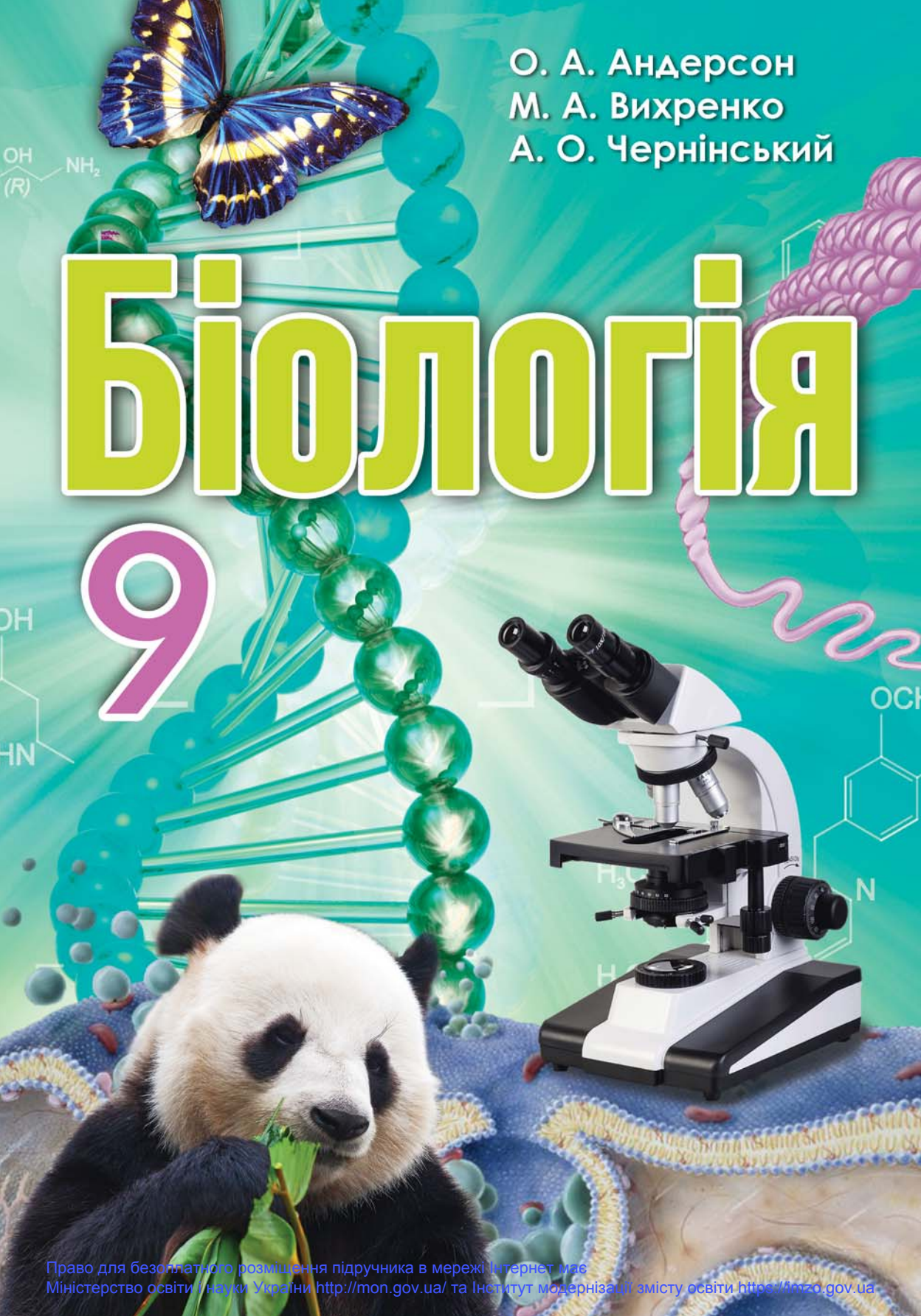


О. А. Андерсон  
М. А. Вихренко  
А. О. Чернінський

# БІОЛОГІЯ

# 9



Закономірності спадковості та мінливості – **генетика**

Будову, властивості вірусів, розробляє методи лікування та профілактики вірусних захворювань – **вірусологія**

Мікроскопічні організми – **мікробіологія**

Будову, життєдіяльність та різноманітність грибів – **мікологія**

Будову, життєдіяльність та різноманітність рослин – **ботаніка**

Будову, життєдіяльність та різноманітність тварин – **зоологія**

Вимерлі організми – **палеонтологія**

Фізичні процеси в організмах – **біофізика**

Закономірності географічного поширення організмів та їхніх угруповань – **біогеографія**

**Біологічні науки**  
досліджують  
різні  
в усіх його

# ні науки ТЬ ЖИТТЯ НА рівнях і о проявах

Закономірності історичного розвитку органічного світу – **еволюційна біологія**

Хімічний склад і процеси, що відбуваються в організмах, – **біохімія**

Молекулярні механізми біологічних процесів – **молекулярна біологія**

Будову, життєдіяльність та різноманітність клітин вивчає **цитологія**

Внутрішню будову організмів вивчає **анатомія**

Процеси життєдіяльності організмів – **фізіологія**

Взаємозв'язки організмів між собою та умовами навколишнього середовища – **екологія**

Застосування обчислювальної техніки для аналізу великих наборів біологічних даних – **біоінформатика**

Можливості використання організмів і біологічних процесів у виробництві – **біотехнологія**

**О. А. Андерсон  
М. А. Вихренко  
А. О. Чернінський**

# Біологія

Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*



Київ  
«Школяр»  
2017

УДК 57(075.3)  
Б63

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

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК БЮДЖЕТНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

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

**В. І. Шабанов** – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри природничо-математичних дисциплін та методики викладання Донецького обласного інституту післядипломної педагогічної освіти;

**І. О. Савіч** – старший вчитель, методист КЗ «Запорізький обласний інститут післядипломної педагогічної освіти»;

**М. М. Оноприч** – вчитель-методист Рівненської загальноосвітньої школи І–ІІІ ступенів № 2

Андерсон О. А. та ін.  
Б63 **Біологія**: підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закладів/  
О. А. Андерсон, М. А. Вихренко, А. О. Чернінський. –  
К. : Школяр, 2017. – 256 с. : іл.  
ISBN 978-966-1650-53-3.

УДК 57(075.3)

ISBN 978-966-1650-53-3

© Андерсон О. А., Вихренко М. А., Чернінський А. О., 2017  
© УВЦ «Школяр», 2017  
© УВЦ «Школяр», художнє оформлення, 2017

## Шановні дев'ятикласники та дев'ятикласниці!

Цей підручник продовжує серію підручників з курсу «Біологія», вивчення якого ви розпочали в попередніх класах. Щоб успішно опанувати навчальний матеріал, вам потрібно пригадати раніше набуті знання щодо будови та життєдіяльності основних груп організмів. Адже в цьому навчальному році підручник поведе вас шляхом пізнання **властивостей живого**.

Ви вже знаєте, що підручник – не книжка для читання. Дуже важливо вміти працювати з ним: виділяти та запам'ятовувати головне, швидко знаходити потрібну інформацію. А для цього необхідно знати, як побудовано саме цю книжку. Отже, спочатку погортайте сторінки підручника, ознайомтеся з його структурою.

Щоб підручником було зручно користуватися, кожен параграф розпочинається на непарній сторінці, а закінчується – на парній. Схеми, таблиці, фотографії розміщено в нижній частині тієї самої сторінки, де на них є посилання в тексті параграфа. Там же до них пропонуються завдання – це дасть вам змогу ретельно опрацювати частину змісту параграфа одразу під час його вивчення. Ви будете покроково сприймати інформацію, аналізувати її, узагальнювати щойно набуті знання, а значить, краще підготуетесь до подальшої роботи над новим матеріалом. Кожне завдання має відповідне позначення залежно від того, який вид роботи пропонується виконати:

❓ – виконуйте завдання самостійно;

❗ – працюйте в групі: обговорюйте проблеми, висловлюйте судження, формулюйте висновки.

Наприкінці кожного параграфа містяться завдання рубрики **«Повторіть, поміркуйте»**. Вони допоможуть вам повторити основні поняття параграфа в цілому, учитися порівнювати, аналізувати, узагальнювати інформацію, виносити судження, робити висновки.

Виконуючи **лабораторні дослідження, лабораторні та практичні роботи**, ви матимете змогу практично застосовувати набуті знання, розвивати свою дослідницьку інтуїцію.

Тестові завдання рубрики **«Самоконтроль навчальних досягнень»** до кожної теми допоможуть вам ґрунтовно проконтролювати рівень власних навчальних досягнень, удосконалити навички роботи з тестовими завданнями різної форми. Це стане вам

у пригоді під час підготовки до державної підсумкової атестації та складання зовнішнього незалежного оцінювання. Завдання з відкритою відповіддю спонукатимуть до роздумів над складними або проблемними питаннями.

Є в підручнику й додаткова інформація. Зокрема її розміщено в рубриці «Цікавинки». Сподіваємося, вона буде для вас справді цікавою.

Водночас пам'ятайте, що сучасна біологія – захоплююча, але дуже складна, багатогранна наука. І шкільний підручник – лише своєрідний дороговказ у світі знань про неї. А факти, закони, гіпотези й теорії надто численні, щоб умістити їх на сторінках підручника. Тож радимо вам користуватися додатковою літературою та інтернет-ресурсами – джерелами, які дадуть вам змогу розширювати межі відомого, поповнювати скарбницю власних знань, знаходити відповіді на найрізноманітніші та найскладніші запитання.

Бажаємо успіхів в опануванні основ біологічної науки!

*Автори*



# Вступ.

## § 1. Біологія – наука про живе. Рівні організації біологічних систем

### Згадаємо!

Що вивчає біологія?

Які ознаки живого?

Ви вже знаєте, що біологія досліджує різні прояви життя. Її назву в 1802 р. незалежно один від одного запропонували французький учений Жан Батіст Ламарк (1744–1829) і німецький – Готфрід Рейнхольд Тревіранус (1766–1837).

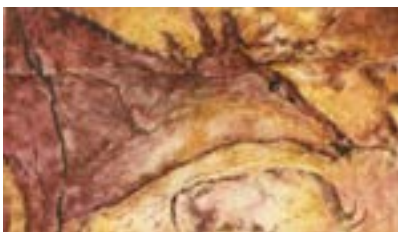
🕒 **Біологія** (від грец. *біос* – життя та *логіос* – учення) – це сукупність наук про живі істоти, їхню будову, процеси життєдіяльності, взаємозв'язки між собою та умовами навколишнього середовища, закономірності поширення по земній кулі, походження, історичний розвиток та різноманітність.

**Методи біологічних досліджень.** Ще прадавня людина спостерігала за організмами, намагалася досліджувати та описувати їх (рис. 1). Деякі становили для неї небезпеку, інші були їжею, шкури тварин зігрівали її, рослини загоювали рани.

Досліджують живу природу за допомогою різних методів, основними з яких є порівняльно-описовий, експериментальний, моніторинг та моделювання.

Засновником **порівняльно-описового методу** вважають давньогрецького ученого Арістотеля. Суть методу полягає в описі об'єкта дослідження та порівнянні з іншими подібними об'єктами для встановлення його своєрідності. Прикладом результатів таких досліджень слугують книги, на сторінках яких дослідники описували різні види рослин і тварин (рис. 2).

Рис. 1. Зображення тварин у печері Альтаміра в Кантабрійських горах (Іспанія, 15 – 8 тис. до н. е.)



Зображення чудово збереглися й дивують точністю відтворення анатомічної будови тварин.

Рис. 2. Сторінки із книжки Карла Ліннея «*Genera Insectorum*», 1789





**Експериментальний метод** виник пізніше. Він полягає в зміні дослідниками умов існування об'єктів вивчення й спостереженні за наслідками цих змін (рис. 3). Експерименти бувають польові та лабораторні. Польові експерименти проводять у природних умовах, а лабораторні – у спеціально обладнаних приміщеннях – лабораторіях.

**Моніторинг** (від лат. *монітор* – той, що спостерігає) – стеження за перебігом певних процесів в екосистемах чи за станом конкретних біологічних об'єктів протягом тривалого часу. Метод дає змогу визначати стан певних об'єктів і прогнозувати можливі зміни. Завдяки моніторингу розробляють заходи щодо охорони окремих популяцій організмів, екосистем і біосфери в цілому.

**Моделювання** (від лат. *модулюс* – устрій, зразок) – це метод дослідження та демонстрування структур, функцій, процесів за допомогою їх імітації, тобто моделі. Моделі в біології застосовують під час досліджень різних об'єктів – від молекул до екосистем (рис. 4). Останні, наприклад, мають значення для обґрунтування місць розташування промислових та аграрних підприємств на певних територіях. Сучасні наукові дослідження неможливі без застосування електронно-обчислювальної техніки та інформаційних технологій (ІТ).

**Біологічні науки. Зв'язок біології з іншими науками.** У попередніх класах ви ознайомилися з основами біологічних наук, об'єктами вивчення яких є: мікроскопічні організми – мікробіологія; гриби – мікологія; рослини – ботаніка; тварини – зоологія; внутрішня будова організмів – анатомія; процеси життєдіяльності організмів – фізіологія.

У цьому навчальному році ви дізнаєтеся про досягнення й інших біологічних наук: біохімії, цитології, біології індивідуального розвитку, генетики, екології, еволюційного вчення, систематики, палеонтології. Дані цих і багатьох інших біологічних наук дають змогу вивчати закономірності, влас-

Рис. 3. Дослід Я. Б. ван Гельмонта

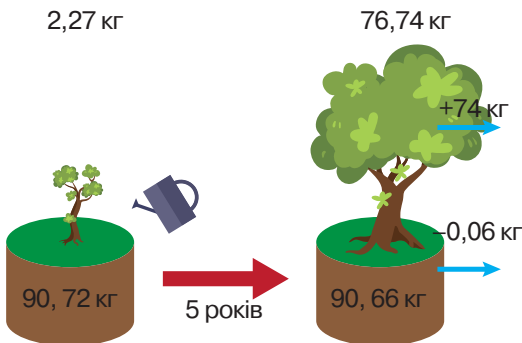


Рис. 4. Модель екосистеми – акваріум



**?** Проаналізуйте схему дослідження вченого.

1. Які умови існування рослини контролював учений під час досліджу?
2. Які результати дослідження?
3. Який висновок можна зробити за результатами дослідження?

**?** Чому акваріум вважають моделлю?

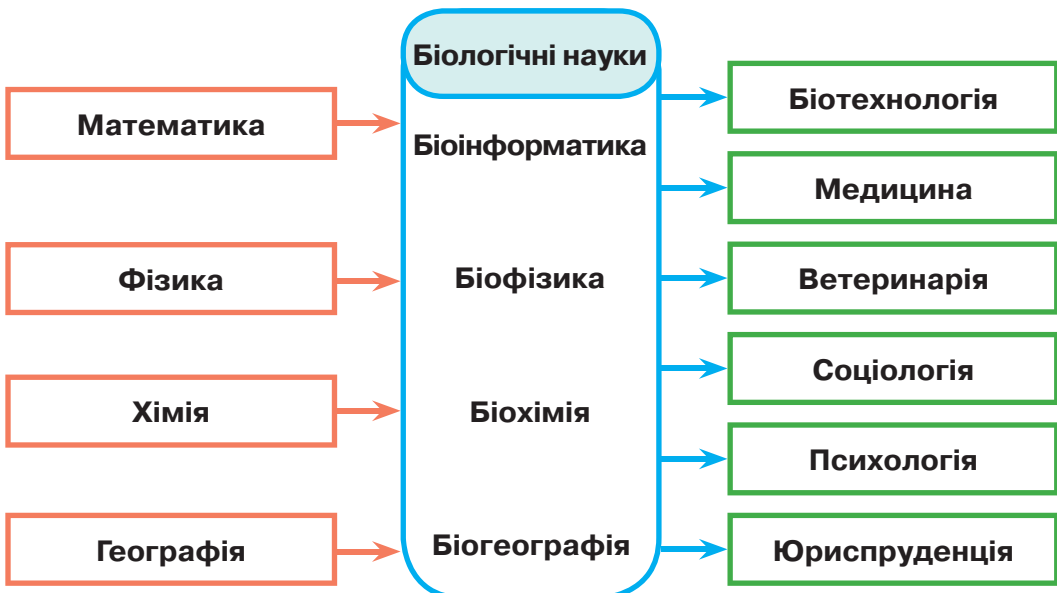
тиві всім організмам. Біологія має тісний зв'язок з іншими природничими й гуманітарними науками. Унаслідок досліджень на межі біології з точними науками виникли нові її галузі – біохімія, біофізика, біоінформатика та ін. Водночас біологія є невід'ємною складовою медичних, ветеринарних, сільськогосподарських наук, деяких галузей виробництва (біотехнології), пов'язана із соціологією, юриспруденцією тощо (схема 1).

**Сучасне уявлення про життя.** Хоча біологія досліджує різні прояви життя протягом багатьох століть, навіть на сучасному етапі її розвитку важко дати чітке й стисле означення поняття *життя*. Живе характеризується сукупністю ознак, відомих вам з попередніх курсів біології: обміном речовин та енергії з навколишнім середовищем, сталістю внутрішнього середовища, саморегуляцією, відтворенням собі подібних, ростом, розвитком, подразливістю та адаптацією до умов існування. Жодна з ознак не є головною й такою, що самостійно може характеризувати живе (*наведіть відомі вам приклади прояву окремих ознак у неживій природі*). Жива й нежива природа побудовані з однакових атомів, але на молекулярному рівні різниця між ними суттєва – нуклеїнові кислоти та білки утворюються лише в живих об'єктах, забезпечуючи збереження спадкової інформації та її реалізацію. Ви ознайомилися з різними біологічними об'єктами – клітиною, організмом, екосистемою. Усі вони містять пов'язані між собою компоненти (*пригадайте їх складові*). Тому можна стверджувати, що клітина, організм та екосистема є біологічними системами. Ці системи є відкритими, тобто існують завдяки енергії, яку вони отримують з навколишнього середовища.

🟡 **Життя** – це відкрита система, побудована з білків та нуклеїнових кислот і здатна до самовідновлення, саморегуляції та самовідтворення.

Схема 1

### ЗВ'ЯЗОК БІОЛОГІЇ З ІНШИМИ ПРИРОДНИЧИМИ Й ГУМАНІТАРНИМИ НАУКАМИ



**Рівні організації біологічних систем.** Рівні організації живої природи – це відносно одноманітні біологічні системи, складові яких пов'язані між собою. Розрізняють такі рівні організації: **молекулярний, клітинний, організмний, популяційно-видовий, екосистемний, біосферний** (*перелічені за висхідним принципом*).

Найнижчий рівень організації – **молекулярний**. На цьому рівні відбувається перебіг хімічних реакцій та перетворення енергії, зберігається й реалізується спадкова інформація, закодована в молекулах нуклеїнових кислот.

На **клітинному рівні** здійснюються процеси обміну речовин і перетворення енергії за участі органел клітини, забезпечуються процеси розмноження та передавання потомству спадкової інформації.

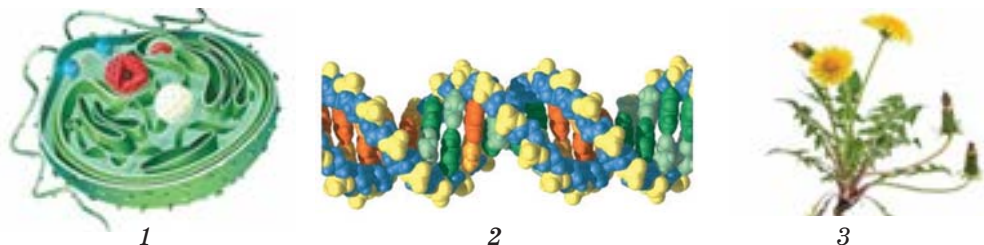
**Організмний рівень** характеризується взаємодією тканин, органів, а у тварин – систем органів. На рівні організму відбувається обмін речовин та енергії з навколишнім середовищем, розмноження. Одноклітинні організми можна одночасно розглядати на організмовому та клітинному рівнях.

Організми одного виду мають однакові риси будови й життєві функції. Вони об'єднані в групи – популяції, що поширені на певних частинах території. Особливістю **популяційно-видового** рівня організації живого є обмін спадковою інформацією та передавання її потомству в межах одного виду.

Популяції різних видів, що взаємодіють між собою, входять до складу екосистем. Для **екосистемного** рівня характерні обмін енергією між популяціями різних видів і колообіг речовин між живою та неживою частинами екосистеми.

Окремі екосистеми утворюють біосферу – оболонку Землі, населену організмами. **Біосферний** рівень є найвищим рівнем організації живого. Він характеризується колообігом речовин та енергії за участю всіх організмів нашої планети (рис. 5).

Рис. 5. Біологічні системи, що перебувають на різних рівнях організації живого

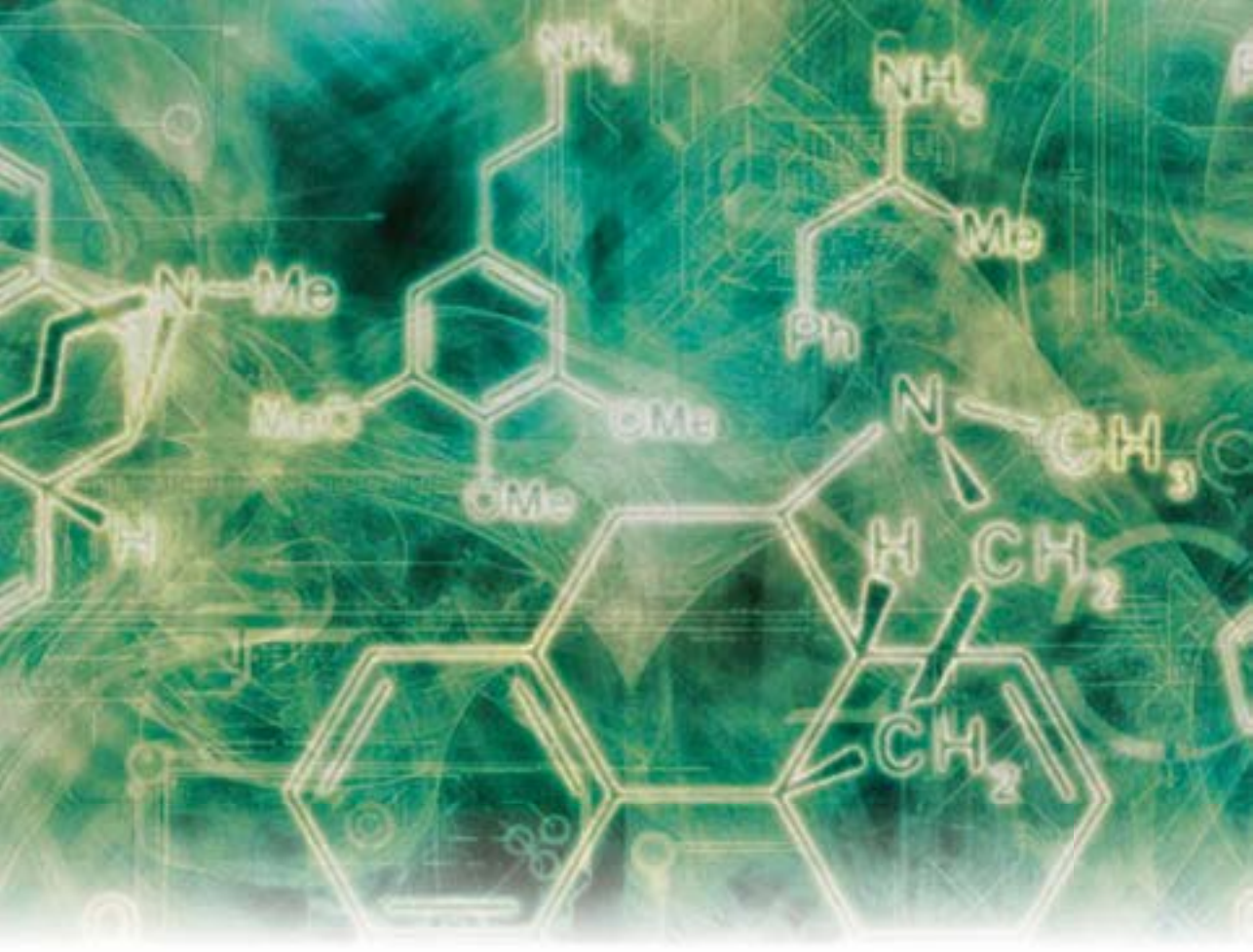


**(?)** Проаналізуйте будову зображених біологічних систем і дайте відповіді на запитання.

1. Які складові біологічної системи, позначеної цифрою 1?
2. Яка з біологічних систем, позначених цифрами 1 і 2, перебуває на вищому рівні організації?
3. Яка з біологічних систем перебуває на вищому рівні організації порівняно з двома іншими?
4. Яку біологічну систему можна розглядати одночасно на двох різних рівнях організації живої природи?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *біологія*.
2. Схарактеризуйте методи біологічних досліджень.
3. За якими ознаками можна визначити живий об'єкт?
4. Наведіть приклади біологічних систем.
5. Назвіть рівні організації біологічних систем.
6. Доведіть, що клітина є біологічною системою.



*Тема 1*  
**ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ  
ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ**



## 3 історії відкриттів

Людина здавна залежала від навколишнього середовища. Хоча рослини і тварини часто становили для неї небезпеку, вона розуміла, що довілля допомагає виживати: рослини й тварини були для неї їжею, основою для виготовлення ліків, фарб і тканин. Тож людина спостерігала, експериментувала, вивчала речовини, що утворюють живе. І поступово вчилася використовувати хімічні перетворення в живих організмах. Так з'явилися технологічні процеси: хлібopечення, сироваріння, виноpобство тощо. «Шматок добре випеченого хліба є одним із найважливіших винаходів людського розуму», – зазначав російський природодослідник К. А. Тімірязєв.

Перші речовини, що їх описав середньовічний перський філософ і лікар Авіценна, належали до ліків. Швейцарський алхімік Парацельс уважав, що хвороби спричиняють порушення хімічного складу організму. Ян Баптист ван Гельмонт – голландський хімік, фізіолог, лікар – описав процеси травлення й утворення сечі, виявив воду навіть у сухій речовині рослин.

Початок ХІХ ст. ознаменувався відкриттям органічних сполук. Пошуки вели німецькі хіміки: у 1828 р. Фрідріх Велер уперше синтезував органічну речовину – сечовину з неорганічних речовин, а Юстус фон Лібіх першим схарактеризував основні речовини тканин організмів – білки, вуглеводи, ліпіди.

Основні досягнення біохімії кінця ХІХ – першої половини ХХ ст. пов'язані з дослідженнями білків та нуклеїнових кислот. У 1868 р. швейцарський біохімік Йоганн Фрідріх Мішер відкрив нуклеїнові кислоти. Німецький хімік Еміль Фішер установив, що білки складаються з амінокислот. За вивчення природи хімічного зв'язку, у тому числі й тих, що утворюють біополімерні сполуки, Нобелівську премію в 1954 р. отримав американський хімік і фізик Лайнус Карл Полінг, а в 1958 р. – англійський біохімік Фредерік Сенгер за встановлення структури білків, зокрема інсуліну. Важливий внесок у вивчення структури нуклеїнових кислот зробили британські вчені – дослідниця в галузі біофізики Розалінд Франклін, молекулярний біолог і нейробіолог Френсіс Крік, фізик і молекулярний біолог Моріс Вілкінс, американці – біохімік Ервін Чаргаф, біолог Джеймс Вотсон. Троє з цих учених – Д. Вотсон, Ф. Крік і М. Вілкінс у 1962 р. стали лауреатами Нобелівської премії за відкриття просторової структури молекули ДНК. В Україні найбільшим науковим центром біохімічних досліджень є Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна Національної академії наук України. Олександр Володимирович Палладін був його засновником, а основні наукові праці видатного українського вченого присвячені біохімії нервової системи, м'язової діяльності та вивченню вітамінів.



Д. Вотсон і Ф. Крік біля моделі ДНК



Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна Національної академії наук України

## § 2. Хімічний склад клітини. Неорганічні сполуки

### Згадаємо!

Які речовини входять до складу клітини?

Якої речовини найбільше в клітині?

Які компоненти їжі засвоюються в організмі людини внаслідок процесів травлення?

**Хімічний склад клітини.** Ви вже знаєте, що всі організми складаються з клітин. Деякі організми складаються з однієї клітини, інші – з багатьох. Процеси, які відбуваються всередині клітин, є основою функціонування як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів. Різноманітність сполук в організмі набагато більша, ніж в об'єктах неживої природи. Внутрішньоклітинні процеси забезпечуються взаємодією багатьох хімічних речовин. Для того щоб зрозуміти, як побудована та функціонує клітина, ознайомимося спочатку з її хімічним складом (схема 2). Типова клітина організму людини містить як органічні, так і неорганічні речовини: 65 % води, 1,5 % інших неорганічних сполук, 20 % білків, 12 % ліпідів, близько 1 % нуклеїнових кислот й менше 0,5 % вуглеводів та інших органічних речовин (за масою).

**Елементний склад клітин.** З курсу хімії вам уже відомо, що хімічні речовини складаються з молекул, а ті, у свою чергу, з атомів хімічних елементів. В організмах виявлено майже всі хімічні елементи, які є в об'єктах неживої природи, що свідчить про єдність живої і неживої природи. Вони утворені однаковими атомами, проте їх кількість може суттєво різнитися. Як доказ цього розглянемо схему вмісту деяких хімічних елементів в організмі

Схема 2



❗ Використовуючи додаткову літературу та інтернет-ресурси, знайдіть інформацію щодо кількості речовин (у відсотках) у рослинній клітині.

людини (схема 3). Він дещо подібний (але не ідентичний) до складу морської води, проте суттєво відрізняється від складу земної кори. В організмі людини наявні атоми 60 хімічних елементів, але лише на чотири із них – Гідроген, Оксиген, Карбон та Нітроген припадає близько 99% від кількості атомів та 96% маси організму людини.

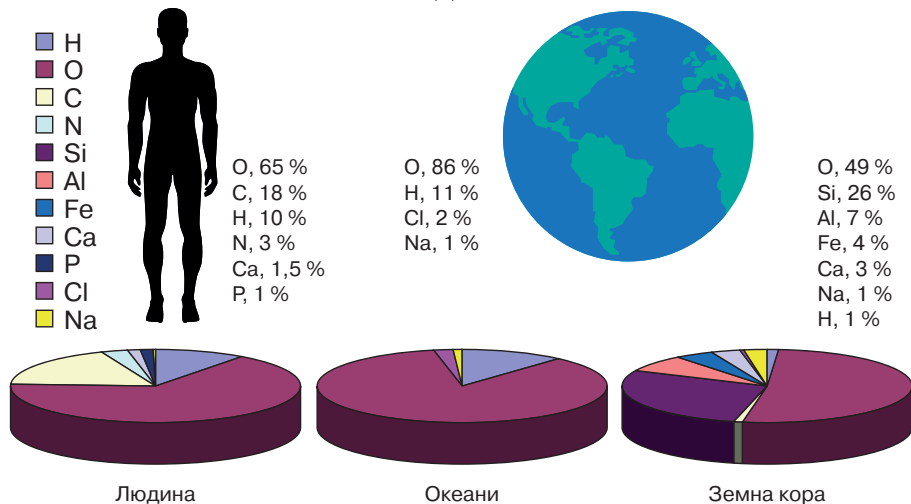
Нестача тих чи інших елементів може призвести до обмеження росту та розвитку, а інколи – навіть до загибелі організму. Адже хімічні елементи утворюють органічні й неорганічні сполуки, які забезпечують життєдіяльність клітини та організму в цілому. Тож ознайомимося із значенням основних хімічних елементів для живого.

**Значення хімічних елементів для живого.** За значенням для живого хімічні елементи поділяють на кілька груп.

1. Карбон, Гідроген, Оксиген і Нітроген формують 98% маси організмів. Ці чотири елементи називаються **органогенними**. Перші три елементи є обов'язковими компонентами всіх органічних сполук. Нітроген входить до складу білків і нуклеїнових кислот, а також інших речовин. Крім того, Гідроген й Оксиген складають молекулу води, яка є обов'язковим компонентом живого. Для дихання аеробним організмам необхідний кисень ( $O_2$ ), утворений двома атомами Оксигену. Карбон входить до складу неорганічних сполук – вуглекислого газу ( $CO_2$ ), карбонатів та гідрогенкарбонатів, що мають важливе значення для живих організмів.
2. На сім інших хімічних елементів припадає близько 1,9% кількості атомів. Незважаючи на відносно невелику кількість, вони необхідні для функціонування всіх відомих організмів:
  - Натрій, Калій і Хлор у вигляді відповідних йонів ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ) необхідні для нормального функціонування кожної клітини. У тварин ці йони бе-

Схема 3

### УМІСТ ДЕЯКИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ОРГАНІЗМІ ЛЮДИНИ, МОРСЬКІЙ ВОДІ ТА ЗЕМНІЙ КОРИ



❓ Проаналізуйте схему.

1. Визначте хімічні елементи, за вмістом яких організм людини подібний до морської води.
2. Визначте хімічний елемент, якого найбільше в складі всіх трьох об'єктів.

руть участь у забезпеченні здатності нервових і м'язових клітин до подразливості й збудження. Хлоридна кислота створює кисле середовище в шлунку хребетних тварин і людини, забезпечуючи активність ферментів шлункового соку.

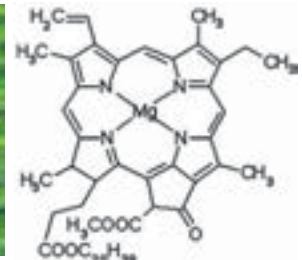
- **Кальцій** у складі карбонатів, сульфатів і фосфатів забезпечує міцність кісток, зубів, черепашок, ячної шкаралупи тощо (рис. 6). Як йон  $\text{Ca}^{2+}$  він бере участь у регуляції багатьох внутрішньоклітинних функцій. Зокрема він є необхідним для забезпечення процесів виділення (секреції) з клітини багатьох гормонів, ферментів, медіаторів, потрібних для скорочення м'язів. В організмі людини йон  $\text{Ca}^{2+}$  бере участь у зсіданні крові.
  - **Фосфор** у вигляді ортофосфат-аніона ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) входить до складу багатьох життєво важливих органічних сполук, зокрема ортофосфатної кислоти, необхідної для синтезу АТФ та нуклеїнових кислот.
  - **Магній** входить до складу деяких ферментів, активуючи їх. У рослин цей елемент є обов'язковим компонентом молекули хлорофілу в хлоропластах (рис. 7).
  - **Сульфур** входить до складу деяких амінокислот, що утворюють білки в усіх живих організмах.
3. Наступні елементи є в живому в загальній кількості 0,1%. Вони потрібні для життєдіяльності багатьох, але не всіх організмів. До цієї групи належать Бор, Флуор, Силіцій, Ванадій, Хром, Манган, Ферум, Кобальт, Нікель, Купрум, Цинк, Йод, Молібден, Селен. Вони є компонентами деяких життєво необхідних речовин у певних видів або груп організмів. Наприклад, Йод входить до складу гормонів щитоподібної залози хребетних тварин, а Силіцій – до складу опорних структур деяких організмів: клітинних стінок хвощів, панцирів діатомових водоростей, внутрішньоклітинного скелета радіолярій, скелета деяких губок. За допомогою мікроскопа можна

Рис. 6. Черепашки моллюсків, форамініфер та шкаралупа пташиних яєць, складовою яких є  $\text{Ca}^{2+}$



❓ Поясніть функції зображених компонентів організму тварин.

Рис. 7. Хлоропласти листка рослини та молекула хлорофілу



❓ Який процес відбувається за участю хлорофілу?



побачити еритроцити червоного кольору, що зумовлений наявністю гемоглобіну, до складу якого входить Ферум.

**Екологічні та ендемічні захворювання людини.** Ще понад 2000 років тому Гіппократ та інші мислителі зазначали, що фактори навколишнього середовища впливають на виникнення захворювань людини. Завдяки дослідженням нині вчені виокремлюють екологічні та ендемічні захворювання.

**Екологічні захворювання** спричиняються шкідливим впливом хімічних та фізичних факторів середовища. Такий вплив чинять деякі речовини, які надходять в організм з водою та їжею. Наприклад, для організму людини небезпечно надходження солей важких металів, як-то Плюмбуму, Хрому, та радіонуклідів. Ці сполуки можуть відігравати роль канцерогенних, тобто таких, що сприяють утворенню в організмі злоякісних пухлин. Для організму людини небезпечні радіоактивні ізотопи багатьох хімічних елементів: Йоду, Цезію, Стронцію, Урану тощо. Радіоактивний ізотоп Стронцій може відкладатися в кістках, заміщуючи Кальцій, унаслідок чого кістки стають крихкими. Радіоактивний ізотоп Йоду порушує функції щитоподібної залози. Значні концентрації радіонуклідів можуть накопичувати рослини. З рослинною їжею вони згодом потрапляють в організм людини.

**Ендемічні захворювання** – захворювання, характерні для певної місцевості, пов’язані з нестачею або надмірним умістом у середовищі якого-небудь хімічного елемента. Прикладом може слугувати ендемічний зоб – захворювання, яке характеризується збільшенням щитоподібної залози. Розвиток захворювання спричиняє нестача Йоду – йододефіцит. Добова потреба організму людини в цьому елементі становить 150 мкг, а в ендемічних районах організм отримує лише до 50 мкг Йоду на добу. Йод міститься у воді, йодованій солі, харчових продуктах (рис. 8).

Рис. 8. Уміст Йоду в харчових продуктах, мкг/100 г продукту



200



110



75

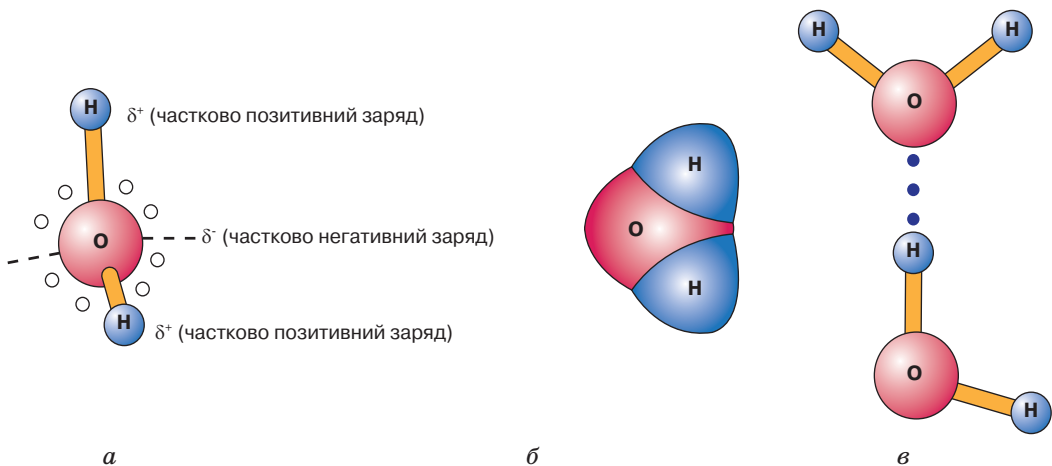
**(?!)** Обчисліть кількість кожного продукту в раціоні людини, що може забезпечити добову потребу в Йоді.

**Вода та її біологічна роль.** Вода належить до найпоширеніших речовин на Землі. Вона займає близько  $\frac{2}{3}$  поверхні планети, у вигляді льоду й снігу вкриває високі гори й величезні простори Арктики й Антарктиди. Багато води є в атмосфері. Це пара, туман і хмари. Значна кількість води міститься й у земній корі у вигляді підземних вод. У природі вода перебуває не тільки у вільному стані, а й у хімічно зв'язаному. Вона є складовою багатьох гірських порід і всіх організмів. Це основна неорганічна речовина, що входить до складу живих організмів. Уміст води в них становить 60 – 70 %, а в деяких випадках – до 98 %. Цитоплазма більшості клітин містить приблизно 80 % води, кров і лімфа людини – понад 80 %. Отже, вода є основою внутрішнього середовища організмів.

Молекула води складається з двох атомів Гідрогену, сполучених з атомом Оксигену ковалентними зв'язками. Молекула води є полярною – атом Оксигену в її складі має частково негативний заряд, тоді як атоми Гідрогену – частково позитивний. Завдяки цьому дві сусідні молекули взаємно притягуються. Так виникає водневий зв'язок (рис. 9). Цим пояснюється головна особливість води – вона є **розчинником** для інших речовин полярної будови. У розчині молекули води орієнтовані так, що негативно заряджений атом Оксигену спрямований до позитивних зарядів розчинених частинок, а позитивно заряджені атоми Гідрогену – до негативних. Залежно від розчинності у воді сполуки поділяють на гідрофільні (добре розчинні) і гідрофобні (поганорозчинні). До гідрофільних належать більшість солей, глюкоза, деякі амінокислоти та білки. Гідрофобними є жири та інші подібні до них речовини. Як розчинник вода є **середовищем для перебігу багатьох хімічних реакцій**. Крім того, вона може сама вступати в певні реакції або утворюватися як продукт їх перебігу. Завдяки добрій розчинності різних речовин вода бере участь у їх **транспортуванні**, переносячи

Рис. 9. Моделі будови молекули води:

а – кулестержнева; б – масштабна; в – схема утворення водневого зв'язку



поживні речовини, продукти обмінних процесів тощо (наприклад, з кров'ю в організмі людини або в судинах рослин). В організмі вода розподілена нерівномірно. Це залежить від інтенсивності процесів обміну речовин між органами й тканинами. Як приклад наводимо схему розподілу води в різних органах і тканинах організму людини (схема 4).

Як й інші рідини, вода погано стискається, а тому може виконувати **механічну функцію**. Заповнені рідиною порожнини в тілі тварин працюють як гідроскелет (*пригадайте, яким тваринам він властивий*). У рослин вода забезпечує пружність клітин та частин тіла (*пригадайте, що таке тургор*). Рідина, яка заповнює простір між головним мозком та кістками черепа, забезпечує амортизацію під час ударів (*пригадайте, як називається така рідина*). Завдяки воді послаблюється тертя між різними поверхнями (наприклад, у суглобах).

З курсу фізики доцільно пригадати, що вода має порівняно високі питому теплоємність і теплоту випаровування. Унаслідок цього вона виконує **терморегуляторну функцію**. При випаровуванні води з поверхні організму він втрачає велику кількість теплоти (*пригадайте, як у спеку охолоджуються кішки або собаки*). Вода переносить теплоту від більш нагрітих органів до холодніших. Наприклад, під час інтенсивної фізичної роботи кров нагрівається в м'язах й охолоджується в шкірі.

Вода може змінювати свої властивості, зокрема температури замерзання й кипіння, залежно від кількості розчинених у ній речовин. Унаслідок збільшення концентрації розчинених речовин знижується температура, за якої вода переходить у твердий стан, і організми мають змогу пристосовуватися до змін температури навколишнього середовища. Наприклад, із настанням зими в клітинах рослин підвищується вміст вуглеводів у розчині, у членистоногих – гліцеролу (§ 4, с. 24), у риб – білків тощо.

Схема 4



**(?)** Проаналізуйте схему.

У яких складових організму людини води міститься найбільше, а в яких – найменше? Чим це можна пояснити?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Назвіть хімічні складові клітини.
2. Які хімічні елементи називають органогенними й чому?
3. Поясніть на прикладах значення неорганічних сполук у життєдіяльності організмів.
4. Обґрунтуйте взаємозв'язок властивостей та функцій води.

## § 3. Органічні молекули. Біологічні макромолекули – біополімери

### Згадаємо!

Які органічні речовини ви знаєте?

Які хімічні елементи називають органогенними?

Які біологічні полімери ви знаєте?

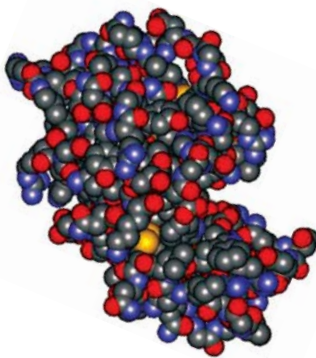
**Поняття про органічні речовини.** Найбільш різноманітними за хімічною будовою сполуками, з яких складаються організми, є органічні. Вони наявні в атмосфері, поверхневих і підземних водах, осадах, ґрунтах і гірських породах. Основою їх молекул є ланцюги, утворені атомами Карбону, сполученими між собою ковалентними зв'язками. Такі карбонові ланцюги можуть мати різноманітну будову – утворювати довгі лінійні або розгалужені ланцюги, замикатися в цикли (кільця). Окрім Карбону молекули органічних сполук містять атоми Гідрогену та Оксигену, а також часто Нітрогену (рис. 10). Уміст органічних сполук у клітинах становить у середньому 20 – 30 %. Нині людству відомо понад 20 млн різноманітних природних та штучно синтезованих органічних сполук. Органічні речовини характеризуються великою енергоємністю та відносно великою молекулярною масою. Зокрема, молекулярна маса більшості білків становить від 6 000 до 1 000 000, деяких нуклеїнових кислот – сягає кількох мільярдів дальтонів (1 дальтон відповідає  $1/_{12}$  атомної маси ізотопу Карбону  $^{12}\text{C}$ , тобто  $1,67 \cdot 10^{-24}$  г).

Властивості органічних речовин залежать не лише від якісного й кількісного складу, а й від будови молекул.

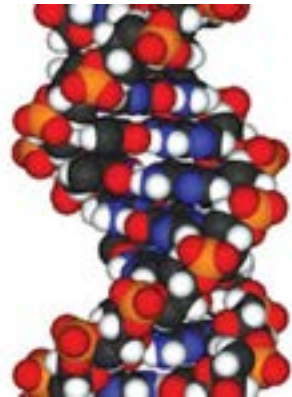
Рис. 10. Приклади молекул органічних речовин (атоми різних хімічних елементів представлено кульками різного кольору, масштаби зображень атомів різних молекул неоднакові)



Глюкоза, 24 атоми



Лізоцим, 2 303 атоми



ДНК (фрагмент), мільярди ( $10^9$ ) атомів

❓ Пригадайте значення речовин, молекули яких зображено, для організму людини. Молекула якої речовини має найменшу молекулярну масу, а якої – найбільшу?

⚠ **Органічними** називають сполуки, утворені атомами Карбону, що сполучені між собою ковалентними зв'язками, та атомами Гідрогену.

За особливостями будови та властивостями виділяють різні групи органічних речовин. Серед них найважливішими для функціонування живих структур є **вуглеводи, ліпіди, білки й нуклеїнові кислоти**.

**Біополімери.** Важливою властивістю органічних сполук є здатність встановлювати хімічні зв'язки між окремими молекулами. Сполуки, утворені великою кількістю однотипних ланок (простих молекул), з'єднаних між собою в довгі лінійні або розгалужені ланцюги, називаються **полімерами**, або макромолекулами. Молекули, повторенням яких утворюється полімер, – **мономерами**. Полімерними можуть бути штучно синтезовані сполуки, наприклад відомий вам поліетилен. У курсі біології ми будемо розглядати лише полімери, що входять до складу організмів, – біополімери. До них належать усі білки, нуклеїнові кислоти та деякі вуглеводи (рис. 11).

⚠ **Біополімери** – високомолекулярні сполуки організмів, молекули яких складаються з мономерів, з'єднаних між собою в довгі лінійні або розгалужені ланцюги.

Мономери можуть бути як абсолютно однаковими, так і різними, але хімічно однорідними. Полімери, утворені повторенням однакових мономерів, називаються гомополімерами. Наприклад, уже відомий вам полімер целюлоза складається лише із залишків глюкози (ідеться не про молекулу мономера, а про залишок, оскільки під час утворення хімічних зв'язків молекули втрачають певні атоми). Гетерополімери – полімери, молекули яких складаються із залишків різних, але хімічно однорідних мономерів. Наприклад, білки складаються із залишків 20 різних амінокислот, що мають подібну будову (рис. 12).

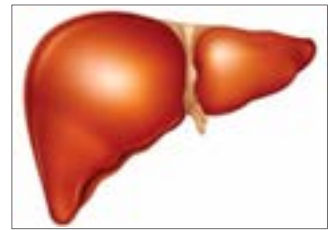
Рис. 11. Приклади біологічних об'єктів, що містять полімери



Клітинна стінка бавовнику містить *целюлозу*



У клітинах бульби картоплі накопичується *крохмаль*



У клітинах печінки людини накопичується *глікоген*

❓ Пригадайте функції зазначених полімерів.

Рис. 12. Складання схем будови гомо- та гетерополімеру



❓ На рисунку мономери двох різних полімерів позначено різними геометричними фігурами. Змоделюйте в зошиті будову гомо- та гетерополімеру, використовуючи запропоновані умовні позначення (вам знадобляться кольорові олівці або папір для апплікацій).

До складу молекул біополімерів можуть входити від кількох десятків залишків мономерів (невеликі білки) до кількох мільйонів (молекули ДНК). Значна довжина полімерних молекул дає змогу утворювати величезну кількість різноманітних й унікальних молекул. Наприклад, кількість різних варіантів поєднання лише 5 амінокислот із 20 можливих становить 3,2 млн. А кількість можливих варіантів структур білків із 100 амінокислот становитиме більш ніж  $10^{130}$  (для порівняння: кількість атомів у Всесвіті оцінюється в  $10^{80}$ ). Молекули різної будови можуть виконувати різні функції. Саме тому переважна кількість процесів усередині клітин забезпечується полімерними сполуками – білками. Ще більшу кількість варіантів забезпечує довжина молекул ДНК – вони можуть складатися з мільйонів мономерів. Завдяки цьому молекули ДНК найкраще виконують функцію збереження спадкової інформації, зокрема й щодо структури всіх білків організму.

Проте унікальність та різноманітність будови є важливою не для всіх біополімерів. Деякі з них потрібні для зменшення кількості мономерів у клітині та зручнішого їх збереження. Такі полімери виконують резервну функцію. Інші макромолекули формують довгі нитки, з'єднані численними зв'язками, що надає їм міцності. Ці речовини виконують механічну функцію. Ви вже ознайомлені з деякими з них, спробуйте знайти їх на рис. 11.

**Пігменти, вітаміни, антибіотики, алкалоїди.** Окрім перелічених найважливіших чотирьох груп органічних сполук у клітинах є й інші, які також виконують важливі функції. Наприклад, у рослин та деяких бактерій наявні фотосинтезуючі **пігменти**, що забезпечують синтез органічних сполук за допомогою світла (рис. 13). Для нормального існування організмів необхідні **вітаміни** – біологічно активні низькомолекулярні органічні

Рис. 13. Забарвлення талому водоростей різними пігментами



Бура водорість – ламінарія



Червона водорість – порфіра

❗ Різне забарвлення талому водоростей зумовлене наявністю хлорофілу та інших специфічних пігментів. Бурі водорості містять ксантофіли, а червоні – фікобіліни, які поглинають сині та фіолетові промені. Пригадайте, яка особливість розповсюдження червоних водоростей із цим пов'язана.

сполуки, що мають різну хімічну природу та надходять з їжею (*пригадайте, які вітаміни потрібні людині для нормальної життєдіяльності*). Вітаміни беруть участь в обміні речовин і перетворенні енергії здебільшого як компоненти ферментів. Наразі відомо близько 20 різних вітамінів і вітаміноподібних сполук, які по-різному впливають на організми. Деякі вітаміни в незначних кількостях синтезуються в організмах людини й тварин або з речовин-попередників – провітамінів (наприклад, вітамін D утворюється в шкірі людини під дією ультрафіолетового випромінювання), або симбіотичними мікроорганізмами (зокрема, у кишечнику людини симбіотичні бактерії синтезують вітаміни К, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>). Речовини, що синтезуються бактеріями та грибами в природі для захисту від негативного впливу інших видів мікроорганізмів, називаються **антибіотиками**. Їх характерною особливістю є здатність порушувати певні ланки обміну речовин мікроорганізмів або дію деяких їхніх ферментів. Антибіотики використовують у медицині, ветеринарії та рослинництві для боротьби з інфекційними хворобами.

Деякі організми для захисту або полювання утворюють отруйні речовини. З курсу біології тварин вам відомі тварини, «озброєні» отрутою для захисту та нападу (рис. 14). Вони можуть бути небезпечними для людини. Рослини утворюють **алкалоїди** – нітрогеновмісні органічні сполуки, більшість з яких мають властивості слабкої органічної основи. Функції алкалоїдів ще недостатньо вивчено, але вчені вказують на їх роль у захисті рослин від паразитичних грибів, комах і рослиноїдних хребетних тварин.

Спектр будови та функцій органічних сполук у живій природі надто широкий, аби мати змогу розглянути їх усі. Тож більш детально ми вивчатимемо найголовніші з них.

Рис. 14. Отруйні тварини



Гадюка звичайна



Каракурт

**(?)** Опишіть стратегію поведінки зображених отруйних тварин.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *органічні речовини*.
2. Що таке біополімери? Перелічіть відомі вам біологічні полімери.
3. Порівняйте гомо- та гетерополімери.
4. Поясніть значення пігментів і вітамінів для життєдіяльності організмів.
5. Які організми продукують антибіотики та алкалоїди? Яке це має пристосувальне значення?

## § 4. Вуглеводи та ліпіди

### Згадаємо!

Який вуглевод утворюється внаслідок фотосинтезу?

Які вуглеводи запасуються в клітинах рослин, тварин та грибів?

Якого співвідношення білків, жирів та вуглеводів повинна дотримуватися людина для раціонального харчування? Чому?

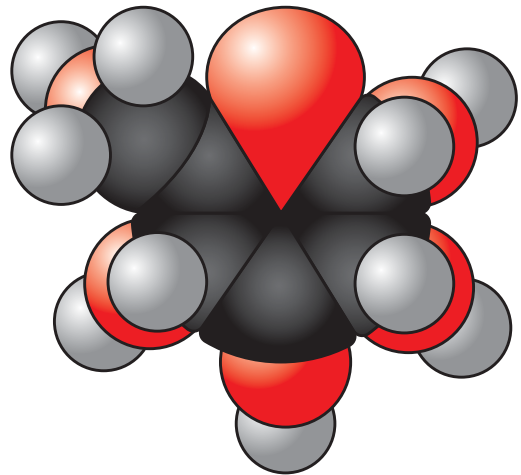
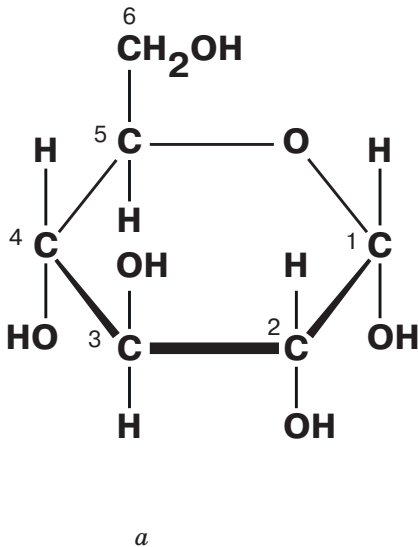
**Будова, властивості та біологічна роль вуглеводів.** Масова частка вуглеводів у живій природі більша, ніж інших органічних сполук. У клітинах тварин і грибів вуглеводи містяться в незначній кількості (близько 1 % сухої маси, у клітинах печінки та м'язів – до 5 %), натомість у рослинних клітинах їх вміст значно більший (60 – 90 %). Вуглеводи утворюються переважно в результаті фотосинтезу. Гетеротрофні організми отримують вуглеводи з їжі або ж синтезують їх з інших органічних сполук (жирів, амінокислот тощо).

🟡 **Вуглеводи** – це органічні сполуки, у яких співвідношення атомів Карбону, Гідрогену, Оксигену здебільшого відповідає формулі  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , де  $n = 3$  й більше. Проте є вуглеводи, у яких це співвідношення дещо інше, а деякі містять також атоми Нітрогену, Фосфору чи Сульфур.

До вуглеводів належать моносахариди, олігосахариди й полісахариди.

**Моносахариди** – добре розчинні у воді речовини, мають солодкий смак. Розглянемо будову молекули моносахаридів на прикладі глюкози. Її молекулярна формула  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (рис. 15).

Рис. 15. Будова молекули глюкози: а – структурна формула; б – масштабна модель





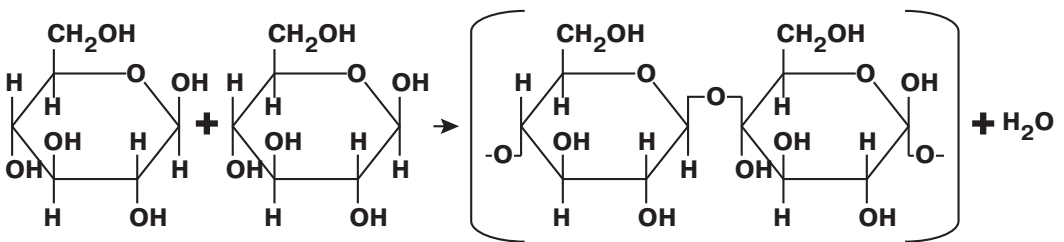
Моносахариди класифікують за кількістю атомів Карбону в їхніх молекулах. Найбільш важливими для живої природи є пентози (сполуки з п'ятьма атомами Карбону) та гексози (сполуки з шістьма атомами Карбону). Поширеними гексозами окрім глюкози є фруктоза та галактоза. З пентоз поширені рибоза та дезоксирибоза, залишки яких входять до складу мономерів нуклеїнових кислот. Моносахариди здатні сполучатися між собою за допомогою  $\text{-OH-}$  груп. При цьому утворюється хімічний зв'язок між двома залишками моносахаридів через атом Оксигену ( $\text{-O-}$ ) (рис.16).

Олігосахариди та полісахариди складаються із залишків моносахаридів. **Олігосахариди** – полімерні вуглеводи, у яких 2–10 моносахаридних ланок з'єднані ковалентними зв'язками. Наприклад, дисахариди утворені двома залишками моносахаридів. У природі поширені такі дисахариди: звичайний харчовий цукор – сахароза (складається із залишків глюкози й фруктози) та молочний цукор – лактоза (складається із залишків глюкози й галактози).

У результаті взаємодії моносахаридів можуть формуватися ланцюжки в сотні й тисячі залишків – **полісахариди**. Ці сполуки погано розчинні у воді та не мають солодкого смаку. У природі поширені полісахариди, утворені із залишків глюкози: целюлоза, глікоген і крохмаль (*пригадайте, це гомо- чи гетерополімери*). Інший поширений у природі полісахарид – хітин складається з нітрогеновмісних похідних глюкози.

Функції вуглеводів досить різноманітні. **Енергетична** функція зумовлена тим, що внаслідок повного розщеплення 1 г вуглеводів вивільняється 17,6 кДж енергії. Частина цієї енергії забезпечує функціонування організму, а частина виділяється у вигляді теплоти. Найбільша кількість енергії вивільняється внаслідок окиснення вуглеводів киснем, проте розщеплення вуглеводів із виділенням енергії може відбуватися й за його відсутності.

Рис. 16. Схема утворення полісахаридів на прикладі целюлози (зображено фрагмент молекули)



❓ Залишки яких моносахаридів утворюють целюлозу?

Скільки молекул води виділяється внаслідок утворення ковалентного зв'язку між двома залишками моносахаридів?

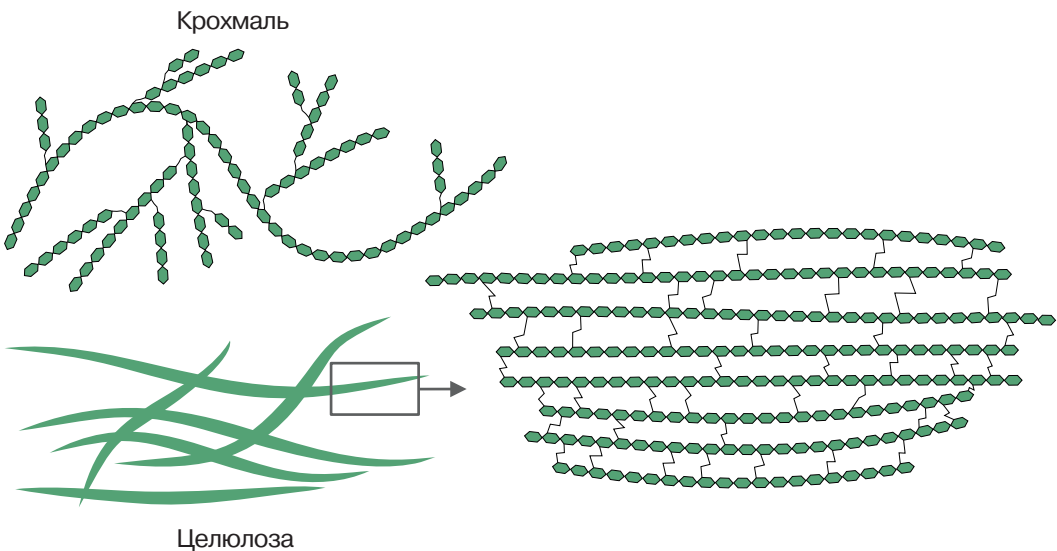
Це важливо для організмів, які існують в умовах нестачі або відсутності кисню (*пригадайте таких тварин*).

Полісахариди можуть накопичуватися в клітинах, тобто виконувати *резервну* функцію. У клітинах тварин і грибів накопичується глікоген, у клітинах рослин – крохмаль. **Будівельна (структурна)** функція вуглеводів полягає в тому, що полісахариди входять до складу певних структур. Так, хітин формує зовнішній скелет членистоногих і міститься в клітинній стінці грибів, а целюлоза – у клітинній стінці рослин. Вуглеводи, пов'язані з білками та ліпідами, розташовуються ззовні плазматичної мембрани тваринної клітини та клітинної стінки бактерій. Особливі сполуки вуглеводів з білками (мукополісахариди) виконують в організмах хребетних тварин і людини функцію мастила – вони входять до складу рідини, що змащує поверхні суглобів.

Ланцюги полісахаридів можуть лінійно розташовуватися в просторі або ж розгалужуватися, що пов'язано з їхніми функціями. Ланцюги полісахаридів, які входять до складу структур клітини або організму, з'єднуються численними зв'язками між собою, що забезпечує міцність та хімічну стійкість цих речовин. Натомість більшість полісахаридів, що є резервними речовинами тваринних і рослинних клітин, мають численні розгалужені ланцюги, унаслідок чого в клітині ці молекули швидко розщеплюються до глюкози в багатьох точках одночасно (рис. 17).

**Будова, властивості та біологічна роль ліпідів.** До складу кожної клітини організму входять ліпіди. **Ліпіди** – це похідні жирних кислот і багатоатомних спиртів або альдегідів. Жирними кислотами є органічні кислоти з ланцюгом від чотирьох атомів Карбону, зазвичай нерозгалуженим. Деякі ліпіди мають дещо іншу будову, але також погано

Рис. 17. Полісахариди



❓ Поясніть взаємозв'язок будови та функцій зображених полісахаридів.

розчиняються у воді. Ліпіди гідрофобні, але добре розчиняються в неполярних розчинниках: бензені, хлороформі, ацетоні.

Велику групу ліпідів становлять жири. **Жири** – естери трьохатомного спирту гліцеролу й трьох залишків нерозгалужених жирних кислот. Одна з найважливіших функцій жирів – **енергетична**. У разі повного розщеплення 1 г жирів виділяється 38,9 кДж енергії – удвічі більше ніж за повного розщеплення аналогічної кількості вуглеводів або білків. **Резервна** функція полягає в тому, що жири містяться в цитоплазмі клітин у вигляді включень – у клітинах жирової тканини, насінні сояшнику тощо. Запаси жирів можуть використовуватись організмами як резервні поживні речовини та як **джерело метаболічної води** (при окисненні 1 г жирів утворюється майже 1,1 мл води). Накопичуючись у підшкірній жировій клітковині тварин, жири захищають організм від дії різких змін температури, виконуючи **теплоізоляційну** функцію. Ця функція жирів зумовлена їх низькою теплопровідністю (рис. 18). Запаси жирів в організмі можуть виконувати й захисну функцію. Зокрема вони захищають внутрішні органи від механічних ушкоджень. Подібними до жирів за будовою сполуками є **воски**, шар яких вкриває листки та плоди наземних рослин, поверхню хітинового скелета багатьох членистоногих, запобігаючи надлишковому випаровуванню води з поверхні тіла (рис. 19). Окрему групу ліпідів утворюють **стероїди**. Найважливішим стероїдом організму тварин є холестерин – складова клітинних мембран, а також є попередником для синтезу вітаміну D, гормонів надниркових і статевих залоз. Серед ліпідів є сполуки, що утворені в результаті взаємодії молекул простих ліпідів з іншими речовинами. До них належать ліпопротеїди (сполуки ліпідів і білків), гліколіпіди (ліпідів і вуглеводів), фосfolіпіди (містять залишки ортофосфатної кислоти). Фосfolіпіди є основою біологічних мембран і виконують будівельну функцію.

Рис. 18. Накопичення жирів в організмі тварин



Верблюд



Нерпа

❓ Як розподіляються жирові відкладення в тілах верблюда та нерпи? Поясніть відмінності, виходячи з функцій ліпідів та умов середовища, у яких мешкають тварини.

Рис. 19. Восковий захисний шар



Плоди й листки сливи



Жук-носоріг

❓ Наведіть інші приклади рослин і тварин, воскові утвори яких є пристосуванням до умов середовища.

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення понять *вуглеводи* й *ліпіди*.
2. Наведіть приклади моносахаридів, олігосахаридів і полісахаридів.
3. Які речовини належать до ліпідів?
4. Поясніть біологічну роль вуглеводів.
5. Обґрунтуйте взаємозв'язок властивостей жирів та їх функцій.

## § 5. Білки: структурна організація та функції

### Згадаємо!

Які сполуки є мономерами білків?

Чому білки є необхідним компонентом харчування людини?

Назвіть відомі вам білки, які забезпечують процеси життєдіяльності організму людини.

Серед органічних сполук провідну роль відіграють білки. Часто вони переважають у клітинах і кількісно. Так, у клітинах тварин білки становлять 40 – 50 % сухої маси, а в клітинах рослин – 20 – 35 %.

**Білки** – високомолекулярні нітрогеновмісні біополімери, мономерами яких є залишки амінокислот.

**Будова та властивості амінокислот.** Амінокислоти – це органічні речовини, молекули яких містять аміногрупу ( $-\text{NH}_2$ ), що виявляє основні властивості, та карбоксильну групу ( $-\text{COOH}$ ) з кислотними властивостями. Ці групи сполучені з одним і тим самим атомом Карбону. Ковалентними зв'язками атом Карбону сполучений із двома атомами Гідрогену в амінокислоті, яка називається гліцином. У молекулах інших амінокислот один із атомів Гідрогену заміщений на певну групу атомів. Її називають замісником і позначають  $-\text{R}$ . Саме цією групою атомів амінокислоти відрізняються одна від одної. Структурну формулу амінокислоти зображено на рисунку (рис. 20). Нині відомо понад 100 амінокислот, але лише 20 із них входять до складу білків (рис. 21). Різні комбінації цих 20 амінокислот забезпечують величезну різноманітність білкових молекул.

Рис. 20. Будова молекули амінокислоти

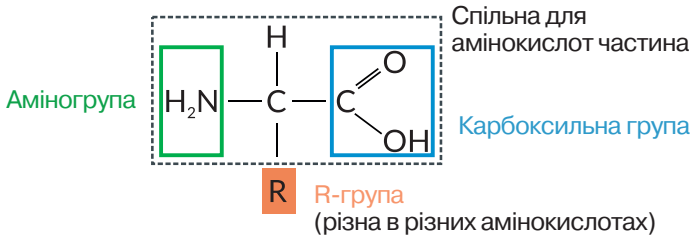
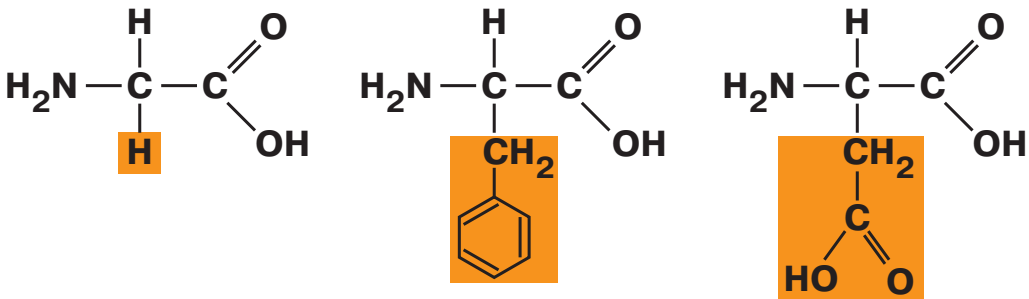


Рис. 21. Приклади молекул амінокислот, що входять до складу білків



**?** Порівняйте будову молекул амінокислот. Яку складову молекул кожної амінокислоти позначено кольором?

Оскільки в амінокислотах кислотні й основні властивості виявляють різні групи атомів, то їх молекули можуть реагувати одна з одною з утворенням міцного ковалентного зв'язку, який називається **пептидним**. При цьому в речовині, що утворилася, з одного боку залишається аміногрупа, а з іншого – карбоксильна, які здатні реагувати з іншими амінокислотами (рис. 22). Тому подовження такого ланцюга з амінокислот може відбуватися далі. Молекула кожного білка характеризується певним складом і послідовністю амінокислотних залишків, які надають їй неповторних функціональних властивостей.

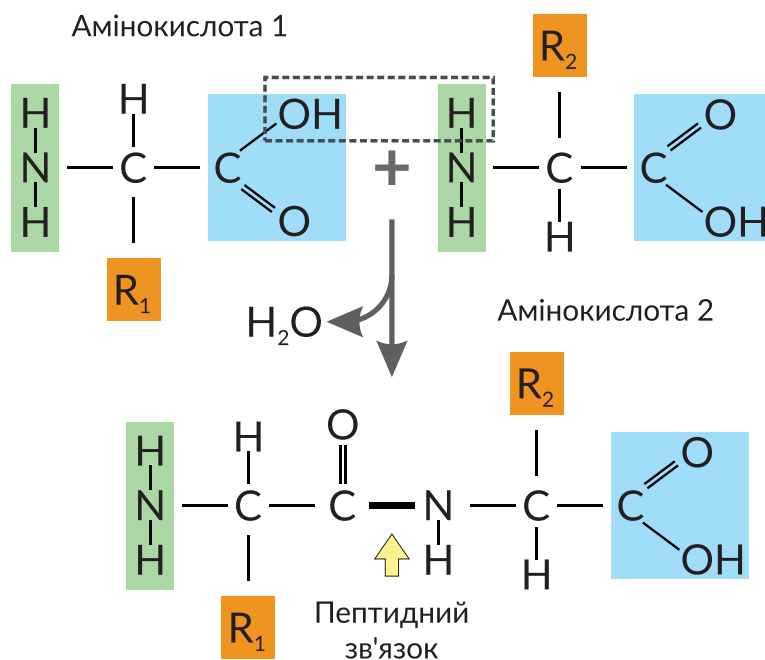
**Рівні структурної організації білкових молекул.** Різноманітність будови білкових молекул зумовлена складністю розташування їх у просторі. Виділяють кілька рівнів структурної організації білкових молекул. Кожен білок утворений лінійним ланцюжком з великої кількості різних амінокислотних залишків, розташованих у певному порядку та з'єднаних пептидними зв'язками. Це **первинний** рівень структурної організації.

У водному середовищі клітини різні частини довгого поліпептидного ланцюга скручуються й можуть укладатися різними способами в спіралі або складки. Це **вторинний** рівень структурної організації. Вторинна структура білка стабілізується слабкими водневими зв'язками між залишками амінокислот. Слабкість зв'язків компенсується великою кількістю, через це вторинні структури є відносно стійкими.

Сформовані в такий спосіб спіралі або складки вкладаються в просторі в різноманітні **третинні** структури (глобули). Цей рівень організації білка стабілізується сильними ковалентними та електростатичними взаємодіями або слабкими водневими та гідрофобними.

Для виконання своїх функцій деякі білки мають складатися з кількох субодиниць, кожна з яких сформована окремим поліпептидним ланцюгом. Таке

Рис. 22. Схема утворення пептидного зв'язку



об'єднання кількох третинних структур в одну функціональну білкову молекулу формує її **четвертинну** структуру, яка на відміну від первинної, вторинної та третинної, характерна не для всіх білків. Процес укладання поліпептидних ланцюгів у вторинну, третинну та четвертинну структури є достатньо складним і контролюється спеціальними білками (рис. 23). У разі помилок у цьому процесі сформована білкова молекула може виявитися нефункціональною. Третинної й четвертинної структур набувають лише довгі (понад 50 амінокислот) поліпептидні ланцюги. Короткі ж (до 50 амінокислот) мають простішу будову й називаються пептидами.

За певних умов (висока температура, дія кислот, лугів або йонів важких металів, йонізуючого випромінювання тощо) білкові молекули втрачають рівні організації: четвертинні структури розпадаються на окремі субодиниці, третинні структури розгортаються до рівня спіралей або складок, а ті, у свою чергу, випрямляються до поліпептидних ланцюжків. Такий процес утрати білковими молекулами природної структури називається **денатурацією** (рис. 24). Денатуровані білки не можуть виконувати свої функції. За умов нетривалого або неінтенсивного впливу зазначених чинників можливе повернення білків до природної структури – **ренатурація**. У разі порушення первинної структури білкової молекули процес виявляється незворотним і називається **деструкцією**.

Окрім амінокислот білкові молекули можуть містити й інші складові. Наприклад, білок крові гемоглобін містить небілкову частину гем із йоном Феруму(II) всередині. Ця частина молекули безпосередньо зв'язує кисень, проте характер цього зв'язування визначається саме білковою частиною. Більшість мембранних білків та велика кількість інших зв'язані із вуглеводами. Такі комплексні молекули називаються глікопротеїнами.

Рис. 23. Рівні структурної організації білкової молекули на прикладі гемоглобіну: 1 – первинний; 2 – вторинний; 3 – третинний; 4 – четвертинний

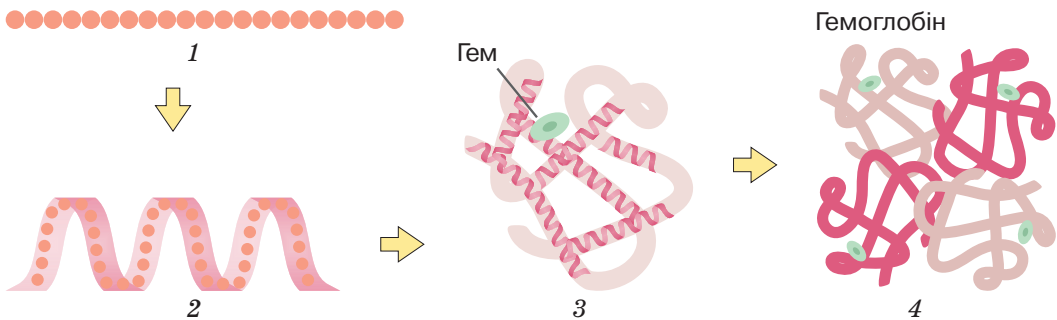


Рис. 24. Процес денатурації білків альбумінів курячого яйця внаслідок дії високих температур



**Біологічна роль білків.** Завдяки великій різноманітності будови білки виконують найрізноманітніші функції.

**Структурні** білки є складовими клітин або позаклітинних структур: тубулін формує мікротрубочки цитоскелета; гістони зв'язують у ядрі молекули ДНК; колаген та еластин входять до складу міжклітинної речовини сполучної тканини; кератин формує основу волосся, нігтів, кігтів та пір'я.

**Рухова** функція білків забезпечується як на рівні клітин (динейн та кінезин є молекулярними двигунами, що переміщують усередині клітин деякі органели), так і на рівні всього організму (актин та міозин забезпечують м'язове скорочення) (рис. 25).

**Ферменти** є біологічними каталізаторами, які суттєво прискорюють хімічні реакції в організмах. Більш детально ми розглянемо їх у наступному параграфі.

**Рецепторні** білки здатні вибірково й дуже точно розпізнавати певні молекули або їх частини. Завдяки активації рецепторних білків чинять свій вплив гормони, функціонують сенсорні системи тощо.

**Сигнальна** функція білків полягає в тому, що деякі сигнальні речовини, а саме гормони (вазопресин, окситоцин, інсулін, тропні гормони гіпофіза) та медіатори (речовини задоволення – ендорфіни) мають білкову (пептидну) природу.

**Транспортні** білки здатні зв'язувати певні речовини та переносити їх: білок еритроцитів гемоглобін потрібен для транспортування кров'ю кисню, мембранні білки-переносники забезпечують проникнення в клітину важливих складових (глюкози, йонів).

**Захисна** функція білків полягає у зв'язуванні шкідливих речовин, зокрема токсинів, що виробляються хвороботворними організмами, та згубним впливом на віруси. До таких білків належать антитіла та інтерферони. Білок плазми крові фібрин бере участь у зсіданні крові.

Рис. 25. Голуб сизий



**(?!)** Складіть оповідання на тему «Роль білків у життєдіяльності птаха», використовуючи наведені фотографії.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *білки*.
2. Опишіть будову молекули амінокислоти.
3. Як утворюється пептидний зв'язок?
4. Опишіть рівні структурної організації білкової молекули.
5. Поясніть біологічну роль білків.

## § 6. Ферменти, їх роль у клітині

### Згадаємо!

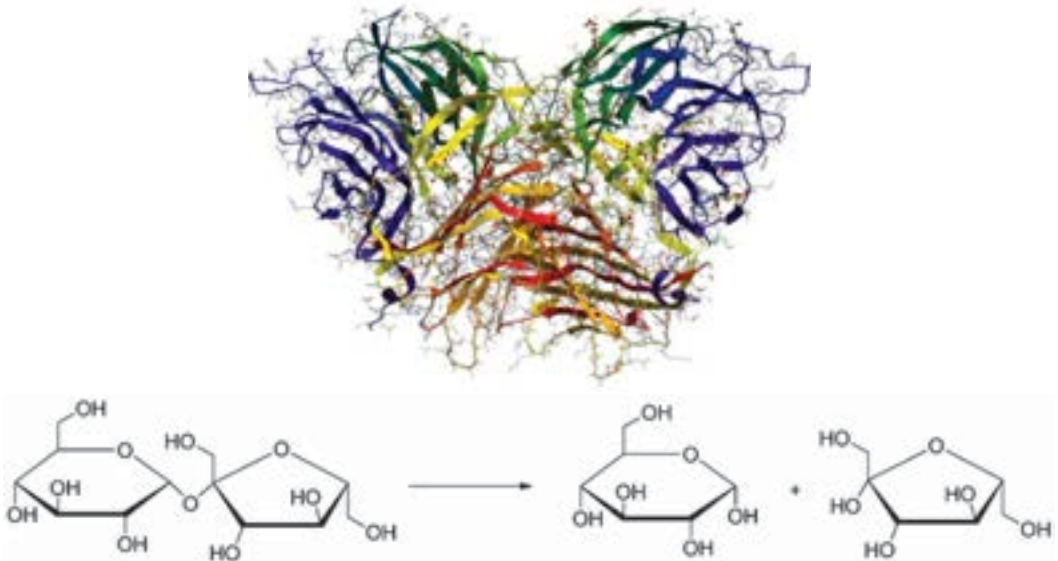
Які ферменти забезпечують травлення в організмі людини?

Які ферменти беруть участь у зсіданні крові?

На молекулярному рівні життя є сукупністю найрізноманітніших хімічних реакцій, що відбуваються в організмах (а часом і за їх межами). Більшість з таких реакцій забезпечують перетворення лише однакових молекул, тобто ступінь їх вибірковості є високим. Крім того, швидкість біохімічних реакцій в організмах у мільйони разів вища, ніж вони відбувалися б у неживій природі за нормальних умов. Такі особливості функціонування живого забезпечують спеціалізовані білки, які називаються ферментами.

**Функціонування ферментів.** Ферменти є біологічними каталізаторами – речовинами, які значно прискорюють швидкість реакцій, не витрачаючись у них. Тобто ферменти взаємодіють із сполуками, що є субстратом реакції, змінюють їхню структуру, перетворюючи на продукт реакції, але самі при цьому не змінюють свого хімічного складу. Назви ферментів, як правило, формуються із назв їхніх субстратів із додаванням закінчення -аза. Наприклад, фермент лактаза розщеплює молочний цукор лактозу на моносахариди глюкозу та галактозу. Проаналізуйте інший приклад (рис. 26). Деякі ферменти мають традиційні назви (без закінчення -аза), наприклад, пепсин і трипсин, що забезпечують процеси травлення людини (*пригадайте, процес розщеплення яких речовин вони каталізують*).

Рис. 26. Тривимірна модель будови молекули ферменту, що розщеплює сахарозу на моносахариди



❓ Подумайте, як називається цей фермент. Яка речовина є його субстратом? Що є продуктом цієї реакції?



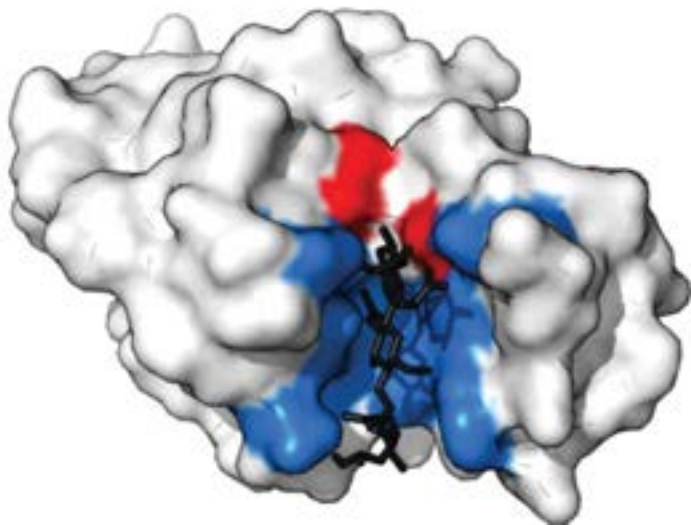
При зв'язуванні ферменту із субстратами утворюється тимчасова сполука **фермент-субстратний комплекс**, який розпадається з утворенням ферменту та продуктів реакції. Енергетично цей процес є більш вигідним, ніж перетворення субстрату на продукт без участі ферменту. Без нього реакція може потребувати високих температур, тиску, високої кислотності середовища тощо, тобто не може ефективно відбуватися в живих клітинах.

Функціонування ферменту визначається просторовою структурою його молекули. Завдяки здатності білків набувати найрізноманітніших третинних і четвертинних структур ферменти каталізують велику кількість реакцій – міжнародна база даних ферментів налічує близько 7 000 назв і постійно поповнюється. Найважливішою для функціонування ферменту є частина молекули, що безпосередньо зв'язує субстрат і забезпечує його перетворення. Це – **активний центр** (рис. 27).

Функціонування деяких ферментів залежить від наявності додаткових речовин небілкової природи. Сполуки, необхідні для роботи ферментів, називаються **коферментами**. Ними можуть бути, наприклад, похідні вітамінів. Для функціонування деяких ферментів необхідна наявність іонів металів (Цинку, Купруму, Кобальту тощо).

**Фактори, що впливають на активність ферментів.** З підвищенням температури на 10 °С ферментативна активність зростає приблизно у 2–3 рази. Проте, як і всі білки, ферменти можуть денатурувати, втрачаючи властиву їм природну структуру. Це призводить до втрати каталітичної активності. В організмі людини білки починають денатурувати за температури ~40 °С, в інших організмів білки залишаються стійкими в більшому інтервалі температур. Наприклад, деякі бактерії живуть у водоймах, температура в яких вища ніж 80 °С.

*Рис. 27.* Тривимірна модель молекули ферменту лізоциму. Активний центр виділено кольором, також можна бачити зв'язану молекулу субстрату



❓ Пригадайте, де трапляється зображена речовина та яку функцію вона виконує.

Іншим шляхом регуляції роботи ферментів є приєднання до них певних сполук, наприклад залишку ортофосфатної кислоти. Така реакція називається фосфорилуванням. Унаслідок неї неактивний фермент стає активним і починає виконувати свою функцію. Фосфорилування може спричиняти й протилежний ефект – змінений білок переходить з активного стану в неактивний. Такі зміни можуть відбуватися всередині клітин унаслідок дії на них різноманітних подразників – гормонів, медіаторів тощо. Це один із способів регуляції функціонування клітин. Деякі речовини можуть блокувати активний центр ферменту – це призводить до порушення його функціонування.

Рівень активності ферментів може визначатися також концентрацією продуктів реакції. Як правило, вони гальмують роботу ферменту: при накопиченні продуктів реакції швидкість реакції знижується, а отже, утворення цих речовин припиняється. У такий спосіб регулюється надмірне накопичення утворюваних сполук.

**Ферменти й захворювання.** Ферменти забезпечують більшість функцій в організмі – зчитування спадкової інформації, процеси отримання енергії, синтез необхідних для росту й розвитку речовин, розщеплення проміжних продуктів обміну речовин тощо. Наприклад, фермент каталази забезпечує розщеплення до води й кисню отруйного для організму гідроген пероксиду, що утворюється в клітинах як проміжний продукт окиснення. Дослідити вплив ферменту каталази рослинних клітин на гідроген пероксид можна, виконавши лабораторне дослідження.

У випадку, якщо той чи інший фермент не функціонує, контрольована ним реакція не відбувається, що призводить до захворювання. Наприклад, якщо в організмі людини бракує ферменту лактази, не розщеплюватиметься молочний цукор. Оскільки лактоза не може всмоктуватися безпосередньо в

## ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЕРМЕНТІВ

**Мета:** дослідити вплив ферменту каталази рослинних клітин на гідроген пероксид.

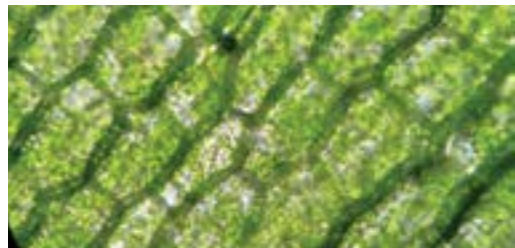
**Обладнання та матеріали:** мікроскоп, набори для приготування мікропрепаратів, пробірки, елодея, сира та варена картопля, розчин гідроген пероксиду, дистильована вода.

### Хід роботи

1. Приготуйте мікропрепарат витриманого на світлі (8 – 10 год) листка елодеї та розгляньте його за допомогою мікроскопа.
2. На один край накривного скла нанесіть краплину розчину гідроген пероксиду. Відтягніть нанесений розчин на інший край фільтрувальним папером. Спостерігайте за допомогою мікроскопа явище, що відбувається.
3. До однієї пробірки покладіть шматочок сирової картоплі, а до другої – вареної. У кожен пробірку додайте по 6 – 7 краплин гідроген пероксиду й спостерігайте за змінами, що відбуваються.
4. У висновку поясніть: 1) явище, яке ви спостерігали за допомогою мікроскопа; 2) властивість ферментів, яку доводить другий досвід.



Елодея

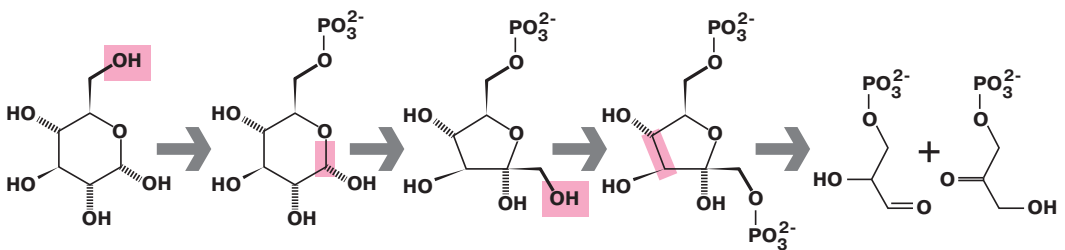


Клітини листка елодеї в полі зору мікроскопа

кишечнику в кров, вона залишатиметься в порожнині травного тракту, де її використовуватимуть бактерії. Утворені при цьому продукти обміну речовин (вуглекислий газ, молочна кислота) негативно впливатимуть на функціонування кишечника, що проявлятиметься як симптоми несприйняття лактози (нудота, здуття, біль, пронос тощо). Багато таких захворювань є вродженими, тобто зумовлені мутаціями генів, які кодують структуру відповідних ферментів. Ферментативні реакції часто є як послідовні каскади, коли продукт попередньої реакції стає субстратом наступної (рис. 28). Тож для синтезу або розщеплення певних сполук потрібна злагоджена послідовна робота кількох (часто десятків) ферментів. Такі складні ланцюжки реакцій забезпечують процеси отримання клітиною енергії (§ 14), фотосинтезу (§ 15) тощо. Якщо хоча б один із ферментів каскаду не функціонує, то розвиваються захворювання. Порушення функціонування багатьох ферментів виникає також унаслідок нестачі в раціоні вітамінів, незамінних амінокислот, жирних кислот, макро- та мікроелементів.

Вітаміни здебільшого не утворюються в організмі, тому за їх відсутності в харчових продуктах порушується функціонування ферментів, обмін речовин і розвиваються тяжкі захворювання. Такими захворюваннями людини є, наприклад, рахіт, цинга, куряча сліпота тощо (*пригадайте, нестача яких вітамінів спричиняє зазначені захворювання, і які порушення при цьому виникають*). До пригнічення активності окремих ферментів можуть призводити також природні компоненти харчових продуктів або чужорідні речовини, що містяться в них (наприклад, пестициди). Тому запорукою запобігання захворюванням, що виникають унаслідок порушення функціонування ферментів в організмі, є дотримання умов вирощування рослин, правил збереження вітамінів у продуктах та збалансоване харчування.

Рис. 28. Частина ланцюга розщеплення глюкози. Кожна стрілка відповідає впливу певного ферменту



❓ Простежте, які структурні перетворення відбуваються під час кожної реакції.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *ферменти*.
2. Наведіть приклади ферментів.
3. Чому наявність ферментів є необхідною умовою життєдіяльності клітини?
4. Опишіть результат дослідження. Яку властивість ферментів ви спостерігали?
5. Які фактори впливають на активність ферментів?

## § 7. Нуклеїнові кислоти: структурна організація та функції. АТФ

### Згадаємо!

Що таке біополімер?

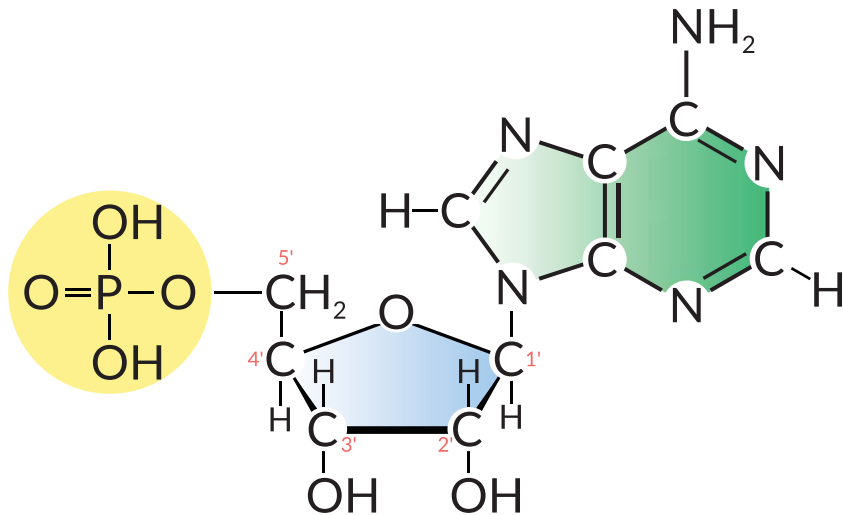
Яка органічна молекула забезпечує збереження спадкової інформації?

Ріст і розвиток усіх організмів визначаються й контролюються генетичною програмою. Ви вже знаєте, що спадкова інформація зберігається в структурі молекул ДНК (дезоксирибонуклеїнової кислоти). Інші молекули – РНК (рибонуклеїнові кислоти) – беруть участь у реалізації цієї інформації, а саме в біосинтезі білка. Обидва зазначені типи молекул належать до нуклеїнових кислот.

🕒 **Нуклеїнові кислоти** – біополімери, мономерами яких є нуклеотиди. Нуклеотиди – це органічні речовини, що складаються з трьох хімічних компонентів, сполучених ковалентними зв'язками: моносахариду (пентози), ортофосфатної кислоти та нітрогеновмісної основи – речовини з циклічною будовою молекули (рис. 29).

**Різноманітність нуклеотидів.** Усі нуклеотиди містять однакові залишки ортофосфатної кислоти. А різняться вони вуглеводними компонентами та нітрогеновмісними основами. Моносахаридами, що входять до складу нуклеотидів, можуть бути **рибоза** або **дезоксирибоза**. Нуклеотиди з рибозою утворюють молекули РНК, з дезоксирибозою – ДНК. Нітрогеновмісні основи, які можуть

Рис. 29. Будова молекули нуклеотиду (залишок моносахариду позначено синім кольором, залишок ортофосфатної кислоти – жовтим, залишок нітрогеновмісної основи – зеленим)



❗ Прочитайте опис зображеного нуклеотиду: «Містить залишок ортофосфатної кислоти, вуглеводу рибози та нітрогеновмісної основи аденіну». До складу нуклеїнової кислоти якого типу він може входити?

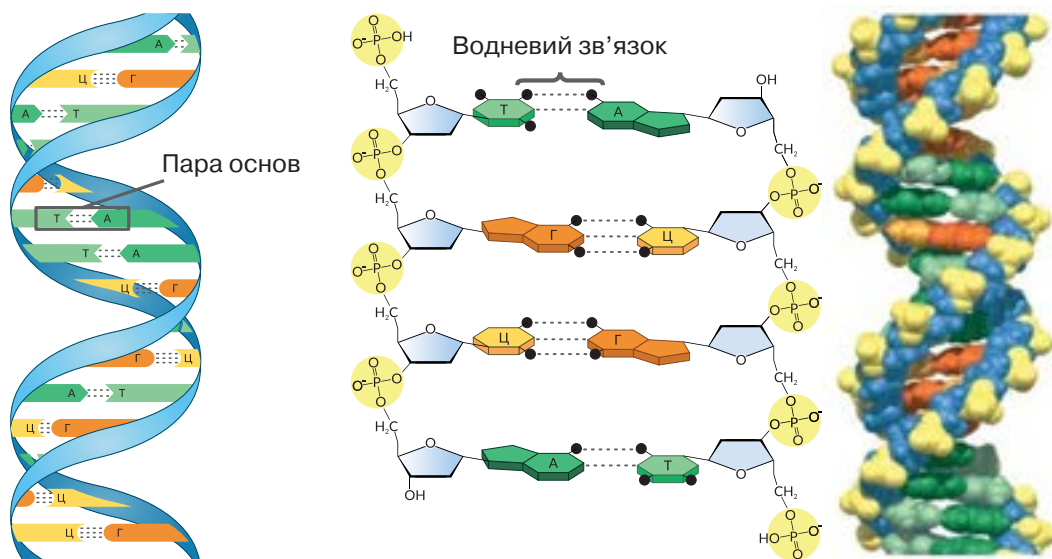
входить до складу нуклеотидів, називають **аденином, тиміном, урацилом, цитозином та гуаніном**. Скорочено їх позначають першими літерами назв речовин: А, Т, У, Ц, Г.

Нуклеотиди здатні взаємодіяти один з одним, формуючи довгі ланцюги. Міцний ковалентний зв'язок утворюється між гідроксильною групою вуглеводу одного нуклеотиду та гідроксильною групою ортофосфатної кислоти іншого нуклеотиду. Унаслідок цього утворена сполука буде містити з одного боку залишок ортофосфатної кислоти, а з іншого – моносахариду, а тому може взаємодіяти з іншим нуклеотидом. Найбільша молекула ДНК клітин людини містить послідовно майже 250 млн нуклеотидів. Якщо цю молекулу розгорнути, її довжина становитиме 85 мм (*пригадайте розміри клітини*).

Послідовність «літер» нітрогеновмісних основ і є основою коду, яким записано інформацію в молекулах ДНК і РНК. Як він «працює», ми розглянемо згодом, а тепер розглянемо особливості будови цих речовин.

**Молекула ДНК.** Молекулу ДНК можна уявити як подвійну спіраль: вона складається з двох ланцюгів, що закручені один навколо одного. Нуклеотиди обох ланцюгів розташовані так, що нітрогеновмісні основи одного ланцюга містяться напроти нітрогеновмісних основ іншого, утворюючи пари. Між основами виникають слабкі водневі зв'язки. Незважаючи на слабкість, велика їх кількість (сотні тисяч та мільйони) зумовлює те, що обидва ланцюги міцно тримаються разом. Основи взаємодіють між собою так, що напроти А першого ланцюга завжди розташовується Т другого, а напроти Г – завжди Ц. Така відповідність у розташуванні нуклеотидів називається **комплементарністю** (рис. 30). Ця закономірність має важливе значення для забезпечення процесів копіювання молекул ДНК та переписування з них інформації на молекули РНК (§ 19 і 22). Водночас така особливість будови молекули ДНК зумовлює

Рис. 30. Модель молекули ДНК – подвійна спіраль. Фрагмент молекули



**?** Полічіть кількість водневих зв'язків, що утворюються між комплементарними нуклеотидами зображеного фрагмента молекули ДНК.

те, що структура першого ланцюга комплементарно повторює структуру другого, тобто за послідовністю одного з них може відновлюватися послідовність іншого в разі його руйнування. Це важливо для захисту молекули ДНК від пошкоджень унаслідок негативних хімічних або фізичних впливів. Отже, така будова молекули ДНК забезпечує виконання своєї основної функції – збереження спадкової інформації. У клітинах, які мають ядра, молекули ДНК зв'язані з білками, що називаються гістонами.

**Молекула РНК.** Молекули РНК клітин прокаріотів та еукаріотів складаються з одного ланцюга. Існують три основні типи РНК, які різняться місцем розташування в клітині, структурою та функціями в біосинтезі білка. **Інформаційна, або матрична, РНК** (іРНК, або мРНК) переносить спадкову інформацію від ДНК до місця синтезу поліпептидного ланцюга. **Транспортна РНК** (тРНК), що з-поміж усіх молекул РНК має найменші розміри (складається з 70–90 нуклеотидів), транспортує амінокислоти до місця синтезу білкових молекул. **Рибосомна РНК** (рРНК) входить до складу особливих органел клітини – рибосом, які забезпечують синтез білкової молекули. Бувають й інші типи РНК.

Ядерна ДНК зберігається в ядрі, там же синтезуються молекули РНК. Далі РНК транспортуються з ядра в цитоплазму, де синтезуються білки. Наводимо порівняльну таблицю двох типів нуклеїнових кислот (табл. 1).

**Інші функції нуклеотидів. АТФ.** Деякі нуклеотиди функціонують у клітинах не лише як мономери нуклеїнових кислот, а мають додаткові, самостійні функції.

Найголовнішим з таких нуклеотидів є АТФ (аденозинтрифосфат). Цей нуклеотид складається з аденіну, рибози та трьох залишків ортофосфатної кислоти. Особливістю будови цієї молекули є те, що для приєднан-

Таблиця 1

Порівняння нуклеїнових кислот

Особливості будови та локалізація в клітині	ДНК	РНК
Кількість ланцюгів	2	1
Нуклеотидний склад полімеру (назва нуклеотиду надається за назвою нітрогеновмісної основи)	(А) Аденіловий (Г) Гуаніловий (Т) Тимідиловий (Ц) Цитидиловий	(А) Аденіловий (Г) Гуаніловий (У) Урациловий (Ц) Цитидиловий
Речовини, що утворюють нуклеотид	Нітрогеновмісна основа Ортофосфатна кислота Вуглевод – дезоксирибоза	Нітрогеновмісна основа Ортофосфатна кислота Вуглевод – рибоза
Локалізація в еукаріотичній клітині	Ядро Хлоропласти Мітохондрії	Ядро Цитоплазма Рибосоми Хлоропласти Мітохондрії

ня наступних залишків ортофосфатної кислоти потрібно набагато більше енергії, ніж на приєднання першого – так у клітинах накопичується енергія (рис. 31). Від синтезованої молекули АТФ шляхом гідролізу відщеплюється третій залишок ортофосфатної кислоти, накопичена енергія вивільняється й використовується для перебігу різноманітних процесів (синтез чи розклад хімічних речовин, зміну їхньої структури, здійснення рухів тощо). Рівняння такої реакції:

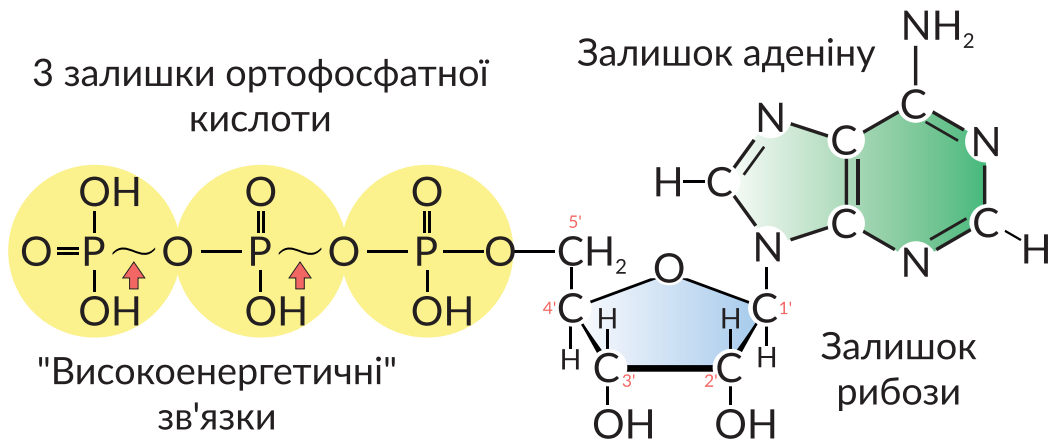


де АДФ – аденозиндифосфатна кислота;  $E$  – енергія, що виділяється. Утворена АДФ може далі розщеплюватися до аденозинмонофосфатної кислоти (АМФ), але під час цієї реакції вивільняється менше енергії (~33–42 кДж/моль). АМФ є звичайним РНК-нуклеотидом, що не зберігає великої кількості енергії.

⚠ **АТФ** – це молекула, що є універсальним внутрішньоклітинним переносником енергії. Молекули АТФ можуть утворюватися за рахунок енергії, яка виділяється в реакціях безкисневого розщеплення глюкози або окиснення органічних речовин у мітохондріях, за рахунок енергії світла під час фотосинтезу тощо. Розщеплення АТФ відбувається завжди, коли клітині потрібна енергія для здійснення певної реакції.

Крім АТФ у клітинах «працюють» й інші нуклеотиди. До них належать нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД) та нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат (НАДФ) (назви наведено не для запам'ятовування). Ці нуклеотиди переносять хімічні речовини і є важливими для роботи мітохондрій та фотосинтезу.

Рис. 31. Структурна формула молекули АТФ



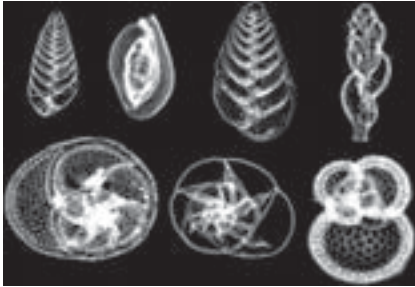
### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *нуклеїнові кислоти*.
2. Опишіть будову нуклеотиду.
3. Що таке принцип комплементарності?
4. Порівняйте будову молекул ДНК і РНК.
5. Чому АТФ називають акумулятором енергії в клітині?

## Цікавинки

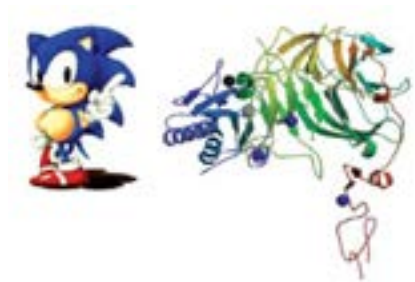
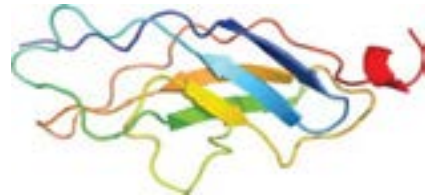
В організмі людини вода становить ~65 % за масою, а в деяких тварин, наприклад медузи, може сягати 98 %.

Пригадайте, як називається організм, зображений на фотографії.



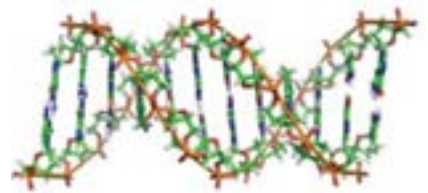
Форамініфери – це переважно морські одноклітинні організми, що формують черепашку, основою якої є кальцій карбонат. Відмерлі форамініфери стають основою осадових порід. Цікаво, що їхні черепашки входять до складу крейди, якою пишуть на шкільних дошках.

Найбільший з відомих нам білків – титин складається із 38 138 залишків амінокислот, а його молекулярна маса становить майже 3 млн а. о. м. Титин є компонентом скелетних м'язів людини й виконує функцію «біологічної пружини», запобігаючи їх надмірному розтягненню.



Дослідниці та дослідники іноді дають відкритим ними хімічним речовинам кумедні назви, які часто застосовують поряд із традиційними. Наприклад, білок **shh**, що бере участь у регуляції ембріонального розвитку людини, названо на честь героя коміксів Їжачка Соніка (**Sonic Hedgehog**).

Ядро соматичної клітини організму людини містить 46 молекул ДНК. Вони утворені більш ніж трьома мільйонами пар нуклеотидів. Довжина ниток ДНК однієї клітини становить близько 2 м, а ДНК всього організму –  $10^{11}$  м, що більше, ніж відстань від Землі до Сонця.





## Практична робота

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

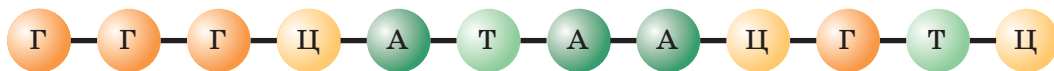
*Мета:* навчитися розв'язувати елементарні вправи зі структури білків та нуклеїнових кислот

#### Вправа 1.

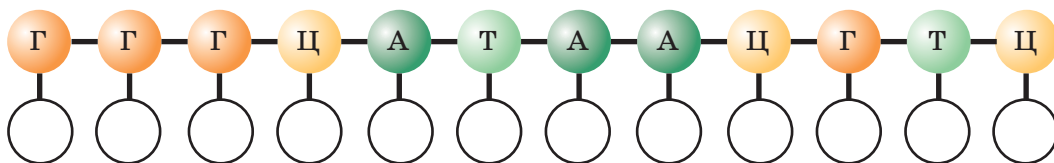
Молекулярна маса білка становить 150 000. Визначте кількість амінокислот у наведеному білку, прийнявши молекулярну масу амінокислоти за 100.

#### Вправа 2.

Фрагмент одного з ланцюгів молекули ДНК має такий нуклеотидний склад:



1. Визначте й запишіть послідовність нуклеотидів фрагмента другого ланцюга молекули ДНК, використовуючи принцип комплементарності. (Не пишіть у підручнику!)



2. Визначте довжину наведеного фрагмента молекули ДНК. Відстань між двома нуклеотидами одного ланцюга – 0,34 нм.

3. Визначте (у відсотках) уміст кожного нуклеотиду в наведеному фрагменті молекули ДНК.

#### Вправа 3.

Фрагмент молекули ДНК містить 30 % гуанілових нуклеотидів. Визначте (у відсотках) уміст усіх інших нуклеотидів у наведеному фрагменті молекули ДНК.

#### Вправа 4.

Фрагмент молекули ДНК містить 20 % аденілових нуклеотидів. Визначте (у відсотках) уміст усіх інших нуклеотидів у наведеному фрагменті молекули ДНК.

#### Вправа 5.

Фрагмент молекули ДНК містить 440 цитидилових нуклеотидів, що становить 22 % від загальної кількості. Визначте кількість усіх інших нуклеотидів у наведеному фрагменті.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Вступ. Хімічний склад клітини та біологічні молекули»

### ВАРІАНТ I

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Цей метод біологічних досліджень ґрунтується на вивченні біологічного об'єкта та подальшому виявленні рис подібності та відмінності з іншими об'єктами. У результаті біологи змогли систематизувати організми. Укажіть цей метод.  
А порівняльно-описовий  
Б експериментальний  
В моделювання  
Г моніторинг
2. Укажіть резервний вуглевод рослинної клітини.  
А глюкоза  
Б крохмаль  
В глікоген  
Г дезоксирибоза
3. Фрагмент одного з ланцюгів молекули ДНК має такий нуклеотидний склад: ГГЦАТ. Укажіть послідовність нуклеотидів фрагмента другого ланцюга.  
А ГГЦАТ  
Б ТАЦГГ  
В ЦЦГТА  
Г ЦГТАГ
4. Макромолекули яких речовин складаються з моносахаридів?  
А білків  
Б ліпідів  
В полісахаридів  
Г нуклеїнових кислот
5. Вторинна структура білкової молекули підтримується за рахунок  
А йонних зв'язків  
Б водневих зв'язків  
В ковалентних зв'язків  
Г гідрофобних взаємодій
6. Укажіть функцію ДНК.  
А сигнальна  
Б енергетична  
В універсальний розчинник  
Г збереження спадкової інформації

### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Укажіть усі правильні твердження щодо рівнів організації біологічних об'єктів, зображених на рисунку.

- I. Об'єкти 1 і 2 перебувають на різних рівнях організації живого.  
 II. Об'єкт 2 порівняно з об'єктом 1 перебуває на вищому рівні організації.

- А лише I  
 Б лише II  
 В обидва правильні  
 Г обидва неправильні



1



2

8. На уроці біології для обговорення значення вуглеводів у життєдіяльності організмів клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що вуглеводи накопичуються в клітинах як джерело енергії. Друга група висловила судження про те, що резервною речовиною рослинних клітин є глікоген. Яка група висловила правильне судження?

- А лише перша  
 Б лише друга  
 В обидві групи  
 Г жодна із груп

9. Прочитайте опис: «*Мономерами ДНК є (1). Вони сполучаються між собою в ланцюги ковалентними зв'язками, утвореними між залишками дезоксирибози та (2)*». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.

- |                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| А 1 – амінокислоти | 2 – нітрогеновмісної основи |
| Б 1 – нуклеотиди   | 2 – нітрогеновмісної основи |
| В 1 – амінокислоти | 2 – ортофосфатної кислоти   |
| Г 1 – нуклеотиди   | 2 – ортофосфатної кислоти   |

### Тестове завдання з коротким описом (3 бали)

10. Схарактеризуйте білки за наведеними ознаками й укажіть речовину, яка належить до цієї групи органічних речовин.

#### Мономерами є

- 1 жирні кислоти  
 2 амінокислоти  
 3 нуклеотиди

#### Функція в клітині

- 1 рухова  
 2 універсальний розчинник  
 3 збереження спадкової інформації

#### До білків належить

- 1 хітин  
 2 глікоген  
 3 гемоглобін

### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

1. Виходячи із особливостей будови молекули ДНК, обґрунтуйте надійність збереження нею спадкової інформації.  
 2. Доведіть єдність живого на основі знань про хімічний склад організмів.

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Укажіть метод біологічних досліджень, що ґрунтується на багаторічних спостереженнях за перебігом процесів.  
 А моніторинг  
 Б моделювання  
 В порівняльно-описовий  
 Г експериментальний
2. Укажіть резервний вуглевод тваринної клітини.  
 А глюкоза  
 Б крохмаль  
 В глікоген  
 Г дезоксирибоза
3. Фрагмент одного з ланцюгів молекули ДНК має такий нуклеотидний склад: ТТАГЦ. Укажіть послідовність нуклеотидів фрагмента другого ланцюга.  
 А ТТАГЦ  
 Б ЦГАТТ  
 В ААТЦГ  
 Г ЦГТАГ
4. Укажіть мономери білків.  
 А моносахариди  
 Б жирні кислоти  
 В амінокислоти  
 Г нуклеотиди
5. Первинна структура білкової молекули утворюється за допомогою  
 А йонних зв'язків  
 Б водневих зв'язків  
 В ковалентних зв'язків  
 Г гідروفобних взаємодій
6. Укажіть одну із функцій РНК.  
 А транспортування кисню  
 Б універсальний розчинник  
 В перенесення спадкової інформації  
 Г забезпечення синтезу вуглеводів

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Укажіть усі правильні твердження щодо рівнів організації біологічних об'єктів, зображених на рисунку.  
 I. Об'єкти 1 і 2 перебувають на різних рівнях організації живого.  
 II. Об'єкт 2 порівняно з об'єктом 1 перебуває на вищому рівні організації.  
 А лише I  
 Б лише II  
 В обидва правильні  
 Г обидва неправильні



1



2

8. На уроці біології для обговорення значення ліпідів у життєдіяльності організмів клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що запаси жирів організми використовують як резервні поживні речовини. Друга група висловила судження про те, що верблюд використовує жири також як джерело метаболічної води. Яка група висловила правильне судження?

- А лише перша
- Б лише друга
- В обидві групи
- Г жодна із груп

9. Прочитайте опис: «*Мономерами РНК є (1). Вони сполучаються між собою в ланцюг ковалентними зв'язками, утвореними між залишками рибози та (2)*». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.

- |                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| А 1 – амінокислоти | 2 – нітрогеновмісної основи |
| Б 1 – нуклеотиди   | 2 – нітрогеновмісної основи |
| В 1 – амінокислоти | 2 – ортофосфатної кислоти   |
| Г 1 – нуклеотиди   | 2 – ортофосфатної кислоти   |

**Тестове завдання з коротким описом (3 бали)**

10. Схарактеризуйте полісахариди за наведеними ознаками й укажіть речовину, яка належить до цієї групи органічних речовин.

**Мономерами є**

- 1 жирні кислоти
- 2 моносахариди
- 3 нуклеотиди

**Функція в клітині**

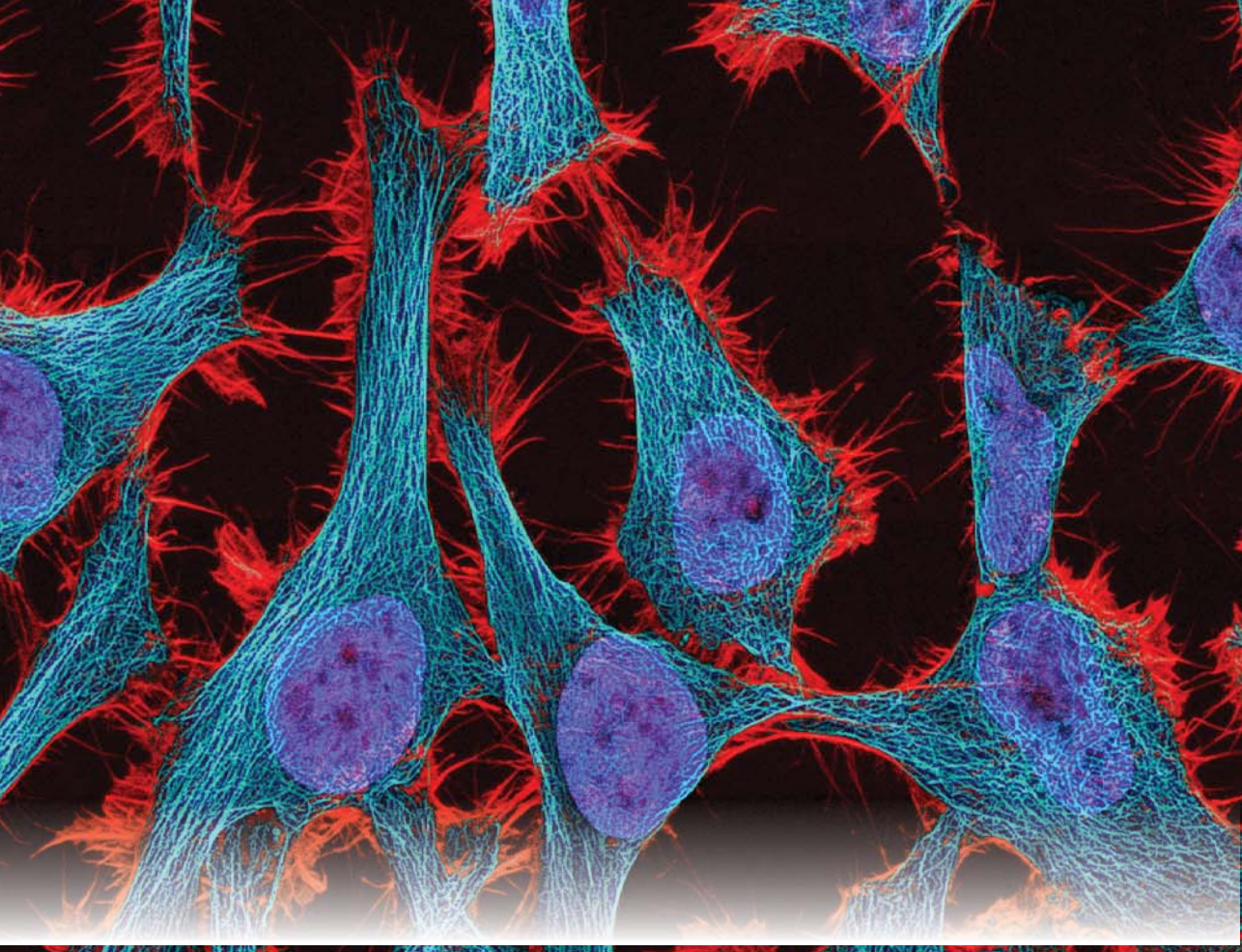
- 1 енергетична
- 2 універсальний розчинник
- 3 збереження спадкової інформації

**До полісахаридів належить**

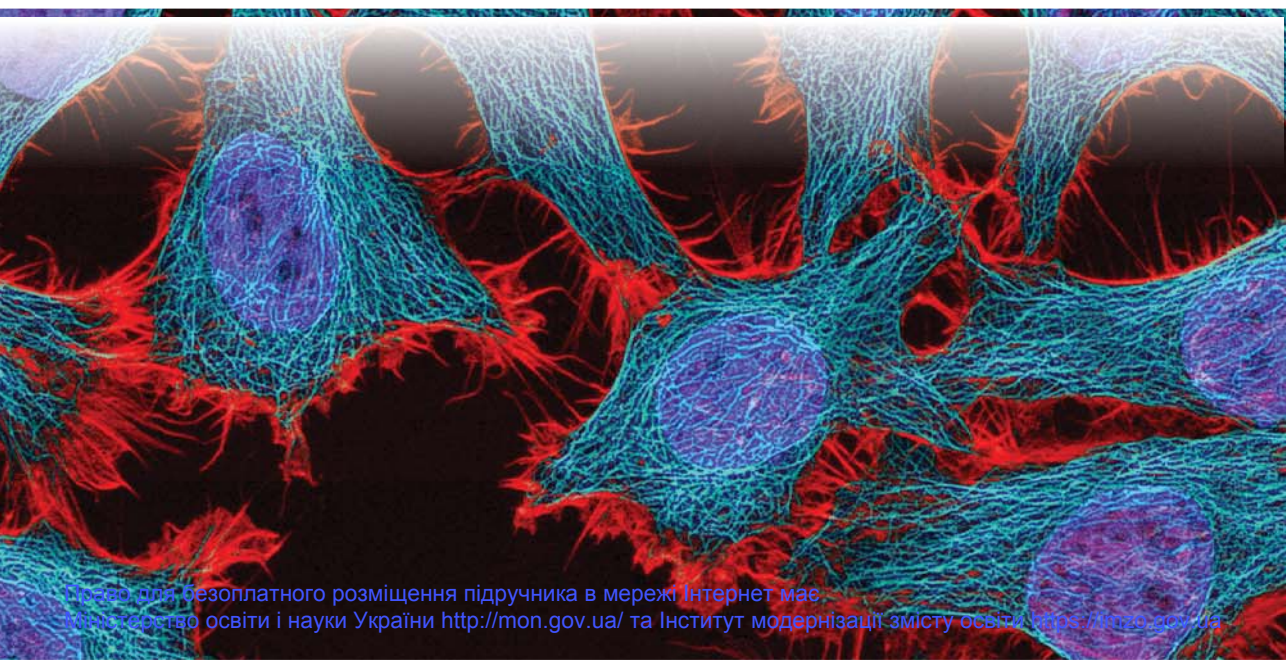
- 1 глюкоза
- 2 глікоген
- 3 гемоглобін

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Виходячи із особливостей будови молекули ДНК, обґрунтуйте надійність збереження нею спадкової інформації.
2. Доведіть єдність живого на основі знань про хімічний склад організмів.



*Тема 2*  
**СТРУКТУРА КЛІТИНИ**



## 3 історії відкриттів

Наука, що вивчає будову та різноманітність клітин, називається цитологією. Її становлення та розвиток пов'язані з іменами видатних учених.

Одним із перших винахідників мікроскопа був *Захаріус Янсен*, який створив його в 1595 р. Надалі мікроскоп удосконалив видатний англійський фізик *Роберт Гук* (1635–1703), що сприяло відкриттю ним клітинної будови організмів. Розглядаючи кіркову пробку, якою була закоркована пляшка, учений у 1665 р. вперше в історії людства спостерігав у полі зору мікроскопа клітини рослин. Голландський натураліст *Антоні ван Левенгук* (1632–1723) суттєво вдосконалив конструкцію мікроскопа, уперше спостерігав бактерії та найпростіші, описав пластиди, еритроцити, сперматозоїди. У 1827 р. Карл Бер описує яйцеклітини ссавців. Центральну структуру клітин рослин і тварин – ядро – відкрили в 1825 р. чеський дослідник *Ян Пуркінє* (1787–1869) (у клітинах тварин) та в 1831 р. англієць *Роберт Броун* (1773–1858) (у клітинах рослин). Праці німецьких учених *Матіаса Шлейдена* (1804–1881), *Теодора Шванна* (1810–1882) та *Рудольфа Вірхова* (1821–1902) лягли в основу клітинної теорії – фундаментального узагальнення біології, яка визначала взаємозв'язок усіх проявів життя на Землі з клітиною, характеризувала клітину одночасно як цілісну самостійну живу систему та як складову багатоклітинних організмів рослин і тварин. У 1838 р. Т. Шванн опублікував три попередні повідомлення, а в 1839 р. з'явився його класичний твір «Мікроскопічні дослідження про відповідність у структурі й зростанні тварин і рослин», у самому заголовку якого висловлено основну думку клітинної теорії.

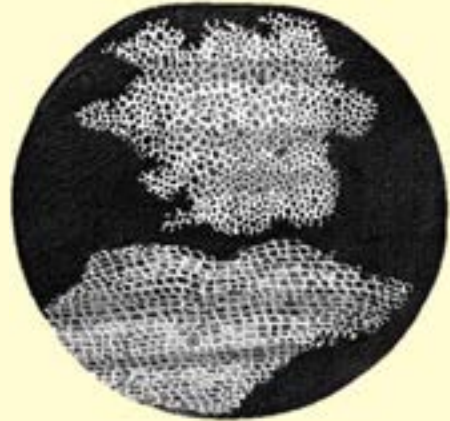
### Основні положення клітинної теорії:

- усі організми складаються з клітин;
- клітина є одиницею будови й розвитку всіх організмів;
- клітини як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів загалом подібні за будовою та основними процесами життєдіяльності;
- утворення нових клітин є наслідком розмноження материнської клітини.

Поступово заклалися основи науки, яка називається *цитологією*. Вона вивчає будову, процеси життєдіяльності та різноманітність клітин. Відкриття в цитології стали підґрунтям для розвитку медицини, ветеринарії, сучасних напрямів досліджень у галузі клітинної інженерії. З методами вивчення клітини та сучасними відкриттями в цитології ви ознайомитеся в параграфах цієї теми.



Мікроскоп Р. Гука



Малюнок мікроскопічної структури корка Р. Гука з праці «Мікрографії»

## § 8. Дослідження клітин

### Згадаємо!

Який прилад на уроках біології ви використовували для вивчення клітин, тканин? Що є складовими цього приладу та які їх функції?

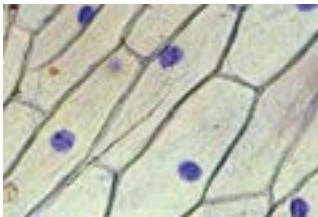
Ви знаєте, що всі процеси життєдіяльності організмів відбуваються на клітинному рівні. Так, у клітині зберігається спадкова інформація, забезпечуються її відтворення та передавання наступним поколінням. На основі цієї інформації синтезуються білкові молекули, які виконують в організмах більшість функцій. У клітинах відбуваються процеси синтезу органічних речовин з неорганічних (§ 16, 17). Організми розмножуються спорами, частинами організму або внаслідок злиття статевих клітин, тобто відтворюють собі подібних за рахунок клітин. З цими та іншими процесами функціонування клітин ви ознайомитеся детальніше в наступних параграфах.

**Клітина** є одиницею будови, життєдіяльності та розмноження організмів.

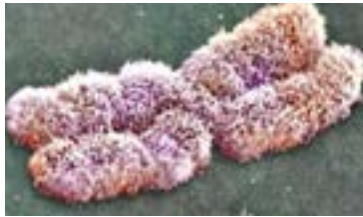
**Типи й методи мікроскопії.** Більшість клітин дуже дрібні, тому їх не можна побачити простим оком. На оптимальній для зору відстані (25 – 30 см) людина здатна розрізняти об'єкти розміром не менше, ніж 70 – 80 мкм. Для того щоб бачити дрібніші об'єкти, оку потрібна допомога – спеціальні прилади для збільшення. Біологічні об'єкти, вивчення яких стало можливим завдяки винайденню таких приладів, представлено на рис. 32.

**Світлова мікроскопія.** Згадаємо будову світлового мікроскопа. Сукупність лінз, що містяться в об'єктивах та окулярах, називається оптичною

Рис. 32. Розміри біологічних об'єктів клітинного й молекулярного рівнів



Клітини епідермісу цибулі, довжина ~130 мкм ( $10^{-6}$  м)



Хромосома людини, 7 – 8 мкм ( $10^{-6}$  м)

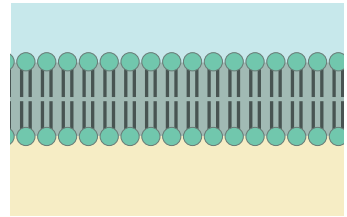
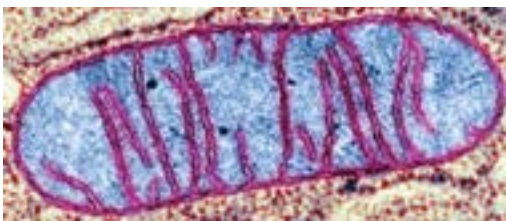


Схема фрагмента плазматичної мембрани клітини, товщина 7 – 8 нм ( $10^{-9}$  м)



Мітохондрія, 1 – 3 мкм ( $10^{-6}$  м)



Бактерія кишкова паличка, ~ 2 мкм ( $10^{-6}$  м)

**?** Який об'єкт ви досліджували за допомогою світлового мікроскопа на уроці біології? Проаналізуйте розміри зображених біологічних об'єктів. Який об'єкт має найбільші розміри, а який – найменші?



системою мікроскопа. Під предметним столиком розміщено частину мікроскопа, яка забезпечує проходження світла від досліджуваного об'єкта до оптичної системи. У найпростішому випадку – це дзеркало: світло проходить через препарат та лінзи, унаслідок чого можна бачити досліджуваний об'єкт. Під час виготовлення мікропрепарату часто використовують барвники – речовини, що вибірково забарвлюють різні компоненти клітини (рис. 33). Описаний спосіб мікроскопії називається методом *світлого поля*. Саме його ви використовуєте під час виконання лабораторних робіт з біології. У такий спосіб можна побачити об'єкти розміром від 200 нм (внутрішні компоненти клітин мають значно менші розміри). Для збільшення потужності світлових мікроскопів існує кілька методів.

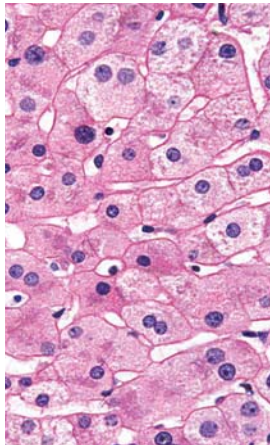
Якщо всі структури досліджуваного об'єкта невидимі при освітленні за методом світлого поля (це часто стосується живих біологічних об'єктів), використовують освітлення за методом *темного поля*. При цьому конденсор спеціальної конструкції так спрямовує світло через об'єкт, що його основна частина не потрапляє до об'єктива. За відсутності препарату в мікроскоп буде видно темне поле (тому метод й отримав таку назву). Якщо ж на шляху світла (в мікропрепараті) є структури, які заломлюють світло по-іншому (відхиляють його в бік від лінії, якою воно пройшло від конденсора), то заломлені промені потрапляють в об'єктив, і такі структури стають видимими (рис. 34).

Інші методи світлової мікроскопії (*фазово-контрастна, поляризаційна*) ґрунтуються на складних властивостях світла та розширюють можливості дослідників. Останнім словом світлової мікроскопічної техніки є прилади з суперроздільною здатністю, що дають змогу бачити об'єкти розміром до 10 нм (*конфокальна, STED-мікроскопія* тощо). А в поєднанні з методиками вибір-

Рис. 33. Забарвлення мікропрепаратів

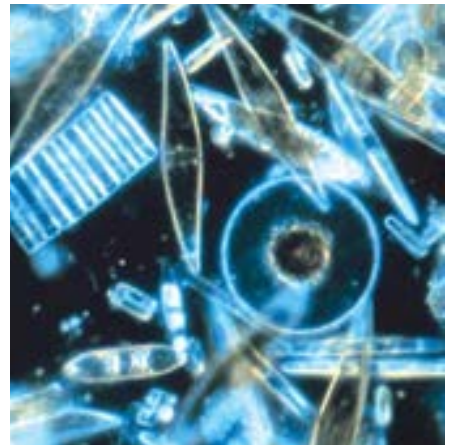


Незафарбований мікропрепарат рослини. Добре видно клітинні стінки та складові, що мають природне забарвлення (які?).



Варіант фарбування тваринних тканин. Ядра забарвлені синім кольором, цитоплазма – червоним.

Рис. 34. Метод темного поля, діатомові водорості



Дослідження живих біологічних об'єктів.

кового забарвлення хімічних речовин (використання явища флуоресценції) можна побачити в клітинах розподіл певних молекул і навіть зміни їх концентрації в процесі життєдіяльності клітини (рис. 35).

**Електронна мікроскопія.** Однак використання світла не дає змоги вивчати будову об'єктів молекулярного рівня. Допомогає в цьому електронна мікроскопія. Через препарат пропускають не промінь світла, а пучок електронів, які реєструються спеціальним сенсором. Різні речовини взаємодіють з електронами неоднаково – вільно пропускають їх або ж відхиляють. Завдяки такій особливості можна бачити різні структури. Наприклад, нітрогеновмісні основи нуклеотидів активно взаємодіють з електронами, тому ядра клітин, що зберігають ДНК, виглядають темнішими. Роздільна здатність електронних мікроскопів сягає 0,5 нм і менше. Описаний різновид електронної мікроскопії називається *просвічувальним*, або *трансмисивним* (рис. 36). Існують також *сканувальні* електронні мікроскопи. У них пучок електронів пропускають на об'єкт зверху, а сенсори вловлюють зображення, що відбилося (а не те, що пройшло наскрізь). Це дає змогу отримувати тривимірні зображення досліджуваних об'єктів (рис. 37).

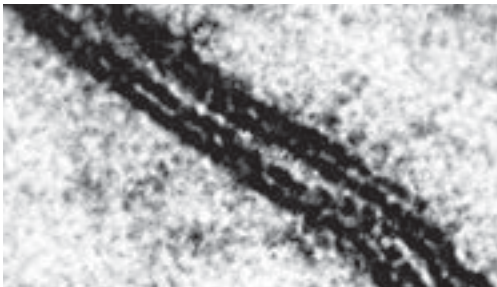
**Основні методи дослідження живих клітин.** Постійно проводити дослідження клітин різних типів дає змогу *метод культури клітин*. При цьому живі клітини утримують та розмножують на штучних поживних середовищах. *Метод мічених атомів*, або *авторадіографія*, допомагає з'ясувати місце й перебіг певних фізико-хімічних явищ у клітині. Для цього в клітину вводять речовину, у якій один з атомів елемента (наприклад, Карбону, Фосфору) замінено на його радіоактивний ізотоп. За допомогою приладів, що фіксують йонізуюче випромінювання, відстежують міграцію цих речовин у клітині, їхні перетворення, виявляють місце й характер різних біохімічних процесів.

*Рис. 35.* Вимірювання змін концентрації йонів  $\text{Ca}^{2+}$  за допомогою конфокальної мікроскопії під час запліднення яйцеклітини плодової мушки дрозофіли. Високі концентрації показано червоним, низькі – синім. Інтервал часу між зображеннями – 1 хв



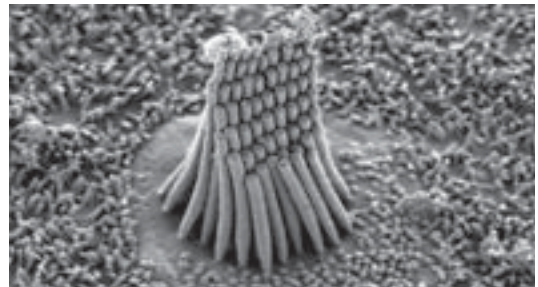
❗ Проаналізуйте зображення й дайте відповідь на запитання: Як змінюється концентрація йонів  $\text{Ca}^{2+}$  під час запліднення?

*Рис. 36.* Зображення досліджуваного об'єкта. Просвічувальна електронна мікроскопія



У місці контакту мембран двох клітин можна бачити двошарову структуру кожної.

*Рис. 37.* Зображення досліджуваного об'єкта. Сканувальна електронна мікроскопія



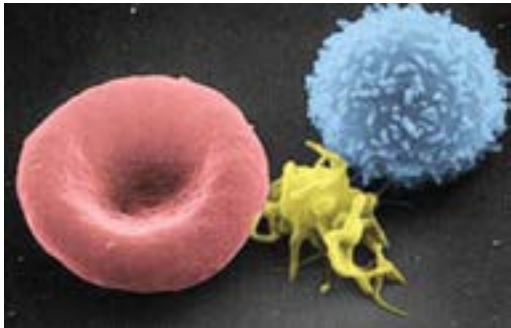
Чутливі клітини внутрішнього вуха – видно вирости мембран.

**Різноманітність клітин.** Клітина – жива відкрита система, яка є основою будови й розвитку організмів. Клітинам властиві обмін речовин та енергії з навколишнім середовищем, розмноження, ріст та розвиток, синтез специфічних молекул (нуклеїнові кислоти, білки, ферменти тощо). Вони реагують на подразники адаптивними змінами. Характерна особливість клітин – це єдність хімічних процесів: дихання, використання та перетворення енергії. Клітини різняться між собою за розміром, формою, походженням, особливостями організації й функціями. Ви вже ознайомилися з будовою деяких клітин (рис. 38). Сучасній науці відомо більше ніж 200 тис. видів одноклітинних організмів, кожен із яких характеризується властивими лише йому особливостями. Тіла багатоклітинних організмів складаються з клітин різних типів (кілька десятків типів у рослин, 100 – 200 – у тварин), причому клітини одного типу в різних видів мають певні відмінності. Незважаючи на таку різноманітність, усі клітини мають загальні риси будови: поверхня кожної клітини обмежена плазматичною мембраною, а внутрішній уміст називається цитоплазмою. За будовою всі клітини поділяють на дві великі категорії:

- клітини, що мають ядра та складну внутрішню будову, називаються **еукаріотичними** (від грец. *eu-* – повністю, добре та *karіo* – ядро) і властиві грибам, рослинам та тваринам;
- без'ядерні клітини, що мають простішу внутрішню будову, називаються **прокаріотичними** (від грец. *pro* – до і *karіo*) і властиві бактеріям й археям (*більш детально ознайомитися з різноманіттям клітин ви зможете в § 12*).

Ми почнемо ознайомлення з будовою клітин із складних, еукаріотичних. До них належать і клітини організму людини.

Рис. 38. Різноманітність клітин



Формені елементи крові людини



Інфузорія-туфелька

**?** Які функції виконують зображені клітини в складі багатоклітинних організмів? Інфузорія – це клітина чи організм?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Перелічіть методи вивчення клітини.
2. Які типи мікроскопії ви знаєте?
3. Поясніть значення кожного типу мікроскопії для вивчення клітини.
4. Який метод дає змогу з'ясувати перебіг хімічних процесів?
5. Які організми належать до еукаріотів, а які – до прокаріотів?

## § 9. Клітинна мембрана

### Згадаємо!

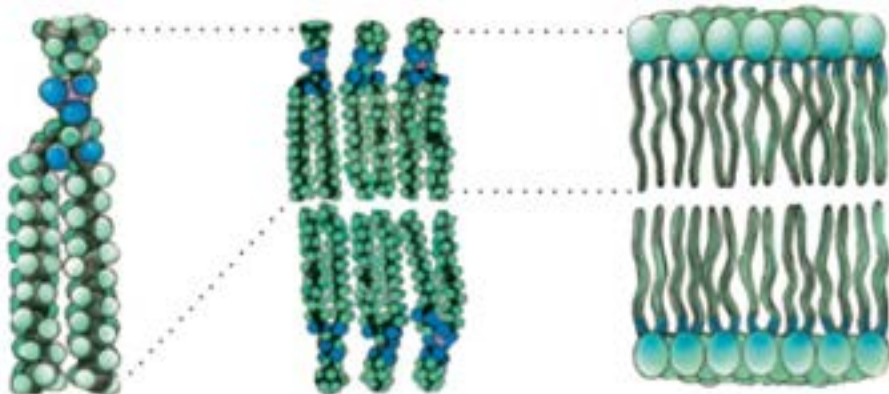
Які складові утворюють клітину?

Яка складова забезпечує обмін речовин клітини з навколишнім середовищем, водночас відмежовуючи її від нього?

Кожна клітина оточена **плазматичною мембраною**, або **плазмолемою**. З нею можуть бути з'єднані внутрішньо- і позаклітинні структури. Разом із мембраною вони називаються **поверхневим апаратом**. Уміст еукаріотичних клітин поділяється внутрішніми мембранами на функціональні ділянки. Так, у клітинах вирізняють ядро й цитоплазму. Цитоплазма, у свою чергу, містить напіврідку основу й більш компактні утворення – органели та включення.

**Хімічний склад і будова плазматичної мембрани.** Плазматична мембрана, оточуючи кожну клітину, відділяє її вміст від позаклітинного простору. До складу мембрани входять ліпіди, білки та вуглеводи. Основою плазмолеми є подвійний шар із фосфоліпідів. Молекула фосфоліпиду має невелику гідрофільну «голівку» (залишки гліцеролу, ортофосфатної кислоти й додаткової сполуки) і два або один довгі гідрофобні «хвости» (залишки жирних кислот). Гідрофобні частини молекул об'єднуються з іншими гідрофобними сполуками, а гідрофільні – з гідрофільними, формуючи подвійні шари (рис. 39). У кожному шарі гідрофільні «голівки» молекул обернені до водного середовища (позаклітинний простір або цитоплазма), а їхні «хвости» орієнтовані всередину товщі

Рис. 39. Схема розташування фосфоліпідів у мембрані



❗ Знайдіть на рисунку гідрофобні та гідрофільні частини молекули фосфоліпиду. Поясніть, як фосфоліпіди утворюють подвійний шар.

мембрани. Таку структуру мають усі біологічні мембрани, зокрема й внутрішньоклітинних органел.

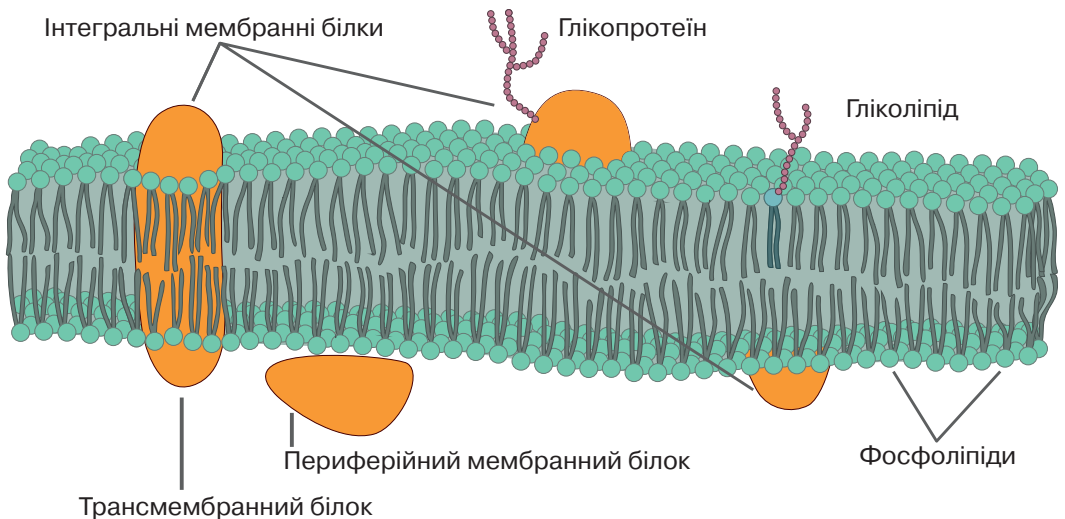
Окрім фосфоліпідів до складу плазматичної мембрани входять інші ліпіди (зокрема, холестерол) та значна кількість білків (до 50 % від маси мембрани). Оскільки білкові молекули за розміром більші, ніж фосфоліпідні, на один білок у складі мембрани припадає близько 50 фосфоліпідів. Залежно від функцій клітини кількість і склад мембранних білків суттєво різняться. За розміщенням вирізняють білки, що пронизують товщу мембрани (внутрішні, або інтегральні), та такі, що розміщені з внутрішнього чи зовнішнього боку мембрани (зовнішні, або периферійні). Мембранні білки можуть з'єднуватися з вуглеводами (*пригадайте, як вони називаються*) (рис. 40).

Така модель будови біологічних мембран дістала назву **рідинно-мозаїчної**: більшість ліпідів мембрани перебувають у рідкому стані й лише близько 30 % ліпідів міцно з'єднані з внутрішніми білками в комплексні сполуки.

З плазматичними мембранами пов'язаний **надмембранний комплекс** – комплекс структур, розташованих зовні клітин. Надмембранний комплекс тваринних клітин являє собою вуглеводні частини глікопротеїнів та гліколіпідів мембран, що утворюють зовнішній шар клітини – глікокалікс. У бактерій, рослин і грибів надмембранний комплекс представлений клітинною стінкою – жорстким каркасом, що оточує клітини. Клітинні стінки різних організмів мають різну хімічну природу. Ви вже знаєте, що основною речовиною стінок рослинних клітин є целюлоза. У грибів ця структура сформована іншим полісахаридом – хітином. Бактеріальні клітини оточені стінками з муреїну – речовини складної хімічної природи (містить короткі пептиди та залишки вуглеводів).

**Функції плазматичної мембрани.** Білки плазматичної мембрани виконують різноманітні функції, а це зумовлює відповідні функції

Рис. 40. Схема будови плазматичної мембрани



плазмолемі: бар'єрну, транспортну, контактну, рецепторну та ферментативну.

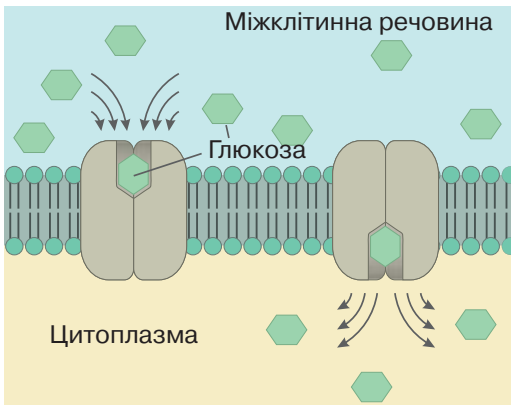
Будова мембрани практично унеможливорює дифузію крізь неї полярних молекул, зокрема йонів. Тож плазматична мембрана виконує **бар'єрну функцію**. Проте крізь мембрану має здійснюватися **транспортування** речовин як усередину клітини, так і назовні. Це необхідно для постачання клітині поживних речовин та виведення продуктів обміну.

Розрізняють два типи транспортування речовин: рух речовин, за якого не витрачається енергія АТФ, називається пасивним; рух, пов'язаний з витратами енергії, називається активним. Найпростішим варіантом пасивного транспортування є проста **дифузія** (з місця з більшою концентрацією речовини до місця з меншою її концентрацією). У такий спосіб крізь мембрану проникають насамперед неполярні молекули. Так, з неорганічних речовин крізь мембрани добре дифундують кисень і вуглекислий газ – це має важливе значення для клітинного дихання, з органічних речовин – стероїдні речовини. Транспортування крізь мембрану полярних речовин забезпечують білкові молекули-переносники. Цей тип транспортування відіграє важливу роль у процесі збудливості нервових і м'язових клітин тощо. Молекули-переносники необхідні також для потрапляння в клітину глюкози. Пасивний рух речовин за допомогою молекул-переносників називається **полегшеною дифузією** (рис. 41).

Іноколи необхідно транспортувати речовину з місця з меншою її концентрацією до місця, де її концентрація більша. Цей процес потребує витрат енергії, а тому є активним. Прикладом може бути **калій-натрієвий насос** ( $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -насос) (рис. 42).

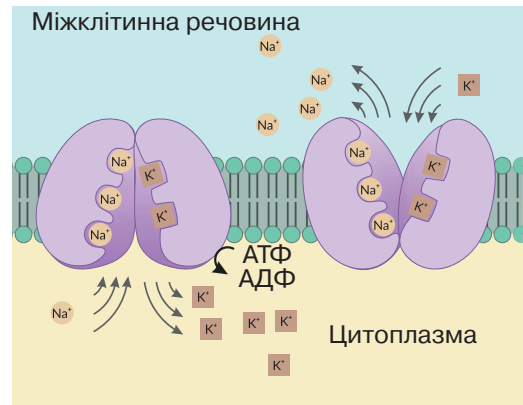
Він забезпечує вихід з клітини йонів Натрію й надходження в неї з позаклітинного простору йонів Калію. Робота цього насоса забезпечує нормальне

Рис. 41. Принцип роботи внутрішнього білка, що транспортує глюкозу



❗️ Проаналізуйте схему. Доведіть, що зображена схема є прикладом пасивного транспортування речовин.

Рис. 42. Принцип роботи  $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -насоса



❗️ Проаналізуйте схему. Прочитайте твердження:

1. На роботу  $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -насоса витрачається енергія молекули АТФ.
  2. Йони Натрію «закачуються» у клітину, а йони Калію «викачуються» з клітини.
- Які з цих тверджень є правильними?

функціонування клітин, підтримуючи на певному рівні концентрації йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  усередині та зовні їх.

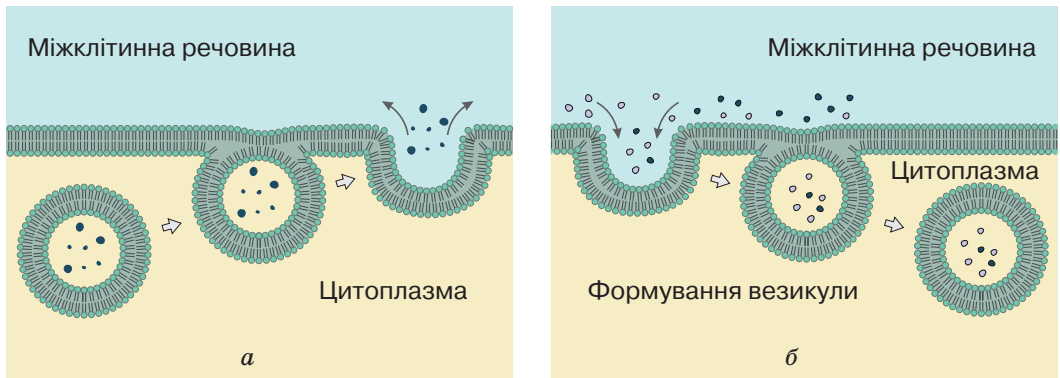
Особливим типом активного транспортування є **цитоз** – переміщення речовин у складі мембранних пухирців. Процес виведення речовин із клітини внаслідок злиття везикул з плазматичною мембраною називається **екзоцитозом**. У такий спосіб із клітин вивільняються синтезовані нею ферменти, гормони, медіатори тощо. Процес активного надходження твердих і рідких речовин із зовнішнього середовища всередину клітини називається **ендоцитозом** (рис. 43). Розрізняють піноцитоз – поглинання рідких речовин та фагоцитоз – поглинання разом з рідкими речовинами твердих часточок. Фагоцитоз відіграє важливу роль у поглинанні клітинами імунної системи чужорідних клітин і бактерій, а також у живленні одноклітинних організмів.

У багатоклітинних організмів клітини зв'язані між собою. Такий зв'язок забезпечують білки, які ніби «зшивають» дві мембрани, формуючи міжклітинні **контакти**.

**Рецепторна** функція полягає в здатності реагувати на хімічні речовини, змінюючи при цьому функціонування клітин. Джерелами таких біологічно активних речовин можуть бути як інші клітини (гормони, нейромедіатори, тощо), так і навколишнє середовище (поживні речовини, отрути тощо). Першою ланкою реагування на наявність хімічних речовин є рецепторні білки, вбудовані в плазмолему та здатні вибірково зв'язуватися з іншими речовинами.

Деякі білки, вбудовані в клітинну мембрану, відіграють роль **ферментів**. Зокрема вони забезпечують мембранне (пристінкове) травлення в кишечнику людини. У прокаріотичних клітинах мембранні білки беруть участь у процесах фотосинтезу, запасанні енергії шляхом синтезу АТФ тощо.

Рис. 43. Схеми процесів екзоцитозу (а) й ендоцитозу (б)



**(?)** Доведіть, що підпис до рисунка є правильним.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Які речовини входять до складу плазматичної мембрани?
2. Опишіть будову плазматичної мембрани.
3. Перелічіть функції плазмолемі.
4. Поясніть відмінності між пасивним та активним транспортуванням речовин.
5. Які речовини можуть транспортуватися крізь мембрану шляхом дифузії, а які – ні? Чому?
6. Поясніть значення цитозу для обміну речовин клітини.

## § 10. Цитоплазма й основні клітинні органели

### Згадаємо!

Які органели клітини ви знаєте?

Наявність яких органел вирізняє рослинну клітину?

Цитоплазма є внутрішнім середовищем клітини. У цитоплазмі розрізняють рідку частину – **цитозоль** – і компактні структури (органели і включення).

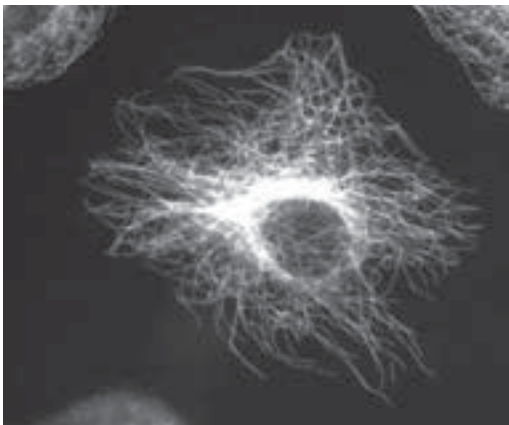
🟡 **Включення** – це змінні складові клітин. Ними можуть бути резервні сполуки (зерна крохмалю, гранули глікогену, краплини жирів), продукти обміну речовин (кристали кальцій оксалату в рослин). Вони можуть з'являтися або зникати залежно від характеру функціонування клітини.

🟡 **Органели** – це постійні цитоплазматичні структури, що мають певну будову та виконують визначені функції.

Важливим компонентом цитозолу є **цитоскелет** – система білкових мікротрубочок та мікрониток, що пронизують усю цитоплазму, контактують з плазмолемою та ядерною оболонкою (рис. 44). Цитоскелет підтримує форму клітини, бере участь в організації рухів клітини, її змінах, забезпечує переміщення органел усередині клітини, процеси екзоцитозу та ендоцитозу. У клітинах, здатних до амебоїдного руху, цитоскелет бере участь у формуванні несправжніх ніжок (псевдоподій).

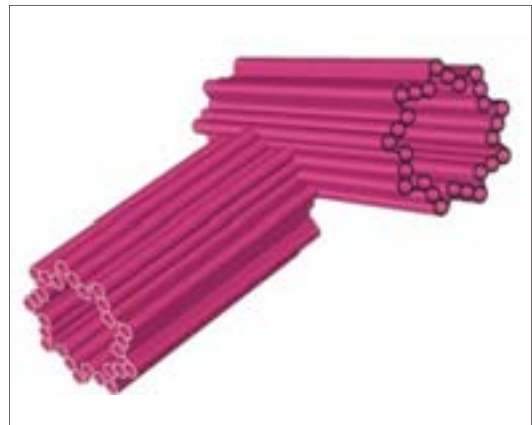
**Немембранні органели.** З цитоскелетом пов'язаний **клітинний центр** (центросома) (рис. 45). Основними складовими його є дві центріолі (короткі циліндри з мікротрубочок), розташовані під прямим кутом одна до одної. Центро-

Рис. 44. Цитоскелет



Електроннограма розподілу мікротрубочок цитоскелета

Рис. 45. Клітинний центр



Тривимірна модель будови



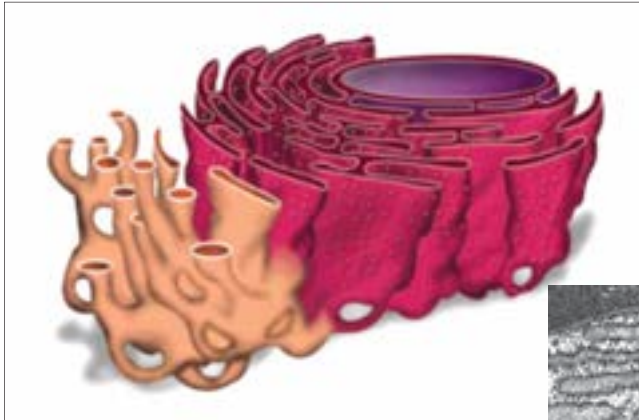
сома розміщується поблизу ядра, є центром організації мікротрубочок цитоскелета й виконує важливу роль у поділі клітин.

До немембранних органел належать структури, що забезпечують рух клітин. Окрім згаданого вище **амебоїдного типу** рухи забезпечуються спеціалізованими структурами – **джгутиками** та **війками**, вбудованими в плазмолему та клітинну стінку (якщо вона є). Ці органели побудовані з мікротрубочок, які, змінюючи свою структуру, здійснюють колові рухи. Вони подібні за будовою, але порівняно з війками джгутики довші, а кількість їх – менша. Органели руху властиві багатьом одноклітинним організмам, а також бувають у деяких клітинах багатоклітинного організму (*пригадайте, які організми або клітини організму людини мають джгутики чи війки*). До немембранних органел також належать **рибосоми**. Це невеликі тільця, що складаються з двох субодиниць. До складу цих органел входять спеціальні рибосомні білки й рибосомальна РНК (рРНК). Рибосоми беруть участь у синтезі білків (буде розглянуто в § 21).

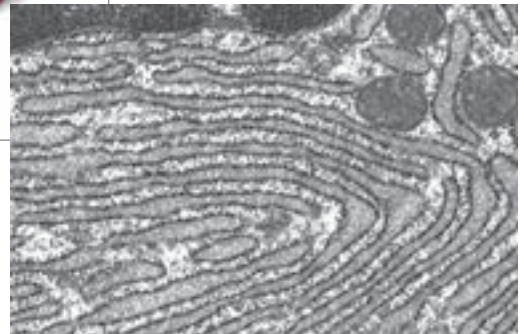
**Одномембранні органели.** До одномембранних органел належать ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, пероксисоми та вакуолі.

**Ендоплазматична сітка (ЕПС),** або ендоплазматичний ретикулум, – це сукупність мембранних трубочок і каналців, що пронизують цитоплазму. Розрізняють гладеньку (агранулярну) і шорстку (гранулярну) ЕПС (рис. 46). До мембран шорсткої ЕПС з цитоплазматичного боку можуть прикріплюватися рибосоми, які синтезують у порожнину трубочок білкові молекули. Основною функцією цього типу ЕПС є участь у синтезі білків і транспортування синтезованих речовин у мембранних пухирцях до комплексу Гольджі. Гладенька ЕПС забезпечує синтез ліпідів, зокрема стероїдних речовин, знешкодження деяких токсичних речовин та депонування йонів Кальцію. Останнє є важливим для функціонування м'язових клітин.

Рис. 46. Гладенька і шорстка ендоплазматична сітка



Модель будови



Електронограма

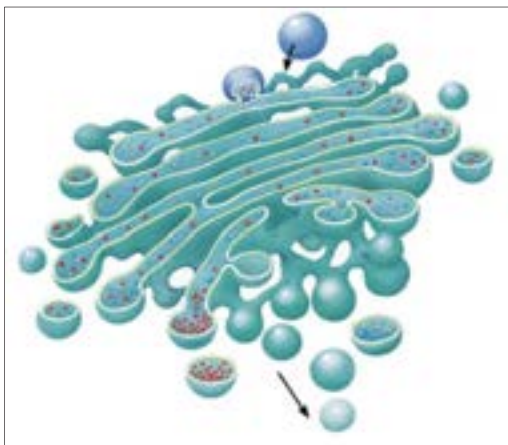
**Комплекс Гольджі** (або апарат Гольджі) – це сітчасте утворення, що є сукупністю плоских мембранних цистерн (мішечків), розташованих поблизу клітинного ядра (рис. 47). Комплекс Гольджі функціонально поєднаний з ЕПС: мембранні пухирці, від’єднуючись від цистерн ЕПС, транспортують синтезовані білки до комплексу Гольджі. Останній здійснює перетворення білкових молекул (утворення глікопротеїнів, ліпопротеїнів тощо) і пакує їх у мембранні пухирці відповідно до функціонального призначення. Білки, що експортуються з клітини (наприклад, ферменти або гормони) або ж мають вбудуватися до плазматичної мембрани, розміщуються в секреторних пухирцях. Ферменти, що здійснюють внутрішньоклітинне травлення, пакуються в лізосоми, які тут утворюються. У цій органелі також синтезуються полісахариди.

**Лізосоми** – мембранні органели у вигляді пухирців, усередині яких містяться ферменти, що розщеплюють полімерні органічні сполуки до мономерних. Лізосоми руйнують компоненти чужорідних клітин, поглинутих у процесі фагоцитозу, а також відпрацьовані «старі» клітинні компоненти. Останній процес має назву **автофагія** («самопоїдання»), і порушення його спричиняє розвиток низки захворювань. Формуються лізосоми комплексом Гольджі.

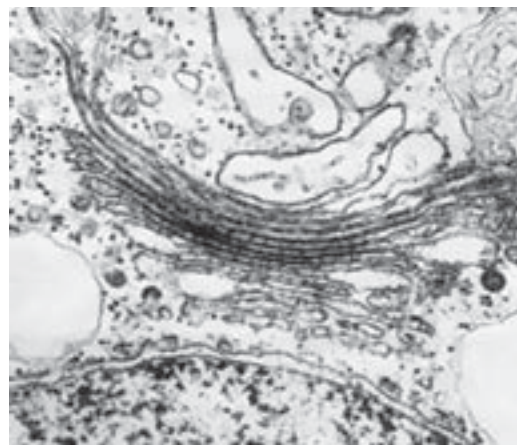
**Пероксисоми** – мембранні органели у вигляді пухирців, що містять ферменти, зокрема ті, що забезпечують перетворення жирів або розщеплення токсичного для клітини гідроген пероксиду до кисню й води.

**Вакуолі** – це великі мембранні порожнини, заповнені рідким умістом. Залежно від їх будови та функцій вирізняють кілька типів таких органел. Рослинні клітини містять великі клітинні вакуолі, внутрішній уміст яких називається клітинним соком. Вони беруть участь у регуляції тургору, можуть містити пігменти, надаючи частинам рослин забарвлення, зберігати продукти обміну речовин. Прісноводні одноклітинні організми містять ско-

Рис. 47. Комплекс Гольджі



Модель будови (стрілками показано напрямок транспортування речовин)



Електроннограма

❗ Складіть оповідання про подорож білка, що був синтезований на шорсткій ендоплазматичній сітці.

ротливі вакуолі, функція яких – виведення з клітин надлишкової води. Розщеплення поживних речовин усередині деяких клітин відбувається в травних вакуолях, що формуються за участю лізосом.

**Двомембранні органели. Мітохондрії** – це органели овальної форми, що містять дві мембрани – зовнішню і внутрішню (рис. 48). Внутрішня мембрана має численні складки – кристи. Вони необхідні для збільшення її поверхні. Простір, обмежений внутрішньою мембраною, називається мітохондріальним матриксом. У мітохондріях відбуваються основні процеси, які забезпечують клітину енергією, синтезуючи молекули АТФ (див. § 15). Клітини, у яких процеси життєдіяльності відбуваються інтенсивно (наприклад, у скелетних м'язах), мають більшу кількість мітохондрій.

**Пластиди** – це двомембранні органели, властиві лише рослинам і деяким одноклітинним організмам. Розрізняють кілька типів пластид, що мають свої особливості будови й функцій. Найпоширенішими є **хлоропласти** – органели зеленого кольору, що здійснюють фотосинтез. Усередині хлоропластів розташовані плоскі мембранні мішечки – тилакоїди (рис. 49). Саме з ними пов'язані основні реакції фотосинтезу (детально розглянемо їх у § 15). Безбарвні пластиди – **лейкопласти** забезпечують запасання поживних речовин – крохмалю, жирів та білків. А пластиди, забарвлені в кольори жовто-червоної частини спектра, – **хромопласти** – надають забарвлення пелюсткам, плодам, листкам та іншим частинам рослин.

Мітохондрії й пластиди мають спільні особливості. Ці органели крім двомембранної стінки містять власну спадкову інформацію – кільцеву молекулу ДНК, а також апарат синтезу білків (рибосоми, РНК). Проте для роботи мітохондрій і пластид необхідні деякі білки, інформація про які міститься в ядерній ДНК. Мітохондрії й пластиди не виникають з інших мембранних структур клітини, а розмножуються поділом.

Рис. 48. Будова мітохондрії

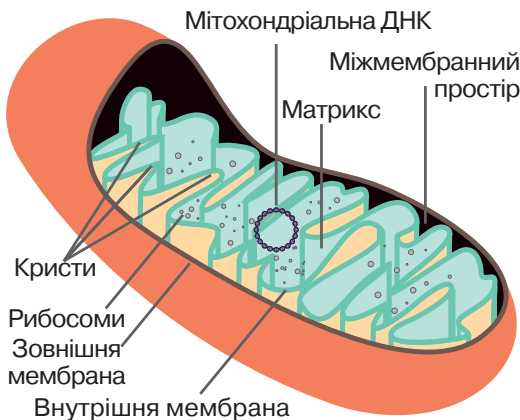


Рис. 49. Будова хлоропласта



**?** Поясніть, чому вчені-біологи називають зображені органели напівавтономними.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Назвіть складові цитоплазми.
2. Що таке цитоскелет? Яке його значення для функціонування клітини?
3. Поясніть функції немембранних органел.
4. Які одномембранні органели ви знаєте? Які процеси вони забезпечують у клітині?
5. Порівняйте будову мітохондрій та хлоропластів. Які їхні функції?

## § 11. Ядро: будова та функції

### Згадаємо!

Яка складова клітини містить спадкову інформацію?

Ви вже знаєте, що ядро є складовою клітин рослин, грибів та тварин, а його наявність є ознакою, що відрізняє еукаріоти від прокаріотів.

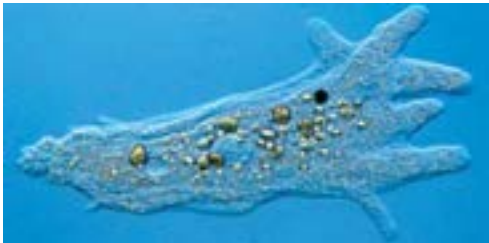
**Ядро** – органела еукаріотичної клітини, що обмежена подвійною мембраною та забезпечує збереження спадкової інформації.

Більшість клітин містить лише одне ядро. Наприклад, в Амеби протей – одноклітинного організму – одне ядро. Однак існують клітини (наприклад, еритроцити ссавців), у яких немає ядра, а деякі, навпаки, – мають їх кілька – це представники водоростей і грибів, форамініфери, інфузорії (рис. 50). У ядрі зберігається спадкова інформація та започатковуються процеси її реалізації, про які ви дізнаєтеся в наступних параграфах. Процеси, що відбуваються в ядрі (§ 22), впливають на перебіг клітинного поділу. Статеве розмноження організмів пов'язане із заплідненням – злиттям ядер статевих клітин. Саме в ядрі відбувається регуляція активності генів, отже, ядро є центром контролю за функціонуванням клітини.

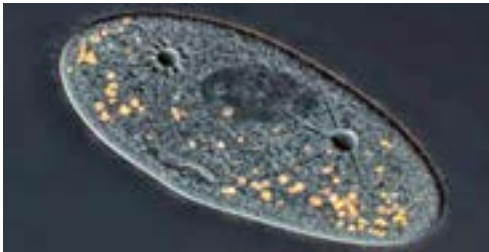
Усі ядра мають подібну будову, а саме – поверхневий апарат (оболонку) і внутрішнє середовище (матрикс) (рис. 51).

Поверхневий апарат ядра утворюють дві мембрани – зовнішня й внутрішня, між якими є заповнена рідиною щілина (20–60 нм завширшки). Зовнішня мембрана ядерної оболонки контактує з ендоплазматичною

Рис. 50. Одноклітинні організми



Амеба протей



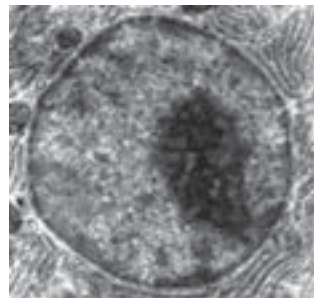
Інфузорія-туфелька

**?** Згадайте, які функції виконує кожне з двох ядер інфузорії-туфельки.

Рис. 51. Складові ядра: поверхневий апарат і матрикс



Модель будови



Електронорама

сіткою, переходячи в неї. Внутрішній уміст ядра контактує із цитоплазмою крізь отвори великого розміру – ядерні пори. Вони сформовані білками, що контролюють транспортування великих молекул усередину ядра та з нього. Речовини, які проникають усередину ядра, можуть змінювати рівень активності генів, а тому контроль такого транспортування важливий для регуляції роботи клітини.

У ядерному матриксі вирізняють рідку частину – ядерний сік, ущільнення – ядерце та головну за функціями частину – хроматин (рис. 52). Ядерний сік за складом та функціями нагадує цитоплазму.

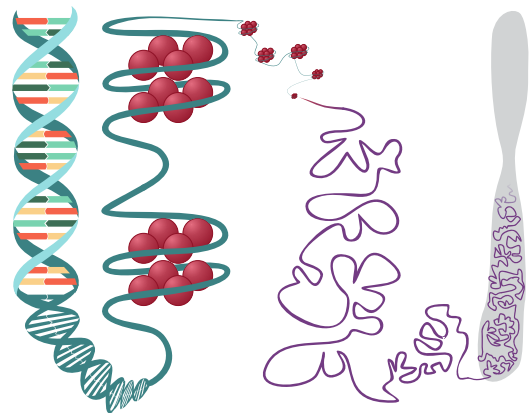
Хроматин складається з молекул ДНК, сполучених із білками – гістонами. Нитки ДНК, ніби частково намотані на гістонові молекули, формують структури, подібні до намиста. Вони, у свою чергу, закручуються в спіралі, які вкладаються в петлі, а петлі вкладаються в петлі другого порядку. Цей процес називається ущільненням, або конденсацією хроматину. Максимально ущільнений хроматин формує X-подібні структури – хромосоми. У такому стані молекули ДНК недоступні для зчитування з них спадкової інформації. Тому під час активного функціонування клітини хроматин має хоча б частково перебувати в деконденсованому стані (рис. 53).

Ядерця – це щільні структури, що містять комплекси РНК з білками й хроматин. Тут зосереджені ділянки молекул ДНК, які зберігають інформацію про структуру молекул рРНК, тому ядерце є місцем утворення компонентів рибосом. Зібрані частини рибосом транспортуються крізь ядерні пори в цитоплазму, де беруть участь у біосинтезі білка (§ 21). У ядрі також синтезуються інші типи РНК (§ 19), необхідні для біосинтезу білка.

Рис. 52. Будова ядра



Рис. 53. Конденсація хроматину



❗️ Поясніть, чому хроматин має перебувати в конденсованому стані.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Назвіть складові ядра.
2. Схарактеризуйте функції ядра.
3. Що таке хроматин?

## § 12. Типи клітин. Рослинна, тваринна та грибна клітини

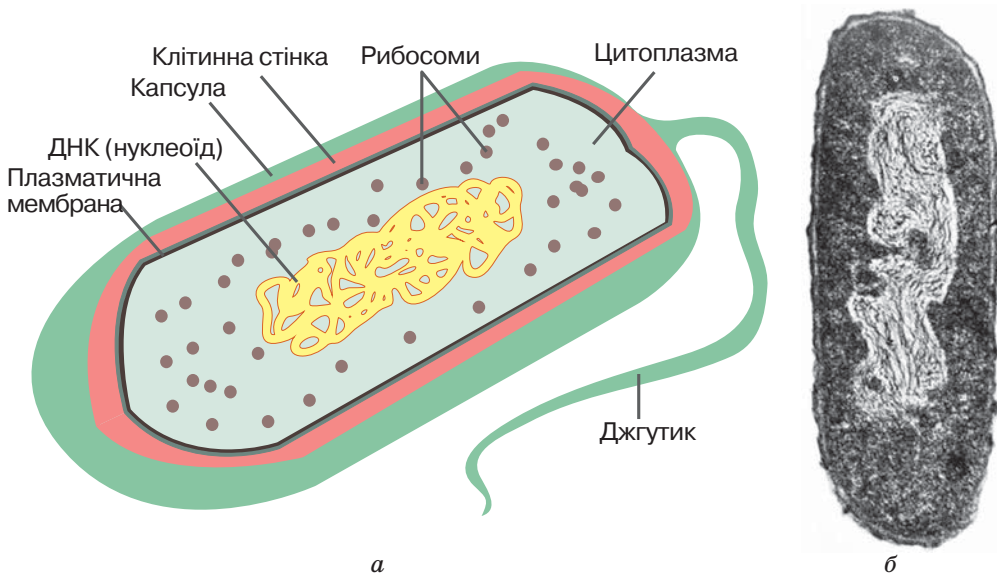
### Згадаємо!

Яка основна відмінність між прокаріотичною та еукаріотичною клітинами?

У прокаріотичній клітині немає ядра, проте це не єдина ознака, що відрізняє її від еукаріотичної клітини.

**Прокаріотична клітина.** Організми, клітини яких не містять ядра, – це бактерії та археї (§ 42). Вони мають мінімальний набір складових, що забезпечують існування клітини як цілісної системи. Це плазматична мембрана, цитоплазма, рибосоми та молекула ДНК – носій спадкової інформації. У них немає ядра та всіх мембранних органел. Зовні клітини більшості прокаріотів оточені клітинною стінкою. У бактерій вона сформована складними сполуками вуглеводів та коротких амінокислотних ланцюжків – пептидогліканами, а також може містити додаткові компоненти. Клітинні стінки більшості архей мають білкову природу. Зовні клітинної стінки може бути додатковий захисний шар – капсула. Переміщення клітин архей у просторі забезпечується джгутиками (їхня кількість варіюється від 1 до 1000). Деякі бактерії формують волоскоподібні вирости – пілі, що виконують функції комунікації між клітинами та прикріплення до поверхонь. Місце зберігання молекули ДНК в клітинах прокаріотів децю відрізняється від решти цитоплазми й називається нуклеоїдом (рис. 54). Більша частина нуклеоїду містить одну молекулу ДНК, а також РНК та білки. У прокаріотів молекула ДНК замкнена в кільце (а не лінійна, як у ядрах) і не зв'язана із білками. Синтез білків у прокаріотів також забезпечується рибосомами,

Рис. 54. Бактеріальна клітина: а – схема будови; б – електронна мікрофотографія клітини кишкової палички

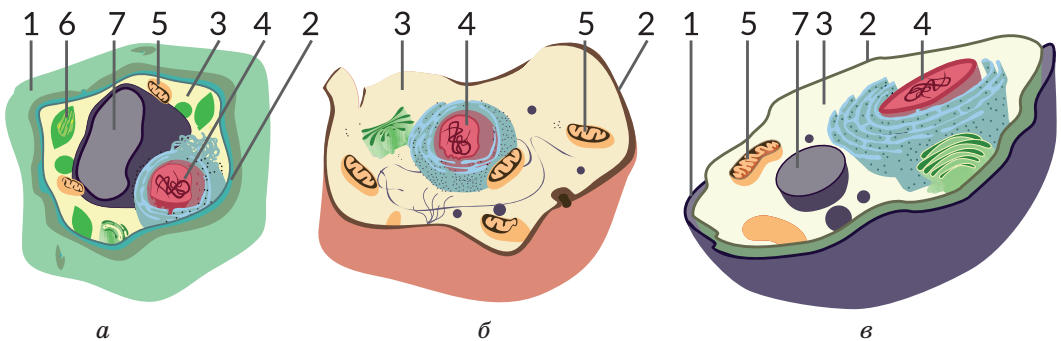


❓ Знайдіть на мікрофотографії нуклеоїд, цитоплазму та клітинну стінку.

які складаються з двох субодиниць. Прокаріотичні рибосоми дещо менші за розміром та мають простішу будову, ніж еукаріотичні.

**Різноманітність еукаріотичних клітин.** До еукаріотів належать гриби, рослини й тварини. Окрім обов'язкових складових (плазматична мембрана, цитоплазма, рибосоми, ДНК) клітини таких організмів містять ядра та мембранні органели (рис. 55). Вивчаючи рослинні, грибні та тваринні організми, ви ознайомлювалися з особливостями будови їхніх клітин. Так, рослинам і грибам властива наявність клітинних стінок, основою яких є полісахариди целюлоза (рослини) та хітин (гриби). Рослинні клітини відрізняються від інших наявністю пластид. Хлоропласти, наприклад, забезпечують фотосинтез, що зумовлює унікальну роль рослин у біосфері (§ 48). Також у цих організмів можуть бути наповнені клітинним соком вакуолі великого розміру – до 30 % від об'єму цитоплазми. У грибів також можуть бути вакуолі, але меншого розміру. Тваринні клітини не мають клітинних стінок, їхня поверхня утворена вуглеводними залишками, з'єднаними з молекулами плазматичних мембран. Завдяки цьому деякі з них, на відміну від організмів з клітинними стінками, можуть змінювати свою форму, захоплювати тверді часточки їжі (фагоцитоз), формувати несправжньоножки (псевдоподії). Ще одна принципова відмінність еукаріотичних клітин від прокаріотичних – здатність формувати багатоклітинні організми. Ідеться не про утворення сукупності багатьох клітин, а про формування організмів, між клітинами яких існують численні регуляторні зв'язки. Це надає їм нових властивостей, які забезпечують перехід від клітинного рівня до організмового. Прокаріоти здатні формувати багатоклітинні структури, колонії. Проте взаємодія між клітинами не настільки досконала, щоб ці утворення називати багатоклітинним організмом. Еукаріотичні клітини можуть існувати самостійно (одноклітинні організми), формувати колонії або ж входити до скла-

Рис. 55. Будова рослинної (а), тваринної (б) та грибної (в) клітин



1 – клітинна стінка; 2 – плазматична мембрана; 3 – цитоплазма; 4 – ядро; 5 – мітохондрії; 6 – хлоропласт; 7 – вакуоля

**(?)** Проаналізуйте твердження щодо будови зображених клітин. Чи є поміж них правильні?

1. До складу поверхневого апарату всіх клітин входить клітинна стінка.
2. Транспортування речовин за допомогою фагоцитозу властиве тваринній клітині.
3. Ядро забезпечує збереження спадкової інформації.
4. Синтез АТФ відбувається в мітохондріях – обов'язкових органелах усіх зображених клітин.

ду багатоклітинних організмів. Складніші організми формують тканини та органи (*пригадайте органи покритонасінних рослин, системи органів тварин*).

За розмірами клітини прокаріотів значно менші за еукаріотичні клітини. Діаметр бактерії становить близько 1 мкм; в одній типовій клітині еукаріотів може вміститися понад 10 000 бактерій.

**Походження еукаріотичної клітини.** За палеонтологічними даними, прокаріоти на нашій планеті виникли близько 3,2 млрд років тому, тоді як еукаріоти є набагато молодшими – їх вік становить лише близько 1,6 млрд років. Нині описано майже 40 тис. видів прокаріотичних організмів, а еукаріотичних – близько 1,7 млн.

У будові прокаріотів майже не відбувалось еволюційних змін: усі їхні викопні форми не відрізняються від сучасних. Це пояснюють передусім тим, що серед них немає багатоклітинних організмів, тобто прокаріоти нездатні до диференціації клітин та ускладнення організації.

Є кілька гіпотез походження еукаріотів, з яких у наш час найпопулярніша – симбіотична. Її послідовники вважають, що двомембранні органели, які мають власну спадкову інформацію й здатні до розмноження поділом (пластиди та мітохондрії), – це нащадки симбіотичних прокаріотів, що втратили здатність до існування поза клітиною хазяїна. Спільне існування кількох видів прокаріотів привело врешті-решт до появи еукаріотичних клітин.

Для еукаріотів характерне ускладнення організації в процесі історичного розвитку. Навіть в одноклітинних організмів (водоростей, інфузорій) будова клітини набуває певної складності. Поява багатоклітинних організмів – ще один прояв здатності еукаріотів до ускладнення будови. Учені вважають, що багатоклітинні організми походять від колоніальних унаслідок диференціації клітин останніх.

Для закріплення знань про будову клітин виконайте лабораторну роботу.

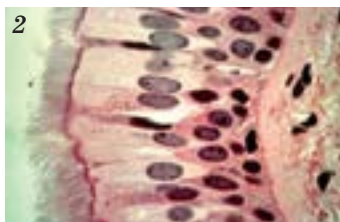
## Лабораторна робота

**Тема:** Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин.

**Мета:** закріпити знання будови клітин різних систематичних груп; повторити прийоми виготовлення мікропрепаратів, розгляду їх за допомогою мікроскопа та виконання рисунків біологічних об'єктів.

### Хід роботи

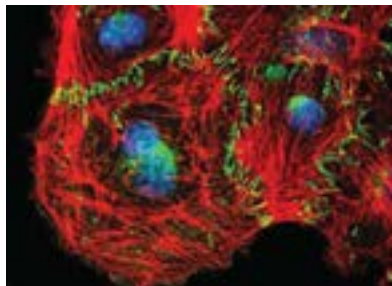
1. Приготуйте мікропрепарат листка елодеї, витриманого на світлі (8 – 10 год).
2. Розгляньте його за допомогою мікроскопа.
3. Зарисуйте клітини в зошиті. Підпишіть складові.
4. Розгляньте за допомогою мікроскопа готові мікропрепарати мукора та в'йчастого епітелію.
5. Зарисуйте клітини в зошиті. Підпишіть складові.
6. Розгляньте фотографії із зображеннями клітин листка елодеї, клітин мукора та клітин в'йчастого епітелію. Якими цифрами їх позначено?
7. Виявіть ознаки подібності та відмінності в будові клітин.
8. Чим зумовлені відмінності будови клітин різних систематичних груп?





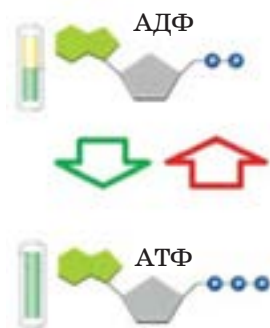
## Цікавинки

Термін *клітина* ввів Роберт Гук, який спостерігав за допомогою мікроскопа власної конструкції комір-ки рослинного корка. Насправді те, що він бачив, було лише клітинними стінками мертвих клітин.



Сучасні методи мікроскопії дають змогу побачити розподіл у живій клітині молекул певного типу. На фото зеленим кольором позначено білки, що забезпечують зв'язок двох мембран, синім – специфічні ядерні білки, а червоним – цитоскелет.

Ми знаємо, що основною функцією ДНК ядра є збереження спадкової інформації. Проте деякі клітини використовують ці молекули в дещо незвичний спосіб. Так, імунні клітини (*нейтрофіли*) виштовхують ядерну ДНК за межі клітини, формуючи з її довгих молекул ловильну сітку (зелені нитки), у якій заплутуються хвороботворні мікроорганізми (позначено фіолетовим кольором).



Середня тривалість життя молекули АТФ у клітинах з активним метаболізмом становить близько 1 хв. У людини загальна маса АТФ у кожен момент часу – близько 100 г, але протягом доби її сумарно використовується 50 – 75 кг. Це означає, що кожна молекула ресинтезується більш ніж 500 разів ( $50 \text{ кг} / 0,1 \text{ кг} = 500$ ).

Основним ферментом темної фази фотосинтезу є рибулозобісфосфаткарбоксилаза, або РуБісКО. Саме він відповідає за входження молекул вуглекислого газу до складу органічних сполук. РуБісКО вважається найпоширенішим ферментом на Землі.

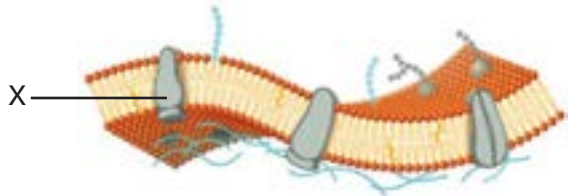


## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Структура клітини»

### ВАРІАНТ I

Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)

- Клітинну будову організмів відкрив
  - Роберт Гук
  - Антоні ван Левенгук
  - Теодор Шванн
  - Роберт Броун
- Місце та перебіг біохімічних процесів з'ясовують за допомогою методу
  - світлової мікроскопії
  - електронної мікроскопії
  - центрифугування
  - мічених атомів
- Укажіть прокаріотичний організм.
  - амеба протей
  - евглена зелена
  - кишкова паличка
  - гідра прісноводна
- Складова клітини, яка забезпечує збереження спадкової інформації, – це
  - плазматична мембрана
  - цитоплазма
  - рибосома
  - ядро
- Яку складову плазматичної мембрани позначено на рисунку літерою X?
  - зовнішній шар ліпідів
  - внутрішній шар ліпідів
  - глікопротеїн
  - внутрішній білок
- Укажіть полісахарид, що його містить клітинна стінка рослинної клітини.
  - хітин
  - глікоген
  - крохмаль
  - целюлоза



### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Механізм транспортування речовин крізь мембрану, яке відбувається проти градієнта концентрації з використанням енергії АТФ, називається
- А дифузією
  - Б фагоцитозом
  - В полегшеною дифузією
  - Г активним транспортом
8. Рослинна клітина відрізняється від тваринної наявністю
- А рибосом
  - Б мітохондрій
  - В хлоропластів
  - Г комплексу Гольджі
9. Прочитайте опис: «Резервною речовиною рослинної клітини є (1), а клітинна стінка містить (2)». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.
- А 1 – глікоген            2 – муреїн
  - Б 1 – крохмаль        2 – целюлозу
  - В 1 – крохмаль        2 – хітин
  - Г 1 – глікоген           2 – целюлозу

### Тестове завдання з коротким описом (3 бали)

10. Схарактеризуйте за наведеними ознаками складову клітини, позначену на рисунку літерою X.

#### Міститься в клітині

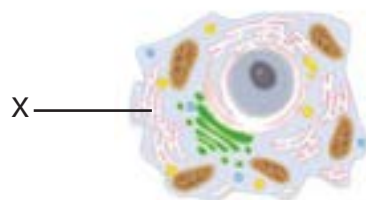
- 1 лише прокаріотів
- 2 лише еукаріотів
- 3 прокаріотів й еукаріотів

#### Функція

- 1 збереження спадкової інформації
- 2 синтез білків
- 3 синтез АТФ

#### Складовими є

- 1 білкові мікротрубочки
- 2 мембранні каналці
- 3 центріолі



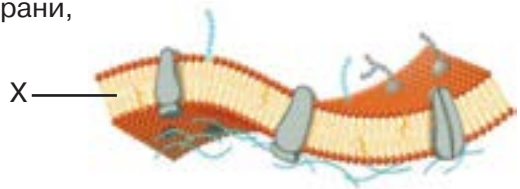
### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

- 1. Поясніть можливості різних типів мікроскопії для вивчення будови клітини.
- 2. Обґрунтуйте положення про єдність органічного світу на основі знань про клітину.

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. За допомогою мікроскопів власної конструкції відкрив бактерії та одноклітинні організми
  - А Роберт Гук
  - Б Антоні ван Левенгук
  - В Теодор Шванн
  - Г Роберт Броун
  
2. Клітинні структури найдрібніших розмірів та внутрішню будову органел вивчають за допомогою
  - А світлової мікроскопії
  - Б електронної мікроскопії
  - В центрифугування
  - Г мічених атомів
  
3. Укажіть прокаріотичний організм.
  - А інфузорія-туфелька
  - Б чумна паличка
  - В евглена зелена
  - Г амеба протей
  
4. Складова клітини, яка забезпечує збереження спадкової інформації, – це
  - А плазматична мембрана
  - Б цитоплазма
  - В рибосома
  - Г ядро
  
5. Укажіть складову плазматичної мембрани, яку позначено на рисунку літерою X.
  - А подвійний шар ліпідів
  - Б ліпопротеїн
  - В глікопротеїн
  - Г внутрішній білок
  
6. Клітинна стінка грибнової клітини містить полісахарид
  - А хітин
  - Б глікоген
  - В крохмаль
  - Г целюлозу

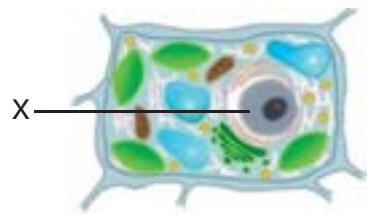


**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Механізм транспортування речовин крізь мембрану, яке відбувається завдяки градієнту концентрації без використання білків-переносників, називається  
**А** дифузією  
**Б** фагоцитозом  
**В** полегшеною дифузією  
**Г** активним транспортом
8. Рослинна клітина відрізняється від тваринної наявністю  
**А** мітохондрій  
**Б** комплексу Гольджі  
**В** ендоплазматичної сітки  
**Г** вакуолі з клітинним соком
9. На уроці біології для обговорення особливостей будови прокаріотичної клітини клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що в прокаріотичній клітині немає ядра. Друга група вважала, що клітина не містить молекули ДНК. Яка група висловила правильне судження?  
**А** лише перша  
**Б** лише друга  
**В** обидві групи  
**Г** жодна із груп

**Тестове завдання з коротким описом (3 бали)**

10. Схарактеризуйте за наведеними ознаками складову клітини, позначену на рисунку літерою X.  
**Міститься в клітині**  
**1** лише прокаріотів  
**2** лише еукаріотів  
**3** прокаріотів й еукаріотів

**Функція**

- 1** синтез вуглеводів і ліпідів  
**2** збереження спадкової інформації  
**3** накопичення й перетворення речовин

**Складовими є**

- 1** хромосоми  
**2** центріолі  
**3** білкові мікротрубочки

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

- 1.** Обґрунтуйте взаємозв'язок будови та функцій клітинних мембран.  
**2.** Доведіть твердження: «Клітина є структурною одиницею живих систем».



### *Тема 3*

## **ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ**



### 3 історії відкриттів

Ви ознайомилися з будовою органічних сполук, які входять до складу клітини. Людство поступово розкриває таємниці життєдіяльності клітини, процесів перетворення в ній речовин.

Уперше синтезував із неорганічної речовини органічну сполуку німецький хімік, лікар *Фрідріх Велер* (1800–1882).

Після робіт Велера із часом почали з'ясовуватися механізми таких процесів, як дихання, бродіння, ферментація, фотосинтез. Вивчення хімічного складу й властивостей сполук, виділених із тварин і рослин, стало предметом органічної хімії (хімії органічних сполук).

Початок біохімії ознаменувався відкриттям першого ферменту діастази (нині відомого як амілаза) у 1833 р. *Ансельмом Паєном*. Труднощі, пов'язані з виділенням ферментів із тканин і клітин, наводили на думку про неможливість вивчення клітинних ферментів поза живими істотами. Проте в 1896 р. можливість спостерігати спиртове бродіння в екстрактах розтертих (тобто позбавлених структурної цілісності) дріжджів було підтверджено німецьким ученим *Едуардом Бухнером*, який зумів експериментально спостерігати цей процес.

Сам термін *біохімія* вперше запропонований у 1882 р., проте широко використовуватися він почав після робіт німецького хіміка *Карла Нойберга* в 1903 р.



Ханс Адольф Кребс  
(1900–1981)

Відтоді біохімія швидко розвивалася, особливо починаючи з середини ХХ ст., перш за все завдяки розробці нових методів, таких як хроматографія, рентгеноструктурний аналіз, метод мічених атомів тощо.

Наукові праці *К. А. Тімірязєва* присвячено вивченню фотосинтезу. Учений установив, що фотосинтез відбувається за законом збереження енергії; інтенсивність фотосинтезу тісно пов'язана з інтенсивністю світла. Тімірязєв висловив думку, що хлорофіл хімічно бере участь у фотосинтезі, передбачивши тим самим розвиток сучасної фізіології рослин.

Перебіг гліколізу в клітинах дріжджів описали *Отто Варбург*, *Ганс фон Ейлер-Хельпін* та *Артур Гарден* (два останні вчені отримали Нобелівську премію з хімії 1929 р.). Гліколіз у м'язах дослідили *Густав Ембден* та *Отто Меєргоф* (Нобелівська премія в галузі фізіології та медицини 1922 р.).



Мелвін Елліс Кальвін  
(1911–1997)

За свої дослідження в галузі біохімії отримали Нобелівську премію з фізіології та медицини 1953 р. два біохіміки німецького походження – англійський *Ханс Адольф Кребс* та американський *Фріц Альберт Ліпман* за відкриття циклу біохімічних реакцій під час кисневого етапу енергетичного обміну (названий циклом Кребса). Американський хімік *Мелвін Кальвін* вивчав процеси темної фази фотосинтезу (цикл Кальвіна). За ці дослідження він був удостоєний Нобелівської премії 1961 р.

Пізніше *Пітер Денніс Мітчелл* розкрив механізм синтезу мітохондріями головної енергетичної молекули – АТФ (Нобелівська премія 1978 р.)

## § 13. Обмін речовин і перетворення енергії в клітині

### Згадаємо!

Які організми називають автотрофами, а які – гетеротрофами?

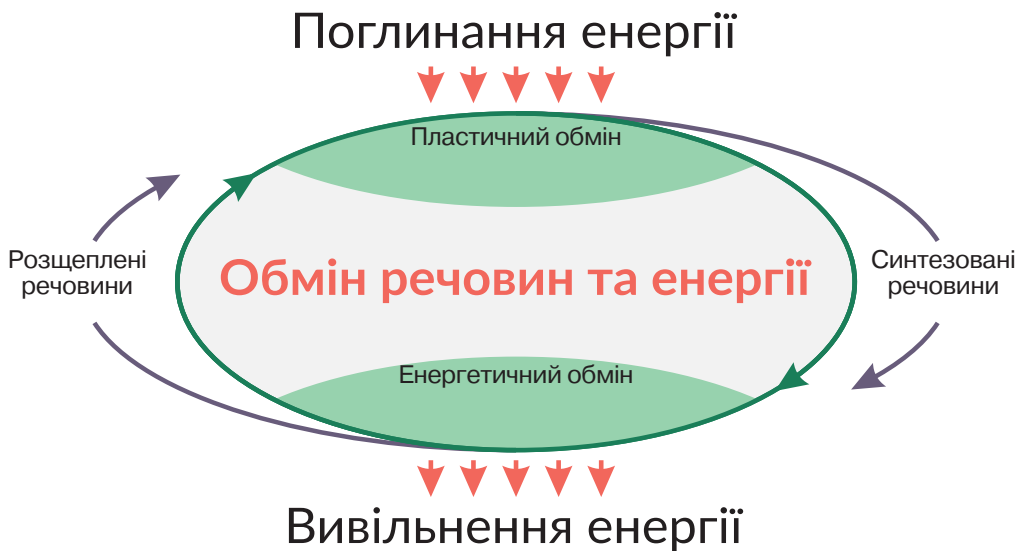
**Обмін речовин.** Клітина є відкритою біологічною системою, тобто такою, для якої необхідно надходження речовин та енергії з навколишнього середовища та їх перетворення.

🕒 Сукупність усіх хімічних перетворень речовин в організмі з моменту надходження їх з навколишнього середовища до моменту виведення продуктів розпаду називають **обміном речовин**.

В організмі одночасно відбувається перебіг процесів двох типів. Для синтезу сполук, необхідних для життєдіяльності організму, з навколишнього середовища надходять певні речовини. При цьому поглинається енергія, необхідна для утворення хімічних зв'язків, тощо. Сукупність реакцій синтезу складних речовин із простих, що забезпечують розвиток клітин й організмів, поновлення їхнього хімічного складу називають **пластичним обміном** (від грец. *плас-тос* – створений). Водночас у клітині відбувається протилежний процес – розщеплення речовин. Сукупність реакцій розщеплення складних речовин на простіші з вивільненням енергії називається **енергетичним обміном**.

Пластичний та енергетичний обмін є протилежними складовими єдиного процесу обміну речовин. Реакції біосинтезу потребують поглинання енергії, що вивільняється в результаті реакцій енергетичного обміну. Для перебігу реакцій енергетичного обміну необхідний постійний біосинтез органічних речовин, які надалі будуть розщеплюватися (рис. 56). У процесі енергетичного обміну

Рис. 56. Взаємозв'язок пластичного й енергетичного обміну





молекули АТФ утворюються, а в процесі пластичного обміну вони витрачаються, розщеплюються з виділенням енергії. Перебіг реакцій обміну відбувається впорядковано за участі специфічних білків – ферментів. Завдяки їм ці реакції йдуть швидко й ефективно за звичайних умов функціонування клітин.

**Перетворення енергії.** Для забезпечення власних енергетичних потреб організми використовують енергію, що надходить із навколишнього середовища. Вони акумулюють енергію у формі хімічних зв'язків органічних молекул, отже, перетворення енергії взаємопов'язане з обміном речовин. Ви пам'ятаєте, що організми, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають **автотрофами** (від грец. *аутос* – сам і *трофе* – їжа, живлення). Одні з них використовують для цих процесів енергію світла (зелені рослини й деякі прокаріоти – ціанобактерії, зелені та пурпурові бактерії). Інші автотрофи використовують енергію, що вивільняється під час хімічних реакцій. До цієї групи належать деякі бактерії (ви дізнаєтеся про них із § 17). Енергію у формі хімічних зв'язків синтезованих сполук ці організми використовують для власних потреб або запасують. Організми ж, які використовують енергію готових органічних речовин, називаються **гетеротрофами** (від грец. *гетерос* – інший). До цієї групи належать гриби, більшість тварин і бактерій. Для них джерелом енергії є синтезовані іншими організмами органічні сполуки, які вони одержують із їжею (живі організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності) (рис. 57).

Енергія, що надходить до організму з навколишнього середовища, може запасатися в хімічних зв'язках синтезованих сполук або ж витрачатися на різноманітні процеси функціонування. Витрачена енергія перетворюється на теплову. Отже, живим системам притаманний енергетичний баланс: скільки енергії організм отримує, стільки й витрачає або запасує. Основою цього є фізичний принцип збереження енергії.

Рис. 57. Приклади автотрофних і гетеротрофних організмів



❓ Які серед наведених організмів є автотрофними, а які – гетеротрофними?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке обмін речовин?
2. Порівняйте пластичний та енергетичний обмін.
3. Які організми належать до автотрофних, а які – до гетеротрофних?
4. Обґрунтуйте взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну.

## § 14. Біохімічні механізми дихання

### Згадаємо!

Яка система органів тварин забезпечує газообмін?

Як кисень потрапляє до клітин? Що таке енергетичний обмін?

Основним джерелом енергії для більшості клітин є глюкоза. Максимальна кількість енергії вивільняється за умови повного окиснення цієї речовини, у результаті чого утворюються вуглекислий газ і вода. Через це такий процес називається **клітинним диханням**. Частина енергії, що вивільняється, забезпечує синтез АТФ, частина – розсіюється у формі теплової енергії. Повне окиснення глюкози в більшості еукаріотів відбувається за участі мітохондрій, тому їх називають енергетичними станціями клітини.

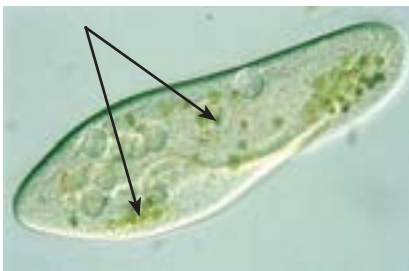
В енергетичному обміні виділяють три етапи: підготовчий, безкисневий та кисневий.

**Підготовчий етап.** Під час підготовчого етапу енергетичного обміну полісахариди розщеплюються до мономерів. У тварин із травною системою такі реакції є складовими процесу травлення. В одноклітинних організмів розщеплення полісахаридів відбувається в травних вакуолях – цей процес називається клітинним травленням (рис. 58). У результаті утворюється глюкоза, яка в одноклітинних організмів потрапляє в цитоплазму, а в багатоклітинних – транспортується до клітин рідинами внутрішнього середовища, зокрема кров'ю. Розщеплення полісахаридів на моносахариди також відбувається в клітинах, які запасують резервні полісахариди (крохмаль, гліко-

Рис. 58. Організми з різним типом травлення: *а* – Амеба протей; *б* – Інфузорія-туфелька; *в* – дощовий черв'як



*а*



*б*



*в*

Стрілками позначено травні вакуолі. Згадайте особливості травлення дощового черв'яка.

ген). Унаслідок розщеплення полісахаридів до мономерів вивільняється незначна кількість енергії, яка не акумулюється в АТФ, а розсіюється у формі теплової енергії (рис. 59, I).

**Безкисневий (анаеробний) етап.** Першим етапом розщеплення глюкози є сукупність реакцій, яка називається **гліколізом**. Ці реакції не потребують кисню й називаються **анаеробними**. Гліколіз являє собою ряд послідовних хімічних перетворень з участю ферментів (див. § 6, рис. 28). У результаті утворюються дві молекули трикарбонової органічної кислоти, яка називається пірвіноградною ( $C_3H_4O_3$ ). На початку реакції гліколізу витрачається енергія, акумульована у двох молекулах АТФ, однак у результаті повного процесу утворюються чотири молекули АТФ. Тож сумарний енергетичний вихід гліколізу становить 2 молекули АТФ на одну молекулу глюкози (рис. 59, II).

**Кисневий (аеробний) етап.** Пірвіноградна кислота містить значну кількість зв'язаної енергії, яку клітини можуть використовувати для синтезу АТФ. Наступні реакції відбуваються у мітохондріальному матриксі з використанням кисню, що надходить у мітохондрії шляхом дифузії. Реакції, що потребують кисню, називаються **аеробними**. Аеробний етап енергетичного обміну складається з двох послідовних циклів реакцій (рис. 59, III, IV). У першому, який називається циклом Кребса, пірвіноградна кислота перетворюється на інші органічні кислоти (рис. 60, I). У результаті цих реакцій (у розрахунку на одну вихідну молекулу глюкози) утворюються 4 молекули АТФ, 6 молекул вуглекислого газу та певна кількість атомів Гідрогену, зв'язаних із спеціальними молекулами-переносниками, однією з яких є НАД (нікотинамідаденіндинуклеотид) (*не запам'ятовуйте цю назву*).

Рис. 59. Етапи енергетичного обміну

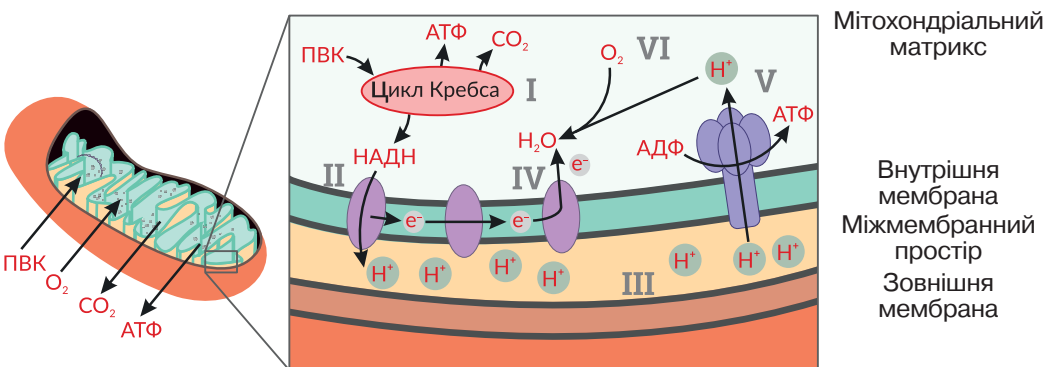


Утворену сполуку позначено НАД·Н. Подальші реакції відбуваються саме за її участі. НАД транспортує зв'язані атоми Гідрогену до внутрішньої мітохондріальної мембрани (рис. 60, II).

Спеціалізовані білки зв'язують атоми Гідрогену, утворюючи йони  $H^+$  та вивільняючи електрони. Йони  $H^+$  переходять у простір між двома мембранами мітохондрії (рис. 60, III), а електрони транспортуються в мембрані спеціалізованими білками (рис. 60, IV). Чим інтенсивніше розщеплюються органічні сполуки в матриксі, тим більше утворюється НАД·Н, і тим більше йонів  $H^+$  накопичується в міжмембранному просторі. Спеціалізований білок АТФ-синтетаза (рис. 60, V) забезпечує пасивне транспортування цих йонів із міжмембранного простору в матрикс. За рахунок енергії цього потоку йонів синтезуються молекули АТФ. Принцип дії АТФ-синтетази можна пояснити за аналогією з роботою гідроелектростанції. На гідроелектростанції запасання енергії відбувається шляхом накопичення води в резервуарі, як йони  $H^+$  накопичуються в міжмембранному просторі. Спуск води через турбіну супроводжується виробленням електричної енергії. У нашому випадку такою «турбіною» є білок АТФ-синтетаза, що забезпечує синтез АТФ. За рахунок накопичених йонів, які утворюються в результаті розщеплення однієї молекули глюкози, АТФ-синтетаза може забезпечити синтез 32 молекул АТФ. Тож ефективність роботи цього механізму набагато вища, ніж гліколізу або циклу Кребса.

Нам залишилося з'ясувати долю електронів атомів Гідрогену, про які йшлося раніше. Вони транспортуються ланцюжком функціонально поєднаних білків – від одного до іншого. Останній з-поміж них забезпечує взаємодію транспортованих електронів з молекулами кисню ( $O_2$ ) та йонами  $H^+$ , які зрештою повертаються до матриксу. У результаті такої взаємодії утворюються молекули води (рис. 60, VI).

Рис. 60. Процеси аеробного етапу енергетичного обміну

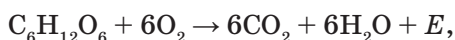


ПВК – піровиноградна кислота

Оскільки в цих реакціях поглинається кисень, такий ланцюг білків ще називають дихальним.

Реакції енергетичного обміну подібні в усіх організмів. Як ви знаєте, мітохондрії властиві всім еукаріотичним клітинам (окрім тих організмів, що існують у безкисневому середовищі). Навіть в аеробних прокариотів, які не мають таких органел, відбуваються схожі процеси. При цьому для накопичення йонів  $H^+$  вони використовують позаклітинний простір, а їхня АТФ-синтетаза вбудована в плазматичну мембрану.

**Біологічне значення енергетичного обміну.** Унаслідок повного окиснення однієї молекули глюкози утворюються вода та вуглекислий газ і відбувається синтез 38 молекул АТФ. Сумарно цей процес можна представити рівнянням:



де  $E$  – енергія, що виділяється та акумулюється в АТФ.

Початкові стадії розщеплення глюкози відбуваються без участі кисню, але їх енергетичний вихід порівняно низький. У деяких організмів, нездатних до подальшого аеробного перетворення пірвіноградної кислоти, вона може перетворюватися на інші речовини – молочну, етанову (оцтову) кислоти або ж етиловий спирт. Ці процеси використовує людина, наприклад, для виготовлення харчових продуктів (рис. 61). Аеробні процеси, пов'язані з використанням кисню, відбуваються всередині мітохондрій. Під час цих реакцій утворюється набагато більше молекул АТФ, ніж на безкисневому етапі. Тому більшість організмів використовують саме аеробний спосіб енергетичного обміну, а отже, потребують для життєдіяльності кисню.

Рис. 61. Харчові продукти: а – молочнокислі продукти; б – консервовані фрукти; в – хліб



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *енергетичний обмін*.
2. Що таке підготовчий етап та де він відбувається?
3. Схарактеризуйте процес гліколізу.
4. Схарактеризуйте процес аеробного дихання.
5. Чому більшість організмів використовують аеробний спосіб енергетичного обміну?

## § 15. Фотосинтез. Його планетарна роль

### Згадаємо!

Які організми належать до автотрофних?

Яка будова хлоропласта?

Оскільки автотрофні організми є джерелом органічних речовин, вони мають вирішальне значення для існування життя на Землі. Для синтезу таких сполук необхідна енергія. Існують два основні джерела енергії, доступні для організмів, – сонячне випромінювання й хімічні реакції. Зважаючи на доступність сонячного світла на більшій частині нашої планети, саме фототрофи стали найпоширенішими автотрофними організмами.

❶ Процес утворення клітинами органічних речовин з неорганічних за участю світла називається **фотосинтезом** (рис. 62).

До фотосинтезу здатні рослини та деякі прокаріоти. Розглянемо його перебіг у зелених рослин. У рослинній клітині реакції фотосинтезу відбуваються у хлоропластах. Фотосинтез – складний, багатоступінчастий фізико-хімічний процес. У ньому виділяють дві фази: світлову й темнову.

**Світлова фаза фотосинтезу.** Реакції в цій фазі відбуваються лише за участю світлової енергії на мембранах тилакоїдів – плоских мішечків, розташованих усередині хлоропластів. Молекулами, необхідними для світлових реакцій, є фотосинтетичні пігменти. Головний пігмент фотосинтезу – **хлорофіл** (рис. 63). Молекула хлорофілу складається з довгого «хвоста»,

Рис. 62. Загальна схема фотосинтезу

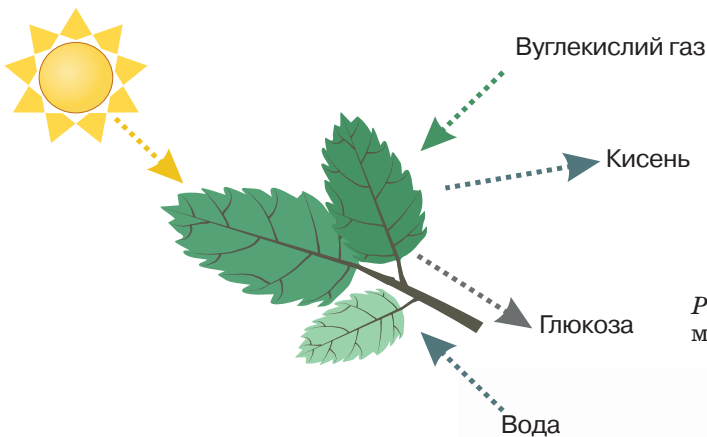
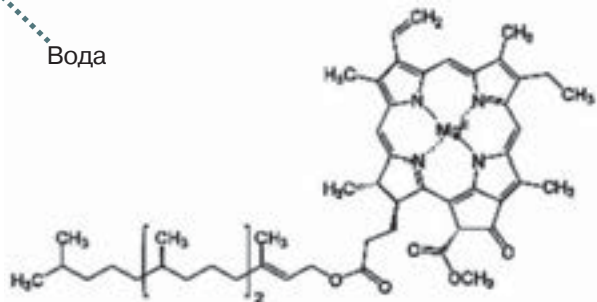


Рис. 63. Структурна формула молекули хлорофілу



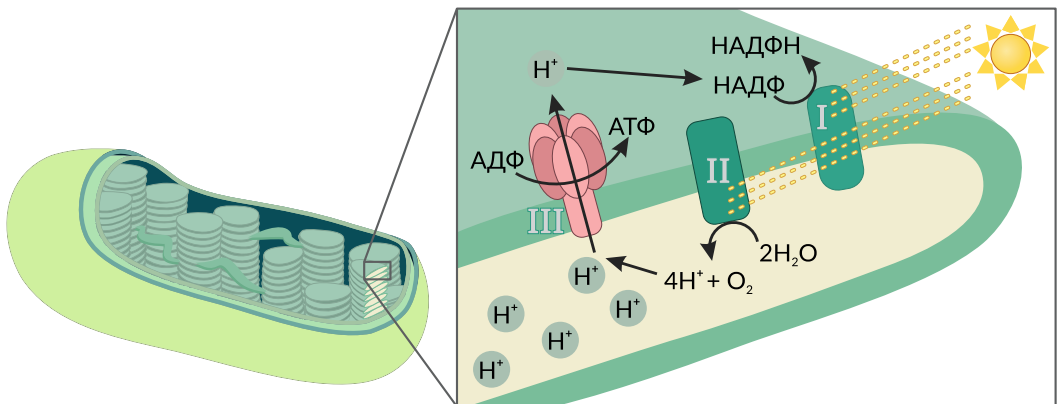
який занурюється в мембрану тилакоїду, та складної за структурою кільцевої частини, що містить усередині йон Магнію  $Mg^{2+}$ . Хлорофіл має зелене забарвлення, інші фотосинтетичні пігменти забарвлені в кольори жовто-червоної частини спектра. У більшості рослин хлорофіл переважає кількісно, тому різні їх частини зеленого кольору. Коли восени хлорофіл руйнується, то переважає забарвлення інших пігментів (згадайте забарвлення осіннього листя).

Хлорофіл функціонує в комплексі з іншими пігментами. Разом вони утворюють **фотосинтетичну систему (фотосистему)**. Фотосистема вловлює кванти світла, поглинає їхню енергію та за її рахунок здійснює певні хімічні реакції. Існують два типи фотосистем, що позначаються як фотосистема-I (ФС-I) та фотосистема-II (ФС-II).

Процес поглинання світла розпочинається з уловлювання квантів світла пігментами ФС-II, унаслідок чого молекула хлорофілу отримує додаткову енергію, тобто збуджується. У результаті з хлорофілу «вибивається» електрон. Його підхоплюють спеціалізовані білки мембрани тилакоїду й транспортують до ФС-I (розглянемо цей процес пізніше).

Молекула хлорофілу не може тривалий час залишатися без електрона, тому вона «відбирає» його в молекули води. Такий процес називається **фотолізом**, оскільки він потребує енергії квантів світла (*фото*) та приводить до розщеплення молекули води (*лізис*). Атоми Оксигену О молекули води  $H_2O$ , утративши по два електрони, сполучаються із такими самими атомами, утворюючи молекулярний кисень  $O_2$ , який шляхом дифузії виділяється із рослинної клітини. Саме завдяки цьому рослини на світлі виділяють кисень (рис. 64, II). Йони Гідрогену  $H^+$ , що залишилися після розщеплення молекули води, накопичуються всередині тилакоїду. Під дією сонячно-

Рис. 64. Процеси світлової фази фотосинтезу: I – ФС-I, II – ФС-II, III – АТФ-синтетаза



**(?)** Узагальніть прочитане.

1. На мембранах якої структури відбувається світлова фаза?
2. Молекула якої речовини виділяється з клітини внаслідок світлової фази?
3. У хімічних зв'язках яких сполук накопичується світлова енергія?

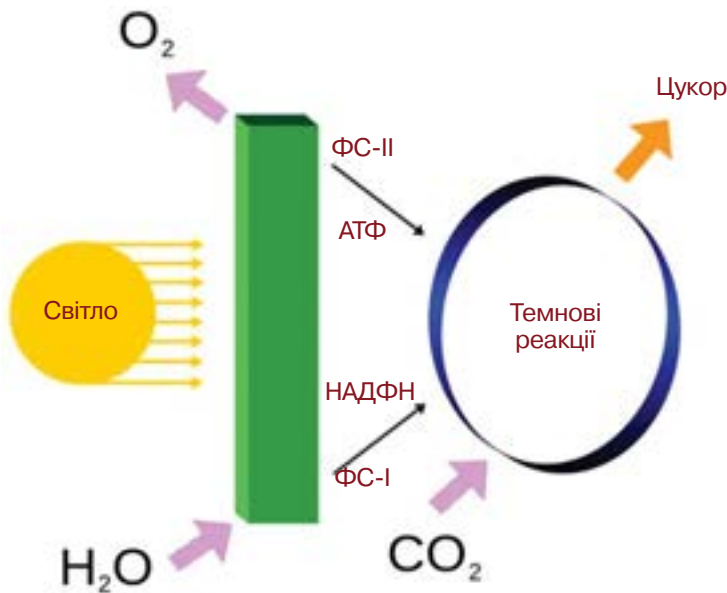
го світла розщеплюється все більше молекул води, утворюється все більше кисню та накопичується все більше йонів  $H^+$ . Далі спеціалізований білок АТФ-синтетаза (рис. 64, III) забезпечує пасивне транспортування йонів  $H^+$  з тилакоїду в строму хлоропласта. За рахунок енергії потоку цих йонів синтезуються молекули АТФ (подібно до того, як це відбувається в мітохондріях). Надалі синтезована АТФ використовується для перебігу реакцій темної фази.

Наступний етап фотосинтезу пов'язаний із роботою фотосистеми-I (рис. 64, I). Вона, подібно до ФС-II, уловлює кванти світла, молекула хлорофілу отримує додаткову енергію, і з хлорофілу ФС-I також «вибивається» електрон. Спеціалізовані білки транспортують його до особливого нуклеотиду – НАДФ (функціонально він подібний до НАД, який працює в мітохондріях). Цей нуклеотид приймає транспортований електрон, який сполучається з йоном  $H^+$  зі стромы хлоропласта з утворенням атома Гідрогену, що буде брати участь у реакціях темної фази. Вакантне ж місце електрона у ФС-I займає електрон, що надійшов від ФС-II.

**Темнова фаза фотосинтезу.** Кінцевим результатом реакцій світлової фази фотосинтезу є запасання енергії у формі молекул АТФ та накопичення атомів Гідрогену (рис. 65). Ці речовини беруть участь у реакціях темної фази, які відбуваються в стромі хлоропласта постійно й не потребують світла.

Ви пам'ятаєте, що прості вуглеводи складаються з атомів Карбону, Гідрогену та Оксигену. Основною реакцією темної фази є включення Карбону молекули вуглекислого газу (неорганічної сполуки) до складу молекули цукру (органічної сполуки). З вуглекислого газу до молекул вуглеводів також включається Оксиген. Гідроген надходить із світлової фази. Для

Рис. 65. Зв'язок між світловою та темною фазами фотосинтезу



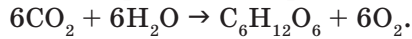
❓ Яку енергію використовують рослини для реакцій темної фази фотосинтезу?



перебігу реакцій темної фази використовується енергія молекул АТФ, синтезованих у світловій фазі. Багаторазове повторення циклу таких реакцій приводить до утворення великої кількості молекул глюкози. Щоб запобігти надмірному накопиченню глюкози, клітини синтезують резервні вуглеводи – крохмаль.

**Біологічне значення фотосинтезу.** Органічні речовини є основою функціонування організмів. Фотосинтез забезпечує утворення більшої частини органічної речовини на нашій планеті. Важливим наслідком цього процесу є утворення кисню, необхідного для дихання більшості організмів.

Сумарно цей процес можна представити рівнянням:



В атмосфері на висоті близько 25 км під дією сонячного випромінювання з нього утворюється озон, який затримує згубні для живого ультрафіолетові промені. Завдяки збагаченню атмосфери Землі киснем близько 2,5 млрд років тому фотосинтез сприяв суттєвим змінам тодішніх екосистем, надавши поштовх розвитку сучасних форм життя. Це забезпечило можливість виходу життя на суходіл.

В атмосфері Землі вуглекислий газ становить 0,03 % від об'єму повітря. Ця величина є сталою протягом багатьох тисячоліть, незважаючи, що безліч живих організмів у процесі дихання виділяють вуглекислий газ. Ще більше його виділяється при гнитті й руйнуванні рештків організмів, під час виверження вулканів, пожеж, спалювання палива. Усю цю величезну кількість вуглекислого газу поглинають зелені рослини в процесі фотосинтезу.

Багато вчених присвятили своє життя вивченню фотосинтезу, але нерозкриті таємниці чекають дослідників сучасності.



К. А. Тимірязєв  
(1843–1920)

Вагомий внесок у вивчення ролі світла й хлорофілу в процесі фотосинтезу зробив видатний учений Климент Аркадійович Тимірязєв. Він уважав, що зелені рослини відіграють космічну роль на планеті: *«Дайте найкращому кухареві скільки завгодно свіжого повітря, скільки завгодно сонячного світла й цілу річку чистої води і попросіть його, аби з усього цього він приготував вам цукор, крохмаль, жири й зерно, — він вирішить, що ви з нього глузуєте. Але те, що здається неймовірно фантастичним людині, без перешкод відбувається в зелених листках рослин».*

❓ Як ви розумієте вислів ученого?

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *фотосинтез*.
2. Які процеси відбуваються на етапі світлової фази фотосинтезу?
3. Які результати темної фази фотосинтезу?
4. Поясніть значення фотосинтезу для життя на Землі.
5. Як ви розумієте вислів К. А. Тимірязєва: *«Рослина — посередник між небом і землею»?*

## § 16. Хемосинтез

### Згадаємо!

Що таке фотосинтез?

Фотосинтез є основним, але не єдиним джерелом синтезу органічних сполук на нашій планеті. Для утворення органічних сполук з неорганічних необхідні дві складові: джерело речовин, із яких будуватимуться молекули, та джерело енергії для забезпечення цього процесу. Органічні речовини – вуглеводи, що складаються з Карбону, Оксигену й Гідрогену, можна утворити з вуглекислого газу й води. Більшою проблемою є джерело енергії. Фотосинтезуючі організми розв'язують її, засвоюючи енергію сонячного випромінювання. Іншим потенційним джерелом є енергія екзотермічних реакцій.

☝ Процес утворення органічних сполук з неорганічних за рахунок енергії хімічних реакцій називається **хемосинтезом**.

Обидві групи – фотосинтетики та хемосинтетики – об'єднують в групу автотрофних організмів.

**Різноманітність хемосинтетиків.** Організми, здатні засвоювати енергію хімічних реакцій, належать до бактерій. Перелічимо кілька реакцій, що відбуваються за участі бактерій, у яких виділяється достатня для синтезу органічних сполук кількість енергії.

Залізобактерії окиснюють двовалентний Ферум до тривалентного. У результаті утворюється залізна руда. Сіркобактерії окиснюють Сульфур сірководню до молекулярної сірки. Тіонові бактерії також перетворюють сполуки



С. М. Виноградський  
(1856–1953)

Явище хемосинтезу було відкрито у 1890 р. Сергієм Миколайовичем Виноградським. Учений народився та закінчив гімназію у Києві, навчався і працював в університетах Санкт-Петербурга (Росія), Страсбурга (Франція), Цюріха (Швейцарія). До відкриття хемосинтезу вважали, що фотосинтез зелених рослин є єдиним джерелом утворення органічних речовин.

Сульфур, окиснюючи молекулярну сірку, сульфіти або сульфіди до сульфатів. Ці організми існують у дуже кислому середовищі. Водневі бактерії окиснюють молекулярний водень до води. Нітрифікуючі бактерії здатні окиснювати амоніак, що виділяється при гнитті органічних речовин, до нітритів та нітратів. Отже, спектр перетворюваних хімічних речовин є досить широким. Проте функціонування різних хемосинтезуючих організмів має ряд спільних ознак. Так, енергія, що виділяється в зазначених вище реакціях, не використовується безпосередньо для синтезу органічних сполук. На першому етапі вона акумулюється у зв'язках молекул АТФ і лише потім використовується для синтезу органічних речовин з неорганічних. Ця особливість є спільною ознакою хемосинтезу й фотосинтезу.

**Біологічна роль хемосинтезу.** Загальна кількість органічних сполук, продукованих хемосинтетиками, є меншою, ніж утворених у результаті фотосинтезу, однак ці організми дуже важливі для колообігу речовин в екосистемах.

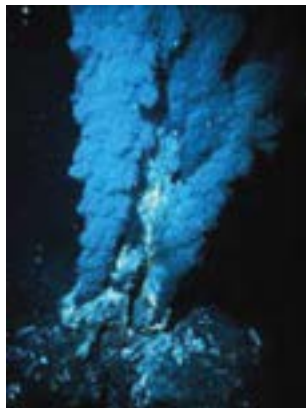
Важливе значення мають нітрифікуючі бактерії, які перетворюють Нітроген амоніаку на доступні для рослин нітрати та нітрити. Нітроген – обов'язковий компонент білків, нуклеїнових кислот і деяких фосфоліпідів, а значить є необхідним для процесів функціонування клітин. Через те доступність Нітрогену для рослин має вирішальне значення для синтезу амінокислот, нуклеотидів, фосфоліпідів та інших нітрогеновмісних сполук.

Хемосинтезуючі організми забезпечують життєдіяльність екосистем у регіонах з недостатньою кількістю сонячного світла (рис. 66). Найбільш цікавими є екосистеми так званих «чорних курців». Вони розташовані в глибоководних регіонах Тихого океану, на дні яких відкриваються гідротермальні джерела з високою концентрацією сполук Сульфур, що надають їм характерного забарвлення.

*Рис. 66.* Значення хемосинтезуючих бактерій в екосистемах: *а* – залізобактерії надають воді характерного іржавого кольору; *б* – екосистема «чорних курців»; *в* – кільчастий черв – рифтія – живиться за рахунок симбіотичних сіркобактерій, які синтезують органічні речовини



а



б



в

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке хемосинтез?
2. Які організми можуть використовувати енергію хімічних реакцій для власного живлення?
3. Поясніть біологічну роль хемосинтезу.

## § 17. Загальні принципи перетворення речовин у клітинах

### Згадаємо!

Що таке обмін речовин?

Яке значення мають вуглеводи, білки, ліпіди й нуклеїнові кислоти для життєдіяльності клітини?

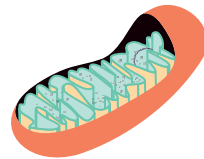
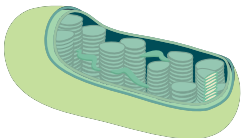
Життєдіяльність клітин неможлива без органічних сполук. Основним процесом, що забезпечує організми нашої планети органічними речовинами, є фотосинтез, під час якого утворюються вуглеводи. Ви вже ознайомилися із реакціями фотосинтезу та розщеплення вуглеводів, тож взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну в клітині стає для вас більш зрозумілим (рис. 67).

Клітинам необхідні також білки, ліпіди та нуклеїнові кислоти. Для того щоб забезпечити організм усіма необхідними речовинами, відбуваються біохімічні перетворення одних сполук на інші: здійснюються численні хімічні реакції, у яких активну участь беруть ферменти. Для цих реакцій характерна черговість, коли продукт однієї реакції стає субстратом іншої. Ми розглянемо лише загальні принципи перетворень речовин у клітинах.

**У клітинах постійно утворюються й розщеплюються полімерні сполуки.** Процеси синтезу макромолекул є складовими пластичного обміну. Розщеплення полімерів до мономерів може бути підготовчим етапом енергетичного обміну. Наприклад, якщо глюкоза надходить у надлишку, синтезуються резервні полісахариди, які розщеплюються з утворенням глюкози, коли клітині потрібно більше енергії. З амінокислот клітини синтезують білки. Час існування утвореної

Рис. 67. Взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну на прикладі рослинної клітини

Пластичний обмін



Енергетичний обмін

❗ Проаналізуйте схему. Дайте відповіді на запитання.

1. Унаслідок якого процесу з неорганічних сполук утворюються органічні?
2. Яку енергію використовують рослини для утворення вуглеводів?
3. Унаслідок якого процесу розщеплюються органічні речовини до неорганічних сполук?
4. У результаті якого процесу енергія, що вивільняється, запасується в молекулах АТФ?

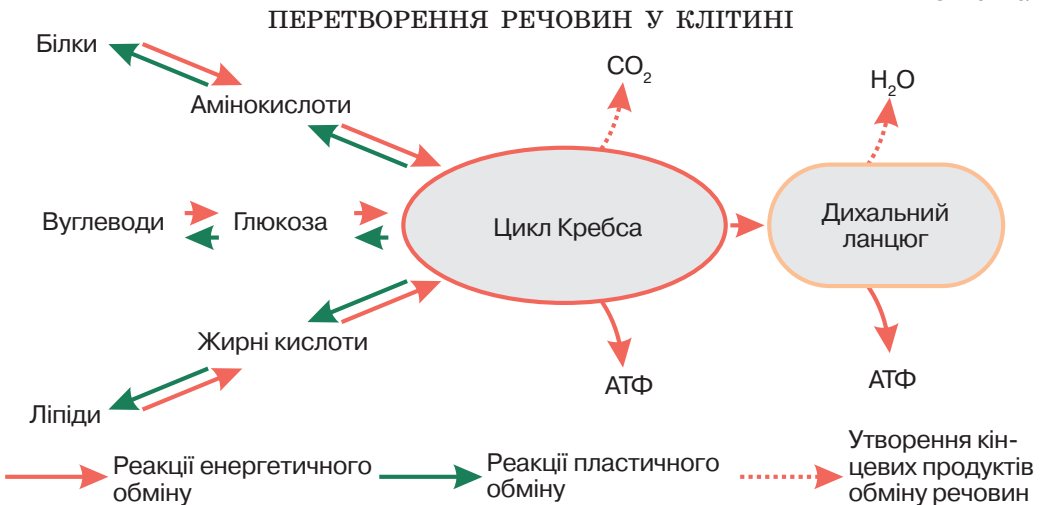
молекули білка становить від кількох хвилин до кількох діб. Далі «старі» молекули розщеплюються до амінокислот, які використовуються для синтезу нових. У клітинах постійно відбувається оновлення складу білків. Порушення цього процесу призводить до накопичення «старих» білків та може стати причиною захворювань.

**Більшість органічних сполук розщеплюються з вивільненням енергії.** Основними джерелами енергії в клітині здебільшого є вуглеводи й жири. Процес енергетичного обміну, аналогічний розщепленню глюкози, відбувається й під час окиснення інших речовин, зокрема жирних кислот та амінокислот. Проте слід пам'ятати, що білки повністю розщеплюються для постачання організму енергії лише в разі нестачі інших енергетичних сполук (схема 5).

**Речовини однієї хімічної природи можуть перетворюватися на речовини іншої хімічної природи.** Наприклад, під час розщеплення глюкози утворюється піровиноградна кислота, яка потім у циклі Кребса перетворюється на інші органічні кислоти. Якщо до них приєднується аміногрупа, синтезуються амінокислоти. У результаті хімічного перетворення амінокислот можуть утворюватися нітрогеновмісні основи, які є компонентами нуклеотидів. З органічних кислот згаданого циклу також синтезуються жирні кислоти, необхідні для утворення молекул жирів та фосфоліпідів. Отже, процесом, що об'єднує обмін вуглеводів, білків і ліпідів, є цикл Кребса (схема 5).

**Для функціонування клітин важлива узгодженість реакцій обміну речовин.** Так, якщо з їжею надходить надмірна кількість вуглеводів, то молекули, які не використані для виділення енергії, перетворюються на жири й відкладаються в жировій тканині. Це призводить до розвитку ожиріння, а також підвищує ризик розвитку цукрового діабету. І навпаки – тривала нестача в їжі вуглеводів та інших джерел енергії (голодування) призведе до розщеплення білків, унаслідок чого порушуватимуться функції організму.

Схема 5



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке обмін речовин?
2. Поясніть взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну на прикладі рослинної клітини.
3. Схарактеризуйте загальні принципи перетворення речовин у клітині.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Принципи функціонування клітини»

### ВАРІАНТ I

Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)

1. Одним із процесів енергетичного обміну є

- А фотоліз води
- Б фотосинтез
- В хемосинтез
- Г гліколіз

2. Укажіть автотрофний організм.

А



Б



В



Г



3. Процес фотосинтезу відбувається в

- А хромопластах
- Б хлоропластах
- В мітохондріях
- Г ендоплазматичній сітці

4. Яка речовина утворюється внаслідок світлової фази фотосинтезу?

- А вуглевод
- Б білок
- В ліпід
- Г АТФ

5. Процес утворення органічних сполук з неорганічних за рахунок енергії хімічних реакцій називається

- А гліколізом
- Б фотолізом
- В фотосинтезом
- Г хемосинтезом

6. Резервні полісахариди можуть утворюватися в клітині із залишків

- А жирних кислот
- Б амінокислот
- В нуклеотидів
- Г глюкози

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Хемосинтез відрізняється від фотосинтезу тим, що  
**А** під час перетворення енергії не утворюється АТФ  
**Б** може відбуватися без поглинання енергії  
**В** характерний винятково для бактерій  
**Г** відбувається без участі ферментів
8. Прочитайте опис: «Під час гліколізу молекула глюкози розщеплюється до двох молекул (1) та відбувається синтез двох молекул (2)». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.  
**А** 1 – пірвіноградної кислоти      2 – АТФ  
**Б** 1 – вуглекислого газу            2 – АТФ  
**В** 1 – пірвіноградної кислоти      2 – кисню  
**Г** 1 – вуглекислого газу            2 – кисню
9. На уроці біології для обговорення значення фотосинтезу клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що внаслідок фотосинтезу акумулюється світлова енергія в хімічних зв'язках органічних речовин. Друга група висловила судження про те, що на нашій планеті органічні речовини утворюються з неорганічних лише в процесі фотосинтезу. Яка група висловила правильне судження?  
**А** лише перша  
**Б** лише друга  
**В** обидві групи  
**Г** жодна із груп

**Тестове завдання з коротким описом (3 бали)**

10. Схарактеризуйте енергетичний обмін у клітині за наведеними ознаками.  
**Частина енергії, яка вивільняється в реакціях, запасасться під час утворення молекул**  
**1** глюкози  
**2** кисню  
**3** АТФ

**В еукаріотичних клітинах пов'язаний з функціонуванням**

- 1** комплексу Гольджі  
**2** клітинного центру  
**3** мітохондрій

**Одним із процесів є**

- 1** гліколіз  
**2** фотосинтез  
**3** хемосинтез

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Обґрунтуйте взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну в клітині.  
 2. Поясніть планетарну роль фотосинтезу.

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Одним із процесів енергетичного обміну є

- А хемосинтез
- Б фотосинтез
- В синтез вуглеводів
- Г аеробне дихання

2. Укажіть автотрофний організм.

А



Б



В



Г



3. Процес утворення органічних сполук з неорганічних за рахунок світлової енергії називається

- А гліколізом
- Б фотолізом
- В фотосинтезом
- Г хемосинтезом

4. Аеробний етап енергетичного обміну відбувається за участю мембран

- А хлоропластів
- Б мітохондрій
- В комплексу Гольджі
- Г ендоплазматичної сітки

5. Яка речовина утворюється внаслідок темної фази фотосинтезу?

- А вуглевод
- Б білок
- В ліпід
- Г АТФ

6. Із залишків глюкози в клітині можуть утворюватися

- А нуклеїнові кислоти
- Б полісахариди
- В ліпіди
- Г білки



**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Спільною ознакою фотосинтезу та хемосинтезу є  
**А** засвоєння світлової енергії  
**Б** виділення кисню в атмосферу  
**В** розщеплення органічних речовин  
**Г** синтез органічних речовин з неорганічних
8. Прочитайте опис: «Унаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози утворюються вода та (1), а також відбувається синтез 38 молекул (2)». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.  
**А** 1 – пірвіноградна кислота      2 – АТФ  
**Б** 1 – вуглекислий газ              2 – АТФ  
**В** 1 – пірвіноградна кислота      2 – кисню  
**Г** 1 – вуглекислий газ              2 – кисню
9. Проаналізуйте твердження щодо енергетичного обміну в клітині.  
**I.** На етапі гліколізу відбувається розщеплення молекули глюкози.  
**II.** У реакціях аеробного етапу утворюється набагато більше молекул АТФ, ніж під час гліколізу.  
 Яке з-поміж них правильне?  
**А** перше правильне  
**Б** друге правильне  
**В** обидва правильні  
**Г** обидва неправильні

**Тестове завдання з коротким описом (3 бали)**

10. Схарактеризуйте фотосинтез за наведеними ознаками.

**Поглинається енергія**

- 1 хімічних реакцій  
 2 теплова  
 3 світлова

**В еукаріотичних клітинах пов'язаний із функціонуванням**

- 1 комплексу Гольджі  
 2 клітинного центру  
 3 хлоропластів

**Одним із процесів є**

- 1 гліколіз  
 2 фотоліз води  
 3 розщеплення молекули глюкози

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Обґрунтуйте взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну в рослинній клітині.  
 2. Схарактеризуйте основні принципи перетворення речовин у клітині.



## *Тема 4*

# **ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ**



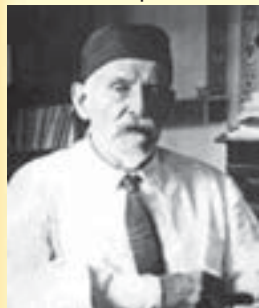
## 3 історії відкриттів

Молекулярна біологія історично виникла як розділ біохімії. У квітні 1953 р. в англійському журналі *Nature* з'явилася стаття *Дж. Д. Вотсона* і *Ф. Крика* з описом просторової моделі молекули ДНК. Цю подію прийнято вважати датою народження молекулярної біології. Відкриттю передували тривалі дослідження біохімічних процесів, що відбуваються в клітинах бактерій, та процесів відтворення неклітинних форм життя – вірусів, роботи з рентгеноструктурного аналізу, у яких брали участь також англійські біофізики *М. Вілкінс* і *Розалінд Франклін*.

У 1928 р. англійський генетик *Фредерік Гріффіт* уперше показав, що екстракт загиблених під час нагрівання хвороботворних бактерій може передавати ознаки патогенності безпечним бактеріям. Дослідження трансформації бактерій у подальшому привело до виділення хвороботворного агента, яким, у супереччя очікуванням, виявився не білок, а нуклеїнова кислота. Власне нуклеїнова кислота не є небезпечною, вона лише переносить гени, що визначають властивості мікроорганізму.

Важливим відкриттям для становлення методів молекулярної біології стало виявлення на початку ХХ ст. вірусів бактерій – бактеріофагів: фаги можуть переносити генетичний матеріал з одних бактеріальних клітин до інших. Унаслідок використання нових методів було сформульовано основне положення молекулярної біології – ДНК визначає структуру РНК, а РНК, у свою чергу – структуру білка.

У 50-х роках ХХ ст. відкрито існування статевого процесу в бактерій, за якого вони обмінюються спадковою інформацією, що зберігається в кільцевих молекулах ДНК нуклеоїду. Відкриття плазмід (окремих кільцевих молекул ДНК) започаткувало поширену в молекулярній біології плазмідну технологію.



С. Г. Навашин  
(1857 – 1930)

У 1968 р. американських вчених *Роберта Голлі*, *Гара Гобінда Корана*, *Маршалла Ніренберга* нагороджено обелівською премією за розшифрування генетичного коду та визначення його ролі в синтезі білків. Дослідження вчених допомогло зрозуміти, як формується структура РНК, її здатність зчитувати генетичний код з молекули ДНК та трансформувати його в послідовність амінокислот у молекулу білка. Відкриття започаткувало вивчення можливості контролювати спадковість та позбавлятися спадкових патологій.



Ріта Леві-Монтальчіні  
(1909 – 2012)

Подальший розвиток молекулярної біології пов'язаний із винаходом методу визначення нуклеотидної послідовності ДНК, за який американський учений *Вільям Гілберт* й англієць *Ф. Сенгер* у 1980 р. отримали Нобелівську премію з хімії. Це привело до нових відкриттів у галузі досліджень будови й функціонування генів. На початок ХХІ ст. було отримано дані про первинну структуру всієї ДНК людини й ряду інших організмів, найбільш важливих для медицини, сільського господарства та наукових досліджень. Ці відкриття сприяли виникненню нових напрямів у біології: геноміки, біоінформатики тощо.

Велику кількість відкриттів було зроблено й у галузі біології розвитку. У 1898 р. професор Київського університету св. Володимира *Сергій Гаврилович Навашин* відкрив подвійне запліднення в рослин. У ХХ ст. Нобелівською премією відзначено ряд видатних науковців: *Ханс Шпеман* розкрив механізм індукції розвитку одних частин ембріона іншими (1935 р.), *Стенлі Коен* та *Ріта Леві-Монтальчіні* виявили ростові чинники – речовини, що регулюють ріст і розвиток різних частин організму (1986 р.), *Едвард Льюїс*, *Крістіана Нюсляйн-Фольхард* та *Ерік Вішаус* розкрили механізми генетичної регуляції ембріогенезу (1995 р.).

## § 18. Гени та геноми

### Згадаємо!

У структурі якої молекули зберігається спадкова інформація?

Одна з найважливіших властивостей живого – це здатність живих систем до самовідтворення в ряді поколінь; без цього життя не могло б бути таким, яким воно є.

**Гени та геноми.** Ви вже знаєте, що здатність до самовідтворення забезпечують процеси збереження та реалізації спадкової інформації. У клітинах така інформація зберігається в структурі молекул ДНК.

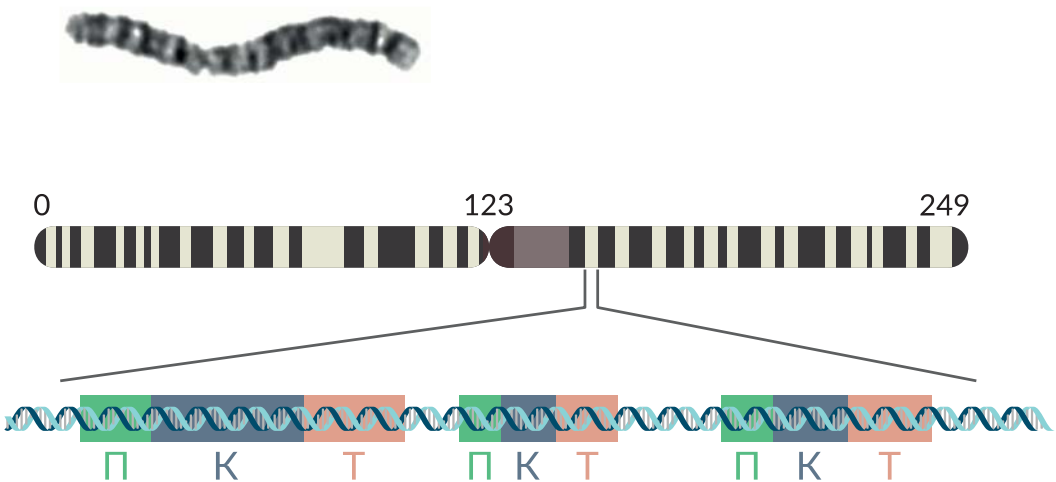
☉ Сукупність молекул ДНК, що містяться в одній клітині, називається **геномом**. Спеціалізовані ферменти можуть зчитувати інформацію з ДНК. На її основі відбувається синтез білків, що відповідають за здійснення різноманітних функцій, а отже, за формування певних ознак організмів. Спадкова інформація записана певними порціями: різні ділянки ДНК містять інформацію про різні ознаки. Такі ділянки називаються генами.

☉ **Ген** – це ділянка ДНК, у структурі якої закодована інформація про певну ознаку організму.

Сукупність генів певного організму називається **генотипом**.

**Будова гена.** Кожен ген має певну будову (рис. 68). Основна частина, яка називається кодувальною, містить інформацію про структуру білка (або РНК). На початку гена розташована послідовність нуклеотидів, що називається промотором. Саме з нею зв'язуються білки, які зчитують інформацію. За кодувальною частиною розташована завершальна ділянка гена, яка називається термінатором.

Рис. 68. Будова гена



Мікрофотографія та схема будови однієї з хромосом людини. Числа відповідають мільйонам пар нуклеотидів. Показано три гени, кожен з яких містить промотор (П), кодувальну частину (К) і термінатор (Т). Гени розділено некодувальними ділянками ДНК.

Світлі смужки відповідають ділянкам хромосоми, що містять багато генів, темні смужки – ділянкам, що майже не містять генів.

За функціями умовно виокремлюють **структурні** гени, які визначають певну ознаку (наприклад, кодують фермент, що каталізує певну хімічну реакцію), та **регуляторні**, основною функцією яких є регуляція активності інших генів.

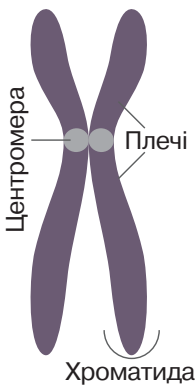
**Будова геному.** Геном прокаріотичної клітини зазвичай складається з однієї кільцевої молекули ДНК. В еукаріотичній клітині лінійні молекули ДНК зв'язані з білками й утворюють хроматин ядра. Конденсований хроматин утворює хромосоми, що мають X-подібну форму (рис. 69). Вони стають помітними в полі зору мікроскопа лише під час клітинного поділу. В інший час хроматин переважно є деконденсованим.

Кількість і розміри хромосом (відповідно кількість і довжина молекул ДНК) у клітині є видовою ознакою, яка може суттєво змінюватися. Існують організми, клітини яких містять виключно хромосоми з унікальним, відмінним від інших, набором генів. Такі клітини називаються **гаплоїдними**. Клітини інших організмів мають подвійний набір хромосом. Це означає, що в клітинах містяться пари хромосом, які характеризуються однаковим набором генів, розташованих в однаковій послідовності. Такі хромосоми називаються **гомологічними**, а клітини з подвійним набором – **диплоїдними**.

Не весь геном утворений генами. Між генами існують проміжки, які не містять інформації про будову білків або РНК. Крім того, некодувальні ділянки можуть бути всередині генів еукаріотів (§ 19). Кількість некодувальної ДНК суттєво різниться в різних видів (табл. 2). Значення некодувальної ДНК повністю не встановлено. Зокрема в ній можуть бути ділянки, що полегшують або ускладнюють зчитування інформації з тих чи інших генів, тобто виконують регуляторну функцію.

Окрім ядерної ДНК геном еукаріотичних клітин містить ДНК мітохондрій та пластид. Їх розміри невеликі порівняно з ядерними хромосомами: від 15 до 170 тис. пар нуклеотидів, кілька десятків (до 100) генів.

Рис. 69. Будова хромосоми



Таблиця 2  
Порівняння геномів деяких організмів

Кількість		 *	 *
<b>Хромосоми (гаплоїдний набір)</b>	1	4	23
<b>Пари нуклеотидів у ДНК</b>	$4,6 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^9$
<b>Гени</b>	4 288	14 000	20 000
<b>Некодувальна ДНК</b>	12 %	81 %	97 %

\*Муха і людина – диплоїдні організми.

❓ Проаналізуйте твердження щодо наведеної в таблиці інформації.

- Геном прокаріотичного організму містить меншу кількість генів, ніж еукаріотичного.
- Лише 3 % ДНК людини містить інформацію про будову білків або РНК. Які з них є правильними?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

- Дайте означення понять *ген* і *геном*.
- Опишіть будову гена.
- Що таке гаплоїдні та диплоїдні клітини?
- Порівняйте геноми прокаріотичних та еукаріотичних клітин.

## § 19. Транскрипція. Основні типи РНК

### Згадаємо!

Що таке принцип комплементарності?

Які відмінності в будові молекул ДНК та РНК?

Для формування ознак організму потрібно, щоб його спадкова інформація була використана, тобто реалізована в правильний спосіб.

Реалізація спадкової інформації складається з низки послідовних процесів (рис. 70). Як бачимо, вона починається з процесу, який називається транскрипцією.

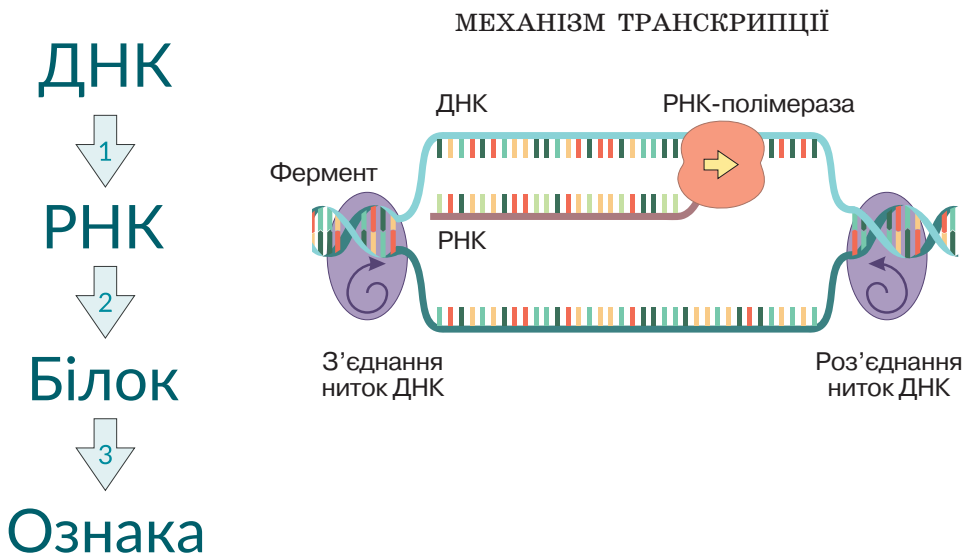
**Транскрипція** – синтез молекули РНК з використанням молекули ДНК як матриці.

В еукаріотичних клітинах транскрипція відбувається в ядрі, де зберігається ДНК, і забезпечується ферментами. Основним ферментом транскрипції є РНК-полімераза, яка «працює» на всіх її етапах.

**Етапи транскрипції.** Зв'язування із промотором гена є першим етапом (схема 6). Для цього РНК-полімераза має бути зв'язаною з одним або кількома іншими важливими білками – транскрипційними факторами. Вони визначають, з яким саме геном зв'язуватиметься зазначений фермент, а отже, впливають на активність генів, що має важливе значення для регуляції росту та розвитку організму. Транскрипційні фактори кодуються регуляторними генами. Синтез молекули РНК є наступним етапом (див. схему 6). РНК-полімераза роз'єднує дві нитки ДНК і рухається вздовж лише однієї з них. Вона розпізнає нуклеотиди ДНК і включає в молекулу РНК комплементарні до них РНК-нуклеотиди.

Рис. 70. Процеси реалізації спадкової інформації: 1 – транскрипція, 2 – трансляція; 3 – функціонування білків

Схема 6



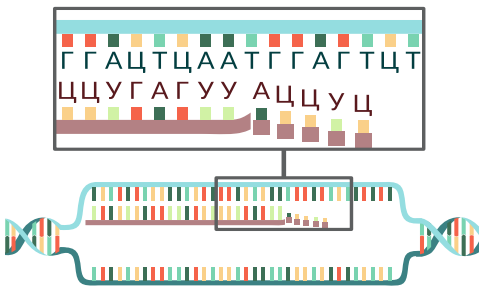
❗ Пояснить, чому спадкова інформація є інформацією про будову білкової молекули.

Слід пам'ятати, що замість тимідилового (Т) нуклеотиду молекул ДНК до молекули РНК входить урациловий (У) (рис. 71). Цей процес триває, доки РНК-полімераза не досягне термінатора гена. Тоді синтез завершується: РНК-полімераза вивільняє синтезовану молекулу РНК та від'єднується від ДНК.

**Типи РНК.** За функціями виокремлюють кілька типів молекул РНК. **Рибосомні РНК** (рРНК) входять до складу рибосом та забезпечують їхнє функціонування. **Транспортні РНК** (тРНК) приєднують амінокислоти й транспортують їх до місця синтезу білка. **Матричні, або інформаційні, РНК** (мРНК, іРНК) містять інформацію про амінокислотну структуру білків. Вони слугують матрицею для біосинтезу білка. Усі РНК беруть участь у біосинтезі білка або його регуляції. Переважна більшість генів кодує послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі («білкові гени»), решта генів кодує РНК інших типів.

**Дозрівання РНК.** Утворені в процесі транскрипції молекули РНК ще не можуть виконувати свої функції. В еукаріотів вони зазнають певних змін, однією з яких є сплайсинг. Більшість генів еукаріотів містить некодувальні ділянки, що «вирізаються» під час зазначеного процесу. Такі ділянки називаються інтронами, а ті, що залишаються в молекулі РНК, – екзонами. Отже, сплайсинг (від англ. *splice* – зрощувати, склеювати кінці чогось) – це процес «вирізання» інтронів та «зшивання» екзонів. Зрозуміло, що інформацію про структуру білків містять лише екзони. На інтрони припадає від 0 до 99 % довжини гена. У багатьох генів екзони, що залишаються, можуть зшиватися в різний спосіб. Як наслідок з одного гена можуть утворюватися різні мРНК, за якими будуть синтезовані різні білки (рис. 72). Уважається, що саме це є причиною описаної мозаїчної (екзонно-інтронної) структури генів. Зрілі молекули РНК експортуються з ядра в цитоплазму, де починають виконувати свої функції.

Рис. 71. Принцип комплементарності під час транскрипції

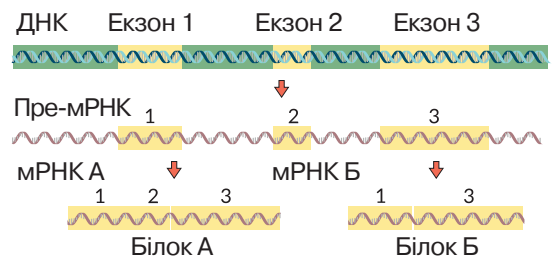


**(?)** Змодельуйте послідовність нуклеотидів у молекулі мРНК, що синтезується на такому фрагменті молекули ДНК: ААТГГЦАТЦГ.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке транскрипція?
2. Опишіть етапи транскрипції.
3. Які ви знаєте типи молекул РНК?
4. Як відбувається дозрівання синтезованої молекули РНК?
5. Поясніть, як використовується принцип комплементарності під час трансляції.

Рис. 72. Дозрівання молекули РНК. Сплайсинг



Зеленим кольором позначено інтрони, жовтим – екзони. З одного гена можуть утворитися білки різної будови: два екзони в мРНК, що їх кодує, є спільними, а один – відмінний.

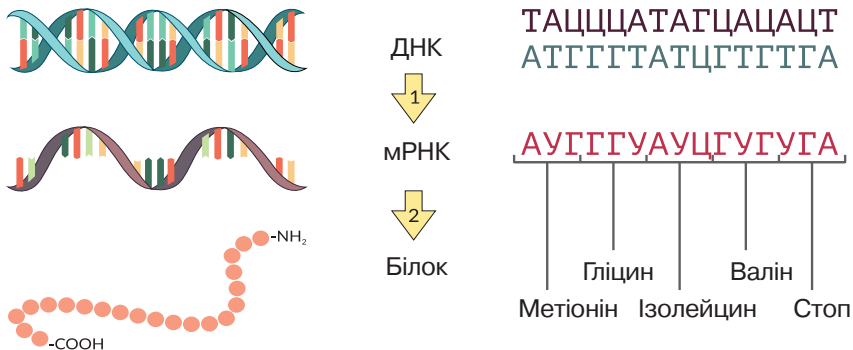
**(?)** Визначте, за яким екзоном у будові гена білок А відрізняється від білка Б.





- Інформація зчитується безперервно.** Кожен наступний триплет починається відразу за попереднім (рис. 73). Триплети не перекриваються й не накладаються один на одного. Жоден нуклеотид не може водночас бути складовою двох триплетів. Наприклад, ділянка РНК з послідовністю А У Г Г А Ц Ц Ц А буде розділена на три триплети лише так: АУГ – ГАЦ – ЦЦА.
- Генетичний код є однозначним.** Кожен триплет відповідає лише одній амінокислоті (або є стоп-кодоном). Не може той самий триплет у клітині кодувати дві різні амінокислоти (див. рис. 73).
- Генетичний код є надлишковим.** Існують чотири типи РНК-нуклеотидів (А, У, Г, Ц), а триплет є комбінацією з трьох нуклеотидів. Відповідно всього може бути  $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$  різних послідовностей з трьох зазначених літер. Отже, у такий спосіб можна закодувати не більш ніж 64 одиниці інформації. Проте до складу білків входять лише 20 різних амінокислот і 3 стоп-кодони. «Беззмислових» триплетів не існує, а тому деякі амінокислоти закодовано більш ніж одним кодоном. Можна пересвідчитися, що амінокислота триптофан кодується лише одним триплетом, натомість аргінін – аж шістьма (див. схему 7). Надлишковість надає коду певної стійкості до змін, тобто мутацій. У деяких випадках заміна одного нуклеотиду на інший не призведе до зміни амінокислоти, а отже, і структури синтезованого білка (*спробуйте знайти варіанти таких замін за допомогою схеми генетичного коду*).
- Генетичний код є універсальним.** Відповідність послідовностей триплетів та амінокислот є однаковою в усіх клітинах усіх організмів і навіть неклітинних форм життя (вірусів). З цього правила є кілька винятків: дещо змінений генетичний код мітохондрій, хлоропластів, деяких найпростіших і бактерій. Проте генетичний код є універсальним правилом кодування структури білків більшістю генів.

Рис. 73. Принцип дії генетичного коду



1 – транскрипція; 2 – синтез білкової молекули.

Послідовність матричного ланцюга ДНК позначено коричневим кольором, комплементарний йому ланцюг – сірим, послідовність мРНК – червоним. Показано відповідність кожного триплету кодуваної амінокислоти (див. схему 7).

**??** Визначте триплети молекули мРНК, якими кодуються амінокислоти валін, пролін.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

- Що таке генетичний код?
- Поясніть властивості генетичного коду.
- Як користуватися схемою генетичного коду?
- Про що свідчить універсальність генетичного коду?

## § 21. Біосинтез білка

### Згадаємо!

Що таке пептидний зв'язок?

Що таке рівні структурної організації білків?

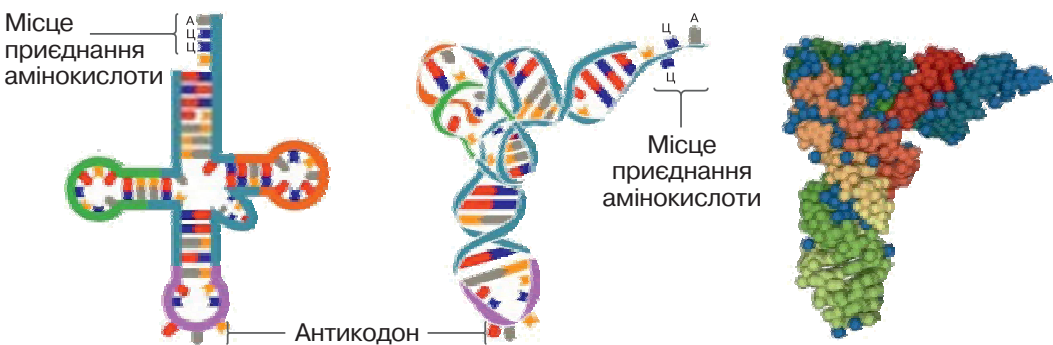
Утворення білків на основі інформації, що зберігається в молекулах нуклеїнових кислот, є одним з ключових процесів, властивих живим системам.

🟡 **Трансляція** – синтез поліпептидного ланцюга за участі рибосом на матриці мРНК.

**Умови процесу трансляції.** Рибосоми – це органели, необхідні для синтезу білка. Крім рибосом та мРНК для трансляції потрібна енергія (АТФ) та амінокислоти, зв'язані з тРНК. Молекула тРНК має специфічну будову (рис. 74). До одного її кінця приєднується залишок амінокислоти. тРНК також містить три особливі нуклеотиди, комплементарні до триплету, який кодує транспортовану амінокислоту. Ця послідовність називається **антикодоном**. Молекули тРНК, що мають певний антикодон, зв'язують лише ту амінокислоту, яка кодується відповідним кодоном. Молекула тРНК, сполучена із залишком амінокислоти, називається активованою. У біосинтезі білка виокремлюють кілька етапів.

**Початок синтезу.** Рибосома зв'язує мРНК й поступово просуває її крізь себе, ніби скануючи (схема 8). Таке «сканування» триває, доки не знайдеться кодон АУГ. Він називається **стартовим кодоном**, з нього розпочинається синтез будь-якого білка. Як тільки рибосома знайшла найближчий кодон АУГ, вона зв'язує тРНК з метіоніном (та антикодоном УАЦ). Рибосоми мають три ділян-

Рис. 74. Структура молекули тРНК



❓ Яка із властивостей генетичного коду зумовлена наявністю в тРНК антикодону та приєднанням до неї певної амінокислоти?

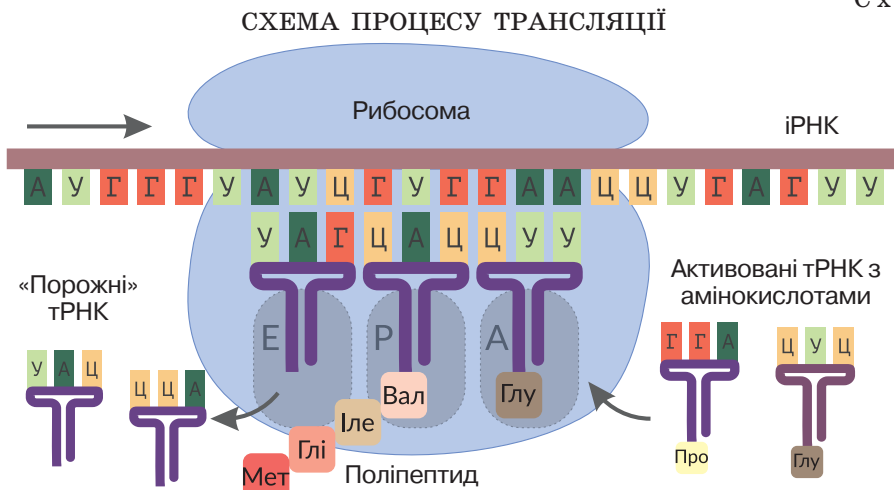
ки для молекул тРНК. Перша зв'язує активовану тРНК, її позначають літерою А. Друга (її позначають латинською літерою Р) зв'язує тРНК із приєднаним поліпептидним ланцюгом. Остання зв'язує «порожню» тРНК, яка прямує на вихід (Е – Exit). На момент початку синтезу ділянки Р і Е ще вільні, А-ділянка зв'язана із тРНК. Далі матрична іРНК зсувається на один триплет. тРНК з А-ділянки пересувається в Р-ділянку. «Порожню» А-ділянку займає нова активована тРНК. Між амінокислотами, приєднаними до тРНК А- і Р-ділянок, утворюється короткий пептид із двох залишків амінокислот.

**Подовження поліпептидного ланцюга.** Молекула мРНК знову зсувається на один триплет. «Порожня» тРНК з Р-ділянки переміщується в Е-ділянку, а тРНК, з якою зв'язаний синтезований поліпептид, переміщується з А-ділянки в Р-ділянку. У цей час порожню А-ділянку займає нова активована тРНК. Комплементарність антикодону тРНК й кодону мРНК забезпечує включення до синтезованого білка лише потрібної згідно з генетичним кодом амінокислоти. Між новою амінокислотою й пептидом Р-ділянки утворюється пептидний зв'язок. мРНК знову зсувається, і цикл повторюється. До пептиду приєднуються все нові й нові амінокислоти.

**Завершення синтезу.** Синтез завершується, коли рибосома дійде до одного зі стоп-кодонів. Цим триплетам не відповідає жодна амінокислота, тобто немає тРНК із відповідними антикодонами. Це значить, що А-ділянка не може бути заповненою, і синтез припиняється. Утворений поліпептид від'єднується від тРНК й рибосоми.

Утворений поліпептид ще не є функціональним білком. Він має набути характерної для нього тривимірної (вторинної, третинної, четвертинної) структури, а також зазнати певних хімічних модифікацій. Такі реакції здійснюються за участі спеціалізованих ферментів. Після цього утворений білок починає виконувати свої функції.

Схема 8



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке трансляція?
2. Які фактори зумовлюють синтез поліпептидного ланцюга?
3. Якою є особливість будови тРНК?
4. Опишіть процес трансляції.
5. Поясніть значення генетичного коду для біосинтезу білка.

## § 22. Подвоєння ДНК

### Згадаємо!

Якою є будова молекули ДНК?

Що таке принцип комплементарності?

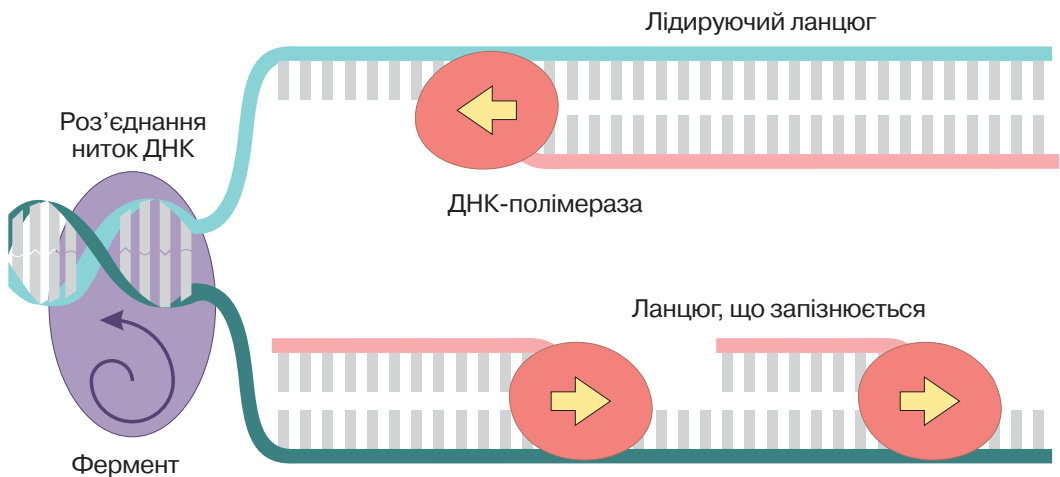
Однією з важливих ознак живого є самовідтворення собі подібних. Самовідтворення зумовлене здатністю живого передавати спадкову інформацію з покоління в покоління. Як ви вже знаєте, спадкова інформація закодована у вигляді послідовності нуклеотидів у молекулі ДНК. Саме збільшення копій цієї молекули і є основою передавання спадкової інформації потомкам.

🟡 **Реплікація** – процес подвоєння ДНК, під час якого на основі однієї молекули утворюються дві її копії.

Реплікація відбувається перед початком поділу клітини, тому що кожна дочірня клітина має отримати копію наборів молекул ДНК. У цьому процесі задіяно багато ферментів, основним з яких є ДНК-полімераза.

**Механізм реплікації.** Реплікація починається зі зв'язування спеціалізованого ферменту з молекулою ДНК. Він роз'єднує дві нитки ДНК, руйнуючи водневі зв'язки між нітрогеновмісними основами нуклеотидів. Інші білки зв'язуються з утвореними поодинокими нитками ДНК, щоб унеможливити їхнє злипання. Далі з кожною ниткою ДНК зв'язується ДНК-полімераза: приєднує комплементарні нуклеотиди, утворюючи між ними ковалентні зв'язки (рис. 75). Основу нитки ДНК формує чергування залишків дезоксирибози та ортофосфатної кислоти. При цьому навпроти «ортофосфатного» кінця одного ланцюга розміщується

Рис. 75. Механізм реплікації

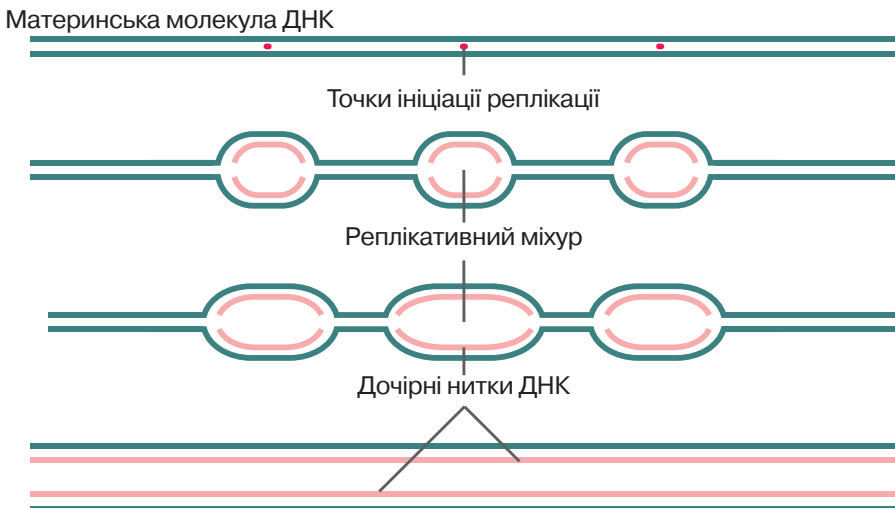


«вуглеводний» кінець іншого, тобто дві нитки ДНК розташовані на протилежних полюсах. Особливість дії ДНК-полімерази полягає в тому, що вона може переміщуватися вздовж молекули ДНК й синтезувати новий ланцюг лише в одному напрямку. Через те під час розплітання спіралі ДНК один ланцюг розплітатиметься в «правильному» напрямку, а інший – у протилежному. Робота ДНК-полімерази в «правильному» напрямку триває постійно. На іншому ж ланцюзі синтез відбувається в напрямку, протилежному до напрямку розплітання. При цьому ДНК-полімераза синтезує короткий фрагмент нової нитки ДНК, потім «перестрибує» до місця розплітання, синтезує новий фрагмент, і цикл повторюється. У міру утворення фрагменти «зшиваються» спеціалізованими ферментами. Ланцюг материнської молекули, на якому безперервно синтезується новий ланцюг, називається лідируючим, а протилежний йому – ланцюгом, що запізнюється.

Оскільки молекули ДНК можуть бути досить довгими, процес реплікації, розпочатий лише з одного кінця, тривав би багато часу. Через це він розпочинається в кількох точках водночас. Від них розплітання та добування нових ланцюгів відбуваються в обидва боки, унаслідок чого формується структура, що називається реплікативним міхуром (рис. 76). Під час «зустрічі» двох таких структур синтезовані нові ланцюги об'єднуються. Урешті-решт утворюються дві молекули ДНК, що є точними копіями материнських.

**Репарація пошкоджень ДНК.** Під дією різноманітних чинників молекули ДНК можуть пошкоджуватися. Оскільки це небезпечно, у клітинах існує механізм захисту. Процес відновлення цілісності структури молекули ДНК після ушкоджень називається **репарацією**. Репарація здійснюється за участю спеціалізованих ферментів. Якщо пошкоджено один ланцюг, то відновлення його структури відбувається за матрицею іншого, цілого. Небезпечнішими є дволанцюгові розриви, а механізми їхньої корекції – складнішими.

Рис. 76. Утворення реплікативних міхурів



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке реплікація?
2. Опишіть механізм реплікації.
3. Поясніть роль ферментів у процесі реплікації.
4. Обґрунтуйте біологічне значення процесу репарації.

## § 23. Клітинний цикл. Мітоз

### Згадаємо!

Що таке конденсація хроматину, хромосома, хроматида, центромера?

Як відбувається нестатеве розмноження?

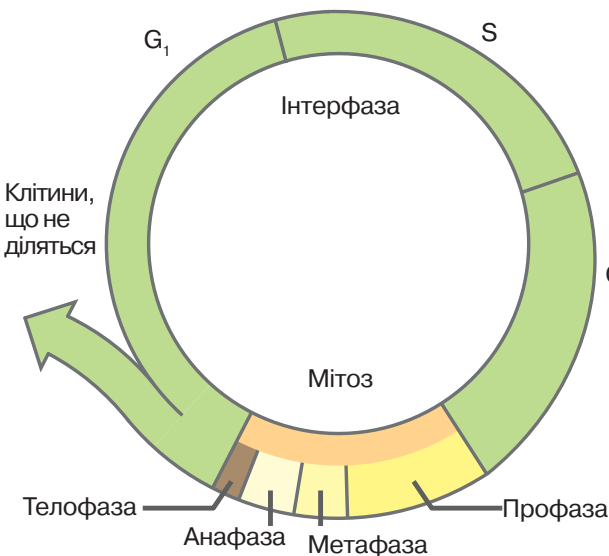
За рахунок чого відбувається ріст?

**Клітинний цикл.** Ви вже знаєте, що розмноження, ріст організмів зумовлені поділом клітин. Клітини можуть знову поділятися, старі ж клітини відмирають.

🕒 Період існування клітини від початку одного поділу до наступного або від початку останнього поділу клітини до її загибелі називається **клітинним циклом**.

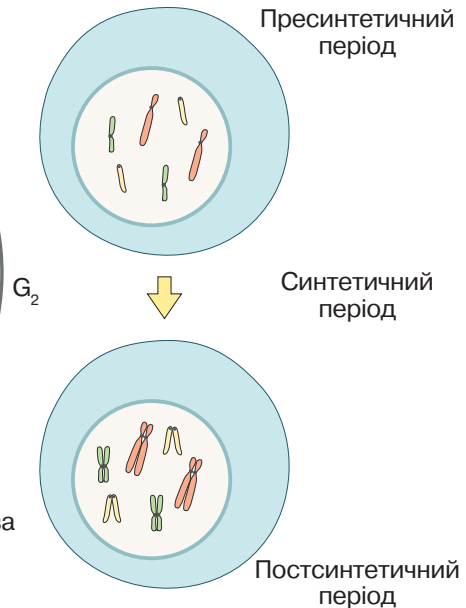
Клітинний цикл складається з власне поділу та **інтерфазу** – періоду від утворення клітини до початку наступного поділу. В інтерфазі виокремлюють три періоди – пресинтетичний, синтетичний та постсинтетичний. Найтриваліший період – пресинтетичний ( $G_1$ ), під час якого клітини ростуть, утворюють потрібні для життєдіяльності речовини, запасують енергію. У цей період збільшується кількість органел клітин. Важливим є синтетичний період (S), під час якого утворюються копії молекул ДНК клітини, тобто відбувається реплікація (рис. 77). Утворені ідентичні дочірні молекули ДНК залишаються сполученими одна з одною. Вони є основою двох хроматид, з'єднаних в області центромери (рис. 78). Крім утворення копій ДНК в клітині відбувається подвоєння центріолей клітинного центру. У постсинтетичний період ( $G_2$ ) тривають накопичення енергії, синтез РНК й білків. Періоди, з яких складається інтерфаза, тривають до 90 % часу всього клітинного циклу.

Рис. 77. Клітинний цикл



❓ Який період інтерфазу триває найдовше?

Рис. 78. Подвоєння ДНК



❓ Поясніть відмінність у будові хромосом у різні періоди інтерфазу.

**Мітоз.** Одним з основних способів поділу еукаріотичних клітин є мітоз.

⚠ **Мітоз** – це спосіб поділу еукаріотичних клітин, за якого з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні, що є її генетичними копіями.

Мітоз поділяють на чотири фази. Існує кілька варіацій цього процесу. Ми розглянемо найтипівішу для тварин.

**Профаза.** Починає конденсуватися хроматин, формуються Х-подібні хромосоми. Центріолі клітинного центру починають розходитися до протилежних полюсів клітини. Формуються мікротрубочки, сукупність яких називається веретеном поділу. Одним кінцем вони сполучені з клітинним центром, іншим – з центромерами хромосом. Кожна хромосома сполучена з обома клітинними центрами. Далі ядерна оболонка розпадається на дрібні мембранні пухирці, зникають ядерця.

**Метафаза.** Унаслідок формування веретена поділу кожна хромосома розташовується на однаковій відстані від клітинних центрів, тобто в серединній, «екваторіальній» площині клітини.

**Анафаза.** Ця фаза є найкоротшою. Парні хроматиди, що утворюють хромосому, розділяються й починають рухатися за допомогою мікротрубочок веретена поділу до різних полюсів клітини. Ви пам'ятаєте, що хроматиди утворені однаковими молекулами ДНК. Через те під час анафази до кожного полюса клітини прямує по одній копії кожної молекули ДНК материнської клітини. Це дуже важливо для рівномірного розподілу генетичного матеріалу між дочірніми клітинами.

**Телофаза.** У заключній фазі дочірні хромосоми, що складаються з однієї хроматиди, досягають двох полюсів клітини. Навколо них формується ядерна оболонка. Далі відбувається поділ цитоплазми та формування двох нових клітин.

**Біологічне значення мітозу** полягає в точному передаванні спадкової інформації від материнської клітини дочірнім. Це основний спосіб збільшення кількості клітин у багатоклітинних організмах.

### ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗ МІТОЗУ (на прикладі клітин кореня цибулі)

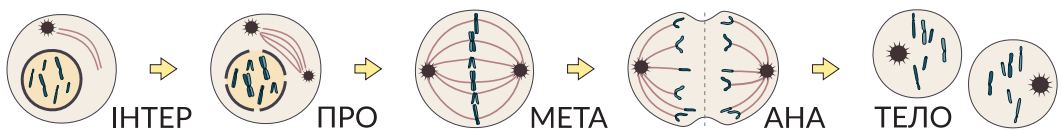
**Мета:** ознайомитися з фазами мітозу на прикладі клітин кореня цибулі.

**Обладнання та матеріали:** мікроскоп, постійний мікропрепарат «Мітоз у корені цибулі».

#### Хід роботи

1. Розгляньте мікропрепарат «Мітоз у корені цибулі» за допомогою мікроскопа.
2. Знайдіть клітини, що перебувають у різних фазах мітозу.
3. Замалюйте клітини в зошиті.
4. Порівняйте з наведеною схемою.

#### Схема мітозу



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке клітинний цикл?
2. Що таке мітоз?
3. Опишіть процеси, що відбуваються під час мітозу.
4. Яке біологічне значення мітозу?

## § 24. Мейоз

### Згадаємо!

Які організми називаються гаплоїдними й диплоїдними?

Мітоз, розглянутий у § 23, – не єдиний спосіб поділу еукаріотичних клітин. Ви знаєте, що багато організмів здатні до розмноження за участі статевих клітин. Статеві клітини, зливаючись під час запліднення, утворюють клітину з характерною для даного виду кількістю ДНК. Тому утворення статевих клітин відбувається внаслідок іншого процесу, який називається мейозом.

🔴 **Мейоз** – тип клітинного поділу, за якого вдвічі зменшується число хромосом (кількість молекул ДНК).

Унаслідок мейозу з диплоїдної клітини утворюються гаплоїдні клітини (схема 9). Гаплоїдні клітини не здатні до поділу такого типу.

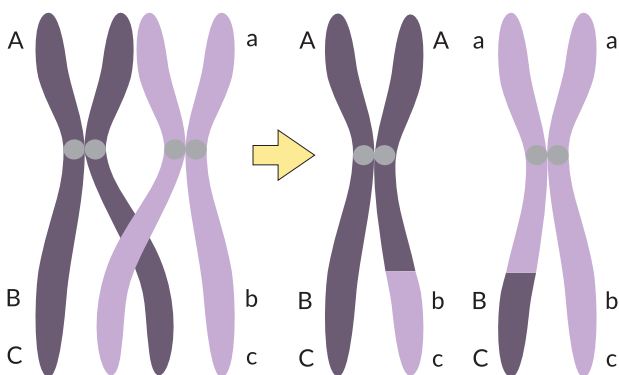
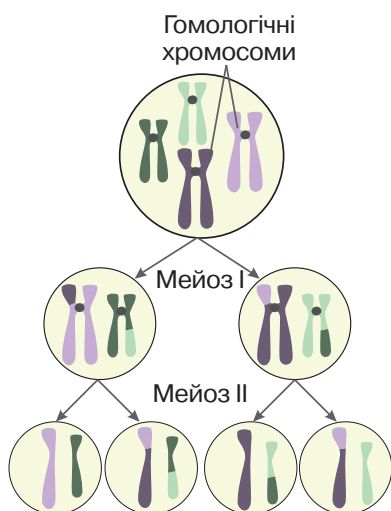
На відміну від мітозу мейоз складається не з одного, а з двох послідовних поділів клітини. В інтерфазі, що передує початку мейозу, як і у випадку мітозу, відбувається реплікація, тобто клітина вступає в мейоз із удвічі збільшеним набором ДНК.

**Перший поділ мейозу.** Профаза I. Як і під час мітозу хроматин починає конденсуватися, формуються X-подібні хромосоми, центріолі клітинного центру починають розходитися до протилежних полюсів клітини, формується веретено поділу, руйнується ядерна оболонка. Важливою відмінністю профазы I є процес, що називається **кросинговером**. Гомологічні хромосоми наближаються одна до одної, після чого відбувається обмін подібними ділянками (рис. 79). Ви знаєте, що хромосоми містять гени, розташовані в певній послідовності. Унаслідок кросинговеру утворюються нові комбінації різних версій генів (на рисунку

Схема 9

Рис. 79. Рекомбінація ДНК під час кросинговеру

### ЗАГАЛЬНА СХЕМА МЕЙОЗУ



Літери А, В, С позначають місця розташування трьох різних генів.

❓ Яка кількість гаплоїдних клітин утворилася в процесі мейозу?

❓ Які зміни відбулися в будові хромосом унаслідок кросинговеру?



ку їх позначено різними літерами – малими й великими) – відбувається **рекомбінація**. Про її значення ви дізнаєтеся під час вивчення наступної теми. Після кросинговеру гомологічні хромосоми з'єднані попарно (рис. 80).

**Метафаза I.** Утворені в профазі I пари гомологічних хромосом «вишиковуються» в екваторіальній площині клітини.

**Анафаза I.** На відміну від мітозу до полюсів поділу розходяться не хроматиди, а цілі хромосоми.

**Телофаза I.** Хромосоми досягають двох полюсів клітини, навколо них, як у мітозі, формується ядерна оболонка. Відбувається поділ цитоплазми й формуються дві нові клітини. Унаслідок рекомбінації дочірні клітини отримують не ідентичні, а дещо різні комбінації генів. Цим мейоз відрізняється від мітозу.

**Другий поділ мейозу.** Після завершення першого поділу дочірні клітини перебувають у короткому періоді спокою, після якого починається другий поділ. Важливим є те, що в цей час молекули ДНК не подвоюються. Другий поділ відбувається аналогічно мітозу.

**Профаза II.** Конденсація хроматину, утворення хромосом, формування веретена поділу, руйнування ядерної оболонки.

**Метафаза II.** Хромосоми розташовані по екватору клітини.

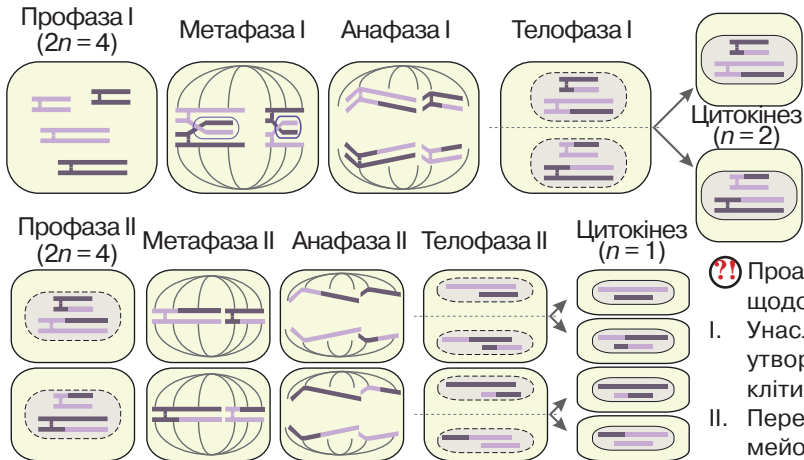
**Анафаза II.** Хроматиди розділяються (тепер вони дочірні хромосоми) і починають рухатися до полюсів поділу.

**Телофаза II.** Формування ядер, поділ цитоплазми.

У результаті описаних процесів формуються чотири клітини з одинарним, гаплоїдним набором хромосом.

**Біологічне значення мейозу** полягає в зменшенні числа хромосом клітини, що необхідно для утворення статевих клітин. Рекомбінація ДНК під час кросинговеру урізноманітнює комбінації генів.

Рис. 80. Фази поділів мейозу



❗ Проаналізуйте твердження щодо мейозу.

- I. Унаслідок процесу мейозу утворюються диплоїдні клітини.
  - II. Перед другим поділом мейозу молекули ДНК подвоюються.
- Яке з них є правильним?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке мейоз?
2. Опишіть процес мейозу.
3. Що таке кросинговер?
4. Порівняйте процеси мітозу й мейозу.
5. Поясніть біологічне значення мейозу.

## § 25. Статеві клітини й запліднення

### Згадаємо!

Що таке статеве розмноження?

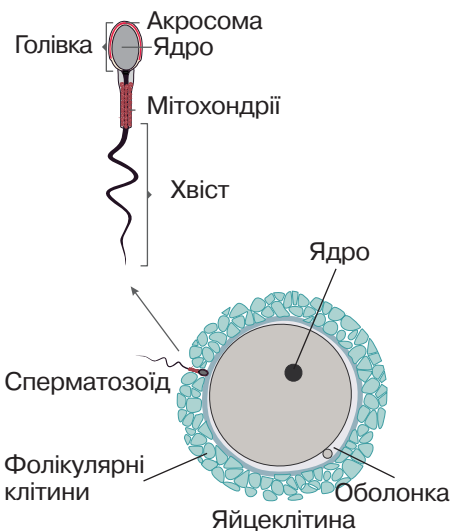
Здатність до самовідтворення – одна з важливих властивостей живого. Найпоширенішим способом розмноження є статеве. Ви вже ознайомилися з типом клітинного поділу, унаслідок якого формуються статеві клітини в більшості організмів.

**Будова статевих клітин.** Різні організми мають специфічні особливості будови таких клітин. Їхньою спільною ознакою є те, що вони мають половинний, гаплоїдний набір хромосом. У найпростішому випадку розмноження здійснюється за участі статевих клітин однакової будови (наприклад, у деяких водоростей). У більшості організмів виділяють різні за будовою чоловічі та жіночі статеві клітини.

Невеликі чоловічі статеві клітини називаються **сперматозоїдами** (якщо вони рухливі) або **сперміями** (якщо вони нерухливі). У ссавців сперматозоїди складаються з голівки, основну частину внутрішнього вмісту якої займає ядро, шийки і хвоста. Основою хвоста є джгутик, що забезпечує переміщення в просторі (рис. 81). У голівці сперматозоїдів ссавців є важлива мембранна органела – акросома. Її вміст заповнений ферментами, потрібними для розчинення захисних оболонок яйцеклітини.

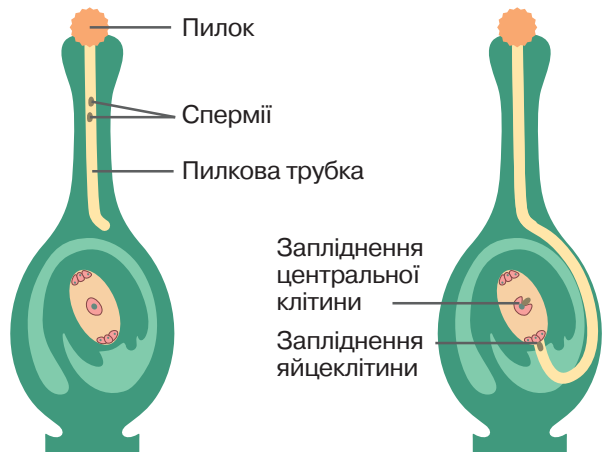
Жіночі статеві клітини називаються **яйцеклітинами**. Вони містять багато цитоплазми, що потрібно для забезпечення організму речовинами та енергією на ранніх стадіях ембріонального розвитку, а деяких організмів – упродовж усього цього періоду. У тварин вони можуть мати додаткові захисні оболонки (див. рис. 81).

Рис. 81. Статеві клітини ссавців



❓ У яких органах тварин утворюються ці клітини? Чому сперматозоїди містять велику кількість мітохондрій?

Рис. 82. Процес подвійного запліднення в покритонасінних рослин



❓ Яку частину організму рослин зображено на рисунку?

**Запліднення.** Статеве розмноження відбувається внаслідок злиття статевих клітин.

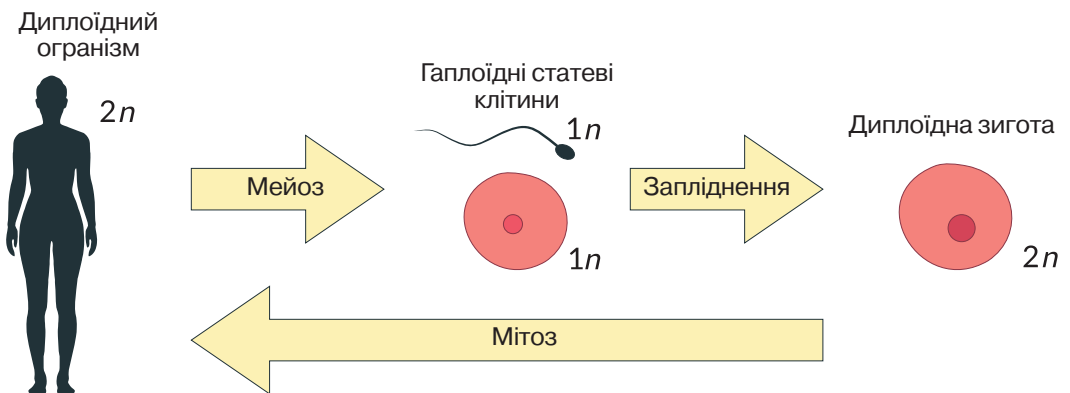
⚠ **Запліднення** – це злиття статевих клітин, результатом якого є утворення зиготи.

Процес запліднення має певні відмінності в різних групах організмів. У деяких рослин (мохи, папороті, хвощі, плауни) сперматозоїди рухаються до жіночих статевих органів, де відбувається злиття з яйцеклітиною. Цей процес потребує вологого середовища. У насінних рослин спермії переміщуються всередині пилкової трубки. Вони досягають зародкового мішка, у якому міститься яйцеклітина. Для покритонасінних рослин характерний процес подвійного запліднення, за якого всередину зародкового мішка проникають два спермії. Один із них зливається з яйцеклітиною, утворюючи зиготу, інший – з центральною клітиною (рис. 82).

У тварин виокремлюють зовнішнє та внутрішнє запліднення. У разі зовнішнього запліднення злиття статевих клітин відбувається поза організмами: типово у водному або вологому середовищі (деякі безхребетні, риби, амфібії). У разі внутрішнього запліднення процес відбувається всередині статевих органів жіночого організму. Воно переважно властиве для тварин, які відкладають яйця (птахи, рептилії) або в яких нові організми розвиваються всередині організмів (ссавці).

**Біологічне значення запліднення.** Обмін хромосомами між різними організмами приводить до утворення нових комбінацій генів, що має важливе значення для забезпечення мінливості, про що дізнаєтеся згодом. У диплоїдних організмів на певному етапі життєвого циклу внаслідок мейозу число хромосом зменшується. У процесі запліднення диплоїдний набір відновлюється, що має значення для підтримання сталості хромосомного набору певного виду. Утворена зигота поділяється мітозом, утворюючи диплоїдні клітини, які формують новий організм (рис. 83).

Рис. 83. Зв'язок процесів мітозу та мейозу на прикладі організму людини



$n$  – кількість хромосом у гаплоїдному наборі; у людини  $n = 23$

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Назвіть статеві клітини.
2. Порівняйте будову статевих клітин.
3. Поясніть взаємозв'язок між будовою та функціями статевих клітин.
4. Що таке запліднення?
5. У чому полягає біологічне значення формування статевих клітин і запліднення?

## § 26. Індивідуальний розвиток організмів

### Згадаємо!

Що таке насінина?

У чому полягає відмінність розвитку амфібій, плазунів і ссавців?

Ви пам'ятаєте, що ознакою живого є здатність до розвитку. Індивідуальний розвиток організму називають **онтогенезом**. Основу онтогенезу становить послідовна реалізація спадкової інформації.

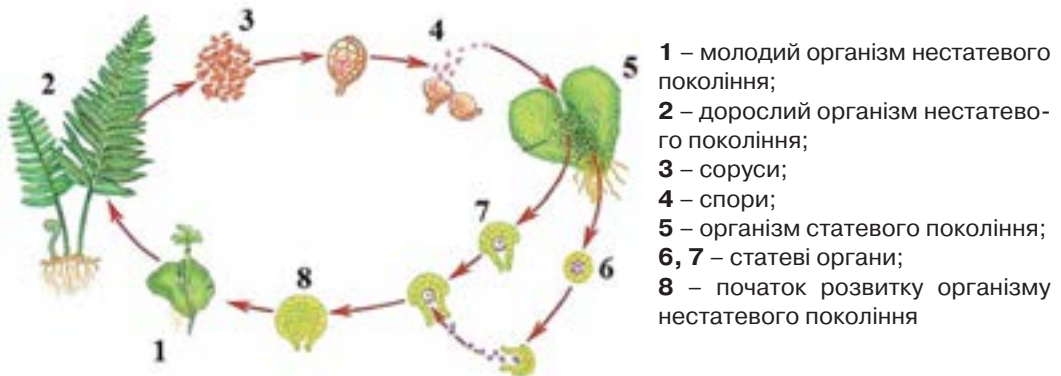
В одноклітинних організмів індивідуальний розвиток визначається тривалістю клітинного циклу – існування організму завершується моментом закінчення процесу поділу клітини.

**Онтогенез багатоклітинного організму.** В онтогенезі багатоклітинних організмів виокремлюють зародковий та післязародковий періоди. **Зародковий**, або **ембріональний**, період розпочинається з утворення зиготи. Зародок може розвиватися в організмі самки (ссавці) або в зав'язі маточок (покритонасінні рослини). Рептилії, птахи відкладають яйця на суходолі, а зародки деяких безхребетних, риб, амфібій розвиваються у воді. Цей період завершується народженням або виходом із зародкових оболонок.

Далі розпочинається **постембріональний**, або **післязародковий**, період. Він може тривати від кількох годин до десятків років і завершується смертю організму.

Унаслідок розвитку організм набуває здатності розмножуватися, тобто давати початок новому поколінню.

Рис. 84. Життєвий цикл папороті



❗️ Проаналізуйте твердження. Чи є поміж них правильні? Обґрунтуйте свою думку.

I. У життєвому циклі переважає статеве покоління.

II. Нестатеве покоління забезпечує розмноження організму.

⚠ Сукупність усіх етапів розвитку, починаючи від зиготи й закінчуючи періодом, коли організм досягає зрілості й може дати початок наступному поколінню, називається **життєвим циклом**.

Розрізняють прості та складні життєві цикли. За простого життєвого циклу покоління не відрізняються одне від одного. Для складних життєвих циклів характерним є закономірне чергування різних поколінь. Прикладом чергування поколінь у рослин може слугувати життєвий цикл папороті. Організми **статевого** покоління утворюють статеві клітини (гамети). У результаті запліднення утворюється зигота, з якої формується рослина наступного, нестатевого покоління. На цій стадії розмноження відбувається шляхом формування спор. Зі спор проростають рослини статевого покоління – цикл замикається (рис. 84). У тварин складні життєві цикли властиві деяким кишковопорожнинним, паразитичним червам тощо. Часто вони пов'язані зі зміною хазяїна, у якому живе паразит. У них також відбувається чергування статевого та нестатевого поколінь.

**Особливості онтогенезу покритонасінних рослин.** Розвиток рослин розпочинається із запліднення, яке відбувається в зародковому мішку. Запліднена центральна клітина зародкового мішка починає ділитися, утворені клітини заповнюють його простір і продовжують рости. З них формується ендосперм – тканина, яка забезпечує живлення зародка під час розвитку. Унаслідок злиття яйцеклітини та спермія формується зигота. Далі розвивається зародок, складовими якого є зародковий корінець, зародковий пагін (брунечка) та сім'ядоля. Стінки насінного зачатка формують насінневу шкірку, яка захищає зародок і запас поживних речовин. Так утворюється насінина (рис. 85). Першим проростає корінець, він забезпечує проросток водою й мінеральними речовинами. Після цього з брунечки розвивається пагін, і в рослині розпочинається фотосинтез (рис. 86).

Рис. 85. Будова насінини

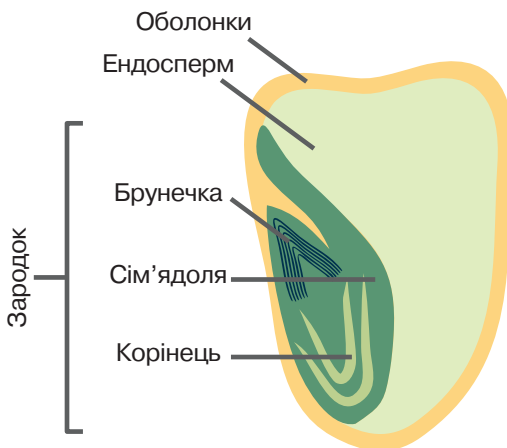


Рис. 86. Проростання насінини



**Особливості онтогенезу хордових тварин.** Перший етап ембріонального розвитку називається **дробленням**. У цей час зигота послідовно ділиться шляхом мітозу. Особливість цього процесу полягає в тому, що під час інтерфази утворені клітини (їх називають **бластомерами**) не збільшуються в об'ємі. Усі утворені клітини зазнають поділу водночас, а тому після першого поділу зародок складається з 2 бластомерів, далі їх стає 4, потім 8, 16 і т. д.

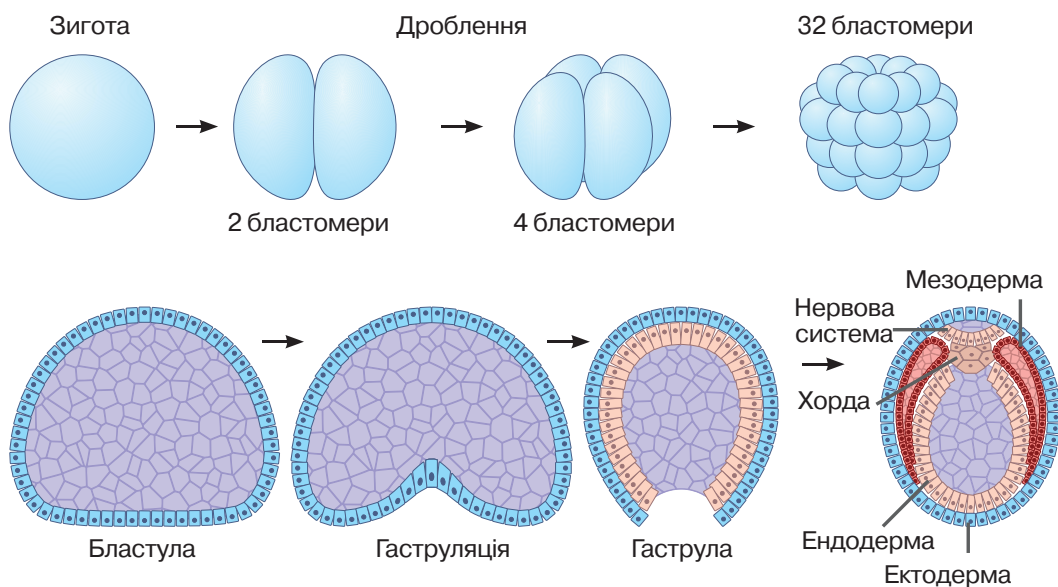
Утворені бластомери врешті-решт розташовуються по периметру сфери. У цей час зародок складається з одного шару клітин, усередині якого є порожнина. Ця стадія називається **бластулою**, а процес її утворення – **бластуляцією**. На наступній стадії зародок стає двохаровим – частина бластомерів формує внутрішній шар. Це може відбуватися в різні способи, один з яких – впинання частини зародка всередину. Ця стадія називається **гаструлою**, а процес – **гаструляцією** (рис. 87).

Утворені шари клітин називаються зародковими листками, зовнішній листок – **ектодермою**, внутрішній – **ендодермою**. Далі частина клітин зародка переміщується між цими двома шарами, формуючи третій зародковий листок – **мезодерму**.

Наступний етап розвитку називається **органогенезом**: формуються органи та системи органів (рис. 87). Різні зародкові листки дають початок різним частинам організму. З ектодерми розвиваються зовнішні покриви та нервова система, з ентодерми – травний канал і дихальна система, а клітини мезодерми утворюють скелет, м'язи та частину внутрішніх органів.

Постембріональний розвиток тварин може бути прямим або непрямим. Унаслідок прямого розвитку із зародка розвивається організм, подібний до дорослої особини, наприклад у птахів і ссавців. У випадку непрямого розвитку після народження (вилуплення) розвивається личинкова форма, яка за будовою та особливостями функціонування може суттєво відрізнятися від дорослої особини. Такі організми можуть мати тимчасові органи, які в міру формування до-

Рис. 87. Етапи ембріогенезу хордових тварин



рослої особини зникають (*пригадайте, яким тваринам властивий розвиток з перетворенням*).

**Регуляція ембріонального розвитку.** Ви вже знаєте, що спадкова інформація записана в структурі молекул ДНК. Розвиток багатоклітинних організмів пов'язаний із спеціалізацією їхніх клітин: вони мають різні будову та функції у складі різних тканин та органів. Регуляція пов'язана із тим, що в різних клітинах функціонують різні гени. Отже, регуляція роботи генів має вирішальне значення для правильного розвитку організмів.

Ви пам'ятаєте, що процес реалізації спадкової інформації розпочинається зі зчитування спадкової інформації з ДНК – транскрипції. Спеціалізовані регуляторні білки – транскрипційні фактори – можуть посилювати або пригнічувати зчитування тих чи інших генів. У свою чергу, спадкову інформацію про будову регуляторних білків містять регуляторні гени. Одні з таких генів, що називаються *хоx*-генами, контролюють загальний план розвитку організмів. Активація одних з таких генів призводить до формування головного кінця тіла, інших – розвитку кінцівок, хвостового відділу тулуба тощо. Цікаво, що будова описаних генів є подібною навіть в еволюційно віддалених груп організмів (рис. 88). Якщо методами генної інженерії замінити *хоx*-ген мушки дрозофіли на еквівалентний ген курки, то розвиток мухи відбуватиметься нормально. Мутації *хоx*-генів призводять до серйозних порушень розвитку. Наприклад, зміна в будові одного з генів дрозофіли спричиняє розвиток на голові пари кінцівок замість нормальних вусиків (рис. 89). Гени із функціями, подібними до *хоx*-генів, є і в рослин.

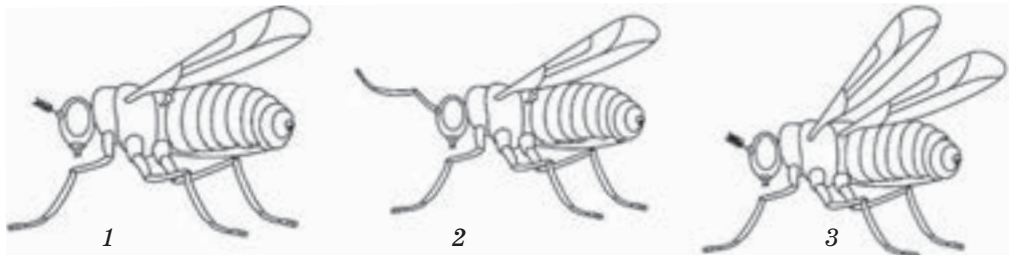
Важливе значення в процесах регуляції розвитку організмів за участі регуляторних сполук має їхня концентрація: їх більше в тих клітинах, де гени, які кодують дані білки, є активнішими. Розвиток тканин відбувається по-різному, залежно від концентрації регуляторних сполук.

Рис. 88. Генетична регуляція загального плану розвитку тіла мухи (а) та ембріона миші (б)



Кольорами позначено деякі гени хромосом мухи та миші, а також ділянки організмів, у яких ці гени є активними. Однакові кольори позначають подібні за структурою гени і ті місця організму, де вони активні. Як бачите, закономірність роботи різних генів є подібною.

Рис. 89. Порушення розвитку мухи внаслідок мутацій у деяких регуляторних генах



1 – норма; 2 – розвиток кінцівок замість вусиків; 3 – розвиток додаткової пари повноцінних крил

## Практична робота

### Розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції

**Мета:** навчитися розв'язувати вправи з реплікації, транскрипції та трансляції; навчитися використовувати схему генетичного коду.

#### ХІД РОБОТИ

**Завдання 1.** Розв'язування вправ з реплікації.

Фрагмент ланцюга ДНК має певну послідовність нуклеотидів.

Напишіть фрагмент ланцюга ДНК, який утворюється в процесі реплікації на цій ділянці ДНК.

- а) Т Ц А Т Г Г Ц Т А Т Г А Г Ц Т А А А Т Г Т  
 б) Ц Т А Г Г Ц Т Т Т А Г Ц Ц Г Т Г Ц Г А Т Г

**Завдання 2.** Розв'язування вправ з транскрипції.

Фрагмент ланцюга молекули ДНК має певну послідовність нуклеотидів.

Напишіть фрагмент молекули мРНК, який утворюється в процесі транскрипції на цій ділянці ДНК.

- а) Ц А Ц А Г Т А А Ц Г А Г Ц Т А Г Г Ц А А  
 б) Г Т Ц Ц Т А Г Т Г Т Ц Г А Т Т Ц А Г Г Т

**Завдання 3.** Визначення будови мРНК за будовою молекули білка.

Фрагмент молекули білка міоглобіну містить амінокислоти, розташовані в такому порядку:

*валін — аланін — глутамінова кислота — тирозин — серин — глутамін*

Напишіть можливий варіант послідовності нуклеотидів фрагмента молекули іРНК, яка кодує цю послідовність амінокислот.

**Завдання 4.** Визначення будови молекули білка за будовою молекули ДНК.

Один із екзонів гена, який кодує один із поліпептидних ланцюгів гемоглобіну, складається з таких нуклеотидів: А Ц Ц А А Т Т Г А Ц Ц А Т Г Г.

Напишіть послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі.

**Завдання 5.** Визначення будови молекули білка за будовою молекули мРНК.

Фрагмент молекули мРНК має таку послідовність: А У Г Г У У Ц У Ц У Ц А.

Напишіть первинну структуру молекули білка, яка транслюється з наведеного фрагмента молекули мРНК.



## Цікавинки

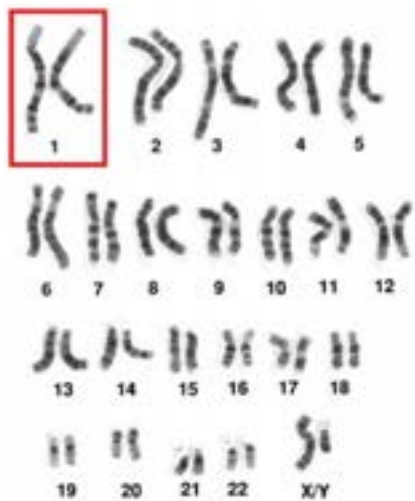
Стоп-кодони генетичного коду мають назви кольорів природних копалин: УАА – вохра, УАГ – бурштин, УГА – опал.



Адерматогліфія — рідкісне генетичне відхилення, пов'язане з мутацією гена SMARCD1. У результаті цієї мутації в людини немає папілярних малюнків на пальцях, долонях і підшвах, що спричиняє неможливість одержання відбитків пальців. У даний час у світі відомо тільки 4 родини з такою спадковою патологією.

До 1998 р. найсучасніше на той час устаткування розшифровувало структуру ДНК зі швидкістю 0,05 – 0,1 млн пар нуклеотидів на рік. При цьому вартість розшифрування однієї пари становила \$ 1–2. Тож на розшифровку всієї інформації, записаної в хромосомах людини, знадобилося б приблизно 30 тис. днів (майже 100 років) і \$ 3 млрд.

Удосконалення технології підвищило продуктивність до 0,1 млн пар нуклеотидів на добу (36,5 млн пар на рік) і зменшило вартість до \$ 0,5 за пару.



У 2003 р. було повідомлено про майже повне розшифрування структури ДНК людини. Нерозшифрованою залишалася лише перша хромосома, найбільша з-поміж усіх.

І от, 17 травня 2006 р. дослідники Інституту Сенгера – геномного дослідницького центру в Англії (Wellcome Trust Sanger Institute) разом з американськими колегами оголосили про закінчення чергового етапу роботи з розшифрування повного геному людини.

Першу хромосому утворюють майже 250 млн пар нуклеотидів (близько 8 % від геному людини). У ній записано інформацію про 2000 генів. Це майже 10 % від усього генотипу.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Збереження та реалізація спадкової інформації»

### ВАРІАНТ I

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Ділянка молекули ДНК, на якій закодована інформація про певну ознаку організму, – це  
А генотип  
Б геном  
В інтрон  
Г ген
2. Процес синтезу молекули білка називається  
А транскрипцією  
Б трансляцією  
В реплікацією  
Г репарацією
3. Молекула ДНК містить триплет АГЦ. Який триплет буде йому комплементарним у молекулі РНК?  
А ТЦГ  
Б УГЦ  
В УЦГ  
Г ТГЦ
4. Який процес зображено на рисунку?  
А транскрипцію  
Б трансляцію  
В реплікацію  
Г репарацію
5. Укажіть органелу, яка забезпечує синтез поліпептидного ланцюга.  
А лізосома  
Б рибосома  
В вакуоля  
Г комплекс Гольджі
6. Парні хроматиди, що утворюють хромосому, розділяються й починають рухатися до різних полюсів клітини в період мітозу, який називається  
А профазою  
Б метафазою  
В анафазою  
Г телофазою



**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Проаналізуйте твердження щодо геномів прокариотичної та еукаріотичної клітин.  
 I. Геном прокариотичної клітини містить більшу кількість генів, ніж еукаріотичної.  
 II. У геномі людини 97 % ДНК не містить інформації про будову білків або РНК.  
 Які з них є правильними?  
 А лише I  
 Б лише II  
 В обидва правильні  
 Г обидва неправильні
8. Укажіть правильну послідовність процесів реалізації спадкової інформації організму.
- |                 |                        |                |
|-----------------|------------------------|----------------|
| А 1 – 2 – 3 – 4 | 1 трансляція           | 2 сплайсинг    |
| Б 3 – 1 – 2 – 1 | 4 функціонування білка | 3 транскрипція |
| В 2 – 4 – 1 – 3 |                        |                |
| Г 3 – 2 – 1 – 4 |                        |                |
9. Прочитайте опис: «Унаслідок мейозу в людини утворюються (1) клітини, що мають (2) набір хромосом». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.
- |              |                |
|--------------|----------------|
| А 1 – дві    | 2 – гаплоїдний |
| Б 1 – дві    | 2 – диплоїдний |
| В 1 – чотири | 2 – гаплоїдний |
| Г 1 – чотири | 2 – диплоїдний |

**Тестове завдання з коротким описом (3 бали)**

10. Схарактеризуйте процес транскрипції за наведеними ознаками.

**Місце, де відбувається**

- 1 ядро
- 2 комплекс Гольджі
- 3 ендоплазматична сітка

**Обов'язковим фактором є наявність**

- 1 ДНК
- 2 тРНК
- 3 рибосом

**Забезпечує синтез молекули**


- 1 ДНК
- 2 мРНК
- 3 білка

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Поясніть значення принципу комплементарності для реалізації спадкової інформації.
2. Схарактеризуйте властивості генетичного коду.

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

- Сукупність ДНК, що міститься в одній клітині, – це
  - генотип
  - ознака
  - геном
  - ген
- Процес синтезу молекули РНК з використанням молекули ДНК як матриці називається
  - транскрипцією
  - трансляцією
  - реплікацією
  - репарацією
- Молекула ДНК містить триплет ТЦА. Який триплет буде йому комплементарним у молекулі РНК?
  - АГТ
  - АГУ
  - ТГА
  - УГТ
- Який процес зображено на рисунку?
  - транскрипцію
  - трансляцію
  - реплікацію
  - репарацію
- Спадкова інформація еукаріотичної клітини зберігається в
  - ядрі
  - рибосомі
  - комплексі Гольджі
  - ендоплазматичній сітці
- Кросинговер відбувається під час
  - транскрипції
  - трансляції
  - мейозу
  - мітозу

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Проаналізуйте твердження щодо геномів прокариотичної та еукаріотичної клітин.
- I. Геном прокариотичної клітини містить меншу кількість генів, ніж еукаріотичної.  
II. Геном еукаріотичної клітини містить лише ядерну ДНК.  
Які з них є правильними?  
А лише I  
Б лише II  
В обидва правильні  
Г обидва неправильні
8. Укажіть правильну послідовність процесів реалізації спадкової інформації організму.
- |                 |                        |                |
|-----------------|------------------------|----------------|
| А 1 – 2 – 3 – 4 | 1 трансляція           | 2 сплайсинг    |
| Б 2 – 3 – 4 – 1 | 4 функціонування білка | 3 транскрипція |
| В 2 – 4 – 1 – 3 |                        |                |
| Г 3 – 1 – 4 – 2 |                        |                |
9. На уроці біології для обговорення процесу поділу клітин клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що внаслідок мітозу утворюються дочірні клітини зі спадковою інформацією, яка тотожна материнській клітині. Друга група зазначила, що таких клітин утворюється чотири. Яка група висловила правильне судження?  
А лише перша  
Б лише друга  
В обидві групи  
Г жодна із груп

**Тестове завдання з коротким описом (3 бали)**

10. Схарактеризуйте процес трансляції за наведеними ознаками.

**Місце, де відбувається**

- 1 ядро  
2 комплекс Гольджі  
3 ендоплазматична сітка

**Обов'язковим фактором є наявність молекули**

- 1 ДНК  
2 іРНК  
3 вуглеводів

**Забезпечує синтез молекули**

- 1 ДНК  
2 мРНК  
3 білка

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Поясніть взаємозв'язок процесів реалізації спадкової інформації.  
2. Поясніть значення відкриття генетичного коду для подальшого розвитку біології.



*Тема 5*

**ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ  
ОЗНАК**



## 3 історії відкриттів

Перші відомості про успадкування ознак одержано з повсякденних спостережень і медичної практики. Багато цінних спостережень за успадкуванням ознак у людей і тварин міститься в наукових, філософських і літературних джерелах давніх і середніх віків. Прості типи успадкування ознак у людини описано задовго до виникнення генетики як науки.

Уже в 1750 р. французький лікар *П'єр Мопертюї* описав характер успадкування полідактилії (збільшення кількості пальців). У 1814 р. *Джон Адамс* опублікував працю, у якій розрізняв спадкові й неспадкові захворювання. Він описував результати близькоспоріднених шлюбів. У випадках виявлення спадкових сімейних захворювань батьки хворої людини часто перебувають у близьких родинних стосунках. Він констатував, що спадкові захворювання не обов'язково виникають одразу після народження дитини, вони можуть проявлятися й пізніше.



Грегор Мендель  
(1822 – 1884)



Томас Хант Морган  
(1866 – 1945), лауреат  
Нобелівської премії  
(1933) «за відкриття,  
пов'язані з роллю  
хромосом у спадковості»

Протягом 1803–1820 рр. кілька лікарів описали тип успадкування гемофілії. А швейцарський лікар-офтальмолог *Йоганн Горнер* у 1876 р. описав тип успадкування дальтонізму (колірної сліпоти).

Батьком генетики вважається австрійський ботанік *Грегор Йоганн Мендель*, який відкрив закономірності успадкування ознак при схрещуванні організмів. У 1866 р. він опублікував результати своєї роботи під назвою «Експерименти із рослинними гібридами». Але інтерес до публікації був незначним. Лише на початку ХХ ст. було усвідомлено важливість висновків Менделя.

У 1900 р. закони Менделя «перевіdkрили» незалежно один від одного відразу троє вчених – *Гуго де Фріз* (Нідерланди), *Карл Корренс* (Німеччина) і *Еріх Чермак* (Австрія). У 1909 р. данський учений *Вільгельм Йогансен* увів поняття *ген*.

Хромосомну теорію спадковості було розроблено в 1910–1915 рр. у працях німецького зоолога *Августа Вейсмана*, американських біологів-генетиків *Т. Х. Моргана*, *Альфреда Штуртеванта*, *Германа Джозефа Меллера* та інших. У ній стверджується, що передавання ознак і властивостей організму від покоління до покоління (спадковість) здійснюється в основному через хромосоми, у яких містяться гени.

У 1944 р. американськими біохіміками встановлено, що носієм властивості спадковості є ДНК.

Відтоді розпочався швидкий розвиток науки, що досліджує основні прояви життя на молекулярному рівні. Тоді ж уперше з'явився новий термін, що позначив назву цієї науки – *молекулярна біологія*.

У 1953 р. було розшифровано структуру ДНК, про що ми вже розповідали. Про значення цих відкриттів та сучасних досягнень у галузі генетики ви дізнаєтеся в наступних параграфах.

## § 27. Генетика як наука: історія та методи

### Згадаємо!

Що таке ген?

У якій молекулі зберігається спадкова інформація?

Здатність організмів зберігати й передавати спадкову інформацію наступним поколінням називається **спадковістю**. Закономірності передавання ознак з покоління в покоління вивчає такий розділ біології, як **генетика**.

**Що досліджує генетика?** Людство здавна цікавило питання спадковості. Це мало важливе практичне значення, адже займаючись розведенням тварин або рослин, людина спиралася на корисні для неї їхні характеристики (урожайність, несучість, особливості поведінки тощо). Завдяки спостереженням було встановлено, що потомки (рослини, малята тварин, діти в людини) здебільшого схожі на батьківські організми (рис. 90). Через те однією з ранніх ідей щодо спадковості було уявлення про перемішування ознак: організми наступних поколінь набувають ніби суміші ознак, властивих батьківським, проявляючи щось середнє. Проте інколи певні характеристики зникали в одного покоління та з'являлися в наступного, і це не можна було пояснити перемішуванням, усередненням ознак.

**Методи генетики.** Відповідь на цю загадку з'явилася лише в ХІХ ст., коли австрійський біолог і дослідник Грегор Мендель провів перші наукові дослідження спадковості. Учений використав **гібридологічний** метод – схрещування організмів з різними ознаками та аналіз їхнього потомства (рис. 91).

Рис. 90. Нащадки повторюють ознаки батьків, але не повністю



Рис. 91. Схема гібридологічного методу



У разі схрещування рослин із фіолетовими й білими квітками утворюються рослини лише з фіолетовими квітками.

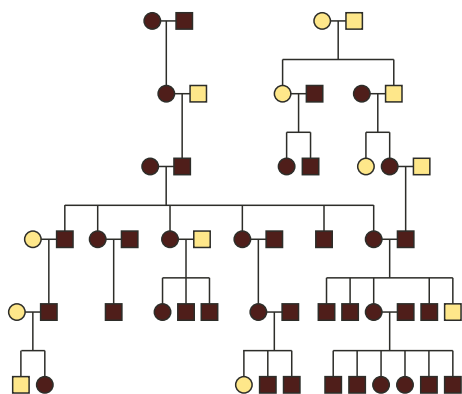


На момент публікації праці Менделя не викликали цікавості. Про них згадали аж на початку ХХ ст., коли інші дослідники повторно відкрили встановлені ним закономірності. Успадкування ознак людини можна вивчати у ряді поколінь, аналізуючи родоводи. Такий метод називається *генеалогічним* (рис. 92). Крім того, можна порівнювати розвиток і ступінь прояву ознак у *близнят*. Через деякий час стало зрозумілим, що носієм спадковості є хромосоми, а саме молекули ДНК. Заглиблення дослідників у цю проблему сприяло створенню молекулярної біології як науки, що пояснює формування ознак функціонуванням різних молекул. З деякими ключовими процесами ви вже ознайомилися.

Сучасні учені можуть читати повну структуру генів (визначати їхню нуклеотидну послідовність), виокремлювати клітини або тканини, у яких ці гени «працюють», визначати їхню роль у функціонуванні організмів і прогнозувати наслідки змін у структурі генів (тобто мутацій) тощо. Методи генетичної інженерії дають змогу змінювати клітини задля набуття організмами корисних для людини властивостей. Медична генетика пояснює причини деяких захворювань людини й уможливорює моделювання шляхів їх лікування. Тобто для розуміння механізмів формування ознак дослідження проводять на клітинному (*цитологічний* метод) або молекулярному (*молекулярно-генетичний* метод) рівнях (рис. 93). З метою розуміння ролі певного гена вчені можуть здійснювати його інактивацію шляхом викликаних мутацій. Зв'язок між існуючими мутаціями, рідкісними ознаками або захворюваннями може бути встановлений шляхом аналізу генетичної структури популяцій організмів (зокрема й людини).

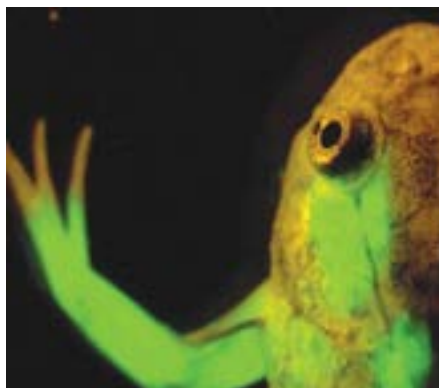
Сукупність перелічених методів є одним із актуальних напрямів сучасної біології.

Рис. 92. Приклад родоводу (генеалогічного дерева)



Квадрати позначають чоловіків, кружки – жінок; темним кольором позначено носіїв ознаки чи захворювання, що цікавить дослідників.

Рис. 93. Результат сучасного молекулярно-генетичного методу



Унаслідок генетичної модифікації м'язові клітини набули здатності світитися зеленим кольором – саме там активний змінений ген.

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке генетика?
2. Схарактеризуйте методи генетичних досліджень.
3. У чому полягає особливість гібридологічного методу?

## § 28. Основні генетичні поняття

### Згадаємо!

Що таке ген?

Що таке гомологічні хромосоми?

Що таке диплоїдні та гаплоїдні клітини?

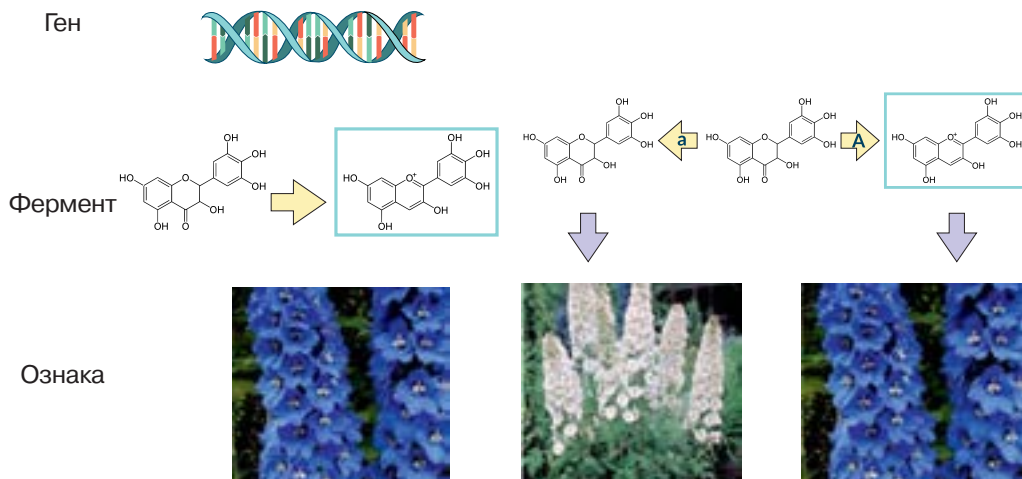
Генетика вивчає закономірності успадкування різних ознак. Ви пам'ятаєте, що одиницею спадковості є **ген**. Сукупність генів певного організму називається **генотипом**, а сукупність ознак організму – **фенотипом**.

**Гени та ознаки.** Ви знаєте, що гени можуть бути структурними або регуляторними. Структурні гени визначають певні одиничні ознаки (наприклад, колір квіток, довжину крил комах, групу крові людини тощо). У найпростішому випадку один ген визначає одну ознаку (рис. 94). Регуляторні гени впливають на активність інших генів – інших регуляторних або структурних. Зрозуміло, що вони також зумовлюють певні ознаки, але їхній прояв зазвичай є складнішим.

**Гени та алелі.** Місце розташування певного гена в хромосомі називається локусом. У диплоїдних організмів кожна хромосома, окрім статевих, має подібну за структурою (але не ідентичну) парну хромосому. Такі парні хромосоми називаються гомологічними. Вони містять однаковий набір генів, локуси яких розташовані в однакових послідовностях. Отже, кожний організм має дві копії кожного гена (окрім тих, що розташовані в статевих хромосомах; про них дізнаєтесь згодом). Одна з них надходить від батьківського, а інша – від материнського організму. Нуклеотидні послідовності копій генів, розташованих в одному локусі гомологічних хромосом, можуть дещо різнитися. Такі варіанти генів

Рис. 94. Принцип формування кольору квітки в рослині

Рис. 95. Алельні версії гена, що визначає колір квітки



Ген кодує фермент, що каталізує перетворення безбарвної речовини (ліворуч) на забарвлену (праворуч), наявність якої у вакуолях визначає колір пелюсток.

Домінантний алель кодує фермент, що сприяє перетворенню безбарвної речовини на синю; рецесивний алель залишає безбарвну сполуку без змін, пелюстки не мають кольору.

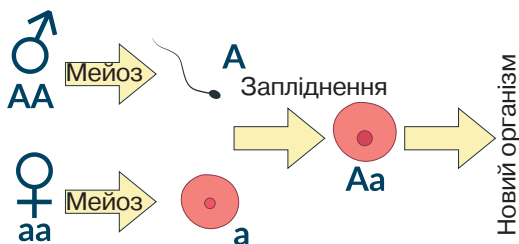
називаються **алелями**. Різні алелі зумовлюють розвиток різних варіантів однієї ознаки – наприклад синій чи білий колір пелюсток квітки (рис. 95).

Яким же буде фенотип організму, що має два різні алелі? У більшості випадків проявлятиметься лише один з двох можливих варіантів ознаки. Така версія ознаки називається **домінантною**, а інша, пригнічена – **рецесивною**.

**Генотипи й фенотипи.** Для запису генотипів найчастіше користуються латинськими літерами. Домінантні алелі позначають великими (наприклад, А), а рецесивні – малими (а). Отже, генотип певного організму (за одним геном) складатиметься з двох алелів, які будуть позначатися парою літер. Організм, який має два однакові алелі, називається **гомозиготним**, а який має два різні – **гетерозиготним**. Гомозиготи можуть бути доміантними (АА) або рецесивними (аа). Генотип гетерозиготних організмів – Аа (рис. 96). Домінантний фенотип може бути в доміантних гомозигот або гетерозигот. Рецесивна ознака проявляється лише в рецесивних гомозигот.

**Схеми схрещування.** Для визначення особливостей успадкування ознак можуть проводитися експериментальні схрещування (рис. 97). Організми, які мають певний варіант досліджуваної ознаки, і чий потомки проявляють цю ж ознаку з покоління в покоління, називаються чистою лінією. Схрещуючи особини, що належать до різних ліній, дослідники отримують **гібриди**. Під час подальшого схрещування гібридів між собою отримують гібриди другого покоління. Дослідниць та дослідників може цікавити один ген або кілька різних. У першому випадку схрещування називається моногібридним. Якщо вивчають два гени водночас, то таке схрещування називатиметься дигібридним, кілька – полігібридним. Різні гени позначають різними літерами. Наприклад, організм, гетерозиготний за двома генами, матиме генотип АаВв. Він проявлятиме доміантні ознаки, зумовлені генами А і В.

Рис. 96. Генотип наступного покоління формується в процесі розмноження



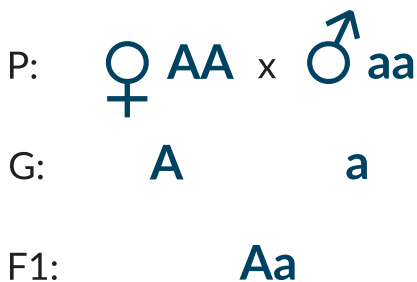
У результаті мейозу утворюються гамети з гаплоїдним набором хромосом; у результаті запліднення утворюється зигота з диплоїдним набором хромосом. З неї розвивається новий організм.

**?** Які ознаки (домінантні або рецесивні) мають батьківські організми та отримані гібриди?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення понять *генотип*, *фенотип*, *алель*, *гомозигота*, *гетерозигота*.
2. Як формується генотип наступного покоління?
3. Поясніть прийоми запису схем схрещування організмів.
4. Що таке гомо- та гетерозигота?

Рис. 97. Генетичний запис схеми схрещування двох гомозигот



P – батьківське покоління (особини різної статі позначають символами Марса та Венери); G – гамети; F1 – гібриди першого покоління.

## § 29. Закони Менделя

### Згадаємо!

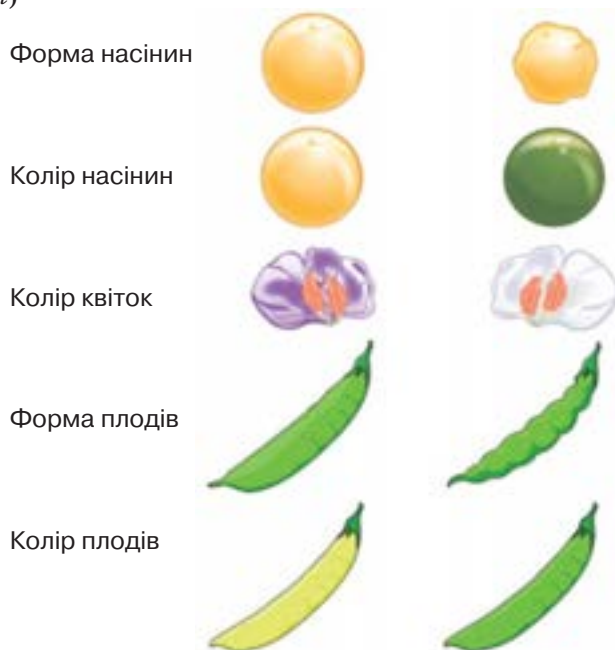
Що таке гени, хромосоми та мейоз?

Як утворюються статеві клітини?

Грегор Мендель установив основні закономірності спадковості, схрещуючи рослини й спостерігаючи за проявом їхніх ознак. Установлені ним закономірності відомі як **закони Менделя**.

**Перший закон.** Одним із видів, що слугував досліднику об'єктом для експериментів, був горох посівний. Ця рослина має багато зручних для аналізу зовнішніх ознак (рис. 98). Однією з вибраних ученим ознак був колір насіння. Горох має дві форми – із жовтим і зеленим насінням. Для експериментального схрещування було вибрано відповідні чисті лінії – жовту та зелену. Виявилось, що всі нащадки від такого схрещування завжди мали жовте насіння. Іншими словами, варіант ознаки одного з батьків завжди пригнічував варіант іншого. Така ознака називається домінантною. Описана закономірність відома як **перший закон Менделя**, або **закон одноманітності гібридів першого покоління**: у першому поколінні гібридів від схрещування гомозигот із домінантною та рецесивною ознаками виявляється лише домінантна ознака. Ви вже знаєте те, чого не знав Мендель, а саме – як формування ознак пов'язане з генами й хромосомами. Чисті лінії є генетично одноманітними щодо аналізованої ознаки, оскільки з покоління в покоління стійко проявляють лише один її варіант. Рослини чистої лінії із жовтим насінням

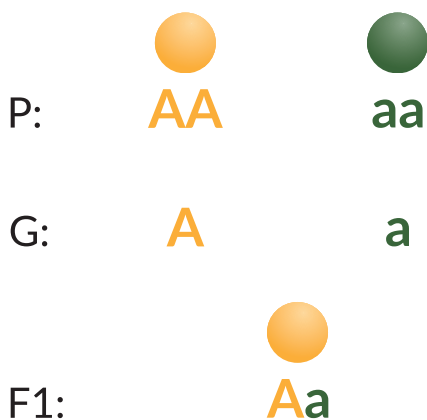
Рис. 98. Ознаки гороху, що успадковуються за менделівськими законами (домінантні – ліворуч)



мають два домінуючі алелі, їхній генотип – АА, вони є домінуючі гомозиготними (рис. 99, Р). Рослини чистої лінії із зеленим насінням мають два рецесивні алелі, їхній генотип – аа, вони є рецесивно гомозиготними (див. рис. 99, Р). Унаслідок мейозу гомозиготні організми утворюють гамети, що містять лише властивий їм алель (рис. 99, G). Отже, домінуючі гомозиготні організми утворюватимуть винятково гамети з генотипом А, натомість рецесивно гомозиготні організми – гамети з генотипом а. Об'єднання їх у результаті запліднення приведе до формування гетерозиготного організму з одним домінуючим й одним рецесивним алелями (рис. 99, F1). При цьому організм проявлятиме лише домінуючу ознаку. Це і є поясненням першого закону Менделя.

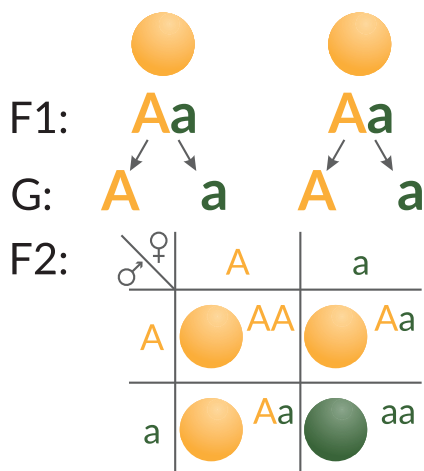
**Другий закон.** Що ж відбудеться, якщо схрестити отримані гібриди першого покоління? На відміну від гомозигот гетерозиготні організми (Аа) утворюють гамети двох різних типів: з алелями А й а в співвідношенні 50 : 50 (рис. 100, G). Для того щоб визначити, яким буде покоління від схрещування таких організмів, будують таблицю, що називається решіткою Пеннета (рис. 100, F2). У заголовках її стовпців і рядків записують генотипи гамет, що їх продукують батьківські організми аналізованого схрещування. У комірках таблиці записують генотипи, отримані об'єднанням цих гамет. Як бачимо, у разі схрещування гетерозиготних організмів 25 % гібридів другого покоління будуть домінуючими гомозиготами, 50 % – гетерозиготами і ще 25 % – рецесивними гомозиготами. Оскільки всі організми, які мають хоча б один домінуючий алель, проявляють домінуючу ознаку, жовтий колір насіння матимуть 75 % гібридів другого покоління, а решта 25 % будуть зеленими. Інакше кажучи, у поколінні, отриманому під час схрещування гібридів F1 (усі з жовтим на-

Рис. 99. Перший закон Менделя



- ❓ Проаналізуйте результати схрещування.
- Організми з якими ознаками (фенотипами) утворюються?
  - Який генотип гібридів першого покоління?
  - Нащадки є гомозиготними чи гетерозиготними організмами за даною ознакою?

Рис. 100. Другий закон Менделя



- ❓ Проаналізуйте результати схрещування.
- Організми з якими ознаками (фенотипами) утворюються?
  - Які генотипи гібридів другого покоління?

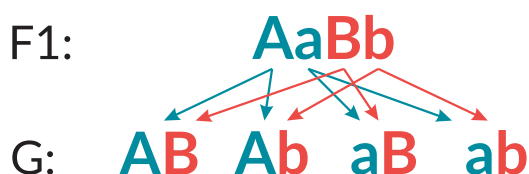
сінням), відбудеться розщеплення за фенотипом: частина покоління проявлятиме домінуючу ознаку, а частина – рецесивну. Співвідношення між кількістю організмів, які мають різні варіанти ознаки, становитиме 3 : 1 на користь домінуючої. Цю закономірність називають **законом розщеплення**. Вона свідчить про те, що рецесивні ознаки не зникають під дією домінуючих, а лише «приховуються» і можуть проявитися в наступних поколіннях.

**Третій закон.** Уявно відтворивши експерименти Менделя, ми простежили за характером успадкування однієї з багатьох ознак гороху. Наступним завданням було встановлення особливостей успадкування двох ознак водночас. Він схрестив два організми, що різнилися не лише кольором насіння, а й формою. Один з батьківських організмів мав жовте гладеньке насіння, інший – зелене зморшкувате. Отримані в результаті схрещування гібриди першого покоління були одноманітними: їхнє насіння було жовтим і гладеньким. Зрозуміло, це є свідченням домінуючості даних версій ознак. Позначивши, як і раніше, ген, що відповідає за колір, літерою А, а ген, що відповідає за форму насіння, – літерою В, запишемо схему цього схрещування (рис. 101). Якими ж будуть фенотипи рослин, отриманих у результаті схрещування гібридів першого покоління? Схема цього схрещування має складнішу структуру. Ви пам'ятаєте, що на відміну від гомозигот гетерозиготні організми продукують гамети різного типу – із різними алелями. Парні алелі (наприклад, А і а) містяться в різних хромосомах однієї пари. Під час формування статевих клітин кожна з них отримує лише одну хромосому із пари. Якщо локуси генів А і В містяться в різних парах хромосом, то різні комбінації алелів цих генів утворюються під час мейозу випадковим чином (рис. 102).

Рис. 101. Дигібридне схрещування двох гомозигот



Рис. 102. Формування гамет у дигетерозиготного організму



Організм із генотипом AaBb продукуватиме гамети чотирьох різних типів у співвідношенні 1 : 1 : 1 : 1, тобто по 25 %. На основі цієї інформації можна заповнити решітку Пеннета (рис. 103). У результаті такого схрещування утворюються організми з усіма можливими варіантами ознак. При цьому найбільша частка припадатиме на носіїв обох домінуючих ознак ( $9/16$ ). Однаковою є кількість організмів, що є домінуючими лише за кольором або лише за формою насіння (по  $3/16$ ). Найменшою ж є частка рослин, що мають обидві рецесивні ознаки ( $1/16$ ). Отже, усього є чотири варіанти фенотипів, а співвідношення між ними становить 9 : 3 : 3 : 1 (див. рис. 103). Так, різні варіанти двох ознак розподіляються між потомками незалежно одна від одної. Цю закономірність називають **законом незалежного успадкування ознак**. Важливо, що для його справедливості локуси аналізованих генів мають розташовуватися в різних хромосомах.

**Аналізуюче схрещування.** Ви вмієте визначити фенотип організму за його генотипом. Але інколи перед дослідниками та дослідницями постає протилежне завдання – визначити генотип організму з певним фенотипом. Якщо він має рецесивну ознаку, то відповідь однозначна: це рецесивна гомозигота (aa). Невизначеним є генотип організму з домінуючою ознакою: він може бути домінуючою гомозиготою (AA) або гетерозиготою (Aa). Для того щоб відповісти на поставлене запитання, проводять схрещування з рецесивною гомозиготою (рис. 104). Наявність серед гібридів розщеплення за фенотипом є ознакою гетерозиготності організму, чий генотип потрібно проаналізувати.

Відповідно до законів Менделя успадковується велика кількість ознак, у тому числі й у людини, тому знання й уміння застосовувати їх мають важливе значення.

Рис. 103. Генотипи та фенотипи гібридів другого покоління

















F1	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB 	AABb 	AaBB 	AaBb 
Ab	AABb 	Aabb 	AaBb 	Aabb 
aB	AaBB 	AaBb 	aaBB 	aaBb 
ab	AaBb 	Aabb 	aaBb 	aabb 

Рис. 104. Принцип проведення аналізуючого схрещування

P:	AA x aa	Aa x aa
G:	A a	A a a
F1:	Aa (100%)	Aa aa (50%) (50%)

**(?)** Проаналізуйте результати схрещування гібридів у разі дигібридного схрещування.

1. Організми з якими ознаками (фенотипами) є нащадками гібридів першого покоління?
2. Полічіть кількість організмів з однаковими фенотипами.
3. Яким є співвідношення між рослинами з домінуючим та рецесивним варіантами кожної з ознак?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. У чому полягає сутність досліджень Г. Менделя?
2. Опишіть схеми схрещування, унаслідок яких було встановлено закони Г. Менделя.
3. Сформулюйте третій закон Менделя.
5. Що таке аналізуюче схрещування?

## § 30. Неменделівське успадкування ознак

### Згадаємо!

Які є групи крові людини?

За якої умови проявляється третій закон Менделя?

Незважаючи на важливість законів Менделя, вони справедливі для успадкування не всіх ознак. У цьому та наступному параграфі ми розглянемо, що спричиняє відхилення від установлених ученим закономірностей.

**Взаємодія алельних генів.** Деякі з цих відхилень зумовлені взаємодією алелів одного гена.

**Неповне домінування.** Раніше ми розглядали лише один варіант взаємодії алелів – повне домінування, коли домінантний повністю пригнічує рецесивний. Проте в деяких випадках гетерозиготні організми проявляють ознаку, що є проміжною між домінантною та рецесивною. Наприклад, у ротиків садових під час схрещування рослин з червоними та білими квітками утворюються гібриди з рожевими квітками. У гібридів другого покоління при цьому спостерігатимуться червоні, рожеві та білі квіттки у співвідношенні 1 : 2 : 1, що відповідає співвідношенню між носіями різних генотипів (рис. 105). Такий спосіб успадкування ознаки називається неповним домінуванням.

**Кодомінування** – це тип взаємодії, за якої результатом поєднання двох різних алелів є новий варіант ознаки. Прикладом цього є успадкування людиною IV групи крові за системою АВ0 (рис. 106). У цьому випадку до-

Рис. 105. Неповне домінування в разі успадкування кольору квіттки ротиків садових

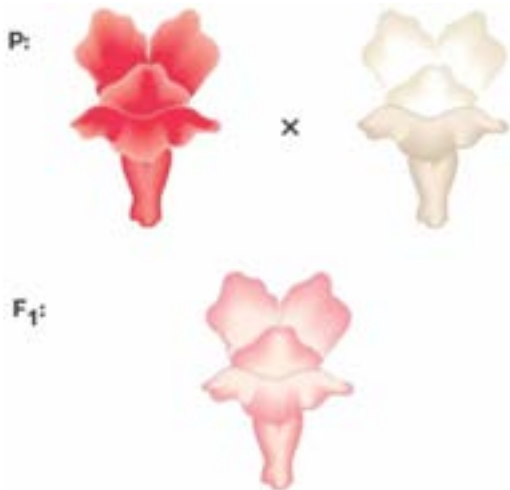
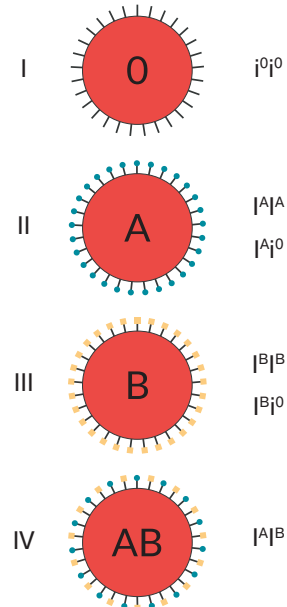


Рис. 106. Схематична будова еритроцитів і можливі генотипи людей із різними групами крові





мінантним гомозиготам, рецесивним гомозиготам та гетерозиготам відповідатимуть три (а не два, як за повного домінування) різні фенотипи. Ви пам'ятаєте, що в цій системі виокремлюють чотири групи крові, які позначають відповідними числами або ж літерами: I (0), II (A), III (B), IV (AB). Прояв цієї ознаки пов'язаний із наявністю на поверхні еритроцитів певних антигенів. Їх є два типи – A і B.

Відсутність антигенів відповідає першій (або нульовій) групі, наявність одного з них – II та III групі, а одночасна наявність антигенів обох типів зумовлює появу нової ознаки – IV групи. На генетичному рівні ця ознака контролюється одним геном, у якого існує три (а не два, як ми раніше розглядали) алелі. Позначимо їх літерою I з різними індексами:  $i^0$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ . Кожен організм має два алелі цього гена. Усього існує шість різних попарних комбінацій, тобто можливими є шість різних генотипів. Між алелями  $I^A$ ,  $I^B$  та алелем  $i^0$  спостерігається повне домінування, тобто генотипам  $I^A i^0$  та  $I^B i^0$  відповідатимуть групи крові A і B відповідно (саме тому алель  $i^0$  позначено маленькою літерою: щоб підкреслити його рецесивність). А в разі одночасної наявності алелів  $I^A$  та  $I^B$  проявлятиметься не один з них, як можна було б очікувати за повного домінування, а обидва.

**Летальна дія гена.** Залежно від функцій, що їх виконує білковий продукт певного гена, зміни в його структурі можуть по-різному впливати на функціонування організму. У деяких випадках кодовані генами білки є настільки важливими, що мутації в них спричиняють загибель організму-носія. Прикладом є порода Менських кішок, головною характеристикою яких є відсутність хвоста (рис. 107). За цю ознаку «відповідає» алель одного з генів. У гомозиготному стані цей алель призводить до загибелі організму. У гетерозиготному стані він проявляється розвитком укороченого хвоста й низ-

Рис. 107. Менська кішка



кою інших особливостей розвитку. Тож породисті кішки можуть бути лише гетерозиготними. У разі їх схрещування 25 % гібридів будуть домінантними гомозиготами (загинуть під час внутрішньоутробного розвитку), 50 % – гетерозиготами (породистими), і ще 25 % – рецесивними гомозиготами (звичайними за виглядом кішками). Тобто серед народжених кошенят співвідношення породистих і безпородних становитиме 2 : 1, що не відповідає другому закону Менделя.

**Взаємодія неалельних генів.** Наступні приклади стосуються відхилення від менделівського успадкування, зумовлених взаємодією генів, розташованих у різних локусах.

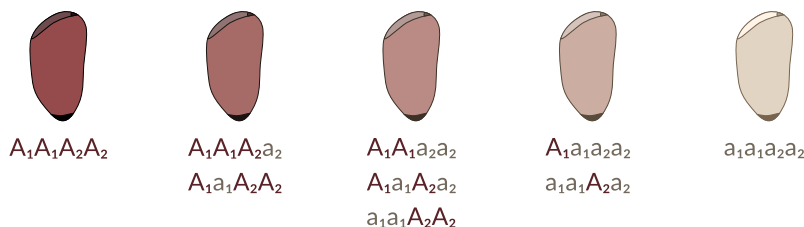
**Епістаз** – тип взаємодії неалельних генів, за якого домінантний алель одного гена пригнічує прояв іншого гена. Так, в одного з видів первоцвіту синій колір квіток визначається наявністю відповідного пігменту, що його синтезує продукт певного гену (А). Рецесивний алель цього гена відповідає за синтез неробочого ферменту, й у рецесивних гомозигот (аа) квітки лишаються білими. Інший ген у домінантному стані (В) кодує білок, що блокує діяльність ферменту А (рис. 108). Отже, щоб сформувалася квітка синього кольору, потрібно, щоб ген А був у домінантному стані й водночас ген В, навпаки, – у рецесивному.

**Полімерія** – взаємодія неалельних множинних генів, що однонаправлено впливають на розвиток тієї самої ознаки, ступінь прояву якої залежить від кількості генів. Полімерні гени позначаються однаковими літерами, а алелі одного локусу мають однаковий нижній індекс. Як правило, за таким принципом успадковуються кількісні ознаки: колір шкіри, маса, зріст тощо (рис. 109). Буває також інший тип полімерії, за якого наявність ознаки визначається хоча б одним домінантним алелем у будь-якому з локусів кількох генів.

Рис. 108. Формування кольору квіток примули



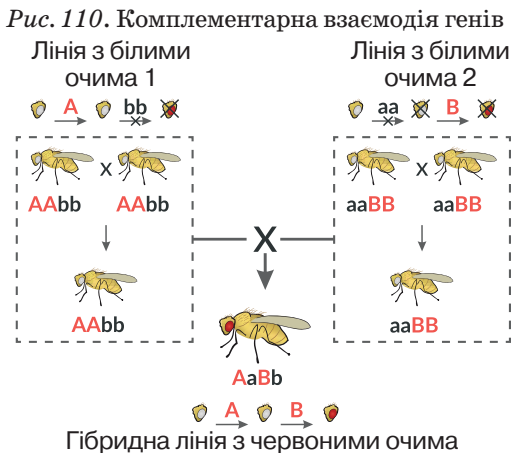
Рис. 109. Приклад полімерного успадкування кольору насіння



За ознаку відповідають два гени, її прояв залежить від сумарної кількості домінантних алелів і не залежить від локусу.

**Комплементарність** – тип взаємодії неалельних генів (розташованих у різних локусах), за якої необхідною умовою прояву певної ознаки є одночасна наявність у кожному локусі хоча б одного домінантного алеля. При цьому наявність домінантних алелів лише в одному локусі не призведе до появи цієї ознаки. Наприклад, у мухи дрозофіли є дві форми: з білими й червоними очима. Червоний пігмент утворюється внаслідок перетворення безбарвної речовини посередника, у якому беруть участь два різні ферменти, що кодуються двома генами. Кожен з цих генів має дві алельні версії: домінантну, що кодує робочий фермент (А і В), та рецесивну, що кодує непрацездатний білок (а або b). Ви пам'ятаєте, що ферментативні реакції в клітинах часто відбуваються послідовно – продукт однієї реакції є субстратом для іншої. Тому «вимкнення» хоча б одного з ферментів такого ланцюга порушить утворення кінцевого продукту, яким у даному випадку є червоний пігмент. Для його формування потрібна послідовна дія двох ферментів, тобто одночасна наявність двох домінантних алелів (рис. 110). Генотип червоноокої мухи має бути А\_В\_ (де «\_» позначає будь-який алель відповідного гена).

**Множинна дія гена** полягає в одночасному контролі одним геном кількох різних ознак. Як правило, це властиво для генів, які кодують ферменти, що беруть участь у здійсненні надзвичайно важливих для функціонування організмів реакцій. Неправильний їх перебіг водночас позначається на багатьох процесах і функціях. Одним з прикладів цього є синдром Марфана (рис. 111). Його причиною є домінантна мутація в гені, що кодує один з білків сполучної тканини. Неправильна структура гена спричиняє порушення в структурі цієї тканини. Через те у хворих на синдром Марфана проявляється комплекс різних симптомів: подовжені кінцівки, витягнуті пальці, дефект будови кришталика ока та кровоносної системи.



*Рис. 111.* Патологічна довжина пальців характеризує синдром Марфана



Результати археологічних досліджень свідчать, що синдром Марфана був у єгипетського фараона Аменхотепа IV.

**?** Використовуючи додаткову літературу та інтернет-ресурси, наведіть приклади прояву множинної дії генів.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке неповне домінування та кодомінування?
2. У чому проявляється летальна дія гена?
3. Назвіть типи взаємодії неалельних генів.
4. Опишіть приклади проявів взаємодії неалельних генів
5. Що таке множинна дія генів?

## § 31. Зчеплене успадкування

### Згадаємо!

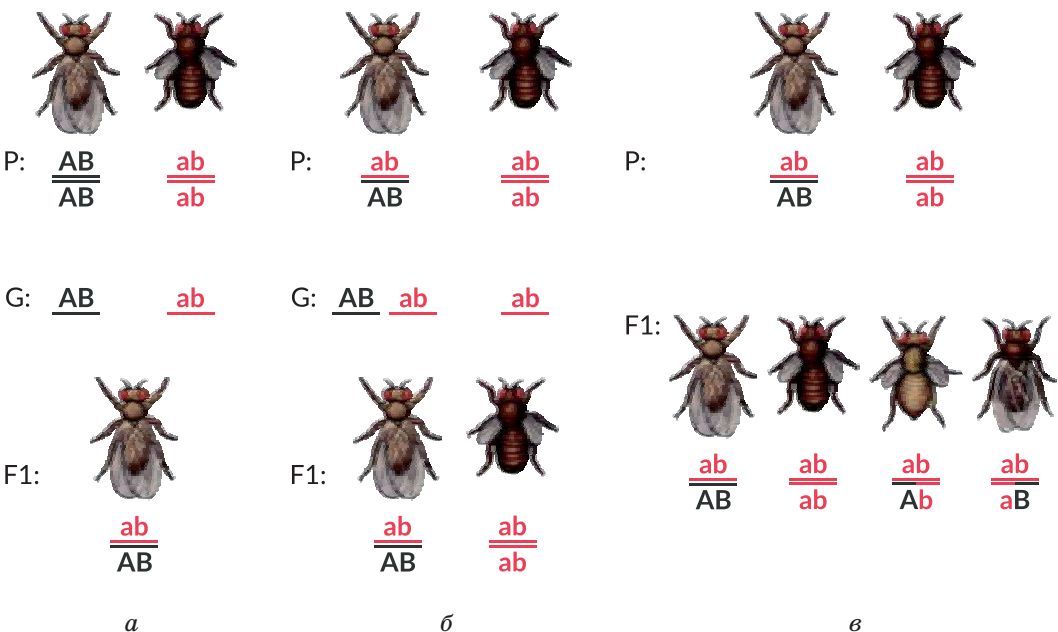
Що таке мейоз та кросинговер?

Що таке первинні й вторинні статеві ознаки людини?

Досі ми з вами розглядали успадкування генів, локуси яких розташовані в різних хромосомах. Під час формування статевих клітин у процесі мейозу хромосоми передаються як одна цілісна одиниця. Тобто всі алелі, що містяться в одній хромосомі, передаються від батьківського до наступного покоління єдиною групою (а не по одному гену). Така особливість називається **зчепленим успадкуванням**. Успадкування ознак, зумовлених зчепленими генами, відбуватиметься не незалежно, тобто за іншим законом.

**Феномен зчепленого успадкування** та його закономірності установив американський біолог Томас Морган. Об'єктом його досліджень була муха дрозофіла. У неї всього 4 пари хромосом, у яких містяться близько 14 000 генів. Це означає, що велика кількість ознак має успадковуватися зчеплено. Морган вибрав дві: колір тулуба (сірий – домінуючий, чорний – рецесивний) та довжину крил (нормальна – домінуюча, недорозвинуті – рецесивна). Локуси генів, що відповідають за наведені ознаки, містяться в одній хромосомі й позначаються АВ (рис. 112, а). Схрестивши сіру муху з нормальними крилами та чорну із недорозвиненими, він отримав гібриди, які мали обидві домінуючі ознаки (див. рис. 112, а). Наступне схрещування було проведено з організмом, гомозиготно рецесивним за обома генами.

Рис. 112. Схема схрещувань, які проводив Морган

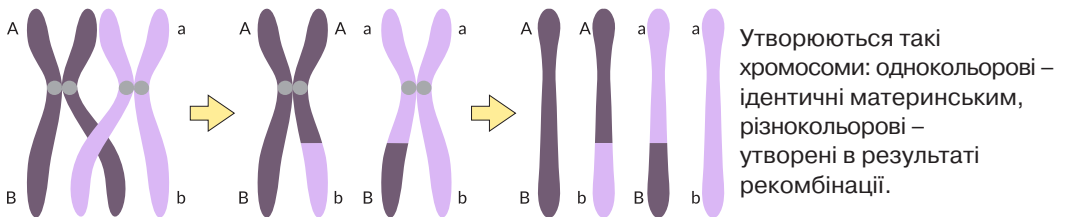


Утворений у результаті попереднього схрещування гібрид має дві хромосоми: в одній містяться два домінуючі алелі, в іншій – два рецесивні (рис. 112, б). Гомозиготний організм продукує лише один тип гамет. Отже, можна було б очікувати в поколінні від наступного схрещування появу мух із двома фенотипами – сірих з довгими крилами й чорних з короткими крилами у співвідношенні 1 : 1 (див. рис. 112, б). Але реальність виявилася дещо іншою: крім описаних двох фенотипів з'явилися мухи із сірим тілом і короткими крилами, а також із чорним тілом та нормальними крилами (рис. 112, в). У таких мух мають бути хромосоми з алелями (Ab) та (aB), яких немає в батьківських організмів (див. рис. 112, в). Ці хромосоми формуються під час кросинговеру (рис. 113). Кросинговер відбувається випадково в довільному місці хромосоми, тому в кожному конкретному випадку це не обов'язково буде на ділянці між генами А і В – частина утворених гамет залишиться незміненою. В описаному експерименті (див. рис. 112, в) сумарна кількість несхожих на батьківські організми мух становить 17%. Імовірність того, що кросинговер відбувається між двома конкретними генами, залежить від відстані між їхніми локусами: чим вона більша, тим вища ймовірність кросинговеру. Тому в генетиці прийнято вимірювати відстань між генами у відсотках кросинговеру, ця одиниця виміру називається сантиморганом. На основі таких відстаней будуються карти хромосом, на які наносять послідовності локусів різних генів та відстані між ними (рис. 114).

**Хромосомне визначення статі в людини.** Ви знаєте, що в разі статевого розмноження багато видів мають морфологічно та фізіологічно відмінні статі. Це саме стосується й людини.

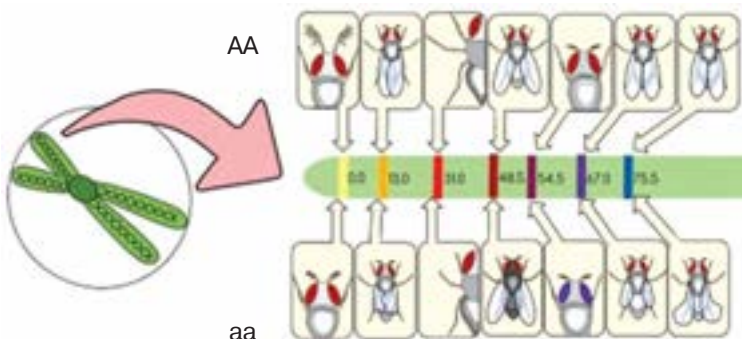
Формування організмів різної статі відбувається по-різному ще в періоді ембріонального розвитку. Вирішальне значення при цьому має пара особли-

Рис. 113. Схема утворення гамет унаслідок мейозу



❓ Поясніть біологічне значення рекомбінації хромосом.

Рис. 114. Генетична карта фрагмента однієї з хромосом дрозофіли



вих хромосом, які називаються **статевими**. У людини вони об'єднуються в 23-тю пару (рис. 115). Виокремлюють X- та Y-хромосоми. Жінки мають дві X-хромосоми, а в чоловіків по одній X- і Y-хромосомі (рис. 116). Під час мейозу в жіночому організмі формуються яйцеклітини, які містять тільки X-хромосому. У чоловіків одна половина сперматозоїдів містить X-, а інша – Y-хромосому. Отже, теоретична ймовірність народження хлопчика або дівчинки становить 50 : 50, а стать нового організму визначається під час запліднення тим, яку статеву хромосому має сперматозоїд, що бере в ньому участь.

**Успадкування, зчеплене зі статтю.** Закономірності зчепленого успадкування, що ми розглянули, стосуються генів, розташованих у парних хромосомах, тобто в нестатевих. На відміну від них статеві хромосоми різняться за набором генів. Y-хромосома має найменший розмір (у ній близько 50 генів). Її гени кодують білки, які регулюють розвиток ембріона за чоловічим типом, а також ряд білків, необхідних для утворення сперматозоїдів. Гени у складі X-хромосоми (~800) мають більш різноманітні функції. Наприклад, у ній є гени, які кодують два з трьох світлочутливих білків фоторецепторів ока; деякі білки, що необхідні для згортання крові, та інші ферменти. Мутації в цих генах призводять до розвитку дальтонізму, гемофілії та ін. При цьому жінки мають два алелі таких генів, а чоловіки – лише один. Тому в чоловіків ознака, за яку відповідає той чи інший алель, проявлятиметься відразу, незалежно від того, який він – домінуючий чи рецесивний.

Успадкування ознак, за які відповідають гени, розташовані в статевих хромосомах, називається **зчепленням зі статтю**.

Як приклад розглянемо успадкування дальтонізму. X-хромосома містить гени червоно- та зеленочутливих рецепторів ока. Рецесивна мутація в одному з них при-

Рис. 115. Схема хромосомного набору людини та мікрофотографія X- та Y-хромосом

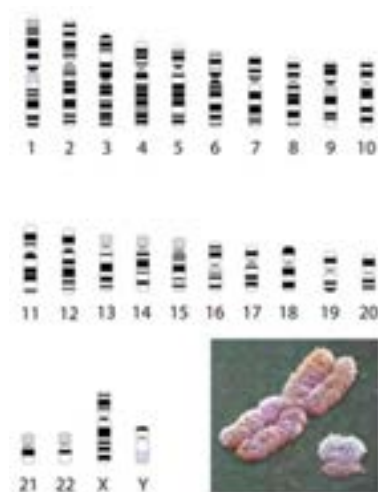
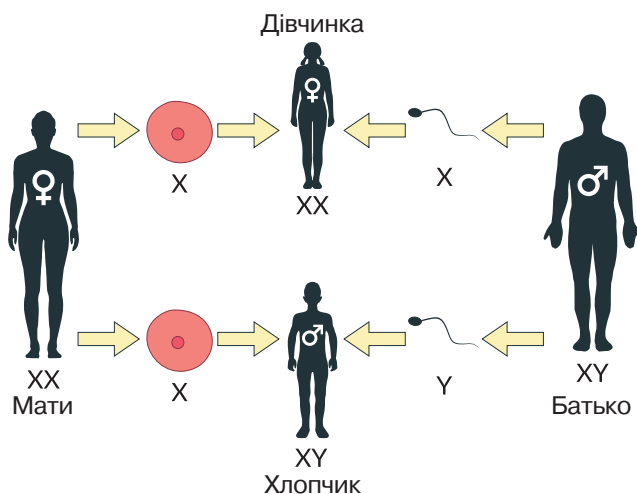


Рис. 116. Хромосомний механізм визначення статі в людини



❓ Чим різняться між собою статеві хромосоми людини?

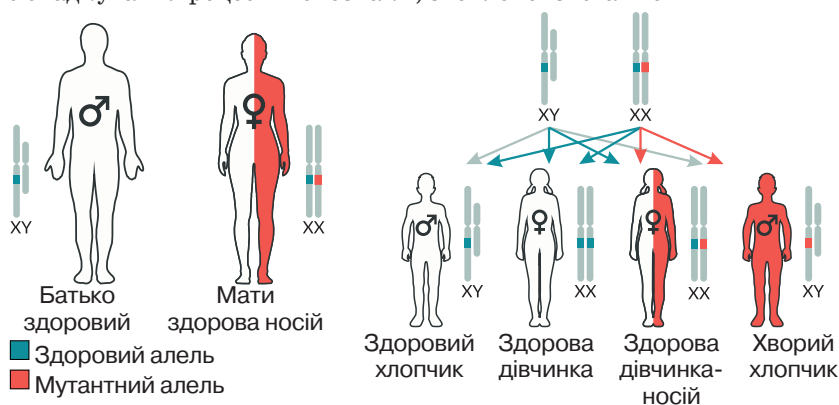
❓ Опишіть за рисунком механізм визначення статі в людини.

зводить до втрати відповідної чутливості, і людина погано розрізняє кольори в червоно-зеленій ділянці спектра. Наявність мутантного алеля в чоловіка призводить до розвитку в нього дальтонізму. Для того щоб хвороба проявилася в жінки, у неї мають бути два такі алелі, ймовірність чого є набагато меншою. У гетерозиготному стані, коли жінка має одночасно нормальний та мутантний алелі, вона здорова, але є носієм хвороби. Що буде, якщо здоровий чоловік одружиться зі здоровою жінкою, яка є носієм хвороби? Діти різної статі отримають від батьків різні хромосоми. Так, дівчата отримають від батька X-хромосому із нормальним алелем, тому вони всі будуть здоровими. Другу хромосому вони отримають від матері, і в 50 % дівчат вона матиме нормальний алель, а в 50 % – мутантний. Тому половина дочок у цьому шлюбі будуть носіями хвороби (але здоровими). Інша ситуація з хлопцями: від батька вони отримають Y-хромосому, у якій немає такого гена. X-хромосому вони отримають від матері, й у половині випадків вона міститиме мутантний алель. Отже, половина синів, народжених у цьому шлюбі, успадкують дальтонізм. У здорових батьків у 25 % випадків може народитися хвора дитина з дальтонізмом, і вона буде виключно чоловічої статі (рис. 117). Головною особливістю зчепленого зі статтю успадкування є неоднакова ймовірність передавання ознаки дітям різної статі.

**Хромосомна теорія спадковості** – теорія, згідно з якою хромосоми, що містять гени, є матеріальною основою спадковості:

- гени розташовані в хромосомах у лінійному порядку;
- різні хромосоми мають неоднакові набори генів;
- кожен ген займає в хромосомі певну ділянку;
- усі гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення, завдяки чому деякі ознаки успадковуються зчеплено;
- зчеплення між генами однієї групи порушується внаслідок кросинговеру.

Рис. 117. Успадкування рецесивної ознаки, зчепленої зі статтю



❓ Використовуючи додаткові літературні джерела та інтернет-ресурси, підготуйте повідомлення про інші прояви успадкування ознаки, зчепленої зі статтю.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке зчеплене успадкування?
2. Опишіть дослідження Т. Моргана.
3. Що таке кросинговер та яке його біологічне значення?
4. Яким є механізм визначення статі в людини?
5. Як проявляється успадкування, зчеплене зі статтю?
6. Наведіть приклади проявів успадкування ознаки, зчепленої зі статтю.

## § 32. Форми мінливості. Спадкова мінливість

### Згадаємо!

Як гени визначають ознаки?

Як генетична інформація впливає на індивідуальний розвиток?

Що таке репарація й надлишковість генетичного коду?

Протягом попередніх років ви ознайомилися з різноманітністю живої природи, вивчивши будову та функціонування бактерій, грибів, рослин і тварин.

🟡 Властивість живих організмів набувати нових ознак називається **мінливістю**.

Мінливість відіграє важливу роль у забезпеченні еволюційного процесу. Зумовлена мінливістю різноманітність форм організмів має вирішальне значення для стійкості екосистем. Про це ви дізнаєтеся згодом. За особливостями передавання з покоління в покоління розрізняють **спадкову** та **неспадкову** форми мінливості (рис. 118).

**Спадкова (генетична) мінливість** зумовлена зміною генетичного матеріалу: нуклеотидної послідовності генів, структури певних хромосом, набору хромосом у ядрі тощо. Розрізняють мутаційну та комбінативну форми спадкової мінливості (див. рис. 118).

**Мутаційна мінливість.** Мутації – це стійкі (які не проходять із часом) зміни спадкової інформації, що призводять до появи нових або зміни існуючих ознак і можуть передаватися наступним поколінням. Процес виникнення му-

Рис. 118. Класифікація форм мінливості

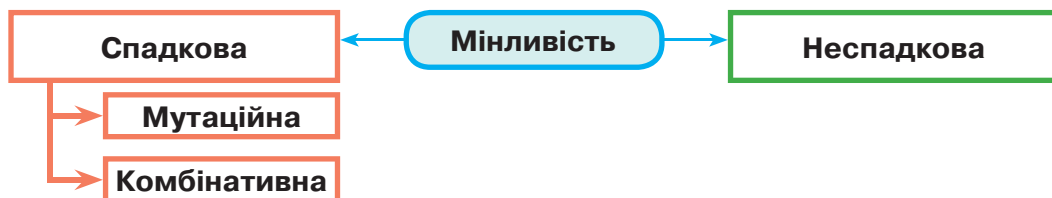


Рис. 119. Вироблення шкірою меланіну під час загорання є захисною реакцією від негативної дії ультрафіолетового випромінювання





тацій називається **мутагенезом**. Мутації можуть виникати спонтанно (мимо-вільно) або під дією різних чинників – **мутагенів**.

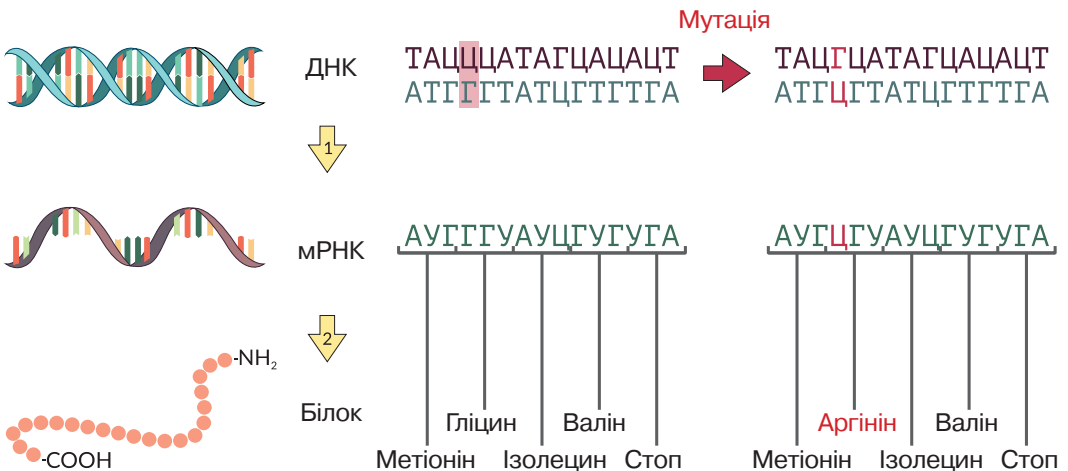
Мутагени залежно від їхньої природи поділяють на хімічні (йони важких металів, деякі органічні сполуки тощо), фізичні (йонізуюче та ультрафіолетове випромінювання тощо) та біологічні (віруси). Вони можуть чинити більш інтенсивний вплив на людину, якщо вона живе на екологічно забруднених територіях (наприклад, поряд із промисловими об'єктами) або недбайливо ставитися до власного здоров'я. Так, дим, який вдихає людина під час куріння цигарок, містить речовини, що посилюють мутагенез, а це може призвести до розвитку ракових захворювань. Нездоровою звичкою є надто тривале перебування «на сонці» влітку. Удень сонячне випромінювання містить велику кількість ультрафіолетових променів, які поглинаються шкірою і можуть спричинити негативні зміни у функціонуванні її клітин (рис. 119).

Вплив мутагенів на організм може компенсуватися. Ви пам'ятаєте, що в клітинах містяться спеціалізовані ферменти, які забезпечують репарацію – відновлення структури ДНК після пошкоджень. Спонтанні мутації здебільшого пов'язані зі змінами структури ДНК внаслідок помилок у дії таких ферментів, а також ферментів, що беруть участь у реплікації або рекомбінації.

**Типи мутацій.** Залежно від характеру змін генетичного матеріалу виокремлюють такі типи мутацій: генні, хромосомні та геномні.

**Генні, або точкові, мутації** стосуються структури лише одного нуклеотиду. Часто це заміна одного нуклеотиду (рис. 120). Якщо мутація припадає на інтронні ділянки генів, які не кодують структуру білків, вона, можливо, не матиме наслідків взагалі. Заміна нуклеотиду в кодувальній частині гена може мати різні наслідки. Однією з властивостей генетичного коду є надлишкова кількість: деякі амінокислоти кодуються більш ніж одним триплетом.

Рис. 120. Схема виникнення точкової мутації



❓ Використовуючи схему, опишіть генну мутацію.

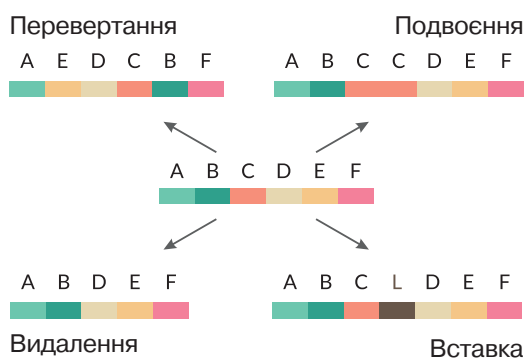
Зміна кодону ДНК, унаслідок якої кодована амінокислота не змінюється, називається синонімічною. Тобто надлишковість генетичного коду є одним з механізмів захисту від шкідливого впливу мутацій. Проте більшість заміन змінюють зміст мутованого кодону порівняно з оригінальним. При цьому в синтезованому білку з'явиться інша амінокислота, що може спричинити погіршення або повну втрату його функціональності. Наприклад, мутація в гені однієї із субодиниць гемоглобіну: тимідиловий нуклеотид триплету ЦТЦ замінюється на аденіловий і утворюється триплет ЦАЦ. Це призводить до заміни в білку глутамінової кислоти на валін (*переконайтеся в цьому за допомогою таблиці генетичного коду, § 20*). Унаслідок цього синтезований гемоглобін набуває відмінної від нормальної структури, погано транспортує кисень, а в людини розвивається серпоподібно-клітинна анемія (рис. 121). Гіршою є ситуація, коли через мутацію триплет, що кодує амінокислоту, перетворюється на стоп-кодон. Тоді синтез поліпептидного ланцюга припиняється раніше, а утворений короткий білок, імовірно, буде нефункціональним. Отже, така мутація призведе до ураження певної функції клітини або організму, тобто розвитку хвороби. Точкові мутації спричиняють появу нових алелів існуючих генів. Алелі, які відповідають за успадкування деяких ознак (*ми уже розглядали це*), є результатом саме таких мутацій.

**Хромосомні мутації** пов'язані з перебудовами в структурі однієї чи кількох хромосом, коли зміни стосуються великих фрагментів ДНК. Такими перебудовами можуть бути втрати частин ДНК, перестановки ділянок, подвоєння фрагментів тощо. При цьому частини хромосом можуть переміщатися до інших, не гомологічних (рис. 122). У разі втрати частини ДНК клітина втрачає функції, пов'язані з генами, локуси яких розміщувалися у втраченому фрагменті. Перестановки та подвоєння фрагментів ДНК також можуть мати наслідки у фенотипі.

Рис. 121. Нормальний (праворуч) та серпоподібний (ліворуч) еритроцити



Рис. 122. Типи хромосомних перебудов



❓ Поясніть зниження ефективності транспортування кисню еритроцитом, зміненим унаслідок мутації.

❓ Знайдіть зміни в структурі вихідної хромосоми, які відбулися внаслідок мутацій різного типу.

**Геномні мутації** пов'язані зі зміною числа хромосом. Вони можуть виникати як наслідок помилок у розходженні хромосом під час анафази. При цьому формуватимуться організми із порушеною чисельністю як в одній парі хромосом, так і в усіх, тобто відбуватиметься кратне збільшення або зменшення. Прикладом геномних мутацій є трисомія по 21 парі хромосом – замість нормальної пари людина має три такі хромосоми (рис. 123). Це призводить до збільшення кількості генів, що містяться в цих хромосомах, і супроводжується розбалансуванням роботи генетичного апарату. У фенотипі це проявляється як синдром Дауна. Хворі мають специфічну зовнішність, порушення функцій внутрішніх органів, уповільнений розумовий розвиток тощо. Кратне збільшення кількості всіх хромосом спричиняє появу триплоїдних (x3), тетраплоїдних (x4) та інших організмів.

За наслідками для життєдіяльності організму-носія виокремлюють мутації: негативні (спричиняють захворювання, погіршення функціонування або загибель), нейтральні та корисні (надають більші переваги, ніж вихідні форми). Через те, що мутації відбуваються ненапрявлено й випадково, більшість їх є негативними або нейтральними. Корисні мутації виникають порівняно рідко. При цьому швидкість виникнення мутацій є порівняно стабільною. Сучасні дані свідчать, що в людей за покоління виникає, як правило, 5 – 10 мутацій, які відрізняють їх від батьків.

**Комбінативна мінливість** зумовлена утворенням різних наборів, комбінацій існуючих алелів (без зміни структури генів, тобто без появи нових алелів). Її причиною є кросинговер, незалежне розходження хромосом до дочірніх клітин під час мейозу й випадкове об'єднання гамет під час запліднення. Механізми, які призводять до формування комбінативної мінливості, ми розглянули раніше: третій закон Менделя, поява рекомбінантних хромосом у разі зчепленого успадкування тощо (рис. 124).

Рис. 123. Хромосомний набір людини із синдромом Дауна

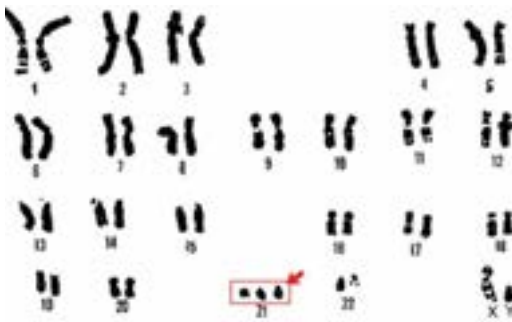
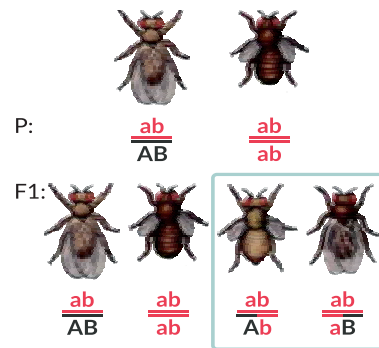


Рис. 124. Утворення нових комбінацій алелів унаслідок кросинговеру



❓ Чим різняться між собою хромосоми, утворені внаслідок кросинговеру?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *мінливість*.
2. Назвіть форми мінливості за особливостями передавання спадкової інформації з покоління в покоління.
3. Що таке спадкова мінливість?
4. Які ви знаєте форми спадкової мінливості?
5. Схарактеризуйте порушення, що виникають у разі спадкової мінливості.
6. Поясніть наслідки генної, хромосомної та геномної мутацій для організму.

## § 33. Неспадкова мінливість

### Згадаємо!

Що таке мінливість?

Які розрізняють форми мінливості?

Як рослини та тварини пристосовуються до річних, сезонних, добових змін навколишнього середовища?

Як ви вже зрозуміли, не вся різноманітність ознак організмів має генетичне підґрунтя, деякі з варіантів ознак виникають або змінюються протягом індивідуального розвитку організмів.

🟡 **Неспадкова мінливість** – це зміни в будові чи функціонуванні організмів, що відбуваються впродовж їхнього індивідуального розвитку й не передаються наступним поколінням.

Її називають також **модифікаційною**, адже такі зміни є ніби модифікаціями певного типового, середнього значення ознак. Найбільш переконливим прикладом модифікаційної мінливості є залежність будови тіла від кількості поживних речовин, необхідних для нормального існування організму. Якщо генетично однакове насіння висадити в бідний на поживні речовини ґрунт і недостатньо поливати, то вирощені рослини відрізнятимуться від тих, що виростуть на ділянці з внесеними добривами та нормальним поливом (рис. 125). Модифікації можуть стосуватися й окремого організму. Наприклад, у рослини стрілиці форма листків залежить від середовища, у якому вони розвиваються: у воді вони мають видовжену ниткоподібну форму, на повітрі розвиваються листкові пластинки у формі стріли (рис. 126).

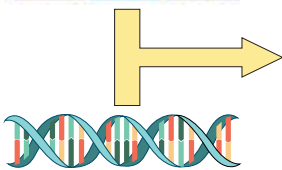
Рис. 125. Вплив рівня поливу на врожайність рослин



❓ Визначте рослини, що їх вирощували за умов нестачі вологи.

Рис. 126. Ознака як результат взаємодії середовища існування та генетичної програми

Середовище існування



Генетична інформація



Рис. 127. У кішок сіамської породи колір шерсті залежить від температури шкіри



**Модифікації є результатом взаємодії середовища та генів.** Ви вже знаєте, що модифікаційні зміни зумовлені впливом на організм середовища існування. Водночас вони частково обмежені генетичною програмою індивідуального розвитку. Деякі ознаки можуть суттєво змінюватися залежно від умов існування (зріст, маса, кількість та розміри листків тощо). Інші ознаки практично не залежать від них (наприклад, група крові в людини).

Забарвлення волосся залежить від темного пігменту меланіну (подібна сполука зумовлює темний колір шкіри і в людини). Для кішок сіамської породи характерним є розподіл кольору шерсті (рис. 127). Фермент, який синтезує цю сполуку в сіамських кішок, інактивується за звичайної для тіла температури та є активним за температури нижче від 33 °С. Через те віддалені від центра тулуба, а отже, холодніші ділянки мають темніше забарвлення. Зміна температури довкілля також впливає на колір шерсті. Отже, власне можливість формування ознаки визначається структурою відповідного гена. Проте ступінь та характер прояву ознаки залежать від зовнішніх умов.

Іншим механізмом формування змін у фенотипі є зміна рівня активності гена залежно від умов середовища.

**Властивості модифікаційної мінливості.** Ступінь модифікаційних змін різних ознак має певні межі, зумовлені його генотипом: широкими для одних ознак і вузькими – для інших. Так, змінюючи характер харчування людини в дорослому віці, зазвичай легко змінити масу тіла (наприклад, набрати зайву масу за незбалансованого харчування). Проте майже неможливо суттєво змінити зріст чи довжину кінцівок (зрозуміло, після завершення формування скелета).

Модифікаційні зміни є оборотними: у разі повернення умов існування до вихідних ознака змінюється відповідно. Так, переведення сіамської кішки в прохолодніше приміщення приведе до потемніння шерсті.

## ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ В РОСЛИН І ТВАРИН

**Мета:** дослідити прояви мінливості в рослин і тварин.

**Обладнання та матеріали:** мікроскоп, лінійка, мікропрепарати «Нормальна форма дрозофіли», «Мутантна форма дрозофіли», рослинні об'єкти (листки, бульби картоплі, насіння, суцвіття злакових рослин тощо).

### Хід роботи

1. Визначте ознаку, що її досліджуватимете в рослиному об'єкті.
2. Полічіть загальну кількість запропонованих для дослідження об'єктів ( $n$ ).
3. Визначте довжину кожного листка – варіанту ( $V$ ) ознаки (кількість вічок бульби картоплі або квіток суцвіття тощо).
4. Полічіть частоту зустрічальності кожної варіанти ( $P$ ). Дані занесіть до таблиці.
5. Розгляньте за допомогою мікроскопа мікропрепарати «Нормальна форма дрозофіли», «Мутантна форма дрозофіли».
3. Визначте відмінності в будові, звертаючи увагу на наявність крил, їх довжину і форму, забарвлення тіла.
5. Зробіть висновок про прояви мінливості в рослин та тварин.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке неспадкова мінливість?
2. Поясніть взаємозв'язок впливу середовища та генетичної програми на формування ознак організму.
3. Поясніть біологічне значення модифікаційної мінливості.
4. Які результати лабораторного дослідження ви отримали? Поясніть їх.

## § 34. Спадкові захворювання людини. Генетичне консультування

### Згадаємо!

Що таке генні, хромосомні та геномні мутації?

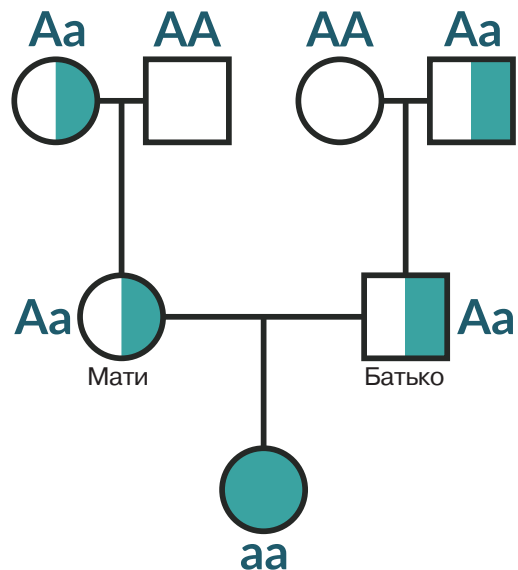
Одним із глобальних напрямів розвитку біології є розуміння людиною своєї природи, особливостей будови та функціонування власного тіла, причин виникнення хвороб і способів їх лікування. З вивченого матеріалу попередніх параграфів ви зрозуміли, що значна кількість захворювань людини має генетичне підґрунтя. Їх вивченням займається **медична генетика**, основними завданнями якої є визначення механізмів формування патологій, пов'язаних із порушеннями генетичного матеріалу, розроблення та впровадження методів діагностики генетичних хвороб, їх профілактика й лікування (рис. 128).

**Класифікація спадкових захворювань людини.** Спадкові захворювання людини поділяють на генні та хромосомні. **Генні хвороби** пов'язані з наявністю патологічного алеля певного гена. Вони можуть успадковуватися за домінантним або рецесивним типом відповідно до законів Менделя. До них належить розглянута раніше серпоподібно-клітинна анемія. Велику групу спадкових захворювань становлять ферментопатії – хвороби, за яких мутації відбуваються в генах, що кодують молекули ферментів. Однією з поширених ферментопатій є фенілкетонурія (один випадок на 10 – 25 тис. народжень), спричинена мутацією в одному з ферментів, необхідних для нормального перетворення амінокислоти фенілаланіну (рис. 129). Як правило, такі патології успадковуються за рецесивним типом: у гетерозиготному організмі функціонування

Рис. 128. Завдання медичної генетики



Рис. 129. Схема успадкування фенілкетонурії



однієї копії нормального алеля забезпечує клітини достатньою кількістю «працездатного» ферменту, і мутантний алель себе не проявляє. Без цього ферменту в людини з фенілкетонурією (яка є рецесивною гомозиготою) накопичується в надмірних кількостях фенілаланін, що утворюється під час перетравлювання білків. Це викликає розлади функціонування нервової системи й відповідне порушення розумового розвитку. Лікування цієї хвороби успішно здійснюється шляхом правильно підібраної дієти з низьким умістом фенілаланіну.

Окрему групу становлять генні хвороби, зчеплені зі статтю. Як ви пам'ятаєте, гени, пов'язані з їхнім розвитком, розташовані в X-хромосомі. До таких захворювань належать розглянута раніше колірна сліпота (дальтонізм), а також гемофілія (пов'язана з нестачею одного з білкових факторів, потрібних для згортання крові) (рис. 130). Закономірності успадкування гемофілії такі ж самі, що й дальтонізму.

**Хромосомні хвороби** людини пов'язані зі змінами в структурі хромосом або зі змінами хромосомного набору. Синдром котячого крику виникає внаслідок хромосомної мутації, пов'язаної з втратою частини 5-ї хромосоми з відповідними генами. У дитячому віці синдром характеризується характерним плачем, що нагадує нявкання кішки. Іншими симптомами є затримка росту й розвитку, поведінкові розлади, порівняно невеликого розміру голова з широко розставленими очима тощо. Причиною хромосомних хвороб також можуть бути геномні мутації, коли у хворої людини замість нормальної кількості (пари) наявна додаткова хромосома або ж навпаки – однієї не вистачає. Прикладом таких хвороб є описаний раніше синдром Дауна (трисомія по 21-й парі). Відомі й інші трисомії: по 13-й хромосомі (синдром Патау) і 18-й (синдром Едвардса). Описано порушення, пов'язані із наборами статевих хромосом: синдром Клайнфельтера (XXY замість XY), синдром Тернера (X замість

Рис. 130. Карта X-хромосоми людини з локусами генів, пов'язаних з деякими хворобами

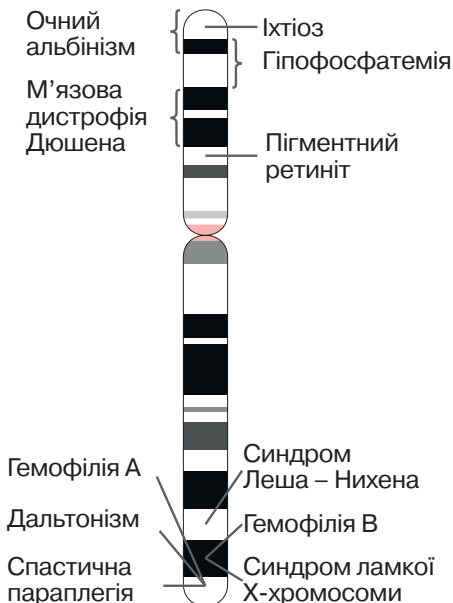
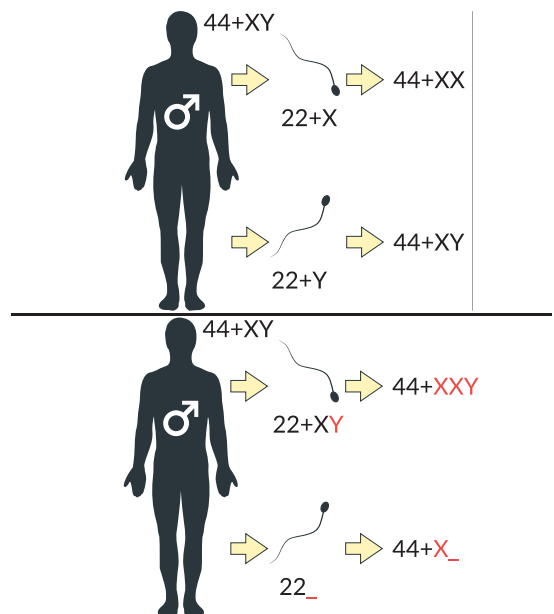


Рис. 131. Помилки при розходженні хромосом під час мейозу в чоловіка можуть бути причиною синдромів Клайнфельтера й Тернера



XX) та ін. (рис. 131). Лікування хромосомних хвороб нині є неможливим. Медицина може лише пом'якшити прояв негативних симптомів.

**Медико-генетичне консультування.** Оскільки причиною спадкових хвороб є порушення в структурі генетичного матеріалу, повне вилікування їх поки що неможливе. Тому потрібно якомога раніше діагностувати патологію й починати профілактичні та корегувальні заходи. Одним зі шляхів профілактики розвитку спадкових хвороб є медико-генетичне консультування подружньої пари, яка хоче мати дитину (рис. 132). В ідеальній ситуації за такою консультацією повинні звертатися всі майбутні батьки. Проте серйозними причинами для звернення є випадки хвороб у їхніх родинах, близькоспоріднений шлюб, вплив шкідливих чинників (наприклад, на виробництві) на організм майбутньої матері. У процесі медико-генетичного консультування на основі інформації про стан здоров'я подружжя та їхніх родичів будується родовід, визначаються генотипи майбутніх батьків і надається прогноз щодо ймовірності народження дитини з певними спадковими захворюваннями. Якщо ймовірність є досить високою, подружжя може прийняти рішення відмовитися від народження дитини.

Додаткову інформацію надають сучасні методи молекулярної генетики. Звичайно, читання й аналіз повного геному батьків є надто складним і витратним, тому увага звертається лише на певні ключові гени, пов'язані з найбільш імовірними хворобами. Якщо в обох здорових батьків буде виявлено рецесивну мутацію, то це означатиме, що ймовірність народження в них дитини зі спадковим захворюванням становить 25% (*пригадайте другий закон Менделя*). На сьогодні під час вагітності лікарі мають змогу отримати значну кількість інформації про стан здоров'я плода: ультразвукове дослідження допомагає виявляти порушення в його будові; біохімічний аналіз амніотичної рідини, що оточує плід, – виявляти маркери певних захворювань; цитогенетичний аналіз клітин плода,

Рис. 132. Медико-генетичне консультування дає змогу уникати ризиків, пов'язаних із спадковими захворюваннями



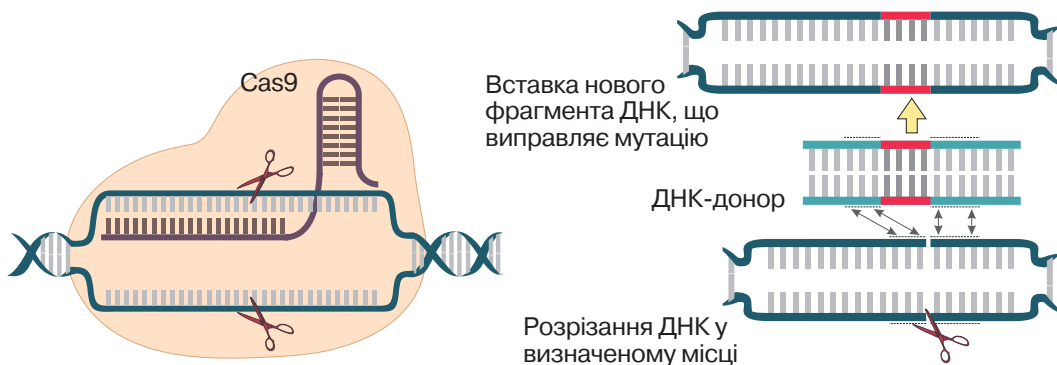


які потрапляють в амніотичну рідину, – виявляти хромосомні порушення, а аналіз виділеної з них ДНК – мутації в ключових для деяких хвороб генів. У разі пренатальної (допологової) діагностики генетичного захворювання лікарки та лікарі можуть запропонувати батькам програму заходів щодо поліпшення стану народженої дитини.

Аналіз генів має сенс не лише в разі вагітності. Наразі є відомості (і обсяг цієї інформації збільшується дуже швидко) щодо зв'язків певних алелів з імовірністю розвитку деяких захворювань. Наприклад, мутації генів BRCA1 та BRCA2 суттєво збільшують ризик розвитку в жінки раку молочної залози та яєчників. У разі виявлення мутантного алеля (їх відомо понад 500) пропонується програма профілактичних заходів. Також відомі гени, мутації яких збільшують ризик розвитку цукрового діабету. Носії таких алелів повинні дотримуватися відповідної дієти.

**Перспективи лікування спадкових захворювань.** Методи генної терапії, спрямовані на внесення змін до геному пацієнтів і пацієнок зі спадковими хворобами, розробляються з 1980-х років. Існує багато методів, за допомогою яких можна внести потрібну молекулу ДНК в ядра клітин, проте проблема полягає в точності. На сьогоднішній день такі маніпуляції було проведено з понад 2 000 людей. Усі ці спроби є лише етапами тестування методик, а не готовим методом лікування. В останні роки велику надію покладають на нещодавно відкриту ферментативну систему прокариотів, що називається CRISPR-Cas9 (рис. 133). Особливістю технології, створеної на її основі, є можливість укласти точно вирізати заданий фрагмент молекули ДНК й замінити його на новий. Дослідження щодо генетичної модифікації людських клітин, незважаючи на їх потенційну важливість для створення лікувальних технологій, мають суттєві законодавчі обмеження. Однак сучасна біологія дає надію на прогрес у цій сфері.

Рис. 133. Принцип роботи системи CRISPR-Cas9 – перспективний інструмент для конструювання методів генної терапії



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Назвіть причини спадкових захворювань людини.
2. Які наслідки генних і хромосомних захворювань?
3. Яке значення має медико-генетичне консультування?
4. Які перспективи лікування спадкових захворювань людини?

## Практична робота

### Складання схем схрещування

*Мета: навчитися складати схеми схрещування організмів.*

#### Задача 1

Кролика з генотипом СС схрестили із кроликом з генотипом Сс. Визначте генотип гібридів першого покоління.

#### Задача 2

У гороху посівного жовте забарвлення насіння домінує над зеленим. Рослину гороху посівного, гомозиготну за домінантною ознакою, схрестили із зеленонасінновою рослиною. Визначте генотипи й фенотипи гібридів першого покоління.

#### Задача 3

У вівса імунність до іржі домінує над уражуваністю цією хворобою. Яку кількість (у відсотках) імунних рослин необхідно очікувати від схрещування гетерозиготних форм?

#### Задача 4

У результаті схрещування широколистих садових ротиків завжди утворюються рослини з широкими листками, а в результаті схрещування вузьколистих – з вузькими листками. Від схрещування широколистої рослини з вузьколистою утворюються рослини з листками середньої ширини. Яким буде покоління від схрещування двох особин з листками середньої ширини?

#### Задача 5

У людини ген рогівки ока карого забарвлення домінує над блакитним. Кароока жінка вийшла заміж за блакитноокого чоловіка. Який колір очей можливий у їхніх дітей?

#### Задача 6.

Який колір квітів матимуть гібриди першого покоління білих і рожевих троянд за генотипом і за фенотипом, якщо білий колір – рецесивна ознака (схрещували гомозиготні особини)?

## Проект

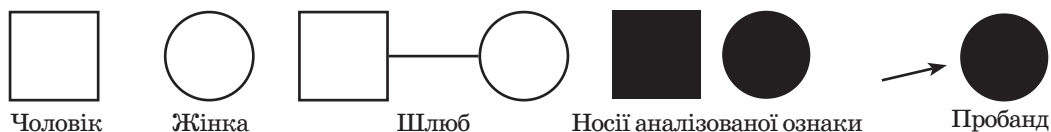
### I. Складання власного родоводу

Генеалогічний метод є одним з основних способів з'ясування типу успадкування ознак людини й визначення генотипів її родичів.

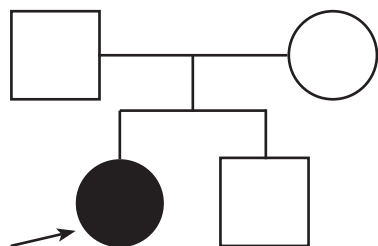
#### Правила складання родоводів

Людина, родовід якої складають, називається **пробандом**. Родовід зображають графічно у формі генеалогічного дерева.

Основні символи, що їх використовують під час складання родоводу:



Старші покоління зображають зверху. Приклад родоводу та його опису:



*«Пробанд – жінка зі спадковою хворобою. Її батьки здорові. Вона має брата, який також є здоровим».*

#### Аналіз цього родоводу

*Оскільки хвороба виникла в здорових батьків, вона, найімовірніше, є рецесивною. При цьому пробанд є рецесивною гомозиготою, а батьки є гетерозиготами.*

*Доведіть, що це саме так.*

#### Хід виконання проекту

1. На основі аналізу літератури та інтернет-джерел визначити ознаки людини, що успадковуються за законами Менделя.
2. Зібрати інформацію про стан цієї ознаки в членів вашої родини (батьків, дідусів, бабусь, тіток, дядьків, братів, сестер).
3. Скласти родовід. Спробувати визначити власний генотип за аналізованою ознакою й генотипи ваших родичів.

### II. Демонстрація успадкування певних ознак

Багато ознак людини успадковуються за законами Менделя.



Ластовиння: наявність домігантна

Форма волосся: кучеряве домігантне

Уявіть, що ви проводите медико-генетичну консультацію.

#### Хід виконання проекту

1. На основі аналізу літератури та інтернет-джерел визначити ознаки людини, що успадковуються за законами Менделя.
2. Змоделювати набір ознак, що їх має подружня пара, яка звернулася до вас за консультацією.
3. Визначити їхні можливі генотипи та спрогнозувати ймовірність народження в них дітей з різними варіантами аналізованої ознаки. Довести це за допомогою решітки Пеннета.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Закономірності успадкування ознак»

### ВАРІАНТ I

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Сукупність генів організму – це  
А каріотип  
Б генотип  
В фенотип  
Г геном
2. Учні правильно склали схему схрещування. Ознаку, успадкування якої вивчалось, позначили літерою D. Як вони позначили гомозиготну особину за домінантною ознакою?  
А D  
Б DD  
В Dd  
Г dd
3. Укажіть генотип, гетерозиготний за всіма алелями.  
А AABbCC  
Б AaBbCC  
В AABbCC  
Г AaBbCc
4. Розгляньте схему схрещування: P AA x aa. Укажіть можливий генотип потомків.  
А AA  
Б aa  
В Aa  
Г A
5. Спадковою хворобою людини є  
А гемофілія  
Б дизентерія  
В туберкульоз  
Г ендемічний зоб
6. Фізичним мутагенним фактором може бути вплив  
А вірусів  
Б складових мийних засобів  
В радіаційного опромінювання  
Г бензопірену під час куріння

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

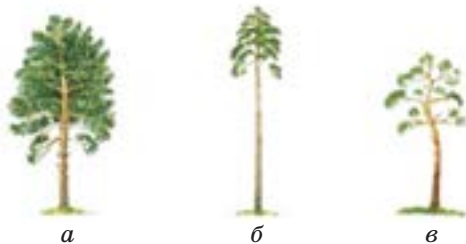
7. Укажіть імовірність народження дитини з рецесивною ознакою, якщо батько й мати є гетерозиготними за відповідним геномом

- А 25 %
- Б 50 %
- В 75 %
- Г 100 %

8. При дослідженні хромосомного набору людини стало відомо, що він містить 47 хромосом. Проявом якого типу мінливості є ця зміна?

- А мутаційної геномної
- Б мутаційної генної
- В модифікаційної
- Г комбінативної

9. На рисунку зображено сосну звичайну, яка росте поодинок (а), у лісі (б) та на болоті (в). Який тип спадковості зумовлює такі зміни?



- А генна
- Б геномна
- В хромосомна
- Г модифікаційна

**Тестове завдання на відповідність (3 бали)**

10. Жовтий колір насінини гороху посівного (С) домінує над зеленим (с), гладка поверхня насінини (D) – над зморшкуватою (d). Установіть відповідність між генотипом (1 – 4) та фенотипом гороху посівного (А – Г).

- |        |                      |
|--------|----------------------|
| 1 CCDD | А зелене зморшкувате |
| 2 ccDd | Б жовте зморшкувате  |
| 3 Ccdd | В зелене гладке      |
| 4 ccdd | Г жовте гладке       |

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Обґрунтуйте значення знань законів генетики для оцінювання спадкових ознак у родині й планування родини.
2. Доведіть на прикладах, що ознака є результатом взаємодії генів.

## ВАРІАНТ II

## Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)

1. Сукупність ознак організму – це

- А каріотип
- Б фенотип
- В генотип
- Г геном

2. Учениці правильно склали схему схрещування. Ознаку, успадкування якої вивчалася, позначили літерою С. Як вони позначили гомозиготну особину за рецесивною ознакою?

- А С
- Б СС
- В Сс
- Г сс

3. Укажіть генотип, гетерозиготний за одним із трьох алелів.

- А ААВbСС
- Б АaВbСС
- В ААВbСс
- Г АaВbСс

4. Розгляньте схему схрещування: Р АА х Аа. Укажіть можливі генотипи потомків.

- А лише АА
- Б лише Аа
- В АА та аа
- Г АА та Аа

5. Спадковою хворобою людини є

- А дифтерія
- Б туберкульоз
- В хвороба Дауна
- Г ендемічний зоб

6. Хімічним мутагенним фактором може бути вплив

- А вірусів
- Б радіаційного опромінювання
- В ультрафіолетового випромінювання
- Г бензопірену під час куріння

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Укажіть імовірність народження дитини з рецесивною ознакою, якщо мати гомозиготна за відповідним геном, а батько – гетерозиготний?

А 0 %  
 Б 25 %  
 В 50 %  
 Г 100 %

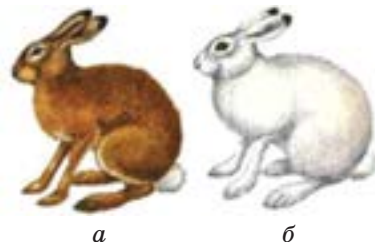
8. Проаналізуйте твердження стосовно мутаційної мінливості.

I. Народження дитини з хворобою Дауна є наслідком генної мутації.  
 II. Заміна кількох пар нуклеотидів одного гена – результат хромосомної мутації.  
 Чи є поміж них правильні?

А лише I  
 Б лише II  
 В обидва правильні  
 Г обидва неправильні

9. На рисунку зображено Зайця сірого влітку (а) та взимку (б). Який тип спадковості зумовив такі зміни?

А генна  
 Б геномна  
 В хромосомна  
 Г модифікаційна

**Тестове завдання на відповідність (3 бали)**

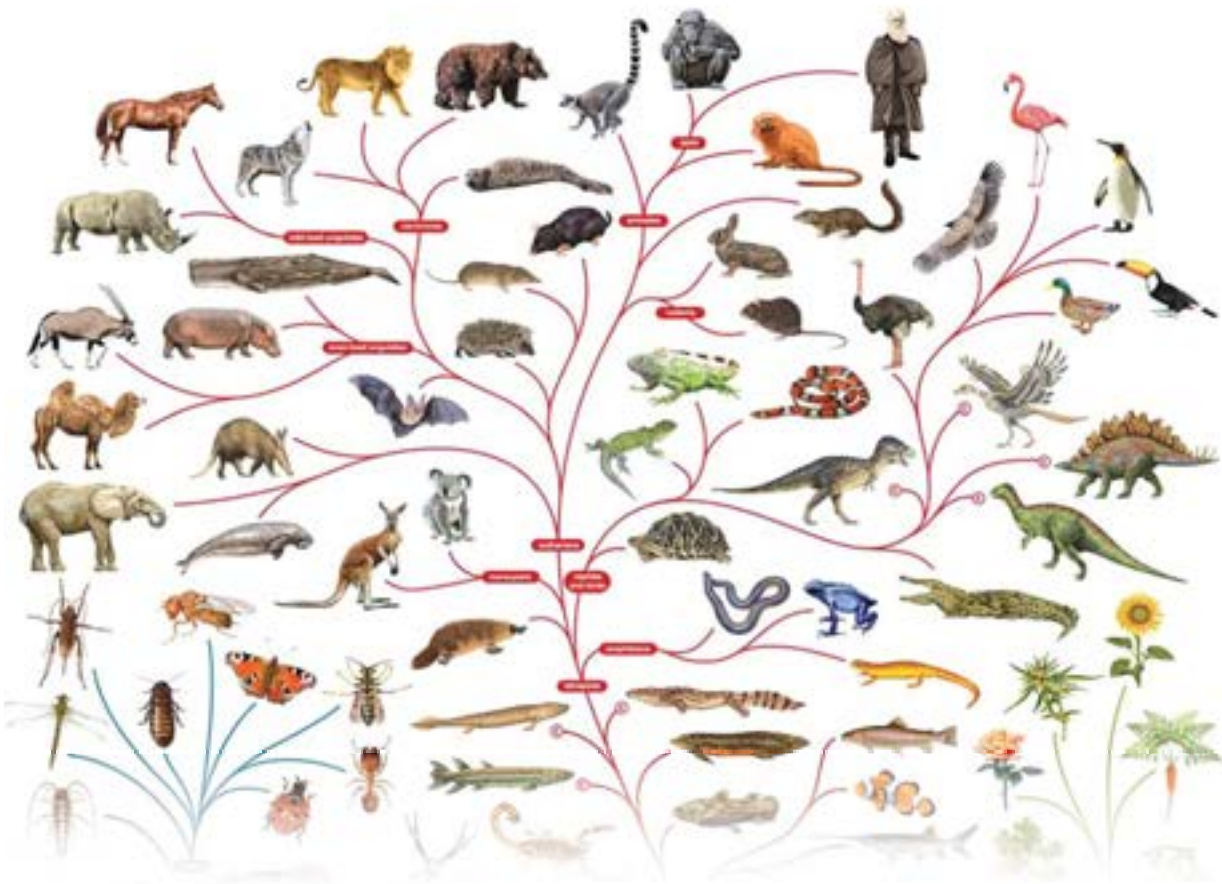
10. Сірий колір тіла дрозодіфи (А) домінує над чорним (а), нормальні крила (В) – над редукованими (в). Установіть відповідність між генотипом (1 – 4) та фенотипом особини дрозодіфи (А – Г).

1 ААВВ  
 2 ааВв  
 3 Ааbb  
 4 аabb

А сіре тіло, нормальні крила  
 Б чорне тіло, редуковані крила  
 В сіре тіло, редуковані крила  
 Г чорне тіло, нормальні крила

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Поясніть значення знань про спадковість і мінливість у житті людини.  
 2. Поясніть значення сучасних методів молекулярної генетики для генетичного консультування.



## Тема 6

# ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ





## 3 історії відкриттів

Мислителі давнини у своїх філософських працях намагалися дати відповідь на запитання, яке завжди цікавило людство: «Звідки походить все живе навколо?»

Вагомий внесок у розвиток поглядів на живий світ зробили праці давньогрецьких філософів. *Геракліт Ефеський* (535 – 475 рр. до н. е.) уважав, що світ вічний і єдиний, у ньому все змінюється й нічого не повторюється. Думку про зародження життя з неживої природи під дією сонячного проміння висловлював *Демокріт* (460 – 370 рр. до н. е.). Видатний філософ *Арістотель* (384 – 322 рр. до н. е.) уважав, що організми з'являються внаслідок самозародження. Завдяки працям Арістотеля і його учнів закладено основи порівняльної анатомії та ембріології, учення про відповідність організмів, ідею градації. У філософській поемі «Про природу речей» давньоримський поет і філософ *Тит Лукрецій Кар* (99 – 55 рр. до н. е.) висловлював ідею, що виживають і дають потомство лише найбільш пристосовані істоти.

Уперше ввів поняття виду англійський ботанік *Джон Рей* (1627 – 1705).



Ж. Б. Ламарк  
(1744 – 1829)

Першою науковою спробою пояснити історичний розвиток живої природи була еволюційна теорія французького природодослідника *Жана Батіста Ламарка*, яку він виклав у праці «Філософія зоології» (1809). Учений розглядав еволюцію як безперервний процес набуття організмами корисних пристосувань, що успадковуються потомками. Еволюція відбувається як низка послідовних змін у будові організмів, що приводить до їх переходу від нижчих сходенок організації до вищих (учений називав їх градаціями). Нижчі сходинки – бактерії та інші мікроорганізми, вищі – ссавці й людина. Ж. Б. Ламарк уважав, що всі організми мають внутрішнє вроджене прагнення до прогресу, завдяки чому вони з покоління в покоління самовдосконалюються, тобто піднімаються на вищі сходинки організації.

Наявність у кожний момент існування планети видів, що перебувають на нижчих сходинках досконалості, учений пояснював так: життя безперервно самозароджується, а отже, види, які виникли пізніше, ще не встигли досягнути вищої сходинки.

На думку Ж. Б. Ламарка, організм удосконалюється також за допомогою тренування. Він наводив такий приклад: жирафа почала жити листям дерев, тож весь час витягувала ший, унаслідок чого шия в неї видовжилася, і цю набуту ознаку успадкували потомки. Ж. Б. Ламарк першим зазначив, що умови існування впливають на формування ознак організму, хоча вважав (хибно), що всі корисні ознаки, набуті особою впродовж життя, успадковуються також.

Ідеї Ж. Б. Ламарка, незважаючи на недосконалість з погляду сучасності, були кроком уперед до розуміння процесів еволюції. З подальшими відкриттями ви ознайомитеся в параграфах цієї теми.

## § 35. Еволюція та її докази. Відкриття Ч. Дарвіна

### Згадаємо!

Які відкриття в біології було зроблено в XIX ст.?

Кінець XVIII – перша половина XIX ст. позначилися в біології чималими фундаментальними відкриттями: розробленням клітинної теорії, доведенням подібності індивідуального розвитку різних видів, першими кроками до вивчення фотосинтезу, фізіологічних процесів у тварин, закладенням основ біохімії. У палеонтології, яка вивчає скам'янілості, відбитки вимерлих форм організмів, накопичується все більше доказів поступових змін органічного світу. Із часом сформувалася думка про еволюцію як історичний розвиток органічного світу.

**Еволюція** (від лат. *evolutio* – розгортання) – це процес необоротних змін будови та функцій організмів протягом їхнього історичного існування, наслідком якого є пристосованість живого до умов навколишнього середовища.

**Докази еволюції.** Унаслідок біологічних досліджень накопичуються факти, що слугують доказами еволюційного процесу. Виокремлюють такі групи доказів: порівняльно-анатомічні, ембріологічні, палеонтологічні, біогеографічні.

**Порівняльно-анатомічні докази.** Велику роль відіграло встановлення гомології органів. **Гомологічні органи** мають подібні будову та спільне походження, але можуть виконувати різні функції, як, наприклад, будова кінцівок хребетних (рис. 134). Гомологічними органами рослин є, наприклад, видозміни пагона (рис. 135). **Аналогічні органи** – органи, що мають різні походження та

Рис. 134. Будова передніх кінцівок хребетних:

а – людини; б – амфібії;

в – кажана; г – кита;

д – коня

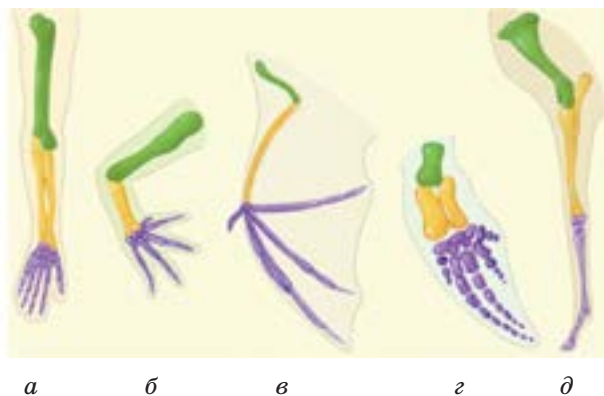


Рис. 135. Видозміни пагона:

а – цибулина цибулі;

б – вуса полуниці



а



б

- ❗ 1. Які кістки утворюють скелет передньої кінцівки?  
2. Які функції виконують зображені кінцівки?

- ❗ Доведіть, що зображені видозміни є гомологічними органами.

будову, але виконують однакові функції. Аналогічними органами тварин є крило метелика та крило птаха, а в рослин – колючки барбарису (видозмінені листки) та колючки глоду (видозмінені пагони).

Для доведення факту еволюції мають значення *атавізми* – наявність в окремих організмів ознак, що існували у віддалених предків, але в процесі еволюції їх було втрачено. Наприклад, поява бічних пальців у коней, хвостовий придаток і густий волосяний покрив усього тіла в людини.

*Рудиментами* називаються органи, що втратили свою основну функцію, але зберігаються в дорослих організмів у зачатковому стані. Рудиментарними, наприклад, є залишки тазових кісток у безногої ящірки жовтопуза й китоподібних. Вони слугують доказом походження цих тварин від предків з розвиненими кінцівками.

Порівняння будови сучасних організмів допомагають відтворювати шляхи еволюції груп організмів. Наприклад, серед сучасних ссавців існує група першозвірів, які розмножуються відкладаючи яйця (качкодзьоб, ехидна). Це свідчить про спорідненість ссавців із плазунами й доводить, що еволюція ссавців починалася від тварин, які відкладали яйця.

**Ембріологічні докази.** Установлено, що ембріони різних тварин більш подібні між собою, ніж дорослі форми. Порівняння зародків усіх класів хребетних свідчить про значну їхню подібність на ранніх стадіях розвитку. Це підтверджує спорідненість усіх хордових (див. рис. 161).

**Палеонтологічні докази.** На сьогодні геологічну історію Землі вивчено досить детально. Відомо, що в найдавніших пластах виявляють рештки різних типів безхребетних, і лише в пізніших знаходять залишки хребетних (рис. 136). Установлено, що чим молодші пласти, тим рештки рослин і тварин ближчі до сучасних. Одним із найяскравіших прикладів «перехідної форми» є вимерла

Рис. 136. Палеонтологічні знахідки



Трилобіт,  
478 – 468 млн  
років тому



Амоніт,  
163 – 162 млн  
років тому



Скелет мамонта, 2 млн – 9 тис.  
років тому.  
Національний науково-природничий  
музей НАН України, Київ



індивідуально, передаються потомкам і не мають пристосувального характеру, тобто матеріал для еволюції – це наслідки *спадкової мінливості*.

Учений наводив приклади різноманітних взаємовідносин між організмами та організмів з умовами неживої природи, які назвав *боротьбою за існування* (рис. 138). Уступаючи в ці складні взаємовідносини, одні організми виживають, а інші – гинуть. Чому ж не всі мають шанс вижити? У природі існує протиріччя між здатністю організмів до необмеженого розмноження та обмеженістю ресурсів середовища існування (їжа, територія тощо). Унаслідок боротьби за існування виживають організми, які краще пристосовані до умов навколишнього середовища. Цей процес Ч. Дарвін назвав природним добром.

🟡 Процес виживання організмів певного виду, найбільш пристосованих до умов існування, називається **природним добром**.

Умови на нашій планеті змінювалися, а тому переваг набували організми, зміни в будові яких найбільшою мірою сприяли пристосуванню до умов навколишнього середовища. Дарвін писав: «*Природний добір щодня, щогодини відстежує по всьому світу найдрібніші зміни, відкидаючи шкідливі, зберігаючи й складаючи корисні, працюючи нечутно, невидимо <...> над удосконаленням кожної органічної істоти*».

Зміни в будові однієї особини були спадковими, а тому поширювалися в ряді поколінь і приводили до змін будови й процесів життєдіяльності групи особин. Унаслідок цього саме окрему особину Ч. Дарвін уважав одиницею еволюційного процесу. Учений дійшов висновку, що природний добір відбувається на основі спадкової мінливості внаслідок боротьби за існування, а результатом цього є поява нових видів. Через те саме природний добір Ч. Дарвін уважав **рушійною силою еволюції**. Надалі природодослідники вивчили вплив на еволюційний процес інших факторів, які назвали *елементарними факторами еволюції*.

Рис. 138. Форми боротьби за існування

**Внутрішньовидова форма** проявляється у взаємодії особин одного виду

**Міжвидова форма** проявляється у взаємодії особин різних видів

Взаємодія з факторами неживої природи



Турнірні бої самців



Полювання хижака



Риба пливе на нерест проти течії

❓ Чому вчені вважають цю форму боротьби за існування найгострішою серед інших?

❓ Розвиток яких ознак забезпечує виживання хижого птаха?

❓ Як з риб, на вашу думку, зможуть дістатися місць нересту?

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *еволюція*.
2. Наведіть докази факту еволюційного процесу.
3. Яке значення мають палеонтологічні знахідки в обґрунтуванні факту еволюції?
4. Що таке боротьба за існування? Наведіть приклади її форм.
5. Що таке природний добір?

## § 36. Популяція як елементарна одиниця еволюції

### Згадаємо!

Що таке біологічний вид?

Створюючи теорію природного добору, Ч. Дарвін пов'язував дію природного добору лише з окремою особиною. Проте дослідження, проведені вже в ХХ ст., засвідчили, що сповна зрозуміти дію природного добору можна лише зважаючи на процеси, які відбуваються в групах організмів.

**Поняття популяції.** Біологічний вид у процесі свого історичного розвитку пристосовується до певних умов існування, що визначає межі його поширення (*ареал*). У межах поширення виду його особини живуть сукупностями – популяціями. Наявність популяцій у природі пов'язана з неоднорідністю умов існування на території, що її займає вид. Чим більш різноманітними є умови існування в ареалі виду, тим більшою є кількість популяцій, з яких він складається.

🕒 **Популяція** – сукупність особин виду, яка займає частину території його поширення та ізольована від інших подібних сукупностей цього виду.

Часто особини однієї популяції більше схожі між собою порівняно з представниками інших популяцій, оскільки всередині популяції схрещування відбувається значно частіше (рис. 139).

**Показники популяції.** Популяцію характеризують такі показники: чисельність, щільність, народжуваність, смертність, приріст тощо. Чисельність – це кількість особин, які входять до складу популяції,

Рис. 139. Особини різних популяцій виду *Білка звичайна*



❓ Яка особливість відрізняє особини цих популяцій?

щільність – це середня кількість особин, що припадає на одиницю площі або об'єму (для мешканців водного середовища) території, яку вони займають. Народжуваність – число особин популяції, які народжуються за одиницю часу, смертність – кількість особин, які гинуть за цей самий час. Різниця між народжуваністю й смертністю становить приріст популяції.

Важливими показниками популяції є співвідношення особин різної статі, розподіл особин за віковими групами та розподіл особин популяцій на території.

Розвиток генетики дав змогу вивчати закономірності процесів успадкування ознак, що відбуваються в популяції. Сукупність генотипів усіх особин, що входять до популяції, становить її **генофонд**. Генофонд з великою кількістю різних варіантів окремих генів є запорукою кращого пристосування потомства до мінливого навколишнього середовища. Окремі особини популяції не мають власної еволюційної «долі», бо всі еволюційні події відбуваються під час зміни поколінь. Тому вчені розглядають *популяцію як елементарну одиницю еволюції*.

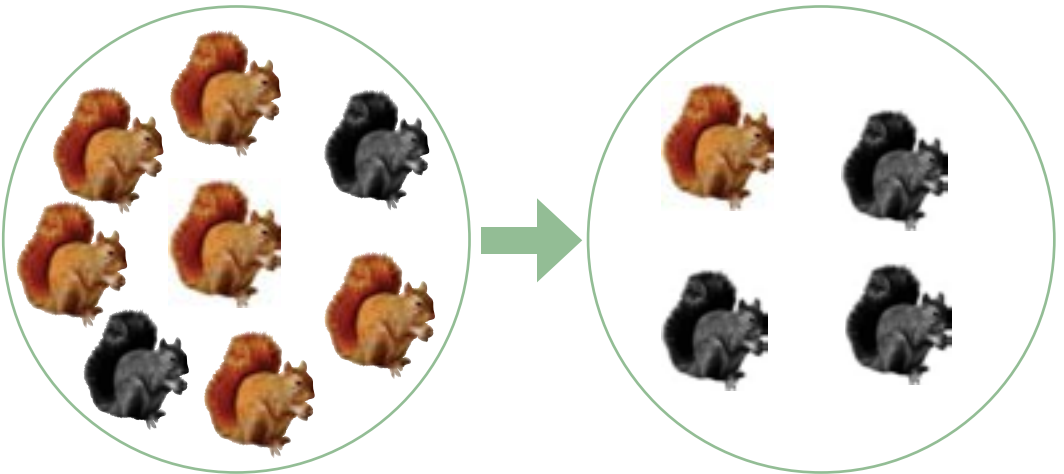
**Елементарні фактори еволюції.** На еволюційні процеси, що відбуваються в популяціях, крім природного добору впливають *елементарні фактори еволюції* – популяційні хвилі, дрейф генів та ізоляція.

🕒 **Популяційні хвилі** – це періодичні або неперіодичні коливання чисельності популяцій у природних умовах.

Колівання чисельності популяції можуть бути генетично зумовленими, наприклад сезонні коливання чисельності комах, однорічних рослин, а також наслідком дії екологічних чинників: умов зимівлі, забезпеченості їжею, зміни чисельності популяції хижаків, стихійних лих (повеней, пожеж, землетрусів).

Унаслідок зменшення або збільшення чисельності особин частота зустрічальності тих чи інших алелів у генофонді популяції може змінюватися. Наприклад, зменшення кількості їжі неврожайного року спричиняє зменшен-

Рис. 140. Зміни частоти зустрічальності алелів унаслідок популяційних хвиль



❓ Поясніть еволюційне значення популяційних хвиль.

ня чисельності популяції білки, що може випадковим чином призвести до зміни частоти зустрічальності алелів, які визначають забарвлення хутра (рис. 140).

Тож популяційні хвилі є передумовою зміни генофонду популяції, а отже, елементарним фактором еволюції. Такі випадкові зміни генофонду популяції називаються дрейфом генів і також є елементарним фактором еволюції.

🕒 **Дрейф генів** – випадкові, ненапрямлені зміни частот зустрічальності алелів у популяції.

У невеликих популяціях загибель особин, які є єдиними носіями певного алеля, спричиняє його зникнення з генофонду популяції. Водночас так само як певний алель випадково може зникнути, інший унікальний алель випадково може закріпитися.

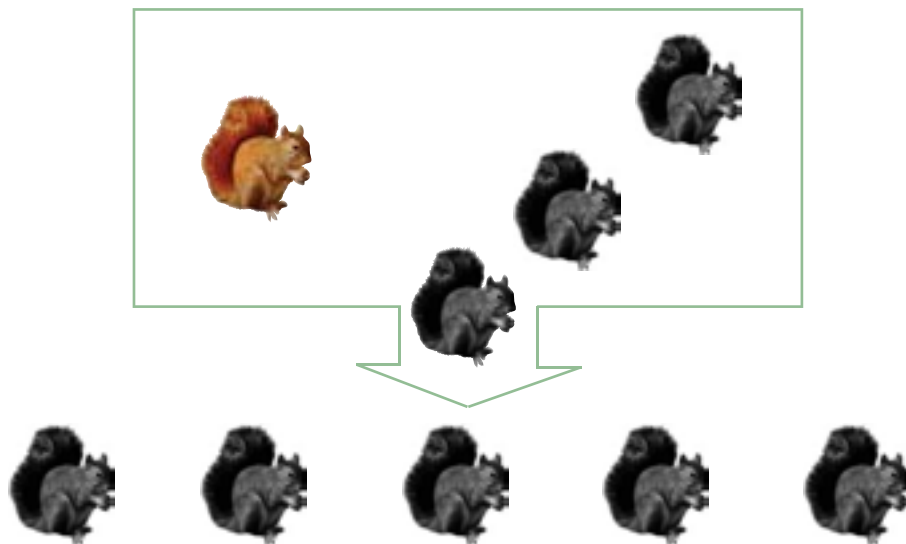
Нагадаємо, що в невеликій популяції частіше відбуваються близько-споріднені схрещування, а тому деякі алелі можуть зовсім зникнути, а інші, навпаки, стати переважаючими. Проілюструємо вплив дрейфу генів на процес виникнення нового виду на такому прикладі: через пожежу в лісі, що його населяла невелика популяція білки, випадково вижили переважно особини, які мали сіре хутро. Унаслідок близькоспоріднених схрещувань алель сірого забарвлення хутра став переважаючим, що призвело до зміни генофонду популяції. Це, у свою чергу, може спричинити вимирання популяції в разі зниження пристосованості до умов навколишнього середовища або, навпаки, збільшити пристосованість популяції до середовища, і з такої популяції унаслідок дії природного добору утвориться новий вид (рис. 141).

🕒 **Ізоляція** – виникнення будь-яких бар'єрів, що унеможливлюють схрещування між особинами одного виду.

Розрізняють основні форми ізоляції – екологічну та географічну.

**Екологічна ізоляція** відбувається, якщо всередині популяції виникають певні

Рис. 141. Утворення нового виду внаслідок дії дрейфу генів



❓ Поясніть значення дрейфу генів як еволюційного фактора.



групи, кожна з яких має відмінні від інших вимоги до умов середовища існування. Часто виникають внутрішньовидові групи тварин, які різняться вподобаннями їжі.

Наприклад, одні раси жука горохової зернівки живляться насінням гороху, інші – насінням квасолі. У період розмноження ці групи між собою не контактують тому, що рослини, якими вони живляться, ростуть в різних місцях. Ізоляція може виникнути й через різні строки розмноження особин одного виду в різних умовах. Наприклад, різні рослини лучних трав певного виду цвітуть залежно від часу весняної повені: особини, що довше перебували під водою, зацвітають пізніше від тих, які не були затоплені або перебували під водою впродовж короткого часу.

За **географічної ізоляції** різні популяції роз'єднані непрохідним для них географічним бар'єром. Наприклад, річка або гірський хребет виникають на території між двома популяціями виду, що не можуть плавати чи літати, або коли один лісовий масив поділяється степом на два тощо. Географічна ізоляція виникає також між популяціями, які мешкають на великих відстанях одна від одної. Наприклад, вид *Білка звичайна* має велику кількість популяцій, основна відмінність між якими полягає в забарвленні хутра. Мешкає ця тварина в мішаних лісах на величезних територіях – від узбережжя Атлантичного океану до японського острова Хоккайдо (рис. 142).

Певні форми ізоляції можуть чинити дію незалежно одна від одної й водночас у різних популяціях одного виду. Еволюційне значення ізоляції полягає в тому, що за неможливості обміну алелями між популяціями певного виду в генофонді кожної з них виникають різні мутації й змінюються частоти зустрічальності алелів, за рахунок чого популяції пристосовуються до умов навколишнього середовища незалежно одна від одної. Із накопиченням значної кількості відмінностей ці популяції можна розглядати як нові види.

Рис. 142. Географічна ізоляція різних популяцій *Білки звичайної*



**?!)** Чи може, на вашу думку, географічна ізоляція привести до появи нового виду білки? Відповідь обґрунтуйте.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *популяція*.
2. За якими показниками характеризують популяцію?
3. Поясніть еволюційне значення популяційних хвиль.
4. Доведіть, що дрейф генів є еволюційним фактором.
5. Що таке ізоляція?
6. Чому ізоляцію вважають еволюційним фактором?

## § 37. Видоутворення як етап еволюційного процесу

### Згадаємо!

Що таке географічна та екологічна ізоляція?

Ви вже з'ясували, що є підстави вважати популяцію одиницею еволюційного процесу. Зміни популяцій, що спричинені елементарними факторами еволюції – популяційними хвилями, дрейфом генів та ізоляцією, називають **мікроеволюцією**. Мікроеволюційні процеси можуть, у свою чергу, привести до утворення нового виду.

Як вам відомо, уперше поняття виду ввів англійський ботанік Д. Рей (1693). К. Лінней визначав вид як сукупність подібних за будовою особин, що схрещуються між собою, дають плодюче потомство й не змінюються із часом. Ж. Б. Ламарк відповідно до своїх еволюційних поглядів заперечував існування окремих видів. На думку Ч. Дарвіна та його послідовників, види реально існують у вигляді сукупності особин, подібних за будовою, відокремлених від інших, і які займають певний ареал у даний момент часу.

**Вид та його критерії.** Проте нині стало відомо, що багато видів, подібних за будовою, є видами-двійниками – розрізнити їх можна лише за кількістю та будовою хромосом (рис. 143). Нові відкриття в біохімії, молекулярній біології, генетиці уможливили сучасне формулювання означення поняття *вид*.

**🕒 Вид** – сукупність особин, які подібні за будовою, процесами життєдіяльності, займають певний ареал, пристосовані до його умов, вільно схрещуються й дають плодюче потомство.

Рис. 143. Види-двійники: а – Хом'як джунгарський; б – Хом'як китайський



а



б

В основу визначення виду покладено всебічне вивчення організмів за певними характеристиками – **критеріями**. До них належать:

- морфологічний (будова організму, тканин, органів, систем органів);
- фізіологічний (процеси життєдіяльності організму);
- генетичний (особини одного виду мають подібний геном, особини навіть близьких видів – відмінні геноми);
- біохімічний (особливості будови й складу макромолекул і перебіг біохімічних реакцій);
- цитологічний (будова клітин);
- географічний (межі ареалу – території поширення виду);
- екологічний (місце, яке займає вид в екосистемі, та особливості його взаємодії з іншими видами).

**Видоутворення.** Мікроеволюція є оборотним процесом, тому що з поновленням інтенсивного обміну генами між популяціями відмінності між їхніми генофондами можуть поступово нівелюватися (зменшуватися). На відміну від мікроеволюції видоутворення – необоротний процес. Це пов'язано з виникненням репродуктивної ізоляції, коли лише особини одного виду вільно схрещуються й дають плодюче потомство. Основою видоутворення є спадкова мінливість організмів, а рушійною силою – природний добір.

🟡 **Видоутворення** – еволюційний процес виникнення нових видів.

Відповідно до типів ізоляції виокремлюють географічне та екологічне видоутворення.

**Географічне видоутворення** відбувається внаслідок географічної ізоляції, коли виникає розрив ареалу. У кожній ізольованій популяції через дрейф генів і природний добір змінюється генофонд. Виникає репродуктивна ізоляція, що приводить до утворення нових видів.

Рис. 144. Приклад географічного видоутворення:  
а – Ховрах крапчастий; б – Ховрах сірий



а



б

Географічними перепонами для сухопутних організмів є великі річки. Наприклад, Дніпро – це межа ареалів двох видів ховрахів: на правому березі мешкає Ховрах крапчастий, а на лівому — Ховрах сірий (рис. 144).

Організми, які можуть долати відстань до островів, пристосовуються там до умов існування й можуть утворювати нові види (*наведіть приклади таких організмів*).

Часто для пояснення фактів географічного видоутворення необхідно мати дані про будову земної поверхні минулих епох, що є предметом вивчення палеогеографії. Наприклад, у Північній Америці мешкають види бобрів і норок, близькі до євразійських. За геологічними даними, кілька сотень тисяч років тому Азія та Північна Америка були сполучені суходільним містком, і на їхньому спільному терені мешкали ті самі види бобрів і норок. Після утворення Берингової протоки внаслідок географічної ізоляції євразійські та американські популяції цих тварин перетворилися на окремі види.

**Екологічне видоутворення** – спосіб видоутворення, який є результатом появи різних форм екологічної ізоляції. Зазначимо, що видоутворення в такий спосіб відбувається в межах ареалу виду. Крім того, ізоляція часто пов'язана з пристосуванням організмів до споживання різної їжі. Наприклад, один вид шишкарів вигодовує пташенят насінням сосни, а інший – насінням ялини. Їх розмноження прив'язане до строків дозрівання насіння цих рослин (вони дозрівають не одночасно). Тож розмноження в різну пору року спричиняє ізоляцію і в подальшому – видоутворення. Так виникли два види шишкарів, хоча існують вони поруч, в одних і тих самих лісах (рис. 145).

**Форми природного добору.** Виокремлюють три форми природного добору – рушійний, стабілізуючий та розриваючий.

**Стабілізуючий добір** забезпечує переважне виживання й поширення особин із середніми значеннями важливих для виживання ознак і супроводжується

Рис. 145. Приклад екологічного видоутворення:  
а – Шишкар сосновий; б – Шишкар ялиновий



а



б

❓ Знайдіть відмінності в будові особин двох видів, які зумовлені різною кормовою базою.

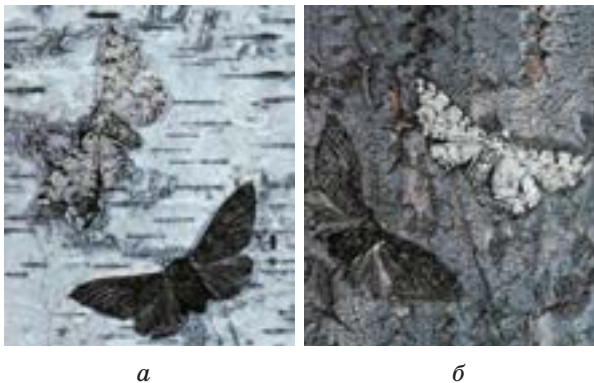
загибеллю організмів із крайніми значеннями певних ознак. Учення про стабілізуючий добір розробив український учений І. І. Шмальгаузен.

Ця форма природного добору спостерігається в умовах зовнішнього середовища, що впродовж тривалого часу залишаються сталими. У відносно незмінному середовищі перевагу мають типові, добре пристосовані до нього особини із середніми значеннями ознаки, а відмінні від них гинуть. У 1898 р. американський орнітолог Г. Байпас після сильних вітрів і снігопаду виявив 136 оглушених і напівживих домових горобців. Після відігрівання 72 з них вижили, а 64 птахи загинули. Виявилося, що останні мали або дуже довгі, або дуже короткі крила. Особини із середніми за довжиною крилами виявилися витривалішими.

**Рушійний добір** відбувається за умови повільних змін умов навколишнього середовища в певному напрямі або під час пристосування організмів до нових умов у разі розширення ареалу. У цьому випадку особини з ознаками, що відхиляються від середнього значення, мають переваги у виживанні (рис. 146). Отже, рушійний добір проявляється як стійка та певною мірою спрямована зміна ознаки. Саме таку форму природного добору описував Ч. Дарвін: «Збереження корисних відмінностей або змін і знищення шкідливих я назвав природним добром, або виживанням найбільш пристосованих».

**Розриваючий добір** – форма природного добору, що проявляється в загибелі особин із середнім значенням ознаки й збереженні крайніх відхилень від неї. Цей тип добору відбувається за таких змін умов зовнішнього середовища, коли переваг набувають особини з крайніми відхиленнями від середнього значення ознаки. Наприклад, на островах, де дмуть сильні вітри, переваги мають комахи з розвиненими довгими крилами, які можуть цим вітрам протистояти, або ж навпаки, – безкрилі, які не літають. Комах із середніми за довжиною крилами вітер відносить у море, де вони гинуть.

Рис. 146. Приклад прояву рушійної форми добору



а

б

П'ядун березовий мав блідо-кремове забарвлення з чорними крапками. Світлозабарвлені метелики були непомітними на стовбурах беріз, не вкритих лишайниками (а). У середині XIX ст. в Англії було виявлено темні особини цього метелика, чисельність яких до кінця століття становила 98 %. Інтенсивний розвиток промисловості спричинив забруднення повітря в промислових районах, унаслідок чого кора дерев стала ще темнішою через сажу, що осідала на ній. На темному тлі світлих метеликів скльовували птахи, а виживали й успішно розмножувалися темні форми п'ядуна, які на темному тлі були менш помітними (б).

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *вид*.
2. Перелічіть критерії виду.
3. Чим різняться між собою процеси мікроеволюції та видоутворення?
4. Порівняйте географічне та екологічне видоутворення.
5. Які ви знаєте форми природного добору?
6. Поясніть результати дії різних форм природного добору.

## § 38. Сучасні погляди на еволюцію

### Згадаємо!

Що таке гомологічні та аналогічні органи?

Що Чарлз Дарвін уважав рушійною силою еволюції?

Як ви вже знаєте, мікроеволюційні процеси, що відбуваються в популяціях, можуть привести до утворення нових видів унаслідок дії природного добору. Це може відбуватися у формі дивергенції, конвергенції та паралелізму.

**Дивергенція, конвергенція, паралелізм.** У своїй праці «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» Ч. Дарвін описав 13 видів в'юрків, які мешкали на Галапагоських островах. Усі в'юрки походять від спільного предка, який потрапив туди з материкової частини Південної Америки. Від вихідної групи, яка живилася насінням, виникли три групи птахів: земляні в'юрки, які живляться насінням, комахоїдні деревні в'юрки і славкові в'юрки, які також живляться дрібним насінням. Їжі, що її вживали птахи вихідної групи, на островах було замало. Переваг у боротьбі за існування набували ті птахи, у яких будова дзьоба була зміненою, що давало їм змогу вживати іншу їжу (*поміркуйте, яка це форма боротьби за існування*). За нових умов діяла рушійна форма природного добору, що спричинило розходження ознак між окремими групами птахів і, як наслідок, утворення нових видів. Таке розходження ознак називають дивергенцією. Яскравим прикладом дивергентної еволюції є різноманіття ссавців (рис. 147).

🕒 **Дивергенція** – еволюційний процес розходження ознак споріднених груп організмів унаслідок адаптації до різних умов існування.

Рис. 147. Приклади дивергенції:

а – дзьоби представників видів в'юрків Галапагоських островів; б – види ссавців



❓ Поясніть, чому зображені види ссавців можна вважати прикладом дивергенції.

Унаслідок дивергентної еволюції під дією елементарних факторів еволюції від предкової форми утворюється декілька груп, кожна з яких пристосовується до певних умов існування. У разі дивергенції подібність визначається спільністю походження, а відмінності – пристосуванням до різних умов середовища. У міру розбіжності ознак відбувається процес видоутворення, види зазнають подальшої диференціації й утворюють роди, родини тощо.

Дивергенція приводить до різноманіття організмів, згладжуючи напруженість боротьби за існування.

Вивчаючи різноманітність організмів на нашій планеті, ви дізналися, що групи організмів, які не пов'язані родинними зв'язками, можуть пристосуватися до існування в однакових умовах. Наприклад, серед тварин є організми, які пристосовані до польоту, – комахи (членистоногі) та птахи (хребетні). Пристосуванням до польоту в них слугують крила, що мають різні походження та будову. Такі органи називаються аналогічними (див. § 35) (рис. 148). Подібність цих органів є результатом еволюційного пристосування різних організмів до однакових умов середовища.

**🕒 Конвергенція** – еволюційний процес утворення в однакових умовах подібних ознак в організмів, не пов'язаних родинними зв'язками.

Пристосуваннями до однакових умов можуть бути не лише видозміни органів, а й подібність форми тіла. Порівнюючи водних тварин – риб, раків, дельфінів, можна виявити подібність у формі тіла: у всіх цих тварин вона є обтічною – це пристосування до умов існування.

Можна навести приклад і серед рослинних організмів: кактус і молочай ростуть в умовах посушливого клімату, тому мають розлогий пагін, у якому запасається вода (рис. 149).

Рис. 148. Приклади аналогічних органів тварин: а – метелик; б – колибри



а



б

**❓** Обґрунтуйте правильність твердження: «Крило комах і крило птаха є аналогічними органами».

Конвергенція може проявлятися в подібному забарвленні організмів, які живуть разом на певній території: яскраве забарвлення риб коралових рифів, птахів тропічних лісів (рис. 150).

Інкони групи, які утворилися внаслідок дивергенції, можуть знову потрапити в подібні умови. Тоді в організмів цих груп можуть незалежно та паралельно формуватися подібні пристосування до цих умов. Наприклад, палеонтологічні знахідки свідчать про появу шаблезубих форм у різних котячих. Копитні, які проживають у різних кліматичних зонах, рятуються від хижаків утечею. Тому в різних видів спостерігається зменшення кількості пальців, захищених роговими копитами.

**Паралелізм** – еволюційний процес незалежного розвитку подібних ознак в еволюції близькоспоріднених груп організмів.

Виникнення паралелізму пов'язане зі збереженням спорідненими групами організмів певної генетичної спільності, а також подібності процесів онтогенезу та його регуляції. Паралелізм починається з дивергенції. У генофондах споріднених видів закономірно виникають подібні мутації. За умови дії на популяції споріднених видів спрямованого природного добору зміни цих популяцій відбуваються подібно, що проявляється у вигляді паралелізму.

**Пристосованість як результат еволюції.** Результатом дії рушійних сил еволюції є **відносна пристосованість** видів до умов навколишнього середовища. Це можуть бути забарвлення, форма тіла, поведінка, особливості фізіологічних і біохімічних процесів тощо. Велике значення для виживання організмів у боротьбі за існування має пристосувальна поведінка: різноманітні форми піклування про потомство, демонстративна поведінка в разі наближення ворога тощо.

Рис. 149. Приклад конвергенції в рослин:

а – кактус; б – молочай

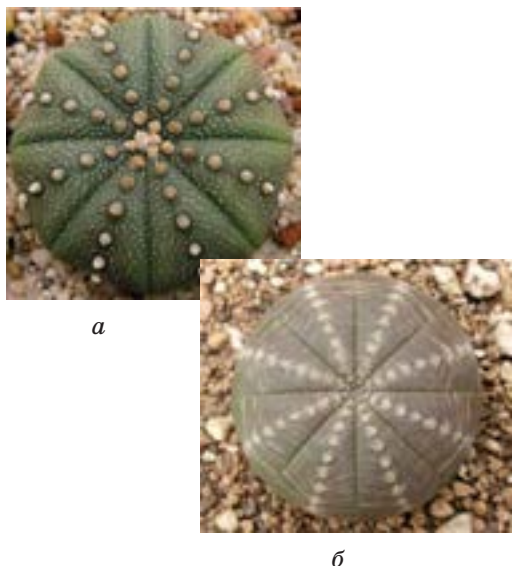
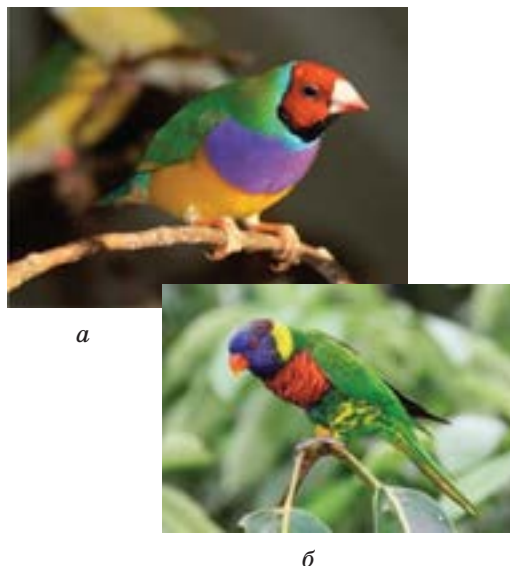


Рис. 150. Приклад конвергенції у тварин:

а – амадіна; б – папуга



**?** Чому птахи тропічних лісів мають яскраве забарвлення?



Деякі беззахисні види імітують яскраве захисне забарвлення отруйних або інших небезпечних видів. Таке наслідування називається *мімікрією*. Яскравим прикладом пристосованості є захисне забарвлення й маскувальна форма тіла, що робить тварину схожою на навколишні предмети (рис. 151).

Розвиток поглядів на еволюційний процес зумовлений відкриттями в галузі генетики, екології, молекулярної біології.

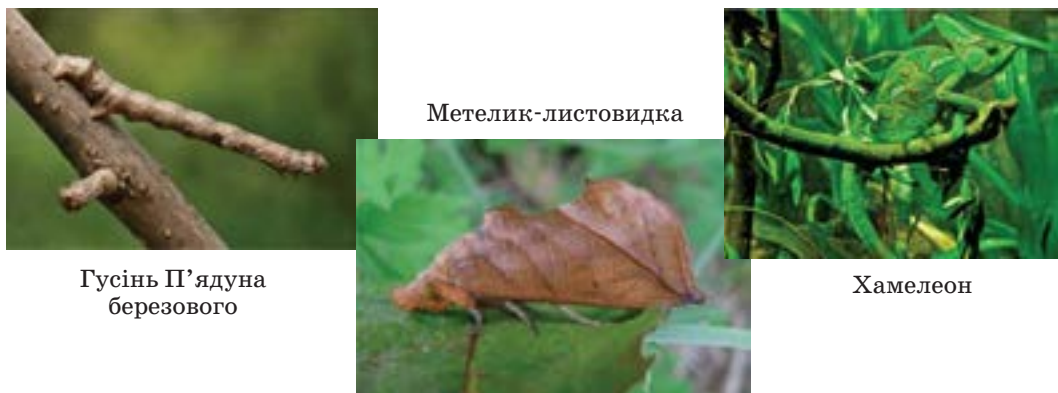
У 1920 – 1950-х роках завдяки працям Ф. Добжанського, Дж. Холдейна, Е. Майра, Дж. Сімсона і Дж. Хакслі, О. М. Северцова, І. І. Шмальгаузену було сформульовано **основні положення синтетичної теорії еволюції**:

- джерелом спадкової мінливості є мутації та рекомбінації;
- елементарною одиницею еволюції є популяція, у якій діють елементарні фактори еволюції: дрейф генів, ізоляція та популяційні хвилі;
- головною рушійною силою еволюції є природний добір, який є наслідком боротьби за існування в різних її формах;
- еволюційний процес відбувається у формах мікроеволюції, видоутворення та макроеволюції;
- здебільшого еволюція має дивергентний характер;
- еволюційні зміни є необоротними.

Дослідження останніх десятиліть засвідчили, що споріднені види подібні на рівні структури ДНК й білків, а відмінності спричинені переважно точковими мутаціями. Це дає змогу точно визначити родинні зв'язки між порівнюваними видами. Дослідження молекулярної генетики підтвердили дані про родинні зв'язки видів, що їх було отримано методами порівняльної анатомії, ембріології та палеонтології.

Зрозуміло, що нові відкриття в біології сприятимуть розвитку поглядів сучасників на еволюційні процеси. Можливо, їх зробите саме ви.

Рис. 151. Приклади маскувальної форми тіла й забарвлення у тварин



❓ Наведіть приклади пристосувань організмів до навколишнього середовища. Чому вони є відносними?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке дивергенція, конвергенція, паралелізм?
2. Наведіть приклади аналогічних органів.
3. Назвіть основні положення сучасної синтетичної теорії еволюції.
4. Змоделуйте на вибраному вами прикладі можливі етапи виникнення виду, ґрунтуючись на сучасних поглядах щодо еволюційних процесів.

## § 39. Еволюція людини

### Згадаємо!

Якими є особливості будови скелета людини, що пов'язані з прямоходінням?

Сучасне людство належить до одного біологічного виду *Людина розумна* (*Homo sapiens*), роду Людина, родини Гомініди, ряду Примати, класу Ссавці. До цієї самої родини належать сучасні людиноподібні мавпи – орангутани, горили, шимпанзе, а також деякі вимерлі форми людей. Процес еволюційного розвитку нашого виду називається **антропогенезом**.

**Характерні особливості людини.** Які характеристики вважаються притаманними переважно людині? Учені виокремлюють кілька таких ознак, і розвиток деяких з них можна простежити за аналізом викопних решток. Це прямоходіння, розвинений головний мозок, пристосована для виготовлення та використання знарядь праці кисть руки, щелепи із невеликими зубами й невиразними іклами, а також утрата густого волосяного покриву на більшій частині шкіри.

**Еволюція людини та гомінід.** Науці відома велика кількість викопних знахідок давніх гомінід, що формують наше еволюційне дерево. Еволюційний розвиток не є винятково лінійним процесом, коли один вид із часом поступово перетворюється на інший. Певні види можуть унаслідок дивергенції давати початок різним лініям. Одна з них привела до появи сучасної людини, інші – до сучасних людиноподібних мавп. Деякі ж гілки еволюційного дерева стали тупиковими, а види, до розвитку яких вони призвели, вимерли. Ми опишемо лише ключові моменти антропогенезу.

Рис. 152. Зображення шимпанзе (а), реконструкція тіла проконсула (б) та фотографія сучасної людини (в)



а



б



в

❗ Які риси будови проконсула зближують його із шимпанзе, а які – з людиною?

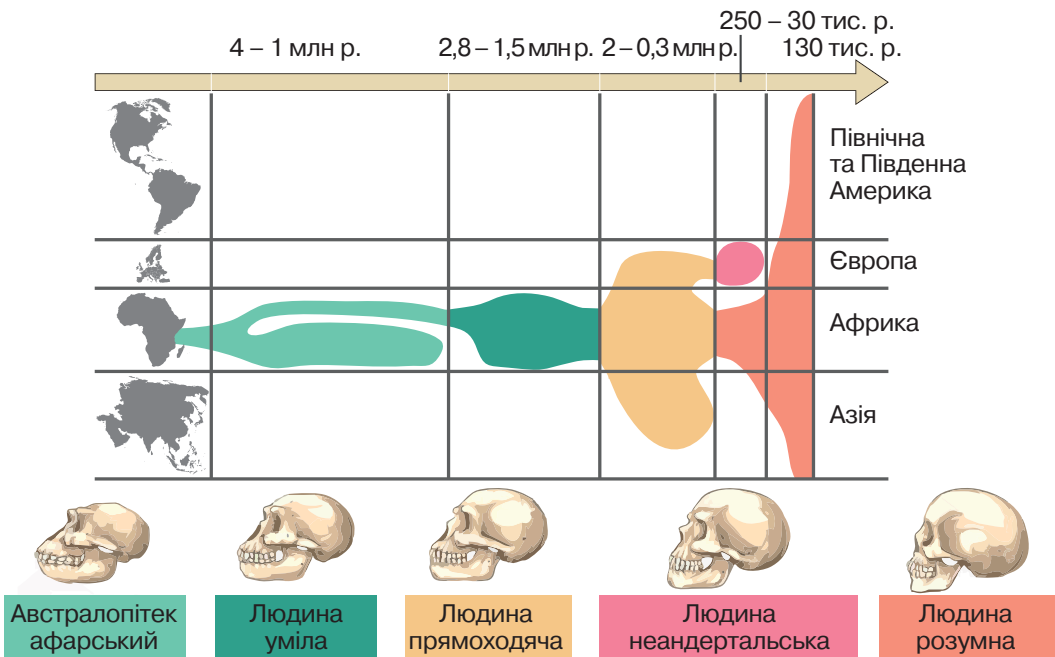
**Виділення еволюційної лінії гомінід.** Цей процес розпочався 18 – 15 млн років тому з тварин, до яких належав *проконсул* (рис. 152). Це був примат, що мешкав у тропічних лісах Африки й поєднував у будові риси мартишкових мавп і гомінід. Проконсулів вважають спільним предком людини, людиноподібних мавп та вимерлих предків і родичів роду Людина. Еволюційна лінія, що веде до орангутанів, від'єдналася від потомків проконсулів раніше (13 – 10 млн років тому), ніж лінія горил та шимпанзе (10 – 8 млн років тому), тому ми більш споріднені з останніми.

**Австралопітеки.** На еволюційному шляху до предків людини відомо кілька докладно описаних викопних видів (рис. 153). *Сахелантропи*, які мешкали 7 – 6 млн років тому, є першими відомими *прямоходячими* мавпами; *оррорин* мешкав 6 млн років тому, *ардипітеки* – 5,5 – 4,4 млн років тому. Усі зазначені види мешкали на території Африки й мали проміжну будову тіла між мавпами та людиною. Вони були здатні до прямоходіння, але завдяки будові стоп і кистей рук значну частину часу проводили на деревах.

Наступні етапи розвитку пов'язані з нащадками ардипітеків. *Австралопітек афарський* (3,9 – 2,9 млн років тому) мав зріст до 1,5 м, масу 30 – 45 кг. У нього був «мавп'ячий» череп з невеликим мозком і подібний до людського скелет інших частин тіла. Удень австралопітеки кочували саваною, а вночі ховалися на деревах, подібно до сучасних шимпанзе. Одна з гілок розвитку австралопітеків дала початок лінії роду Людина.

**Розвиток роду Людина.** Одним із ранніх представників роду *Людина* є *Людина рудольфійська* (Кенія, 2,3 – 1,5 млн років тому). Вона мала значно більший, ніж в австралопітеків, мозок, плоскіше обличчя, виражені надбрівні дуги.

Рис. 153. Узагальнена схема еволюції людини



Визначним етапом антропогенезу став початок *виготовлення людиною знарядь праці* з каменю. Це визначило назву наступного представника еволюційного літопису – *Людина уміла* (Африка, 2,3 – 1,5 млн років тому). Відтоді в лінії людей починається стрімке *збільшення об'єму головного мозку*. Дещо пізніше існувала *Людина працююча* (Африка, 1,8 – 1,4 млн років тому) – це перші люди, які опанували *використання вогню*. Їх потомком стала *Людина прямоходяча* (*Homo erectus*, 1,8 – 0,8 млн років тому). Вони були першими людьми, які прийшли з Африки до Азії та Європи. Азійські еректуси дали початок кільком різним видам людей, які вимерли. Серед них цікавою є *Людина флореська*, яку ще називають «хобітом». Її рештки, знайдені на острові Флорес (Індонезія), датують 100 – 50 тис. років тому. Свою назву вона отримала за малий зріст (трохи більше за 1 м).

Унаслідок еволюції *Людини прямоходячої* виникла *Людина гейдельберзька*, яка мешкала в Африці, Європі та Західній Азії (800 – 130 тис. років тому). У неї був великий головний мозок, зріст 1,5 – 1,8 м, маса 50 – 60 кг. Це перші люди, які почали ховати своїх мерців, тобто мали порівняно складні соціальні ритуали. Унаслідок еволюції гейдельберзької людини в Європі виник вид *Людина неандертальська* (230 – 28 тис. років тому), який згодом поширився в Азії. Відомі стоянки неандертальців і на теренах України. Неандертальці були схожими на сучасних людей, проте в них був масивніший скелет і виражені надбрівні дуги черепа тощо (рис. 154). Головний мозок був навіть більшим за мозок сучасної людини, проте його будова дещо різнилася з ним. Зокрема, у них меншою мірою була розвинена лобова кора. Жили неандертальці громадами по 2 – 4 родини, займалися збиранням їжі та полюванням. Раніше вважалося, що неандертальці були прямими еволюційними предками сучасної людини. Наразі цей погляд вважається хибним.

Рис. 154. Реконструкції голови деяких викопних гомінід, що їх було зроблено на основі будови кісток черепа



Сахелантроп



Австралопітек



Людина прямоходяча



Людина неандертальська

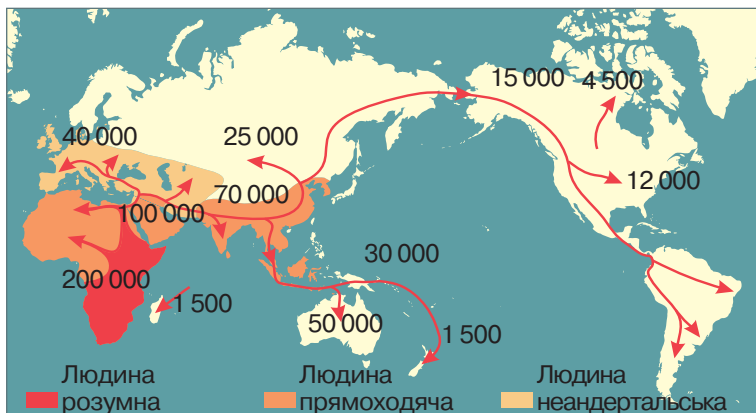
❗ Простежте зміни в будові черепа, що відбулися в еволюції людини.

**Виникнення і поширення виду *Людина розумна*.** Вид *Людина розумна* виник унаслідок еволюції гейдельберзьких людей Африки. Найдавніші кістяки людей із сучасною будовою датуються 200 тис. років тому, їх було знайдено на території Ефіопії. Унаслідок збільшення кількості й розселення популяцій люди почали мігрувати з Африки. Перша спроба виходу на Близький Схід майже 125 тис. років тому була невдалою через конкуренцію із панівними на той час неандертальцями. Успішною виявилася друга спроба, що почалася близько 75 тис. років тому. *Людина розумна* досягла Південної Азії (50 тис. років тому), Австралії (46 тис. років тому), Європи (43 тис. років тому), Східної Азії (30 тис. років тому). Дата початку заселення Америки є спірною, її відносять до діапазону 30 – 14 тис. років тому (рис. 155). Конкуренція з неандертальцями на територіях сумісного проживання призвела до вимирання останніх. Пізніше вимерли люди на острові Флоренс.

Еволюція людини відбувалася під дією біологічних та соціальних чинників. До соціальних чинників антропогенезу відносять працю, суспільний спосіб життя, розвинену свідомість і мову. На пізніших етапах становлення людини їм належала провідна роль. Найважливіший чинник еволюції людини – праця. Упродовж життя багатьох поколінь унаслідок природного добору зберігалися особини зі спадковими змінами, що сприяло прямоходінню. Прямоходіння привело до вивільнення руки. Розвинена рука уможливила виготовлення людиною примітивних знарядь праці. Спільна трудова діяльність сприяла об'єднанню членів колективу, що потребувало спілкування за допомогою слів.

*Людина розумна* залишилася єдиним представником роду. Її стратегія виживання виявилася настільки успішною, що вона заселила всі континенти (крім Антарктиди) і стала одним з панівних видів сучасної біосфери. Подальший розвиток людства є предметом вивчення історії та інших суміжних дисциплін.

Рис. 155. Карта міграції ранніх людей (числа позначають час відповідних хвиль міграції)



(?) Поясніть, чому Африку вважають *колискою людства*.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке антропогенез?
2. Які ознаки відрізняють людину від інших приматів?
3. Як виник рід *Людина*?
4. Опишіть основні етапи розвитку роду *Людина*.
5. Які чинники впливали на еволюцію виду *Людина розумна*?
6. Опишіть поширення виду *Людина розумна* на планеті.

## § 40. Світоглядні та наукові погляди на походження життя

### Згадаємо!

Що таке життя?

Які ознаки живого?

У попередніх параграфах ми розглядали розвиток життя на нашій планеті. Однак людина прагне знайти відповідь і на запитання щодо походження життя, яке до сьогодні остаточно не розв'язане (рис. 156). Ви ознайомитеся з різними поглядами, що мають кожний свою історію становлення й своїх прихильників. Ці погляди можна назвати лише гіпотезами, бо вони є припущеннями, що їх висунуто з метою з'ясування походження життя. Пригадаємо, що під поняттям *життя* ми розуміємо відкриті системи, побудовані з білків і нуклеїнових кислот, які здатні самовідтворюватися, саморозвиватися й підтримувати своє існування в результаті обміну речовин та енергії з навколишнім середовищем. З розвитком науки деякі гіпотези доповнюються фактами, що спонукають продовжувати дослідження в цьому напрямі, інші гіпотези поступово спростовуються.

**Креаціоністська гіпотеза.** Цієї гіпотези дотримуються послідовники майже всіх найпоширеніших релігійних вірувань. Її основне положення: все існуюче у Всесвіті, у тому числі життя, було створене в минулому єдиною Силою – Творцем у результаті декількох актів надприродного творіння. Організми, що населяють сьогодні Землю, не мають родинних зв'язків і походять від створених окремо основних груп живих істот. Створені живі істоти були досконаліми і, за деякими віруваннями, можуть змінюватися в певних межах.

Рис. 156. Як виникло життя на планеті Земля?



❓ Чи цікавило вас це питання? Якими знаннями щодо походження життя на планеті ви володієте?

**Гіпотеза стаціонарного стану.** Відповідно до цієї гіпотези Земля ніколи не виникала, а існувала вічно. Життя на планеті було завжди, види при цьому змінювалися не суттєво. Таке уявлення характерне для східних релігій, таких як індуїзм і буддизм, погляду на планету як на вічний нестворений Всесвіт.

**Гіпотеза самозародження.** Протягом тисячоліть люди вірили в самозародження життя, вважаючи його звичайним способом появи живих істот з неживої природи: джерелом спонтанного зародження слугують або неорганічні сполуки, або гнилі органічні рештки. Гіпотеза була поширена в Стародавньому Китаї, Вавилоні та Стародавньому Єгипті, її висловлювали філософи Стародавньої Греції, тобто таке сприйняття світу було одним із найдавніших. Арістотель, якого часто проголошують засновником біології, писав, що жаби й комахи зароджуються в сирому ґрунті.

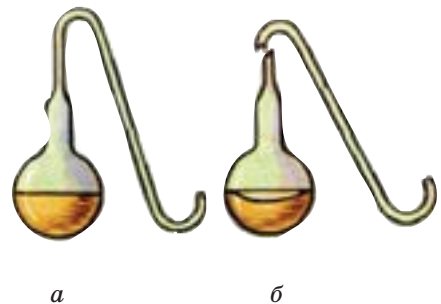
Перші дослідження, що похитнули думку про самозародження життя, провели італійські природодослідники – лікар Франческо Реді (1626–1697) і вчений Ладзаро Спаланцані (1729–1799).

Нищівного удару цій гіпотезі було завдано в XIX ст. французьким мікробіологом Луї Пастером (1822–1895) й англійським біологом Джоном Тіндалем (1820–1893). Вони зробили припущення: якщо бактерії, які поширюються повітрям, не зможуть потрапити до колб зі стерилізованим бульйоном, то в самому бульйоні вони не виникнуть. Пастер користувався для цього колбами із зігнутим S-подібним горлом (воно слугувало пасткою для бактерій), а Тіндаль стерилізував повітря, що надходить у колби, пропускаючи його крізь полум'я або вату (рис. 157). До кінця 70-х років XIX ст. майже всі вчені визнали, що організми зароджуються лише від інших живих організмів. Це привело до формулювання нових гіпотез, подальших пошуків, досліджень з метою розкриття таємниць походження життя.

Пам'ятник Луї Пастеру біля Пастерівського інституту (Франція)



Рис. 157. Дослід Луї Пастера



У колби із S-подібним горлом поживне середовище після кип'ятіння довго залишається стерильним (а); якщо прибрати S-подібну трубку, то в середовищі швидко розвиваються мікроорганізми (б).

❓ Поясніть результати досліді Л. Пастера.

**Гіпотеза панспермії.** Гіпотеза походження життя на Землі в результаті перенесення живих істот з інших планет називається *панспермією*. Одним із перших ідею про космічне походження життя висловив німецький учений Г. Ріхтер у 1865 р. Першими захисниками його погляду були видатні вчені-фізики Г. Гельмгольц, С. Арреніус, Дж. Томсон. Згідно з уявленнями Томсона й Гельмгольца спори бактерій та інших організмів могли бути занесені на Землю з метеоритами.

Гіпотезу панспермії поділяють астрономи Ч. Вікрамасінгха (Шрі-Ланка) і Ф. Хойл (Велика Британія). Вони вважають, що мікроорганізми утворюються в космічному просторі, переважно в газових і пилових хмарах. Далі ці мікроорганізми захоплюються кометами і в такий спосіб переносяться на Землю. Під час вивчення метеоритів і комет у них було виявлено такі речовини, як ціаногени, синильну кислоту й органічні сполуки (рис. 158).

**Гіпотеза абіогенного синтезу (біохімічної еволюції).** Розвиток біохімії, накопичення фактів, що свідчили про хімічну й генетичну основу життя, неминуче привели до створення гіпотези абіогенного синтезу. Першою спробою стала праця російського біохіміка О. І. Опаріна «Виникнення життя» (1924). Учений зробив припущення: за умов, що існували на нашій планеті 4,0 – 4,5 млрд років тому, найпростіші органічні сполуки синтезувалися з неорганічних у первісному океані, тобто поза клітиною. Через 5 років незалежно від О. І. Опаріна те саме припущення висловив англійський учений Дж. Холдейн. За цією гіпотезою, процес, унаслідок якого виникло життя на Землі, можна поділити на три етапи: виникнення органічних речовин; утворення з найпростіших органічних речовин біополімерів; виникнення організмів, здатних до самовідтворення. Земля виникла близько 5 млрд років тому, і спочатку температура на її поверхні становила декілька тисяч градусів. У міру її остигання утворилася літосфера. Надалі утворюється атмосфера, яка спочатку складалася з легких газів, що замінювалися на важчі: водяну

Рис. 158. Гіпотеза панспермії – життя занесене на Землю з космічного простору



❓ На яке запитання, на вашу думку, не дає відповіді гіпотеза панспермії?



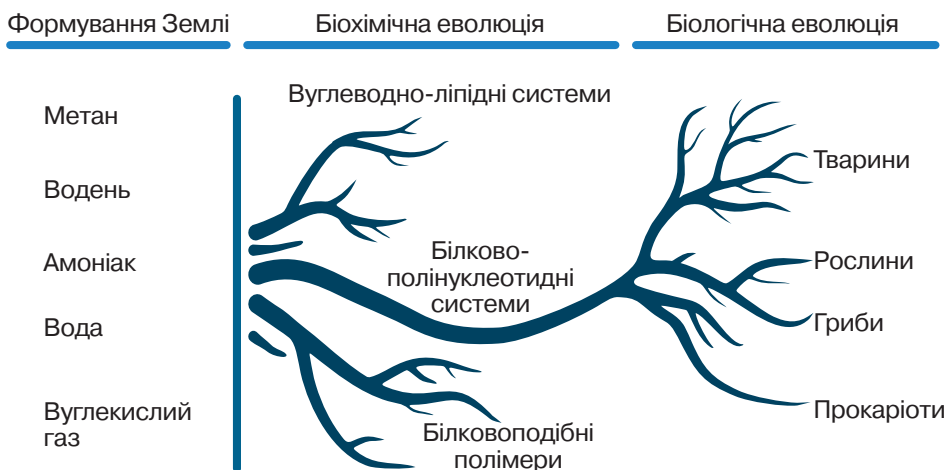
пару, вуглекислий газ, амоніак і метан. Зі зниженням температури водяна пара почала конденсуватися, утворюючи Світовий океан. Відповідно до уявлень учених у цей час відбувся абіогенний синтез – синтез органічних сполук поза клітиною.

Перед ученими постали інші запитання: як і чому складні органічні речовини утворили організми? О. І. Опарін уважав, що вирішальна роль у перетворенні неживого на живе належить білкам, молекули яких, притягуючи молекули води, утворювали колоїдні гідрофільні комплекси. Подальше злиття таких комплексів сприяло відділенню колоїдів від водного середовища, тобто утворенню коацерватів. На межі між коацерватом і середовищем «шикувалися» молекули ліпідів: утворювалася примітивна клітинна мембрана. Колоїди могли обмінюватися молекулами з навколишнім середовищем, тобто відбувався обмін речовин. Ще один тип молекул – нуклеїнові кислоти забезпечували здатність до самовідтворення. Ці зміни привели до біологічної еволюції (рис. 159).

Підтвердження можливості за певних умов абіогенного синтезу органічних сполук експериментально отримав американський хімік Л. С. Міллер (1953). Він довів, що з неорганічних складових первинної земної атмосфери під дією електричних розрядів й ультрафіолетового випромінювання можуть утворюватися амінокислоти та інші органічні молекули. Правомірність абіогенного синтезу органічних сполук надалі підтверджена численними експериментами: абіогенним шляхом синтезовано аденін, піримідин, рибозу, дезоксирибозу, полісахариди й полінуклеотиди.

Гіпотеза біохімічної еволюції має найбільше прихильників серед сучасних науковців. Уважається, що на ранніх етапах вирішальна роль належала молекулам РНК, які могли як зберігати інформацію, так і виконувати ферментативні функції. Надалі зазначені функції відійшли до ДНК і білків, а РНК залишилися посередниками між ними.

Рис. 159. Передбачувані етапи гіпотези абіогенного синтезу, або біохімічної еволюції



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Які ви знаєте гіпотези походження життя?
2. Поясніть значення досліджень Л. Пастера для спростування гіпотези самозародження життя.
3. Поясніть сутність гіпотези абіогенного синтезу.
4. Яка гіпотеза походження життя здається вам найбільш вірогідною? Чому?

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Еволюція органічного світу»

### ВАРІАНТ I

Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)

1. Наука, яка вивчає вимерлі форми органічного світу, називається
  - А анатомією
  - Б біогеографією
  - В палеонтологією
  - Г антропологією
2. Рушійною силою еволюції Ч. Дарвін уважав
  - А внутрішнє прагнення організму до прогресу
  - Б зміни в організмі в результаті тренування органів
  - В процес виживання організмів, найбільш пристосованих до умов існування
  - Г добір людиною організмів з найбільш корисними для неї ознаками
3. Прикладом внутрішньовидової боротьби за існування є
  - А турнірні бої оленів за самицю
  - Б полювання лисиці на зайця
  - В запилення квіток комахами
  - Г розповсюдження насіння сосни вітром
4. Елементарною одиницею еволюції за сучасними поглядами вважається
  - А вид
  - Б особина
  - В біосфера
  - Г популяція
5. Випадкова зміна частоти зустрічальності алелей у малих популяціях називається
  - А міграцією
  - Б ізоляцією
  - В дрейфом генів
  - Г популяційними хвилями
6. Соціокультурним фактором антропогенезу є
  - А боротьба за існування
  - Б природний добір
  - В популяційні хвилі
  - Г трудова діяльність

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Два учні розглядали фотографії, на яких зображено близькі види Ховраха сірого (1) та Ховраха крапчастого (2). Ці види виникли в результаті проживання особин на різних берегах річки Дніпро. Перший учень вважає, що види виникли внаслідок дивергенції. Другий учень зазначив, що це є прикладом географічного видоутворення. Хто з них має рацію?

- А перший  
Б другий  
В обидва мають рацію  
Г обидва помиляються



1



2

8. Прочитайте речення: «Крило птаха та плавець дельфіна є (1) і виконують (2) функції». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.

- А 1 – гомологічними органами                      2 – різні  
Б 1 – аналогічними органами                      2 – різні  
В 1 – рудиментарними органами                  2 – однакові  
Г 1 – гомологічними органами                      2 – однакові

9. Прочитайте твердження щодо еволюційних змін зображених тварин.

I. Обидві тварини пристосовані до придонного способу життя.

II. Зміни в будові виникли в результаті конвергенції.

Чи є поміж них правильні?

- А лише перше  
Б лише друге  
В обидва правильні  
Г обидва неправильні



1



2

**Тестове завдання на відповідність (3 бали)**

10. Установіть відповідність між групою порівняльно-анатомічних доказів еволюції (1 – 3) та її прикладом (А – Г).

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1 гомологічні органи | А крило метелика та крило кажана       |
| 2 рудименти          | Б крило лелеки та риюча кінцівка крота |
| 3 атавізми           | В надмірна волосатість тіла людини     |
|                      | Г наявність тазових кісток у кита      |

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

- Поясніть значення теорії Ч. Дарвіна для подальшого розвитку поглядів на еволюційний процес.
- Проаналізуйте різні погляди на виникнення життя на Землі. Яке пояснення виникнення життя здається вам найбільш вірогідним?

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. У природничих музеях України є експозиції вимерлих тварин і рослин, що населяли нашу планету в попередні геологічні ери. Їх створення стало можливим унаслідок розвитку науки, яка називається
  - А антропологією
  - Б палеонтологією
  - В зоологією
  - Г ботанікою
2. Перше еволюційне вчення розробив у своїй праці «Філософія зоології»
  - А Ж. Б. Ламарк
  - Б Ч. Дарвін
  - В К. Лінней
  - Г Ф. Реді
3. Процес виживання найбільш пристосованих організмів до умов існування Ч. Дарвін назвав
  - А внутрішнім прагненням до прогресу
  - Б боротьбою за існування
  - В природним добором
  - Г штучним добором
4. Відповідно до сучасних поглядів елементарною одиницею еволюції вважається
  - А екосистема
  - Б популяція
  - В особина
  - Г вид
5. Прикладом міжвидової боротьби за існування є
  - А запилення квіток вітром
  - Б полювання ведмедя на рибу
  - В турнірні бої оленів за самицю
  - Г взаємодопомога слонів на шляху до водойми
6. Соціокультурним фактором антропогенезу є
  - А боротьба за існування
  - Б природний добір
  - В популяційні хвилі
  - Г мова й мислення

### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Учениця та учень розглядали фотографії, на яких зображено близькі види – Конвалія закавказська (1) й Конвалія травнева (2). Ці види виникли внаслідок дії льодовика, який розділив ареал існування предкового виду. Учениця зробила припущення, що види виникли в результаті конвергенції. Учень же зазначив, що це є прикладом географічного видоутворення. Хто з них має рацію?

- А учениця  
Б учень  
В обоє мають рацію  
Г обоє помиляються



1



2

8. Прочитайте речення: «Крила метелика та кажана є (1) і виконують (2) функцію». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.

- А 1 – гомологічними органами      2 – різну  
Б 1 – аналогічними органами      2 – різну  
В 1 – рудиментарними органами    2 – однакову  
Г 1 – аналогічними органами      2 – однакову

9. Прочитайте твердження щодо еволюційних змін зображених тварин.

- I. Обидві тварини пристосовані до життя у воді.  
II. Відміни між ними в будові виникли в результаті дивергенції.  
Чи є поміж них правильні?

- А лише I  
Б лише II  
В обидва правильні  
Г обидва неправильні



1



2

### Тестове завдання на відповідність (3 бали)

10. Установіть відповідність між групою порівняльно-анатомічних доказів еволюції (1 – 3) та її прикладом (А – Г).

- |                      |   |
|----------------------|---|
| 1 гомологічні органи | А зябра рака річкового та зябра окуня річкового |
| 2 рудименти          | Б риюча кінцівка крота та плавець дельфіна      |
| 3 атавізми           | В наявність апендикса в людини                  |
|                      | Г наявність тазових кісток у кита               |

### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

1. Схарактеризуйте сучасні погляди на еволюцію органічного світу.
2. Визначте співвідношення біологічних та соціокультурних факторів антропогенезу.

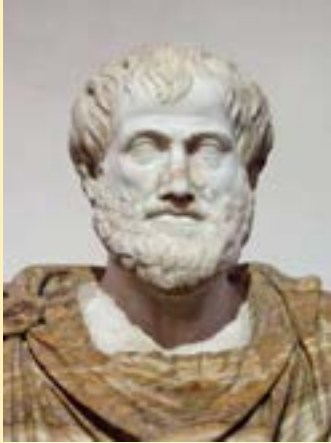


*Тема 7*

## **БІОРІЗНОМАНІТТЯ**



## З історії відкриттів



Арістотель  
(384 – 322 рр. до н. е.)

Незаперечним є факт, що систематика – наука про класифікацію організмів – виникла з потреб людини. У найдавніші часи людина, збираючи плоди, полюючи на тварин, вибирала корисні й уникала отруйних, шкідливих і небезпечних. Так виникла потреба розрізняти організми й давати їм відповідні назви. Інформацію передавали від покоління до покоління.

Про значення праць давньогрецького філософа та вченого *Арістотеля* ми вже згадували: уперше узагальнив накопичені на той час біологічні знання, розробив систематику тварин, визначивши в ній місце людини, яку він назвав суспільною твариною, наділеною розумом.

Одна з найперших спроб класифікації рослин належить давньогрецькому філософу й природодосліднику *Теофрасту* (бл. 371 – 287 рр. до н. е.). На підставі даних про будову різноманітних ор-

ганів він описав понад 500 рослин.

Багатий матеріал про рослини й тварин зібрано в період розквіту Римської імперії. Зокрема у творах *Плінія Старшого* (I ст. до н. е.) описано понад тисячу рослин. Особливу увагу приділено лікарським і плодовим рослинам. Грецький лікар *Діоскорид* (I ст.) у праці «Про лікарські засоби» описав понад 500 видів лікарських рослин. На початку XVI ст. італійський ботанік *Лука Гіні* (1490–1556) винайшов спосіб зберігання рослин висушуванням їх між аркушами паперу й цим започаткував гербаризацію рослин.



Карл Лінней  
(1707 – 1778)

Визначне місце в розвитку систематики належить шведському природознавцю й лікарю *Карлу Ліннею*. Його класифікацію живих організмів було сформульовано в працях «Система природи» та «Види рослин». Система К. Ліннея спростила вивчення рослин. Цьому сприяли короткі й чіткі описи, побудовані за єдиним планом. Учений запровадив близько тисячі нових наукових термінів і понять, якими користуємося й тепер. К. Лінней особисто описав понад 1500 нових видів рослин. Він увів чітку підпорядкованість між такими систематичними категоріями, як *царство – клас – порядок – рід – вид*. Основна ж заслуга Карла Ліннея – створення бінарної номенклатури й стандартизація та удосконалення термінології в ботаніці. Але його система не враховувала походження сучасних організмів, тобто була штучною.

Створення природних систем, в основу яких покладено об'єднання організмів за родинними зв'язками, належить дослідникам наступних поколінь. Значний внесок у розвиток систематики й філогенії зробили німецькі природодослідники *Фердинанд Мюллер* (1825–1896) і *Ернст Геккель* (1834–1919): у 60-х роках XIX ст. вони сформулювали біогенетичний закон.

## § 41. Основи еволюційної філогенії та систематики

### Згадаємо!

Що таке еволюція, вид?

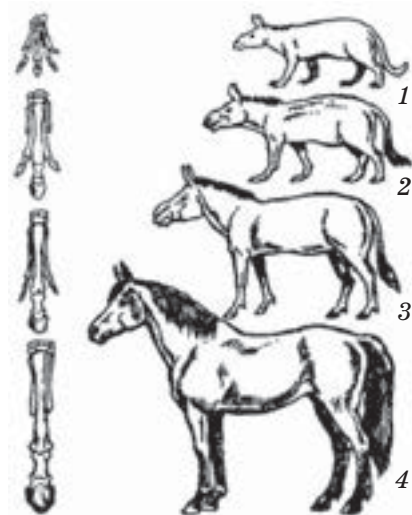
Вам уже відомо, що види організмів на планеті Земля можуть виникати, існувати та зникати.

**Еволюційна філогенія.** Учення Ч. Дарвіна доповнили та розширили його послідовники. Один з найвагоміших внесків зробив німецький учений Е. Геккель. Він є засновником філогенетичного напрямку в цьому вченні.

🔴 **Філогенія** (філогенез) – це історичний розвиток як окремих груп (видів, родів тощо), так і всього живого загалом. Для визначення філогенії певної групи Геккель запропонував зіставляти дані палеонтології, порівняльної анатомії та порівняльної ембріології. Тож викопні й сучасні форми ніби об'єднуються в єдиний філогенетичний ряд, який відображає послідовність еволюційних змін організмів у цілому чи їхніх окремих органів у межах певної систематичної групи. Прикладом є послідовність еволюційних змін кінцівок у предків коней (рис. 160).

**Біогенетичний закон.** Видатні німецькі вчені Е. Геккель і Ф. Мюллер незалежно один від одного відкрили біогенетичний закон (закон Геккеля–Мюллера), що показує зв'язок між філогенезом й онтогенезом: індивідуальний розвиток (онтогенез) будь-якого організму – це вкорочене й стисле повторення історичного розвитку (філогенезу) даного виду. Геккель довів подібність ембріонального розвитку хребетних тварин, що свідчить про їхнє спільне походження (рис. 161). Наприклад, на відповідних фазах в ембріонів різних груп хребетних закладаються

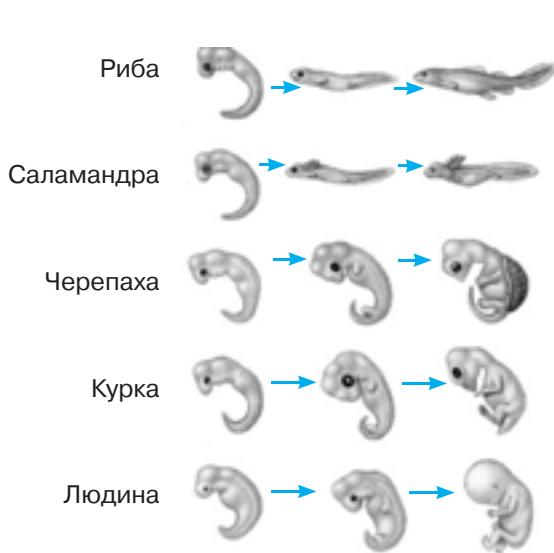
Рис. 160. Філогенетичний ряд коня



1 – еогіпус; 2 – міогіпус;  
3 – гіпаріон; 4 – сучасний кінь

❓ Схарактеризуйте зміни, що відбулися в будові кінцівки.

Рис. 161. Ембріони хребетних тварин



❓ Знайдіть зяброві щілини на зображеннях ембріонів хребетних.



зброві щілини. Учений-зоолог О. М. Северцов дослідив, що під час онтогенезу повторюються зародкові стадії предків, а не їхні дорослі форми.

**Систематика.** Класифікацію організмів досліджує біологічна систематика. Основним її завданням є створення системи органічного світу – сукупності видів організмів, які живуть або жили на Землі, класифікованої за певними принципами.

У сучасній біології застосовують природну систему, що ґрунтується на філогенетичній спорідненості організмів. Згідно з нею подібність організмів доводять не лише за комплексом різноманітних ознак або даних палеонтології, а й за допомогою досліджень мінливості молекулярних структур, передусім ДНК. Серед основних принципів побудови системи органічного світу особливе значення має її філогенетичність, тобто наявність генетичної основи, а також максимально повне відображення еволюційних зв'язків між організмами. Варто звернути увагу на принцип ієрархічності, згідно з яким систематичні категорії (таксони) нижчого порядку об'єднують у таксони вищого порядку: вид – рід – родина – порядок (ряд) – клас – відділ (тип). У наш час загально-визнаною є подвійна (бінарна) номенклатура назв видів: перше слово – родова назва, друге – видова (рис. 162).

З кожним роком стають відомими дедалі більше видів сучасних і викопних організмів. Це веде до виділення не лише нових родів, родин, рядів, а навіть класів. Нині всі організми поділяють на дві великі групи відповідно до будови їх клітин – Прокаріоти та Еукаріоти (рис. 163). Серед прокаріотів виокремлюють царство Археї та царство Бактерії. Еукаріотичні організми об'єднують у царства Рослини, Тварини та Гриби. Одноклітинні еукаріотичні організми нерідко поєднують ознаки, властиві представникам різних царств (*пригадайте особливості Евглени зеленої*), тому їх часто вивчають як окремі групи.

Рис. 162. Приклади біологічної систематики тварин і рослин

Царство	→ Тварини	Царство	→ Рослини
Тип	→ Хордові	Відділ	→ Покритонасінні
Клас	→ Ссавці	Клас	→ Дводольні
Ряд	→ Комахоїдні	Порядок	→ Розоцвіті
Родина	→ Їжаківі	Родина	→ Розові
Рід	→ Їжак	Рід	→ Суниці
Вид	→ Їжак вухастий	Вид	→ Суниця лісові



Рис. 163. Схематичне відображення еволюційних зв'язків між основними групами організмів



❗ Наведіть приклади систематичного положення інших видів тварин і рослин.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке філогенія?
2. Про що свідчить філогенетичний закон?
3. Що вивчає систематика?
4. На які групи поділяють організми?

## § 42. Різноманітність форм життя: віруси та прокаріоти

### Згадаємо!

Якими є ознаки живого?

Яку будову має прокаріотична клітина?

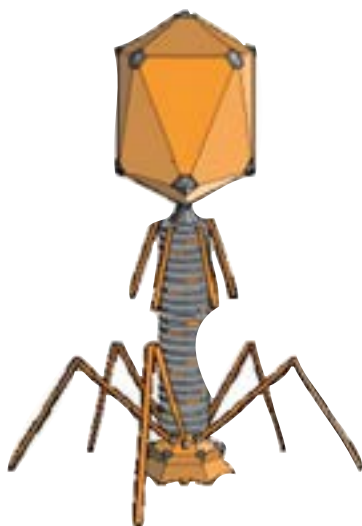
Вам уже відомо, що основними формами життя є організми, які мають клітинну будову. Однак на нашій планеті виявлено й інші форми життя.

**Віруси.** Віруси не мають клітинної будови, вони є паразитами в прокаріотичних та еукаріотичних клітинах (рис. 164). Віруси використовують органели клітин-хазяїнів для синтезу нових вірусних частинок – **віріонів**, у них немає власного обміну речовин. Поза клітиною-хазяїном вони не виявляють ознак життя.

До складу віріонів уходить молекула нуклеїнової кислоти – ДНК або РНК. У простих вірусів така молекула оточена капсидом, що складається з білкових молекул. Складні віруси під час формування віріонів захоплюють частину клітинної плазматичної мембрани, доповнюють її власними білками – утворюється суперкапсид. На відміну від організмів, у клітинах яких спадкова інформація зберігається у вигляді дволанцюгової молекули ДНК, геном вірусу може бути утворений як дво-, так й одноланцюговою молекулою ДНК або РНК.

В організм хазяїна віруси потрапляють різними шляхами. Віруси бактерій руйнують клітинні стінки. Віруси рослин проникають під час руйнування цілісності покривів. В організм тварин віруси проникають через різні системи органів. Наприклад, повітряно-крапельним шляхом через органи дихан-

Рис. 164. Схематична будова деяких вірусів



Бактеріофаг – вірус,  
що уражає бактерії



Вірус тютюнової мозаїки

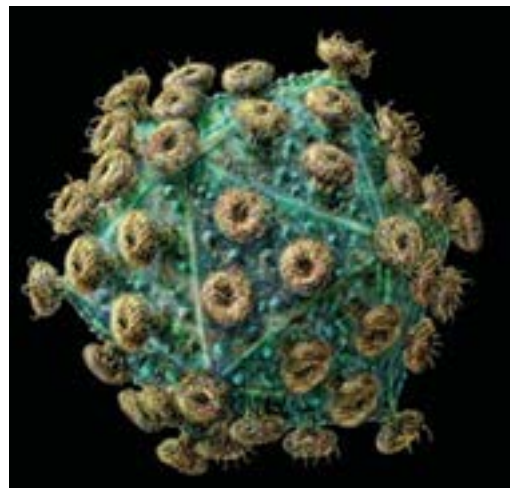
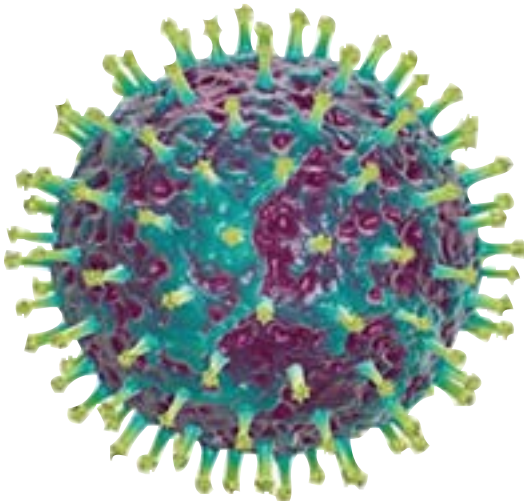
ня проникають віруси грипу, віспи, кору. Інші віруси можуть передаватися з їжею через травну систему. Збудник ящура може передаватися із сирим молоком ураженої корови. Є віруси, що потрапляють в організм через ушкоджену або неушкоджену шкіру. Це віруси сказу, папіломи тощо. Існує загроза потрапляння вірусу в організм під час переливання крові, хірургічних операцій (збудники СНІДу, гепатиту В тощо). Статевим шляхом передаються віруси герпесу, папіломи, ВІЛ. Варто звернути увагу на те, що проникнення вірусу в організм хазяїна можливе й за участі переносників – комах, кліщів тощо. Розглянемо два віруси, що є збудниками небезпечних хвороб.

Вірус грипу належить до складних вірусів. Його спадкова інформація міститься у вісьмох одноланцюгових молекулах РНК, оточених капсидом та суперкапсидом (рис. 165). Цей вірус передається повітряно-крапельним шляхом й уражає слизові оболонки дихальних шляхів. Джерелом грипу людини є переважно хвора людина. Грип – це хвороба, для якої характерне епідемічне поширення. Епідемії грипу, що охоплюють цілі континенти, називаються *пандеміями*. Наприклад, унаслідок пандемії 1918 р., за різними оцінками, загинули від 50 до 100 млн осіб.

До складних вірусів також належить вірус імунодефіциту людини (ВІЛ). Віріон ВІЛ складається з двох однакових молекул одноланцюгової РНК, оточених капсидом, над яким утворений суперкапсид. Цей вірус належить до ретровірусів й уражає Т-лімфоцити, і їхня загибель призводить до дефіциту імунних клітин в організмі (рис. 166). ВІЛ спричиняє розвиток синдрому набутого імунодефіциту (СНІДу). Цей вірус був відкритий 1983 р. французькими вченими Л. Монтаньє і Ф. Барре-Сінуссі, а також німецьким ученим Х. Хаузеном (Нобелівська премія в галузі фізіології та медицини 2008 р.). На початок ХХІ ст. вчені констатували пандемію СНІДу за швидкістю розповсюдження, масштабами та наслідками.

Рис. 165. Модель вірусу грипу

Рис. 166. Модель ретровірусу



❗ Назвіть заходи щодо попередження вірусних захворювань.

**Прокаріоти.** Ви вже ознайомлені з будовою та особливостями життєдіяльності прокаріотичної клітини, що ми їх розглядали в § 12. Тепер розглянемо різноманітність прокаріотичних організмів.

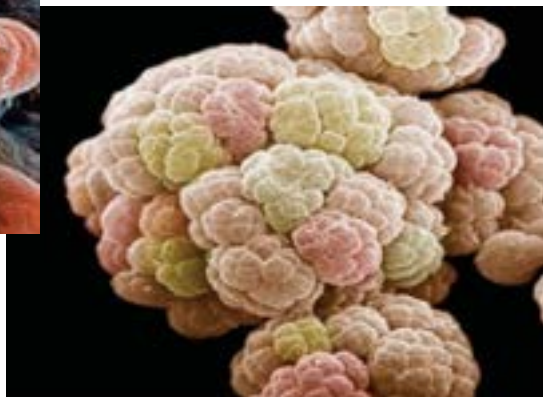
**Бактерії (Еубактерії).** Це група одноклітинних і колоніальних організмів, у клітинах яких немає ядра та мембранних органел, а клітинна стінка містить муреїн. У цитоплазмі містяться рибосоми й включення. Клітини різноманітні за формою, наприклад паличкоподібні (рис. 167). Спадкова інформація міститься в одній молекулі ДНК, що має форму замкненого кільця. За способом живлення бактерії можуть бути гетеро- або автотрофами. У цьому сенсі особливе місце посідають ціанобактерії. На їхніх поодиноких тилакоїдах, які є впинаннями плазматичної мембрани, відбувається процес фотосинтезу за допомогою хлорофілу з виділенням кисню. Цим вони подібні до рослин (ми їх розглянемо згодом). Клітини бактерій розмножуються нестатево – поділом навпіл або брунькуванням. Для пристосування до несприятливих умов вони утворюють спори або цисти.

**Археї (Архебактерії).** Це група організмів, до якої належать одноклітинні прокаріоти, що за особливостями будови і процесів життєдіяльності відрізняються від бактерій. Археї частково поєднують ознаки бактерій та еукаріотів. У них немає ядра та мембранних органел, що характерно для бактерій. Найтипівішими є паличкоподібні та сферичні форми клітин. Гени архей містять інтрони, процеси транскрипції та трансляції в них відбуваються подібно до еукаріотів (наприклад, є сплайсинг). Водночас вони мають деякі особливості, не властиві представникам інших груп організмів. Зокрема хімічний склад їхніх мембран відрізняється і від бактеріальних, і від еукаріотичних. Особливості будови клітинної стінки та структури білків дають змогу багатьом археям існувати в екстремальних умовах – гарячих джерелах, гейзерах, солоних водоймах (рис. 168).

Рис. 167. Бацила – паличкоподібна форма бактеріальної клітини



Рис. 168. Гетеротрофні метаноутворювальні археї



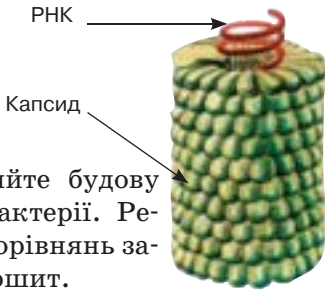
❓ Використовуючи додаткову літературу та інтернет-ресурси, підготуйте розповідь про представників бактерій та архей.

## Практична робота

### Порівняння будови та процесу розмноження клітинних і неклітинних форм життя

**Мета:** узагальнити знання про особливості будови та процесу розмноження клітинних та неклітинних форм життя; виявити риси подібності та відмінності.

1. Розгляньте схему будови вірусу.

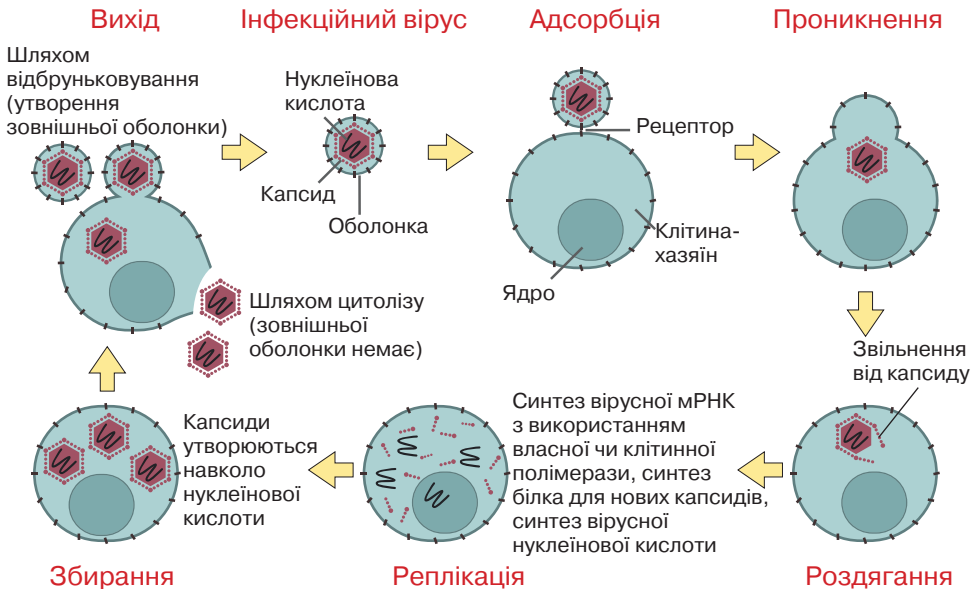


2. Розгляньте схему будови бактерії.



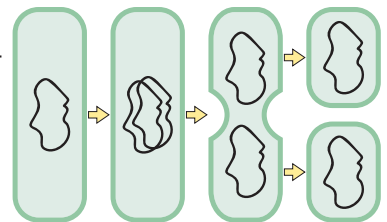
3. Порівняйте будову вірусу й бактерії. Результати порівнянь запишіть у зошит.

4. Розгляньте схему процесу розмноження вірусу.



5. Розгляньте схему розмноження бактерії.

6. Порівняйте процеси розмноження вірусів і бактерій. Результати порівнянь запишіть у зошит.



### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Якими є особливості будови віріонів?
2. Які віруси називають простими, а які – складними?
3. Назвіть шляхи передавання збудників вірусних інфекцій.
4. Назвіть основні характеристики вірусу грипу та ВІЛ.
5. Схарактеризуйте особливості архей та бактерій.

## § 43. Різноманітність еукаріотичних організмів

### Згадаємо!

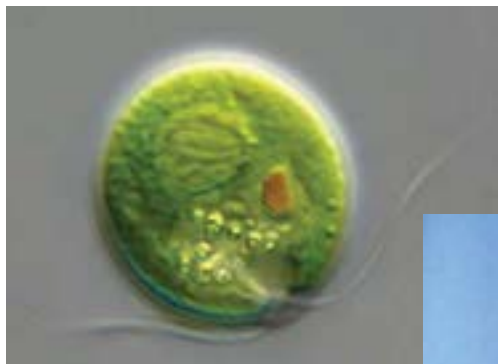
Які організми належать до одноклітинних еукаріотів?

Якими є особливості будови рослинної, тваринної та грибною клітин?

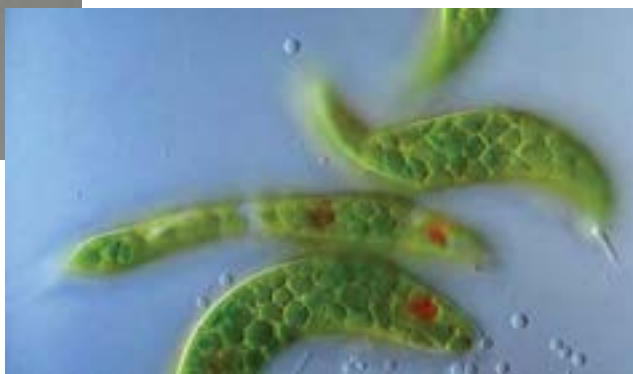
Вам уже відомо, що одноклітинні еукаріоти становлять окрему групу організмів. Їх тіло складається з однієї клітини, яка є самостійним організмом (рис. 169).

**Одноклітинні еукаріоти.** Організми цієї групи можуть бути одно- або багатоядерними. У деяких з них (інфузорій, форамініфер) наявні ядра двох типів – вегетативні, що регулюють процеси обміну речовин, та генеративні, що забезпечують передавання спадкової інформації під час розмноження. У цитоплазмі одноклітинних еукаріотів містяться дво- та одномембранні органели. За способом живлення ці організми поділяють на автотрофи (одноклітинні водорості), гетеротрофи (амеби, інфузорії), що поглинають їжу за допомогою піноцитозу або фагоцитозу, та міксотрофи – організми зі змішаним типом живлення (Евгена зелена). Спосіб живлення зумовлює відмінності в будові клітин цих організмів. Фототрофи містять хлоропласти, можуть мати вакуолі з клітинним соком. Існують такі організми, складовими клітин яких є скоротливі й травні вакуолі (*згадайте їхні функції*). Чимало організмів здатні до активного руху, що здійснюється, наприклад, за допомогою псевдоподій, джгутиків, війок. Одноклітинні еукаріоти можуть розмножуватися нестатевим способом – поділом навпіл, брунькуванням тощо, а також статевим

Рис. 169. Одноклітинні еукаріоти: а – Хламідомонада Рейнгардта; б – Евгена зелена



а



б

 Згадайте особливості будови та життєдіяльності зображених організмів.

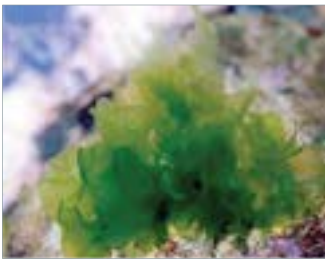
способом. Для пристосування до несприятливих умов вони утворюють спори або цисти. Одноклітинні еукаріоти можуть реагувати на зміни навколишнього середовища, реакції в них відбуваються у вигляді таксисів.

**Рослини.** Ви вже знаєте, що рослини належать до еукаріотичних організмів. Нагадаємо особливості, що відрізняють клітини рослин від клітин інших багатоклітинних еукаріотів. Клітинна стінка містить полісахариди, насамперед целюлозу. У цитоплазмі клітин є вакуоля з клітинним соком. Резервною речовиною є крохмаль. Для рослинних клітин характерною ознакою є наявність пластид. Одні з них – хлоропласти – містять хлорофіл. Завдяки наявності цього пігменту в рослинах відбувається фотосинтез.

Тіла більшості рослин сформовані тканинами, що містять клітини різних типів. Виокремлюють кілька типів рослинних тканин. Клітини твірних тканин (меристема) перетворюються на клітини всіх інших тканин. Покривні тканини (епідерма, корок) захищають інші тканини від негативного впливу зовнішнього середовища й забезпечують зв'язок з ним. Провідні тканини (флоема й ксилема) відповідають за транспортування речовин в організмі. Клітини механічних тканин виконують опорну функцію. Основні тканини розташовані між іншими тканинами. Серед них – асиміляційна, що забезпечує фотосинтез.

Вегетативні органи – корінь і пагін – забезпечують процеси обміну речовин, росту тощо. Генеративні органи – органи, за допомогою яких відбувається розмноження, – квітка та плід (рис. 170). Розмноження рослин може відбуватися статевим і нестатевим шляхом. Нестатеве розмноження відбувається з утворенням спор у спеціалізованих органах – спорангіях. Статеве розмноження рослин відбувається з утворенням насіння, що дозріває відкрито на лусках шишок у голонасінних рослин або захищено стінками плоду, як

Рис. 170. Особливості будови організму різних груп рослин



Водорість  
Ульва.  
Органів немає



Мох  
Сфагнум.  
Пагін



Папороть  
Страусове  
перо  
звичайне.  
Корінь,  
пагін



Покритонасінна  
рослина  
Підсніжник  
звичайний.  
Корінь, пагін,  
квітка, плід

❓ Поясніть відсутність органів у водоростей.

Чому в наземних рослин тіло поділене на органи?

Які переваги для покритонасінних рослин зумовлює наявність квітки й плоду?

у покритонасінних рослин. Запліднення в покритонасінних відбувається всередині органу розмноження – квітці. Рослини також можуть розмножуватися вегетативними органами. Розгляньте рослинні організми різних груп на рисунку 170.

Рослини здатні до фотосинтезу, а тому мають вирішальне значення для існування життя на Землі, оскільки цей процес є основним джерелом органічних речовин. Кисень, що виділяється під час фотосинтезу, забезпечує аеробне дихання й утворює озоновий шар планети.

**Тварини.** До цієї групи належать багатоклітинні організми, клітини яких не мають клітинної стінки. Над плазматичною мембраною розташований глікокалікс. На відміну від рослин у клітинах тварин запасається не крохмаль, а глікоген. Тваринам властивий гетеротрофний спосіб живлення, більшість з них здатні до активного руху. Серед тварин є організми, що не мають тканин, наприклад губки (рис. 171). Їхнє тіло сформоване зі стінок і порожнини, заповненої водою.

Тіла більшості тварин утворені тканинами й органами (рис. 172). У тваринному організмі виокремлюють чотири типи тканин. Епітеліальні тканини складаються з одного або багатьох шарів клітин, що щільно прилягають один до одного. Міжклітинної речовини в цих тканинах майже немає. Вони утворюють покриви тіла тварин, вистилають порожнини тіла та внутрішніх органів. М'язові тканини складаються з видовжених клітин, які у відповідь на подразнення скорочуються. Нервова тканина, що складається з нейронів та нейроглії, відповідає на дію подразника збудженням. Тканини внутрішнього середовища складаються з клітин і міжклітинної речовини. Властивості цих тканин здебільшого визначаються саме складом та структурою міжклітинної речовини. Вони виконують захисну, транспортну, резервну, опорну функції тощо.

Рис. 171. Тваринний організм, що не має тканин



Губка

Рис. 172. Безхребетна та хребетна тварини

Восьминіг гігантський



Афаліна звичайна

❗ Опишіть пристосування зображених тварин до водного способу життя.



З тканин складаються органи, сукупність органів утворює системи. Пригадайте функції та загальний план будови систем органів на прикладі хребетних тварин. Тіло тварини вкриває шкіра. Вона захищає її від негативного впливу навколишнього середовища й забезпечує сприйняття зовнішніх подразників.

Опорно-рухова система забезпечує рух організму в просторі, рух окремих його частин, а також підтримує тіло в певному положенні. Ця система складається зі скелета (сукупності кісток) і м'язів. Завдяки кровоносній системі транспортуються поживні речовини, продукти обміну, кисень, вуглекислий газ тощо. Ці функції виконують серце й судини – артерії, вени та капіляри. Кисень потрапляє в організм, а вуглекислий газ видаляється з нього завдяки дихальній системі, що складається з повітроносних шляхів і легень. Травна система забезпечує організм поживними речовинами. Вона складається зі шлунково-кишкового тракту й травних залоз. Кінцеві продукти обміну видаляються з організму завдяки видільній системі, основним органом якої є нирки. Нервова й ендокринна системи забезпечують регуляцію функцій організму як єдиного цілого. Завдяки органам чуття відбувається зв'язок організму з навколишнім середовищем. Хребетні є роздільностатевими тваринами. Статева система забезпечує розмноження.

**Гриби.** Ця група організмів відрізняється і від тварин, і від рослин, але в її представників є риси подібності з представниками обох груп організмів. У цю групу об'єднано гетеротрофні організми, серед яких є сапротрофи (рис. 173) та паразити. Деякі гриби утворюють мікоризу з коренями рослин. У складі клітинних стінок часто є хітин. У цитоплазмі немає клітинного центру. Резервною речовиною, як і у тварин, є глікоген. Для грибів характерний необмежений ріст, що є спільною ознакою з рослинами. Справжніх тканин у грибах немає. У них може бути як статеве, так і нестатеве розмноження.

Рис. 173. Різноманітність грибів



Гриб білий, або Боровик



Пеніциліум у полі зору мікроскопа

❓ Поясніть значення зображених організмів у житті людини.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

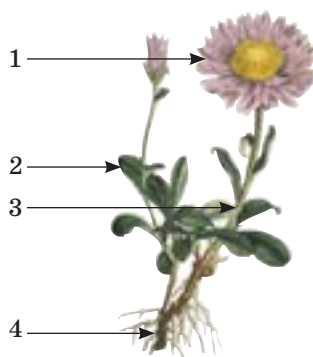
1. Що таке одноклітинні організми?
2. Опишіть будову хребетної тварини.
3. Опишіть будову покритонасінної рослини.
4. У чому полягає відмінність у будові клітин рослин, тварин і грибів.
5. Доведіть, що одноклітинний організм – цілісна біологічна система.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Біорізноманіття»

### ВАРІАНТ I

Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)

- До одноклітинних еукаріотів належить
  - вірус грипу
  - ціанобактерія
  - кишкова паличка
  - інфузорія-туфелька
- Укажіть рослинний організм.
  - Амеба звичайна
  - Коник зелений
  - Пеніциліум
  - Ульва
- Капсид вірусів утворений
  - молекулами ліпідів і вуглеводів
  - молекулами нуклеїнової кислоти
  - молекулами ліпідів і білків
  - молекулами білків
- Організми, яким властивий автотрофний спосіб живлення, належать до
  - рослин
  - тварин
  - грибів
  - вірусів
- Якою цифрою на рисунку позначено орган рослини, що забезпечує її водою з розчиненими мінеральними речовинами?
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
- Укажіть систему органів хребетних тварин, що забезпечує регуляцію функцій.
  - травна
  - дихальна
  - кровоносна
  - ендокринна



### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Рослинний організм відрізняється від тваринного
- А наявністю клітинної стінки
  - Б відсутністю ядра в клітині
  - В здатністю до гетеротрофного живлення
  - Г здатністю більшості представників до активного руху в просторі
8. Прочитайте опис: «Бактерії – організми, клітини яких не містять (1), а спадкова інформація зберігається в молекулі (2)». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.
- |                          |         |
|--------------------------|---------|
| А 1 – рибосом            | 2 – РНК |
| Б 1 – ядра               | 2 – ДНК |
| В 1 – мембранних органел | 2 – ДНК |
| Г 1 – клітинної стінки   | 2 – ДНК |
9. На уроці біології для обговорення особливості вірусів клас поділили на дві групи. Перша група висловила судження про те, що віруси є внутрішньоклітинними паразитами. Друга група зазначила, що клітини вірусів побудовані простіше за клітини бактерій. Яка група висловила правильне судження?
- А лише перша
  - Б лише друга
  - В обидві групи
  - Г жодна з груп

### Тестове завдання на відповідність (3 бали)

Установіть відповідність між ознакою організму (1 – 5) та його зображенням (А – Г).

- 1 багатоклітинний організм, тіло якого не поділене на органи
- 2 регуляція функцій за допомогою нервової системи
- 3 зародок розвивається в насініні
- 4 клітина не має мембранних органел
- 5 неклітинна форма життя

А



Б



В



Г



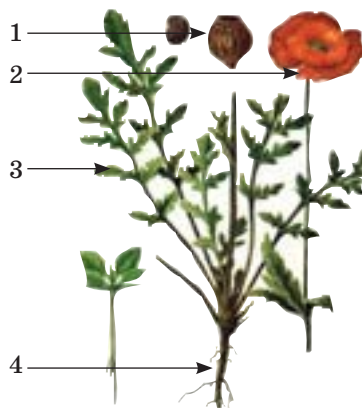
### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

1. Порівняйте будову клітин рослинних, тваринних та грибних організмів.
2. Висловіть своє судження: чи є вірус живим?

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

- До одноклітинних еукаріотів належить
  - вірус поліомієліту
  - бактерія гниття
  - хламідомонада
  - кульбаба лікарська
- Укажіть рослинний організм.
  - Інфузорія-туфелька
  - Жаба зелена
  - Боровик
  - Ульва
- Бактеріальна клітина має
  - ядро
  - вакуолі
  - рибосоми
  - комплекс Гольджі
- Автотрофний спосіб живлення властивий
  - лише тваринам
  - лише рослинам
  - тваринам і грибам
  - бактеріям і рослинам
- Якою цифрою на рисунку позначено орган рослини, що забезпечує розповсюдження насіння?
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
- Укажіть систему органів хребетних тварин, що забезпечує регуляцію функцій.
  - травна
  - нервова
  - дихальна
  - кровоносна



**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)**

7. Тваринний організм відрізняється від рослинного
- А наявністю клітинної стінки
  - Б здатністю утворювати тканини та органи
  - В відсутністю автотрофного живлення
  - Г здатністю до статевого розмноження
8. Прочитайте опис: «Прості віруси складаються з молекули (1), яка оточена (2)». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.
- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| А 1 – ліпиду              | 2 – клітинною стінкою      |
| Б 1 – білка               | 2 – плазматичною мембраною |
| В 1 – нуклеїнової кислоти | 2 – молекулами білка       |
| Г 1 – нуклеїнової кислоти | 2 – клітинною стінкою      |
9. На уроці біології для обговорення особливостей життєдіяльності бактерій клас поділили на дві групи. Перша група висловила судження про те, що серед бактерій є як гетеротрофні, так й автотрофні організми. Друга група зазначила, що ціанобактерії під час фотосинтезу виділяють кисень. Яка група висловила правильне судження?
- А лише перша
  - Б лише друга
  - В обидві групи
  - Г жодна з груп

**Тестове завдання на відповідність (3 бали)**

10. Установіть відповідність між зображенням організму (А – Г) та групою, до якої він належить (1 – 5).
- 1 віруси
  - 2 бактерії
  - 3 рослини
  - 4 тварини
  - 5 гриби

А



Б



В



Г

**Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)**

1. Порівняйте клітинні та неклітинні форми життя.
2. Чому, на вашу думку, одноклітинні еукаріоти розглядають як окрему групу організмів?



## *Тема 8*

# **НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**



## 3 історії відкриттів



В. І. Вернадський  
(1863 – 1945)

Накопичення людством знань про взаємини організмів з навколишнім середовищем почалося давно. Ще первісні люди в процесі тісного спілкування з природою та ведення натурального господарства помічали, що різні види тварин пов'язані з певними умовами, а їх чисельність залежить від кількості насіння й плодів, якими вони живляться.

Значний внесок у вивчення навколишнього середовища зробили філософи Стародавньої Греції. Наприклад, *Арістотель* створив Ліцей (школу), а при ньому сад, де проводив дослідження. У книжці «Історія тварин» він описав понад 500 видів тварин, класифікуючи їх за способом життя.

Термін «екологія» (від грец. *ойкос* – житло, оселя і *логос* – вчення) запровадив у 1869 р. німецький природодослідник і філософ *Ернст Геккель*.

**Екологія** – наука про взаємозв'язки організмів та їх угруповань між собою і з навколишнім середовищем, про структуру та функціонування надорганізованих систем.

Основним моментом становлення екології як науки було формулювання поняття *екосистема* (від грец. *ойкос* – житло, оселя й *система* – об'єднання). Цей термін у 1935 р. ввів у науку англійський учений *Артур Тенслі* (1871–1955).

Термін «біосфера» (від грец. *біос* – життя і *сфера* – куля) запропонував у 1875 р. австрійський геолог *Едуард Зюсс* (1831–1914). Він розглядав біосферу як простір, заповнений життям.



Національна бібліотека України  
імені В. І. Вернадського, Київ

Видатний український природодослідник *Володимир Іванович Вернадський* – творець учення про живу речовину й біосферу. Основи свого вчення він виклав у праці «Біосфера» (1926). Вернадський дійшов висновку, що життя може існувати тільки у формі гігантської системи – біосфери. Багато й плідно Вернадський працював над створенням узагальнювального вчення про взаємини природного середовища й суспільства, що дістала назву *теорії ноосфери* (від грец. *ноос* – розум і *сфера* – куля). На його думку, ноосфера – це новий етап життя людства – оболонка Землі, перебудована його колективним розумом.

Учень і соратник В. І. Вернадського, академік *О. Є. Ферсман* зазначав: «...Ще багато років доведеться попрацювати і його учням, й історикам природознавства, щоб виявити основні шляхи його наукової творчості, розгадати складні, ще далеко не зрозумілі побудови його тексту. Це завдання майбутніх поколінь...».

## § 44. Екологічні фактори

### Згадаємо!

Які чинники впливають на організми?

Що таке адаптація?

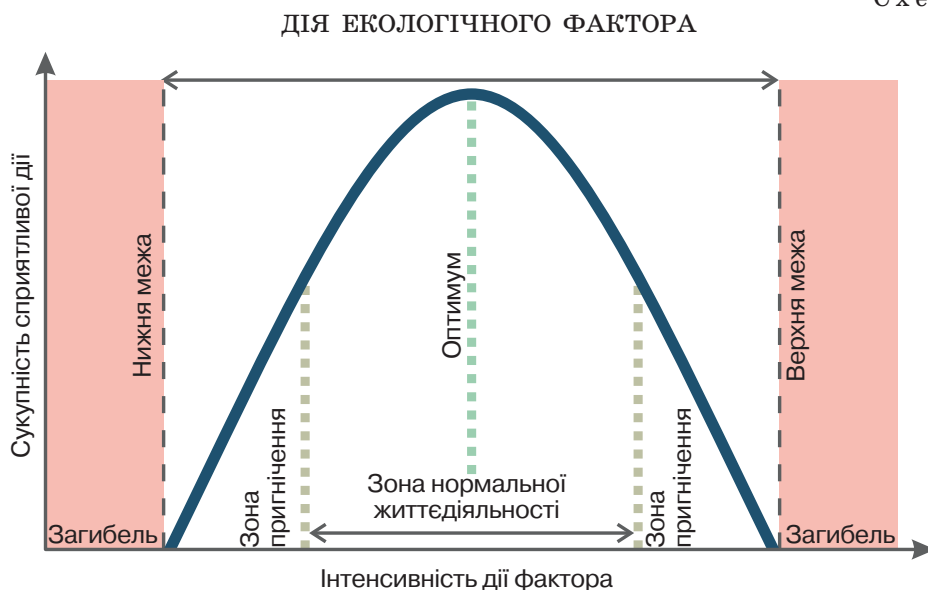
**Екологічні фактори.** Ви вже могли впевнитися, що кожний організм тісно пов'язаний і значною мірою залежить від середовища, що його оточує, хоча й сам впливає на нього.

🟡 **Екологічні фактори** – це всі складові навколишнього середовища, що впливають на стан і властивості організмів та їхніх угруповань. Залежно від природи та особливостей дії їх поділяють на групи: абіотичні, біотичні та антропогенні.

**Абіотичні фактори** – компоненти та властивості неживої природи (освітленість, температура, вологість, газовий склад повітря, тиск, сольовий склад води, тип ґрунту тощо), які прямо або опосередковано впливають на окремі організми та їхні угруповання. **Біотичні фактори** – різні форми взаємодії між особинами в популяціях і між популяціями в угрупованнях. Будь-яка жива істота взаємодіє з особинами свого (внутрішньовидові зв'язки) та інших (міжвидові зв'язки) видів. **Антропогенні фактори** – різні форми діяльності людини, що впливають на окремі організми, їх угруповання та біосферу в цілому.

Вплив факторів характеризується закономірністю, що називається законом оптимальності: кожен фактор позитивно впливає на організм у певних межах (схема 10). Чим більше інтенсивність дії окремого екологічного фактора відхиляється від оптимальної, тим більшою є його пригнічувальна дія на організм. Значення інтенсивності дії цього фактора, поза якими існування стає неможливим, назива-

Схема 10



Оптимум – сприятлива для організмів інтенсивність впливу екологічного фактора. Зони пригнічення – інтенсивність впливу фактора, за якої відбувається пригнічення життєдіяльності.



ють верхньою та нижньою межами витривалості. Фактор, інтенсивність дії якого в певних умовах виходить за межі витривалості, називають лімітуючим.

**Середовище існування.** **Середовище існування** – це сукупність умов існування окремого організму або угруповання в цілому, що впливає на їхню життєдіяльність. Організми населяють чотири середовища: наземно-повітряне, водне, ґрунт та організми інших істот. Основні середовища існування – наземно-повітряне й водне.

**Наземно-повітряне середовище** – найрізноманітніше за умовами. Визначальними в ньому є світло, температура, вологість і газовий склад повітря.

Зі світлом пов'язане життя на Землі. У спектрі сонячного світла виокремлюють три ділянки, що різняться біологічною дією: ультрафіолетову, видиму та інфрачервону. Ультрафіолетові промені великої інтенсивності є згубними для всього живого, але їх майже повністю поглинає озоновий шар. Завдяки енергії видимих променів відбувається фотосинтез. Інфрачервоні промені слугують джерелом теплової енергії. Щодо вимог до умов освітленості рослини поділяють на світлолюбні та тіньовитривалі (рис. 174).

Температура на земній поверхні залежить від географічної широти й висоти над рівнем моря. Крім того, вона змінюється з порами року. Температура навколишнього середовища впливає на температуру тіла організмів. Для більшості організмів її оптимальні значення мають досить вузькі межі:  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Види, які пристосовані до життя за низьких температур, називають холодостійкими. Вони здатні виявляти активність навіть коли температура їхнього внутрішнього середовища знижується до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (деякі бактерії, лишайники, мохи, членистоногі тощо). Теплолюбні види активні за високих температур навколишнього середовища. Деякі бактерії, членистоногі можуть жити в гарячих джерелах за температури до  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Рис. 174. Рослини наземно-повітряного середовища



Світлолюбна рослина  
Троянда дамаська



Тіньовитривала рослина  
Барвінок малий

Живі істоти наземно-повітряного середовища пристосовані до економного споживання й витрат води. Рослини також мають багато пристосувань для подолання дефіциту вологи (рис. 175). Древа й кущі, скидаючи листя, зменшують ступінь випаровування в посушливий період. У тварин за економію вологи в умовах посушливого клімату відповідають покриви, що запобігають випаровуванню (кутикула комах, павуків, скорпіонів, а також лусочки плазунів).

Головними складовими нижніх шарів атмосфери є кисень (близько 21 %), вуглекислий газ (близько 0,03 %) та азот (понад 78 %). Містяться в повітрі й забруднювальні компоненти – пил, сажа тощо.

**Водне середовище існування** за своїми умовами значно відрізняється від наземно-повітряного. Вода має порівняно високу густину, менший уміст кисню, у водоймах спостерігаються значні перепади тиску. Крім того, різні типи водойм різняться за концентрацією солей у них, швидкістю течій, глибиною промерзання тощо. Тому мешканці водойм – *гідробіонти* – адаптувалися як до існування у водному середовищі взагалі, так і до певного типу водойм чи зони Світового океану (рис. 176).

**Ґрунт як середовище існування** – це його порожнини, заповнені водою або повітрям. Завдяки наявності вологи умови існування дрібних організмів у ґрунті наближаються до подібних у водоймах. Вологість ґрунту завжди вища, ніж повітря. І тому різноманітні організми легше переживають посушливий період. Ґрунти характеризуються порівняно невеликими добовими й річними коливаннями температури. Це дає змогу наземним організмам мігрувати в товщу ґрунту, де вони можуть переживати період екстремально низьких або високих температур. Ґрунт містить значні запаси органічних речовин, що є кормовою базою для різноманітних організмів.

Рис. 175. Пристосування організмів до посушливих місць зростання



Кактус



Молодило

Рис. 176. Тварини Світового океану



Риба



Черепаша

❓ У якій частині організму запасає воду молодило, а в якій – кактус?

❓ Опишіть пристосування в зовнішній будові зображених тварин до існування у водному середовищі.

**Організм живих істот як середовище існування.** Організм як середовище існування за своїми властивостями суттєво відрізняється від інших. Так, на організми, які живуть на поверхні інших істот, впливають чинники навколишнього середовища, а на ті, які мешкають усередині організму хазяїна, діють лише опосередковано.

**Основні форми біотичних взаємозв'язків.** Існують різні форми взаємозв'язків між організмами або популяціями організмів. Популяції або окремі представники виду неминуче вступають між собою в конкурентну боротьбу – це внутрішньовидова конкуренція. Водночас із внутрішньовидовою відбувається й міжвидова конкуренція, наприклад за кормову базу.

**Паразитизм** – тип взаємозв'язків, за якого один вид (паразит) упродовж тривалого часу використовує іншого (хазяїна) як джерело живлення та середовище існування. Деякі види паразитів мешкають на поверхні організму хазяїна (воші, пір'яні кліщі), інші – усередині його (сисуни, стьожкові та круглі черви).

**Коменсалізм** – це такий тип взаємозв'язків різних видів, за якого один з них (коменсал) використовує залишки їжі, продукти життєдіяльності чи житло іншого (хазяїна), не завдаючи йому помітної шкоди. Проте й користі від коменсалів організмам хазяїв немає. Коменсалізм може проявлятися у формах квартирантства або нахлібництва.

**Мутуалізм** – тип взаємозв'язків особин різних видів, від яких вони мають взаємну користь. Приклади мутуалізму – співіснування водорості та гриба в лишайнику, з яких лише водорість може існувати окремо; рака-самітника та актинії, хоча обидва здатні до самостійного життя (рис. 177).

**Хижацтво** – тип взаємозв'язків особин різних видів, один з яких слугує кормовою базою для іншого (рис. 178).

Рис. 177. Приклад мутуалізму



Рис. 178. Приклад хижацтва



❓ Наведіть інші приклади взаємозв'язків.

❓ Наведіть інші приклади хижацтва.

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке екологічні фактори?
2. Які групи екологічних факторів вам відомі?
3. Що стверджує закон оптимуму?
4. Схарактеризуйте середовища існування: наземно-повітряне, водне, ґрунт.
5. Схарактеризуйте форми взаємозв'язків організмів.

## § 45. Екосистема. Різноманітність екосистем

### Згадаємо!

Що таке угруповання організмів?

Які рослинні угруповання ви знаєте?

Які організми називають автотрофами, гетеротрофами та міксотрофами?

Ви вже знаєте, що популяції різних видів пов'язані не лише між собою, а й з умовами середовища існування. Угруповання організмів утворюють з навколишнім середовищем єдине ціле – екосистему.

🕒 **Екосистема** – це сукупність організмів різних видів, які взаємодіють між собою і з середовищем у такий спосіб, що всередині системи відбуваються перетворення енергії, колообіг речовин і саморегуляція.

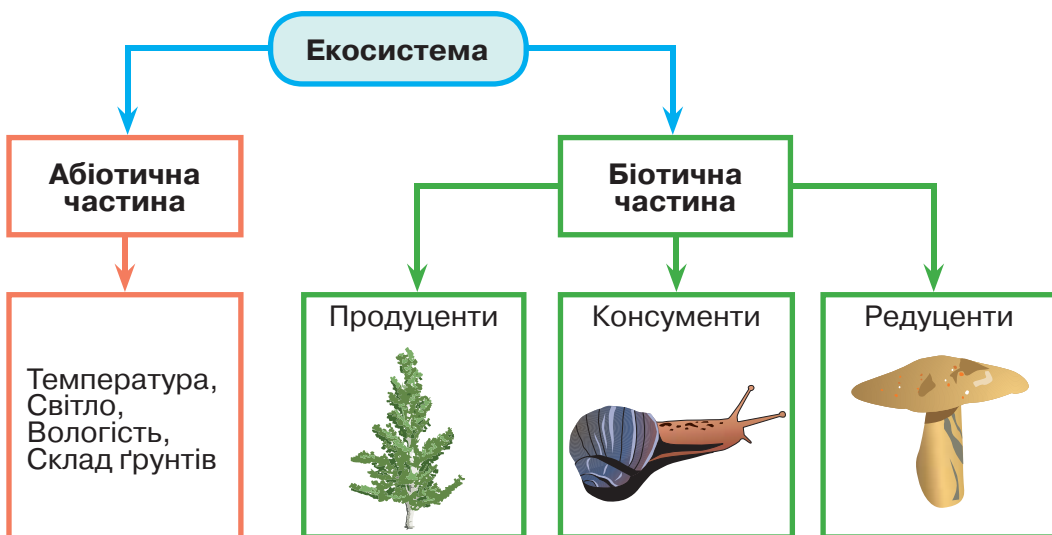
**Структура екосистеми.** У структурі будь-якої екосистеми розрізняють абіотичну (умови середовища існування) та біотичну (сукупність взаємопов'язаних організмів) частини (схема 11).

До абіотичної частини належать: неорганічні сполуки (кисень, вуглекислий газ, азот, вода тощо), органічні сполуки (рештки організмів та продукти їхньої життєдіяльності), мікроклімат (середньорічна температура, вологість тощо).

Біотичну частину становлять популяції організмів з різним типом живлення: **продуценти** – автотрофні організми (водорості, вищі рослини, хемотрофні прокаріоти); **консументи** – гетеротрофні організми, які живляться іншими організмами, соками цих організмів або їхніми рештками (рослиноїдні тварини, хижаки, паразити); **редуценти** – гетеротрофні організми, які

Схема 11

### СТРУКТУРА ЕКОСИСТЕМИ



🔗 Змоделюйте біотичну частину екосистеми, використовуючи знання про різноманітність організмів.

живляться залишками або продуктами життєдіяльності організмів, розкладаючи їх до неорганічних сполук (членистоногі, гриби, бактерії).

**Різноманітність екосистем.** Екосистеми можуть бути різного розміру, наприклад, екосистеми острова, річки, озера й усієї біосфери в цілому. Усі групи екосистем – це продукт сумісного історичного розвитку видів, які різняться за систематичним положенням. При цьому види пристосовуються один до одного. Екосистеми можуть складатися з багатьох сотень або багатьох тисяч видів організмів. Природні екосистеми характеризуються стійкістю і цілісністю. Стійкість підтримується завдяки відтворенню кожного з її компонентів – популяцій видів. Цілісність забезпечується в процесі міжвидової взаємодії під дією зовнішнього середовища. Незалежно від складності екосистеми характеризуються видовим складом, чисельністю, біомасою, інтенсивністю процесів продукування й деструкції органічних речовин.

Розрізняють наземні, прісноводні, морські та штучні екосистеми (рис. 179). Приклади наземних екосистем: тундра, тайга, широколистяні ліси, степ, савана, пустеля, тропічні ліси. Прісноводні екосистеми – це озера, річки, струмки, болота. Серед морських екосистем вирізняють відкритий океан, прибережні води тощо.

Штучні екосистеми людина створює для задоволення власних потреб. Це сади, парки, городи, поля, штучні водойми тощо. Від природних угруповань вони відрізняються особливостями функціонування й властивостями. Незначне видове різноманіття та погано розгалужені трофічні зв'язки зумовлюють слабку стійкість штучних екосистем, проте високу продуктивність одного чи кількох видів у його складі. У складі штучних екосистем можуть бути представники дикої фауни й флори, без яких їхнє існування неможливе. Але на відміну від природних екосистем у штучних практично немає саморегуляції. Без постійного втручання людини вони руйнуються й зникають.

Рис. 179. Приклади екосистем



Наземна екосистема.  
Широколистяний ліс



Штучна екосистема.  
Поле



Прісноводна екосистема.  
Річка



Морська екосистема.  
Відкритий океан

**?** Опишіть одну з наведених екосистем.

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке екосистема?
2. Назвіть частини екосистеми.
3. Які організми називають продуцентами, консументами й редуцентами?

## § 46. Харчові зв'язки та потоки енергії в екосистемах

### Згадаємо!

Що таке популяція?

**Трофічні рівні та ланцюги живлення.** Вам уже відомо, що функціонування екосистеми пов'язане з перетворенням енергії. Основним джерелом енергії більшості екосистем є сонячне світло, яке фототрофи перетворюють на енергію хімічних зв'язків органічної речовини. Частина накопиченої енергії вони витрачають на забезпечення власних потреб, решта переходить до гетеротрофів. Отже, організми з різним типом живлення перебувають на різних трофічних рівнях.

🟡 **Трофічний рівень** – сукупність організмів з однаковим типом живлення.

Ось як розподіляються організми по різних трофічних рівнях: перший – автотрофи (продуценти); другий – рослиноїдні організми (консументи I порядку), сапротрофи (редуценти); третій – хижаки (консументи II – IV порядку тощо) (рис. 180).

В екосистемах види, які займають різні трофічні рівні, пов'язані потоком енергії. Такий взаємозв'язок відображають ланцюги живлення.

🟡 **Ланцюг живлення** – види організмів, пов'язаних між собою харчовими відносинами, що створює певну послідовність у передаванні речовин та енергії.

**Типи ланцюгів живлення.** Виокремлюють ланцюги виїдання (пасовищний) та розкладання (детритний). Ланцюг живлення, що починається з автотрофних фотосинтезуючих або хемотрофних організмів, називається

Рис. 180. Організми різних трофічних рівнів



Перший трофічний рівень

Другий трофічний рівень

Третій трофічний рівень

❓ Проаналізуйте твердження щодо наведеної на рисунку інформації.

1. Другий трофічний рівень займають хижаки.
2. Третій трофічний рівень утворюють рослиноїдні тварини. Які з них є правильними?

пасовищним, або ланцюгом виїдання. Приклад ланцюга виїдання – взаємини між організмами на заплавній луці. Починається такий ланцюг з квіткової рослини. Наступна ланка – метелик, що живиться нектаром квітки. Метелика поїдає мешканець вологих місць існування – жаба. Її захисне забарвлення дає їй змогу підстерегти жертву, але не рятує від іншого хижака – вужа. Чапля, упіймавши вужа, замикає цей ланцюг живлення.

Ланцюг живлення, що починається з відмерлих залишок рослин, решток й екскрементів тварин, називається детритним, або ланцюгом розкладання. Він починається з розкладання мертвої органічної речовини й продовжується сапротрофами (членистоногі, черви, гриби та мікроорганізми), які її безпосередньо споживають. Їх, у свою чергу, поїдають консументи (наприклад, комахи).

У будь-якій екосистемі різні ланцюги живлення не існують окремо один від одного, а тісно пов'язані між собою завдяки тому, що представники того самого виду можуть бути ланками різних ланцюгів живлення. Переплітаючись, вони формують *трофічну сітку* (рис. 181). Її існування забезпечує стійкість екосистеми: у разі зміни чисельності популяції певних видів кормові об'єкти легко замінюються.

**Правило екологічної піраміди.** Для всіх екосистем характерні певні закономірності передавання енергії та біомаси між трофічними рівнями. Правило екологічної піраміди відбиває таку закономірність: на кожному наступному трофічному рівні кількість біомаси та енергії, що їх запасують організми за одиницю часу, є значно меншою, ніж на попередньому. Наочно це правило можна зобразити як піраміду, складену з окремих блоків. Кожен із цих блоків відповідає продуктивності організмів на відповідному трофічному рівні ланцюга живлення (рис. 182).

Рис. 181. Трофічна сітка



Рис. 182. Екологічна піраміда



1. Проаналізуйте наведену трофічну сітку. Дайте відповіді на запитання. Які організми розміщуються на першому трофічному рівні? На якому трофічному рівні розміщуються миша та коник? Які організми живляться рослиноїдними тваринами?
2. Змоделюйте ланцюги живлення, що утворюють зображену трофічну сітку. Чому ланцюги живлення не можуть бути нескінченно довгими?

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке трофічний рівень?
2. Схарактеризуйте та назвіть організми, що перебувають на різних трофічних рівнях.
3. Що таке ланцюг живлення?
4. Схарактеризуйте різні ланцюги живлення.
5. Поясніть поняття *трофічна сітка*.
6. Сформулюйте правило екологічної піраміди.

## § 47. Біосфера як цілісна система

### Згадаємо!

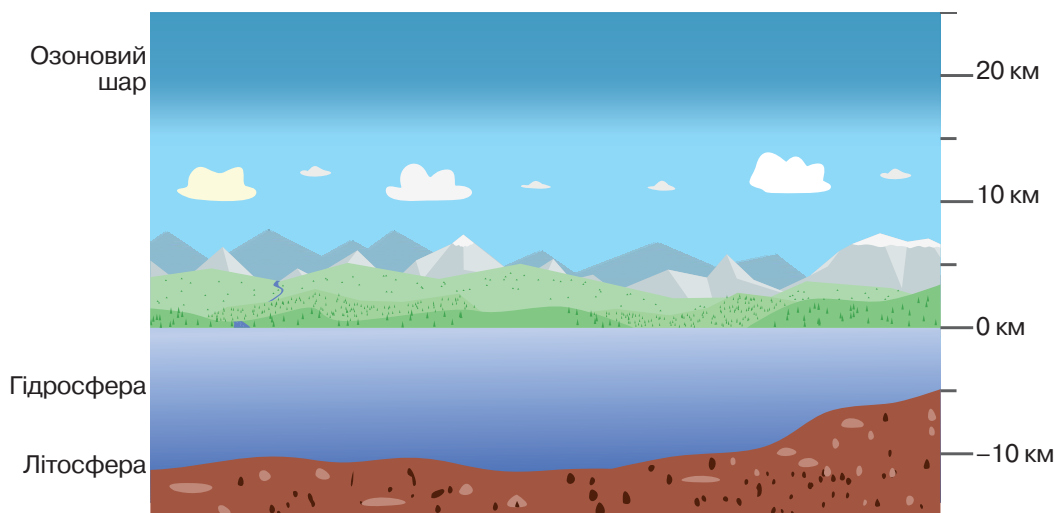
Що таке колообіг речовин та потоки енергії в екосистемах?

**🕒 Біосфера** – це глобальна екологічна система, межі якої зумовлені життєдіяльністю організмів.

**Межі біосфери та оболонки планети Земля.** Біосфера охоплює частину атмосфери до висоти озонового шару (20 – 25 км), частину літосфери (2 – 3 км нижче від поверхні) та всю гідросферу (рис. 183). Атмосфера являє собою газувату оболонку, що оточує нашу планету. Суміш газів, що становить атмосферу, називається повітрям. Поширення організмів в атмосфері обмежене озоновим шаром (*пригадайте, що таке фотосинтез, § 15*). Максимальна висота, на якій виявлено спори бактерій і грибів, сягає 22 км. Гідросфера – водна оболонка планети, сукупність океанів, морів, вод континентів, льодовикових покривів. Вода є основою існування життя на Землі. У гідросфері організми живуть на будь-яких глибинах. Літосфера – верхня тверда оболонка Землі, що зверху межує з гідросферою та атмосферою, які частково проникають у неї. Углиб літосфери організми можуть проникати на незначні глибини. Ґрунт – верхній шар літосфери, що є місцем перебування більшості організмів суходолу. Найбільшу товщину біосфера має на тропічних широтах – 22 км, найменшу – на полярних – 12 км.

**Хімічні функції живої речовини.** Усі організми в сукупності утворюють біомасу, або, за висловом В. І. Вернадського, живу речовину планети. За масою вона становить близько 0,001 % маси земної кори. Проте роль організмів у процесах, що відбуваються на планеті, є величезною. Саме діяльністю

Рис. 183. Межі біосфери



**❓** Проаналізуйте рис. 183. Дайте відповіді на запитання.

1. На яку глибину проникає життя в літосфері?
2. Яка оболонка Землі повністю входить до складу біосфери?



організмів зумовлюються хімічний склад атмосфери, концентрація солей у гідросфері, утворення одних і руйнування інших гірських порід, формування ґрунту – у літосфері. Жива речовина виконує хімічні функції: газову, концентраційну, окисно-відновну й біохімічну.

**Газову функцію** здійснюють зелені рослини, які під час фотосинтезу виділяють в атмосферу кисень; рослини й тварини, які під час дихання виділяють вуглекислий газ; багато видів бактерій, що відновлюють нітроген із сполук.

**Концентраційна функція** пов'язана з накопиченням у живій речовині хімічних елементів (Карбону, Гідрогену, Нітрогену, Оксигену, Кальцію, Калію, Силіцію, Фосфору тощо). Окремі види організмів є своєрідними концентраторами деяких елементів (рис. 184).

**Окисно-відновна функція** виявляється в окисненні речовин за допомогою організмів у ґрунті й гідросфері з утворенням солей, оксидів, а також відновленні речовин. З діяльністю бактерій пов'язане формування вапняків, бокситів, а також залізних, марганцевих і мідних руд.

**Біохімічна функція** здійснюється під час обміну речовин в організмах (живлення, дихання, виділення), руйнування відмерлих організмів і розщеплення продуктів їхньої життєдіяльності. Ці процеси становлять колообіг речовин у природі.

**Колообіг речовин у біосфері.** Колообіг речовин – це обмін речовинами між абіотичною та біотичною частинами екосистеми. У біосфері постійно триває колообіг води (рис. 185), Карбону, Оксигену, Нітрогену та інших хімічних елементів, що входять до складу організмів. Розглянемо приклади колообігу речовин у біосфері.

**Колообіг Карбону.** Під час фотосинтезу рослини засвоюють Карбон, що надходить до листків із повітря у вигляді вуглекислого газу, утворюючи вуг-

Рис. 184. Накопичення хімічних елементів організмами



Бурі водорості накопичують Йод.  
Ламінарія



а



б

Ракоподібні та молюски накопичують Купрум:  
а – Омар північноатлантичний; б – Наутилус помп'їліус

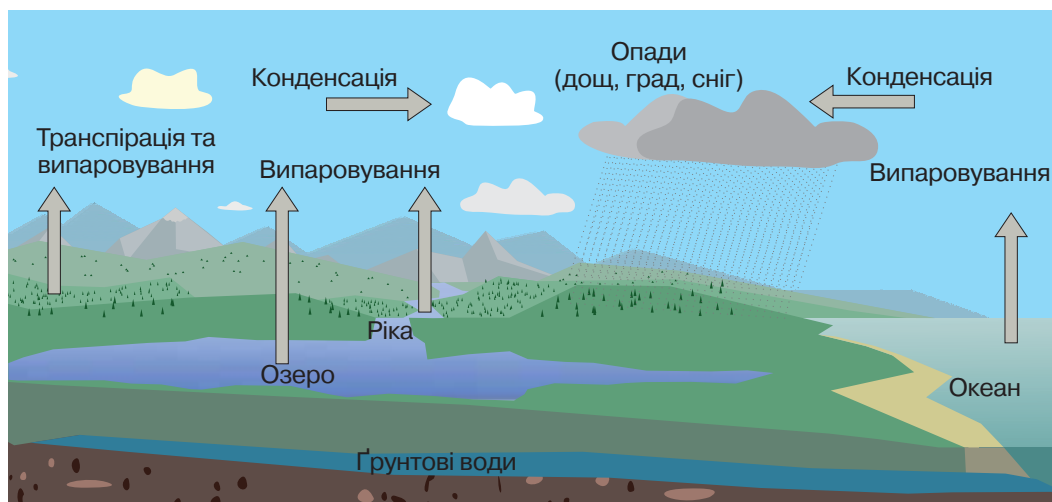
❓ Пригадайте інших представників груп організмів, наведених на рисунку.

леводи. При цьому відбувається перетворення сонячної енергії в хімічну. Як ви вже знаєте, у цьому полягає космічна роль зелених рослин. Під час дихання рослин частина вуглеводів окиснюється, і вуглекислий газ виділяється в повітря. Більша частина вуглеводів накопичується в рослинах. Крім того, у рослинах утворюються білки й жири.

Надалі гетеротрофними організмами рослини поїдаються. Отже, сполуки, синтезовані рослинами, рухаються ланками трофічних ланцюгів. Під час дихання вуглеводи окиснюються. За рахунок вивільнення енергії відбуваються всі життєві процеси, а вуглекислий газ виділяється в повітря. Розкладання відмерлих організмів здійснюється за участю бактерій. При цьому також відбувається окиснення Карбону з утворенням вуглекислого газу. Унаслідок розкладання організмів за відсутності кисню утворюються торф, кам'яне вугілля, нафта, сланці. Людина їх спалює, використовуючи як джерело енергії, і вуглекислий газ також потрапляє в атмосферу. Так коло замикається, і розпочинається новий цикл уключення Карбону до складу органічних сполук, що їх синтезують рослини.

**Колообіг Оксигену.** Кисень атмосфери має біогенне походження. Він постійно надходить в атмосферу завдяки фотосинтезу. Кисень під час дихання використовують аеробні організми. Одним із кінцевих продуктів окиснення є вуглекислий газ. У сполучі з Карбоном кисень повертається в навколишнє середовище, щоб знову потрапити до фотосинтезуючих організмів. Оскільки вивільнення енергії з органічних і неорганічних сполук супроводжується розщепленням їх у процесі окиснення, то колообіг Оксигену забезпечує колообіг усіх біогенних елементів. Унаслідок колообігу речовин у біосфері відбувається безперервна міграція елементів (див. рис. 185).

Рис. 185. Колообіг води в природі



❗ Складіть оповідання «Подорож води в біосфері».

**Роль організмів у перетворенні оболонок Землі.** Організми беруть участь в утворенні осадових порід, ґрунтоутворенні, підтриманні сталості газового складу атмосфери. Осадові породи виникають на дні водойм унаслідок нашарування різних нерозчинних речовин, значна частина яких має біогенне походження. З решток організмів, які впродовж життя накопичують у своїх скелетах, мушлях, панцирах карбонати, фосфати, силіцій(IV) оксид, утворюються осадові породи. Серед них крейда, кремнезем, радіолярити, діатоміти, вапняк (рис. 186). Торф і кам'яне вугілля утворилися за певних умов перетворень відмерлих решток рослин: торф – мохів, кам'яне вугілля – викопних вищих спорових. Поклади залізної руди – це результат діяльності залізобактерій. Існують докази біогенного походження нафти, природного газу й горючих сланців. Руйнування гірських порід пов'язане з діяльністю організмів. Наприклад, лишайники, оселяючись на скелях, виділяють органічні кислоти, що руйнують гірські породи.

Унаслідок діяльності різноманітних організмів відбуваються процеси ґрунтоутворення: розклад органічної речовини на мінеральні сполуки, утворення гумусу та його розклад, розклад й утворення мінеральних сполук.

Життєдіяльність організмів спричиняє зміну газового складу атмосфери – на початку розвитку біосфери він значно відрізнявся від сучасного. В атмосфері було багато водяної пари, вуглекислого газу, сірководню, метану, однак не було вільного кисню й, відповідно, озонового шару. Через те ультрафіолетові промені без перешкод досягали поверхні Землі, і життя могло існувати лише у водному середовищі, оскільки вода поглинала ці промені. Завдяки діяльності фотосинтезуючих ціанобактерій газовий склад атмосфери поступово змінювався: зменшувався вміст вуглекислого газу, метану, амоніаку; утворилися вільний кисень, а з ним й озоновий шар. Це створило передумови виходу життя на суходіл.

Рис. 186. Осадові породи



Радіолярит



Діатоміт



Вапняк

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке біосфера?
2. Схарактеризуйте функції живої речовини Землі.
3. Схарактеризуйте колообіг речовин у біосфері (на вибраному вами прикладі)
4. Яка роль організмів у перетворенні оболонок Землі?

## § 48. Стабільність екосистем та причини її порушення

### **Згадаємо!**

*Які основні форми господарської діяльності людини?*

**Причини змін екосистем.** Вам уже відомо, що різноманітність взаємозв'язків між організмами є умовою саморегуляції екологічних систем. Екосистема може нормально функціонувати лише за відносно стабільних умов зовнішнього середовища. Екосистеми як саморегульовані системи певною мірою здатні підтримувати гомеостаз, проте в них можуть відбуватися циклічні або поступальні зміни у відповідь на зміни екологічних факторів.

Усі екосистеми є середовищем для міжвидових взаємовідносин і пов'язаних з ними проявів природного добору. Взаємозв'язані в екосистемі види завжди впливають і на абіотичні компоненти середовища. Це, у свою чергу, спричиняє зворотний вплив абіотичних факторів на живі компоненти екосистем. Постійна взаємодія всіх компонентів спричиняє зміни екосистем. Наслідком таких змін є перетворення всієї біосфери Землі. Первинними при цьому можуть бути будь-які незначні зміни компонентів екосистеми. Поступальні зміни в екосистемі, наприклад, відбуваються в результаті замулення озера. Із глибоководного воно поступово перетворюється на мілке, потім – на болото (рис. 187), а іноді на сухому ґрунті може вирости ліс.

🕒 **Сукцесією** називаються послідовні зміни угруповань організмів, які з часом призводять до перетворення екосистеми.

*Рис. 187. Перетворення озера на болото*



Угрупування організмів, які існують на початкових етапах сукцесії, характеризуються незначним видовим різноманіттям, слабо розгалуженими трофічними сітками, різкими коливаннями чисельності окремих популяцій, низькою здатністю підтримувати гомеостаз. Під час сукцесії збільшується видове різноманіття організмів, унаслідок чого підвищується стійкість екосистем.

Сукцесії бувають первинними й вторинними. Первинні сукцесії – це поява й розвиток рослинних угруповань у місцях, де рослинності раніше не було, наприклад оселення лишайників на скельних породах (рис. 188). Вторинні сукцесії – це відновлення природної рослинності після певних порушень, наприклад відновлення лісів після пожеж (рис. 189).

Крім того, під час сукцесії розгалужується трофічна сітка, уповільнюються темпи приросту біомаси, зростає частка споживання первинної продукції.

За відсутності перешкод зміна угруповань завершується формуванням останньої стадії сукцесії – клімаксного угруповання, або *клімаксу*, що виявляється досить стійким і здатним існувати довше, ніж будь-яка попередня стадія. На території України сукцесійний ряд може бути таким:

*трави – кущі – хвойні дерева – листяні дерева.*

Клімаксні угруповання характеризуються відносною сталістю складу, структури, певною сезонною мінливістю, енергетичною рівновагою – рівністю між кількістю зафіксованої фототрофами сонячної енергії і затратами її на дихання всіма організмами, які входять до складу екосистеми. Руйнування таких стабільних екосистем можливе лише за різкої зміни клімату або внаслідок дії катастрофічних чинників, наприклад виверження вулкана.

**Вплив діяльності людини на стан біосфери.** Людині впродовж тисячоліть належала незначна роль у біосфері. Вона почала проявляти себе як екологічний фактор із розвитком землеробства, скотарства, первісної техніки.

Рис. 188. Первинна сукцесія

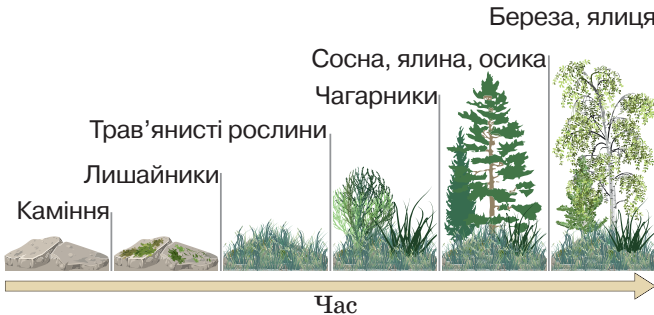
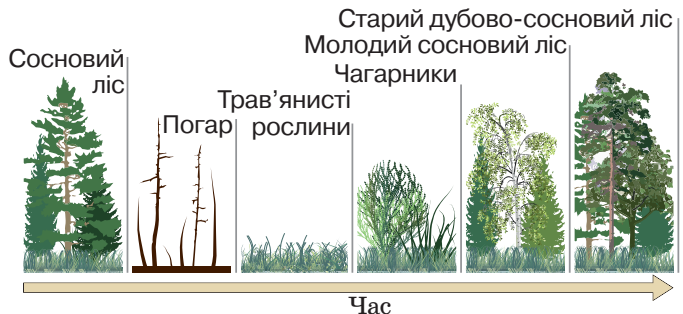


Рис. 189. Вторинна сукцесія



❓ Порівняйте первинну та вторинну сукцесії.

Спалювання нафти, вугілля, сланцю, торфу, дров поступово змінювало склад атмосфери.

Осушуючи болота, будуючи греблі, зрошувальні канали, розорюючи великі площі земель, людина змінила й темп руху хімічних елементів у природі. Отже, вплив людини на зовнішнє середовище посилювався, доки не став екологічним фактором – *антропогенним*.

Унаслідок цього впливу виникають екологічні проблеми: урбанізація, зміна клімату та стану атмосфери, нераціональне використання енергетичних ресурсів, забруднення вод Світового океану, ерозія та забруднення ґрунтів, знищення лісів та біологічного різноманіття. Їхнє розв'язування потребує зусиль не лише наукових кіл, а й всієї світової спільноти.

Щодня населення Землі збільшується на 50 тис. осіб. У 2030 р. кількість населення може перевищити 9 млрд осіб. Зростання кількості населення Землі й розвиток промисловості супроводжуються появою мегаполісів (великих міст), де практично повністю знищено природні екосистеми, спостерігаються високий рівень забруднення навколишнього середовища, інтенсивний рух транспорту (рис. 190). Обсяг продукції біосфери, що використовується людиною як їжа, уже не може забезпечити всіх жителів Землі. Через це майже 2 млрд осіб не отримують повноцінного харчування.

Діяльність людини є однією з причин *змін клімату та стану атмосфери Землі*. Інтенсивний розвиток промисловості підвищує концентрацію вуглекислого газу в атмосфері, що, у свою чергу, спричиняє тепличний, або парниковий, ефект. Якщо цей процес триватиме, то вже до середини наступного століття середня температура повітря може підвищитися на 5 °С. Джерелами забруднення атмосфери пилом є підприємства будівельної й вугільної промисловості.

Рис. 190. Токіо – один з найбільших мегаполісів світу



Особливу небезпеку для навколишнього середовища становлять кислотні дощі, спричинені забрудненням атмосфери сульфур(IV) оксидом та нітроген(IV) оксидом.

**Нераціональне використання енергетичних ресурсів.** Ефективне використання енергоресурсів дає змогу знизити рівень видобутку корисних копалин і цим зменшити рівень забрудненості навколишнього середовища. Зокрема треба будувати нові електростанції, у тому числі й атомні. Водночас необхідно піклуватися про безпеку функціонування таких об'єктів, пам'ятаючи про катастрофу на Чорнобильській АЕС і пошкодження реакторів АЕС «Фукусіма-1».

**Забруднення вод Світового океану.** Прісні води становлять лише 2,5 % загального об'єму гідросфери. Для підтримання життя одній людині потрібно близько 1 м<sup>3</sup> води на рік. У зв'язку із потребами промисловості й сільського господарства ця норма зростає більш ніж у 1 000 разів. Утручання людини в природний колообіг прісної води на земній поверхні веде до вичерпання її запасів і погіршення якості. Забруднюються не лише прісні води, а й моря та океани. Щороку в море скидають мільйони тонн нафтопродуктів (рис. 191). Цієї кількості достатньо, щоб вкрити плівкою із нафти всю поверхню Світового океану.

**Ерозія та забруднення ґрунтів.** Унаслідок ерозії та засолення родючих ґрунтів їх запаси щороку зменшуються. Надмірне використання пестицидів забруднює харчові продукти й питну воду.

**Знищення лісів.** Господарська діяльність людини спричинила скорочення площі лісів на третину (рис. 192). Щороку зменшуються площі тропічних лісів – важливого чинника стійкості та стабільності екологічної рівноваги.

**Знищення біорізноманіття.** За останнє тисячоліття на Землі зникло понад 130 видів та підвидів ссавців, близько 260 видів і підвидів птахів. В Україні зменшується чисельність лося, дикого кабана, козулі, багатьох видів птахів і риб.

Рис. 191. Вилив нафти в море



Рис. 192. Знищення лісів



❓ Які заходи можна запроваджувати, щоб розв'язати зображені екологічні проблеми? Що кожен із нас може зробити для подолання проблеми знищення лісів і забруднення води?

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Назвіть причини зміни природних екосистем.
2. Що таке сукцесія?
3. Порівняйте первинну й вторинну сукцесії.
4. Що таке антропогенний фактор?
5. Схарактеризуйте негативний вплив людини на екосистеми.

## § 49. Заходи щодо збереження біосфери

### Згадаємо!

Що таке біосфера?

У чому полягає екологічна криза?

**Шляхи подолання екологічної кризи.** Видатний український природодослідник В. І. Вернадський, про вчення якого ви вже знаєте, розглядав біосферу як цілісну глобальну екологічну систему, що має певну структуру та стійкість, характерні для неї особливості формування та розвитку. Таке поняття біосфери особливо важливе тепер, коли техногенний вплив людини на природу сягнув небувалих масштабів і може спричинити планетарні зміни в середовищі існування людини. Недарма вчені серйозно попереджають про розвиток екологічної кризи. З метою уникнення глобальної екологічної кризи людство розробляє заходи з охорони й збереження природи.


**Охорона природи** – комплекс заходів із збереження, раціонального використання й відновлення природних ресурсів Землі. Учені Міжнародного союзу охорони природи й природних ресурсів (МСОП) розробили принципи створення екологічно стабільного суспільства. До них належать: контроль за стрімким зростанням кількості населення; обмеження використання невідновлюваних ресурсів (кам'яне вугілля, нафта тощо) і збільшення – відновлюваних (енергії Сонця, вітру, гарячих джерел тощо) (рис. 193); зменшення об'ємів стічних вод, запровадження надійних способів очищення води; здійснення програми захисту й відновлення природних водойм (рис. 194); упровадження екологічно

Рис. 193. Вітрова електростанція.  
Херсонська область, селище Асканія-Нова



Рис. 194. Очисна споруда



 Наведіть приклади відновлюваних ресурсів.



обґрунтованих технологій обробітку ґрунту; припинення знищення первинних лісів і перехід до використання вторинних і штучних насаджень.

**Збереження видового різноманіття.** Для збереження видового різноманіття вчені МСОП розробили Всесвітню стратегію охорони природи (1980). До цієї стратегії приєдналася й Україна.

Для обліку рідкісних і зникаючих видів було створено Міжнародну Червону книгу (1-ше видання – 1966 р.). Червону книгу України започатковано у 1980 р. Червона книга України – основний документ, у якому узагальнено дослідження щодо сучасного стану рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів організмів. На підставі цього документа науковці розробляють наукові й практичні заходи, спрямовані на охорону, відтворення й раціональне використання видів організмів. Нині до Червоної книги України внесено 826 видів зникаючих рослин і грибів, серед яких Підсніжник звичайний, Сон розкритий, Тюльпан двоквітковий, Лілія лісова тощо (рис. 195). Також у ній представлено 542 види рідкісних тварин, серед яких Мідянка звичайна, Лелека чорний, Ведмідь бурий, Кіт лісовий, Кінь дикий, Заєць білий тощо (рис. 196).

В Україні вперше у світі розробили Зелену книгу, до якої заносять рідкісні й типові для певної місцевості рослини угруповання, що потребують установаження особливого режиму їх використання.

Види організмів охороняють і відновлюють на різноманітних природоохоронних територіях. В Україні створено національні біосферні та природні заповідники, природні парки, заказники, пам'ятки природи, а також регіональні ландшафтні парки, заповідні урочища, ботанічні сади, зоологічні парки, дендрологічні парки та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. Загальна площа природно-заповідного фонду України становить 2,8 млн гектарів. Ми характеризуємо природоохоронні території на прикладі нашої країни.

Рис. 195. Деякі види рослин, занесені до Червоної книги України



Баранець звичайний



Півонія тонколиста

Рис. 196. Деякі види тварин, занесені до Червоної книги України



Ведмідь бурий



Кіт лісовий

❓ Використовуючи інтернет-ресурси та додаткову літературу, наведіть інші приклади рослин і тварин, занесених до Червоної книги України.

В Україні створено п'ять біосферних заповідників: «Асканія-Нова», Карпатський, Чорноморський, Дунайський та Чорнобильський радіаційно-екологічний. Вони мають міжнародне значення, їх створено з метою збереження в природному стані найтипівіших природних комплексів біосфери та проведення екологічного моніторингу. «Асканія-Нова» – найдавніший в Україні, де збереглися унікальні ландшафти степів (рис. 197).

Природні заповідники – природоохоронні, науково-дослідні установи загальнодержавного значення. Їх створюють з метою збереження в природному стані типових для даної місцевості або унікальних природних комплексів. На території України їх розміщено в усіх природних зонах. Наприклад, у лісостеповій зоні – «Медобори», у степовій – Український степовий.

Природні парки – природоохоронні, науково-дослідні та культурно-просвітницькі установи. До них належить, наприклад, парк «Подільські Товтри».

З метою збереження й відтворення певних природних комплексів або окремих видів організмів створюються заказники, наприклад Чистилівський орнітологічний заказник у Тернопільській області.

Окремі унікальні природні утворення, що мають природоохоронне, наукове, естетичне або пізнавальне значення, називаються пам'ятками природи. Прикладом є унікальне озеро Синевир (рис. 198).

Ботанічні сади створюються з метою вивчення, збереження, акліматизації рідкісних видів місцевої й світової флори, а також для проведення освітньо-виховної роботи. Нікітський ботанічний сад вражає різноманіттям видів рослин, представлених у ньому (рис. 199). Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка в Києві посідає провідне місце серед ботанічних садів Європи.

В Україні налічується 13 зоологічних парків, створених з метою збереження представників світової фауни. Найбільші з них – Київський та Миколаївський.

Рис. 197. Біосферний заповідник



«Асканія-Нова»

Рис. 198. Пам'ятка природи



Озеро Синевир

Рис. 199. Ботанічний сад



Нікітський ботанічний сад

**?** Складіть повідомлення про будь-яку природоохоронну територію України або світу, використовуючи інтернет-ресурси та додаткову літературу.

## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Дайте означення поняття *охорона природи*.
2. Назвіть принципи побудови екологічно стабільного суспільства.
3. Що таке Червона книга?
4. Які природоохоронні території ви знаєте?
5. Наведіть приклади природоохоронних територій України.

## Цікавинки

### Долина нарцисів

Між річками Тиса й Хустець, що в урочищі Кіреші на Закарпатті, з кінця квітня до середини травня можна побачити справжнє диво: уся долина вкривається цвітом дикого вузьколистого нарциса, занесеного до Червоної книги України. Унікальним це явище робить також те, що подібні нарцисові масиви зазвичай розташовуються високо в горах, тоді як «Долина нарцисів» – на висоті лише 200 м над рівнем моря.



### «Тунель кохання»

Цей зелений тунель у лісовому масиві, утворений заростями дерев та кущів, – ботанічний феномен. Сплітаючись між собою гілками й листям, рослини утворюють ніби тунель точної арочної форми. Це диво природи в Рівненській області простягається на відрізку залізничної колії від селища Клевань до селища Оржів, протяжність якої – близько 4 км.

## Проект

### Виявлення рівня антропогенного впливу в екосистемах своєї місцевості

#### Орієнтовні теми досліджень учнів у межах проекту

1. Екосистеми вашої місцевості.
2. Забруднення водойм у межах населеного пункту.
3. Негативний вплив промислових підприємств на атмосферу.
4. Вплив сільськогосподарських підприємств на екосистему вашої місцевості.
5. Вплив на біорізноманіття в екосистемах вашої місцевості.

**Мета:** виявити рівень антропогенного впливу в екосистемах вашої місцевості

*Джерела інформації:* література, інтернет-ресурси.

#### Хід виконання

1. Ознайомлення з літературою з наведеної теми.
2. Опис екосистем вашої місцевості.
3. Визначення причин впливу на екосистеми вашої місцевості.
4. Виявлення рівня антропогенного впливу в різних екосистемах.
5. Прогнозування можливих шляхів послаблення негативного антропогенного впливу на екосистеми.

*Публічний захист проекту.*

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Надорганізмові біологічні системи»

### ВАРІАНТ I

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Яка видозміна листків є пристосуванням рослини до життя в посушливих умовах?  
А вуса полуниці  
Б вусики гороху  
В колючки кактуса  
Г ловчі листки росички
2. Укажіть біотичний фактор середовища.  
А вологість повітря  
Б температура повітря  
В виділення фітонцидів у повітря  
Г забруднення повітря викидами підприємств
3. Укажіть сукупність організмів, які пов'язані між собою трофічними зв'язками.  
А вид  
Б зграя  
В популяція  
Г ланцюг живлення
4. До трофічної групи продуцентів належить  
А Ялина зелена  
Б Коник зелений  
В Жаба зелена  
Г Чапля біла
5. Укажіть природодослідника, який є основоположником учення про біосферу.  
А Г. Мендель  
Б Т. Морган  
В В. І. Вернадський  
Г І. І. Мечников
6. Унаслідок якого процесу кисень повертається в атмосферу?  
А транспірації  
Б гліколізу  
В хемосинтезу  
Г фотосинтезу

### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Укажіть правильне продовження опису: «На рисунку наведено приклад...»

- А мутуалізму
- Б паразитизму
- В квартирантства
- Г хижацтва



8. Укажіть правильну послідовність ланок ланцюга живлення, який становлять наведені організми.

- А 1 – 2 – 3 – 4
- Б 2 – 3 – 4 – 1
- В 2 – 4 – 1 – 3
- Г 3 – 1 – 4 – 2

1



2



3



4



9. На уроці біології для обговорення трофічних зв'язків між організмами клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що на другому трофічному рівні перебувають рослиноїдні тварини. Друга група вважала, що на першому трофічному рівні – хижаки. Яка група висловила правильне судження?

- А лише перша
- Б лише друга
- В обидві групи
- Г жодна з груп

### Тестове завдання на відповідність (3 бали)

10. Установіть відповідність між організмом (1 – 4) та його місцем у трофічній структурі екосистеми (А – Д).

- |                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| 1 Шуліка звичайний | А консумент II порядку  |
| 2 Синиця велика    | Б консумент III порядку |
| 3 гусінь махаона   | В консумент I порядку   |
| 4 бактерія гниття  | Г продуцент             |
|                    | Д редуцент              |

### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

1. Спрогнозуйте наслідки впливу людини на екосистему в такій ситуації: для отримання електроенергії побудовано гідроелектростанцію на річці, яка протікає в степовій зоні.
2. Складіть правила поведінки людини в навколишньому середовищі в сучасних умовах.

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Яке середовище існування характеризується високою щільністю та відсутністю кисню?
  - А наземне
  - Б водне
  - В напівводне
  - Г усередині організму
2. Популяція зайців зменшилася внаслідок безпосереднього впливу біотичного фактора. Укажіть можливу причину.
  - А зменшення кількості опадів
  - Б зниження температури повітря
  - В збільшення популяції вовків
  - Г знищення лісу людиною
3. До трофічної групи продуцентів належать
  - А Білка звичайна
  - Б Синиця велика
  - В Малина лісова
  - Г Жук-гробарик
4. На початку ланцюгів живлення в екосистемах перебувають
  - А редуценти
  - Б продуценти
  - В консументи I порядку
  - Г консументи II порядку
5. З яких складових починається детритний ланцюг живлення?
  - А з опалого листя
  - Б з черв'яків і бактерій
  - В з листків і плодів на дереві
  - Г з рослиноїдних тварин
6. Укажіть організми, які забезпечують засвоєння атмосферного азоту.
  - А азотобактерії
  - Б нітрифікуючі бактерії
  - В денітрифікуючі бактерії
  - Г бактерії гниття

### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Укажіть пару організмів, що перебувають у мутуалістичних відносинах.

- А ціп'як бичачий – людина
- Б ховрах степовий – миша польова
- В підберезник твердуватий – береза
- Г павук-хрестовик – бджола медоносна

8. Зображені організми утворюють ланцюг живлення. Укажіть правильну послідовність ланок у ньому.

- А 1 – 4 – 2 – 3
- Б 3 – 2 – 1 – 4
- В 2 – 4 – 1 – 3
- Г 3 – 2 – 4 – 1

1



2



3



4



9. Проаналізуйте твердження щодо загальних рис пристосованості зображених тварин до водного середовища.

- I. Органами дихання є зябра.
- II. Обтічна форма тіла.

Яке поміж них правильне?

- А лише I
- Б лише II
- В обидва правильні
- Г обидва неправильні



### Тестове завдання на відповідність (3 бали)

10. Установіть відповідність між парою організмів (1 – 4) та типом взаємовідносин між ними (А – Д).

- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| 1 гусінь та синиця        | А конкуренція |
| 2 дуб та гриб боровик     | Б коменсалізм |
| 3 акула та риба-прилипала | В мутуалізм   |
| 4 рись та лисиця          | Г хижацтво    |
|                           | Д паразитизм  |

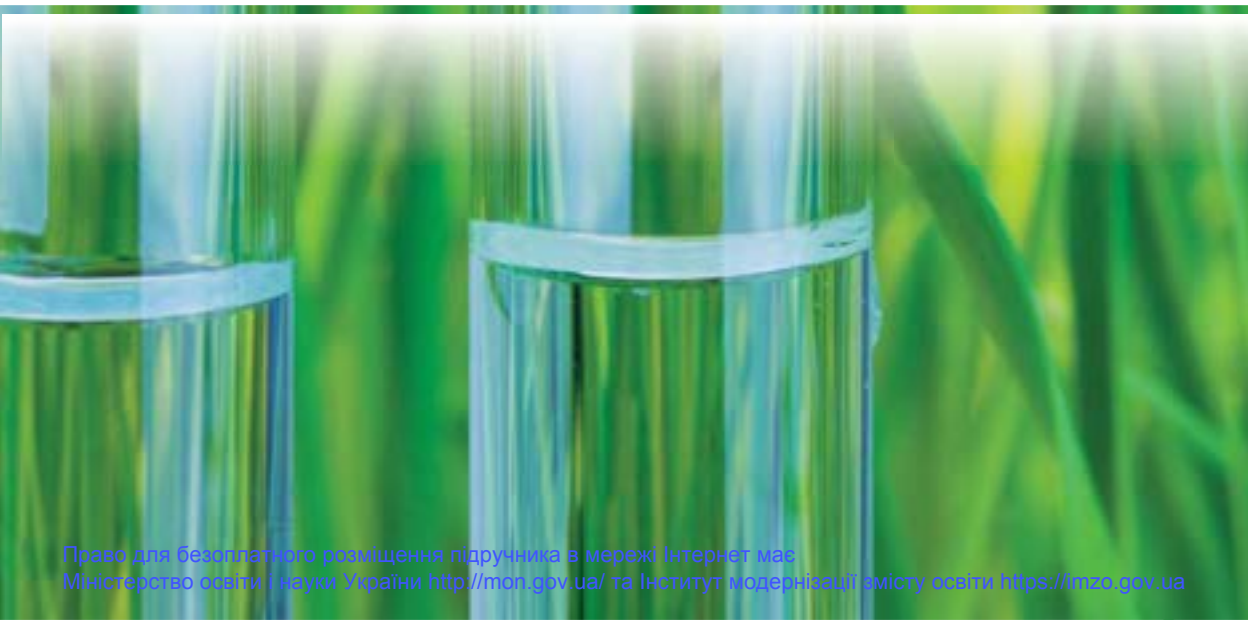
### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

1. Обґрунтуйте заходи щодо охорони природи вашого місця проживання на основі набутих знань.
2. Які чинники ви будете враховувати, визначаючи свою поведінку в навколишньому середовищі виходячи із його сучасного стану?



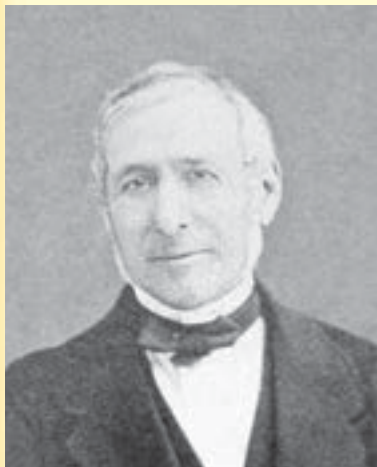
## *Тема 9*

# **БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ**





## З історії відкриттів



Альфонс Декандоль  
(1806 – 1893)

кий ботанік *Альфонс Декандоль* опублікував працю, у якій установив географічні області початкового походження найголовніших культурних рослин. Однак ці області він поширював на цілі континенти або досить великі території. Протягом півстоліття після виходу книжки Декандоля пізнання щодо походження культурних рослин розширювалися: з'являлися монографії, присвячені культурним рослинам різних країн, а також окремим рослинам. Найдетальніше цю проблему розробляв вчений-біолог *Микола Іванович Вавилов*. На підставі матеріалів про світові рослинні



М. І. Вавилов  
(1887 – 1943)

Наукові основи селекції заклав ще *Чарлз Дарвін*. Із розвитком генетики селекція з комплексу практичних заходів для виведення й поліпшення сортів рослин, порід свійських тварин і штамів мікроорганізмів перетворилася на точну науку, що ґрунтується на експерименті.

В Україні селекція як наука почала розвиватися наприкінці XIX ст., коли виникли перші станції для селекції цукрового буряку й інших сільськогосподарських культур. Було створено такі сорти сільськогосподарських рослин, як озима пшениця Кримка, яра – Полтавка, конюшина Глухівка, яра вика Вишневецька та багато інших. Значних успіхів досягнуто й у селекції нових порід сільськогосподарських тварин.

На основі ідей Ч. Дарвіна про існування географічних центрів походження біологічних видів сформувався вчення про центри походження культурних рослин. У 1883 р. швейцарський ресурси він визначав сім основних географічних центрів походження культурних рослин.

Завдяки працям французького мікробіолога й хіміка *Луї Пастера*, що довели зв'язок процесів бродіння з діяльністю мікроорганізмів, традиційна біотехнологія набула наукової основи. У 40 – 50-ті роки XX ст., коли було здійснено біосинтез пеніцилінів методами ферментації, почалась ера антибіотиків, що дала поштовх розвитку мікробіологічного синтезу й створенню мікробіологічної промисловості. У 60–70-ті роки XX ст. розпочався бурхливий розвиток клітинної інженерії. Зі створенням у 1972 р. групою американського біохіміка *Пола Берга* першої гібридної молекули ДНК *in vitro* формально пов'язане народження генетичної інженерії, що відкрила шлях до свідомої зміни генетичної структури організмів у такий спосіб, аби ці організми могли продукувати необхідні людині продукти й здійснювати перебіг важливих для промисловості процесів.

## § 50. Одомашнення рослин і тварин. Поняття про селекцію

### Згадаємо!

Що таке генотип і фенотип?

Що таке вид і популяція?

Що таке спадкова мінливість і природній добір?

Ви вже ознайомилися із закономірностями успадкування ознак та еволюційних змін, що відбуваються в живій природі. Це стане підґрунтям для опанування знань про селекцію організмів.

**Селекція.** Англійський учений Ч. Дарвін у своїй праці «Зміни свійських тварин і культурних рослин під впливом одомашнення» наголошував на тому, що утворення порід та сортів почалося з приручення людиною диких видів тварин і вирощування диких видів рослин.

🕒 **Селекція** – це наука, що вивчає методи створення нових і поліпшення існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів з цінними для людини ознаками та властивостями.

**Сортам** і **породою** називають стійку популяцію організмів одного виду, що штучно створені та мають подібні морфологічні, фізіологічні, біохімічні та господарські ознаки. **Штам** – це чиста культура мікроорганізмів, тобто по-толки однієї клітини.

Основними методами селекції є штучний добір і гібридизація. Людина, розвиваючи в різних напрямках ознаки диких предків, створила багато порід і сортів. Наприклад, нині у світі відомо понад 150 порід голубів, що походять, імовірно, від одного дикого виду – Голуба скельного (рис. 200).

Рис. 200. Різноманітність порід голубів



Голуб сизий, або скельний



Голуб павиний



Дутиш англійський

Серед багатьох організмів певного виду людина вибирає особини, які вирізняються ознаками, що найбільшою мірою її цікавлять. Після проведення схрещування залишають для розмноження саме ті особини, які успадкували ці ознаки. На початкових етапах розвитку людства діяв несвідомий добір, бо людина не ставила за мету створення нових порід і сортів. Надалі вона почала застосовувати добір цілеспрямовано за певними ознаками.

🕒 **Штучний добір** – це процес створення порід, сортів, штамів шляхом систематичного збереження особин з певними, цінними для людини ознаками, і сприяння їхньому розмноженню. Важливою умовою ефективності штучного добору є різноманіття вихідного матеріалу. Для цього використовують плідників з різних географічних областей. Існує масова та індивідуальна форми штучного добору. Масовий добір, за якого вибирають особин із особливостями фенотипу, простий у застосуванні. Але особини, подібні за фенотипом, можуть виявитися різнорідними за генотипом, й ефективність добору буде незначною. За індивідуального добору плідників вибирають за результатами вивчення як фенотипу, так і генотипу.

🕒 **Гібридизація** – процес отримання гібридів, в основі якого лежить об'єднання в одній клітині генетичного матеріалу різних клітин. Інколи застосовують міжвидову, або віддалену, гібридизацію, коли плідники належать до різних видів і родів, з метою поєднання в гібридів цінних спадкових ознак (рис. 201). Цей тип гібридизації широко застосовують у плідівництві. У такий спосіб отримано гібриди ожини й малини, сливи й терну, пшениці та жита (тритикале) тощо. Частіше застосовують внутрішньовидову гібридизацію, що її проводять між організмами одного виду. Особини, які беруть участь у схрещуванні, можуть мати різний ступінь спорідненості. Розрізняють споріднене й неспоріднене внутрішньовидові схрещування.

Рис. 201. Міжвидові гібриди



Лошак – гібрид коня й ослиці



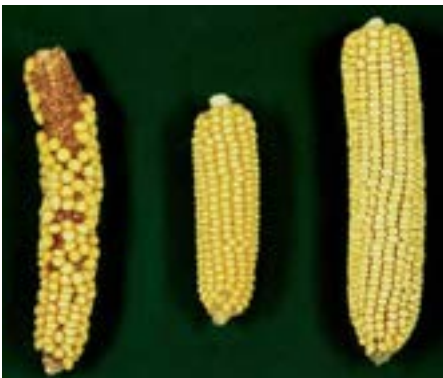
Мул – гібрид кобили й віслюка

Споріднене схрещування (інбридинг) – це гібридизація організмів, що мають спільних предків. Такий вид схрещування використовують для отримання чистих ліній організмів. Це призводить до гомозиготності, і в результаті проявляються рецесивні ознаки. Прикладом можуть слугувати самозапильні рослини та гермафродитні тварини, які здатні до самоzapліднення.

Неспоріднене схрещування (аутбридинг) – це гібридизація між організмами різних ліній. У гібридів шкідливі алелі переходять у гетерозиготний стан – спостерігається явище гетерозису. Гетерозис (гібридна сила) – явище, за якого перше покоління гібридів, одержаних у результаті неспорідненого схрещування, має підвищені життєздатність, продуктивність, ріст та стійкість проти хвороб тощо (рис. 202). Гетерозис у природі властивий усім групам організмів. Він виник водночас із статевим розмноженням.

**Селекція рослин.** У рослин як об'єктів селекції є ряд особливостей. Вони вирізняються високою плідністю, тому селекціонери часто застосовують масовий добір. Для них крім статевого характерне й вегетативне розмноження. В Україні на Миронівській селекційній станції було створено багато сортів рослин, зокрема високоврожайні сорти озимої пшениці з підвищеною стійкістю в екстремальних умовах. Отже, високі плідність, чисельність потомства дають змогу використовувати метод масового добору. Наявність видів, що самозапильються, уможлиблює виведення чистої лінії шляхом індивідуального добору. Завдяки вегетативному розмноженню можна тривалий час зберігати гетерозиготність генотипу. Застосовуючи хімічні сполуки, певні види випромінювання під час проростання насіння, одержують матеріал для добору. Рослинам властиве явище поліплоїдії – кратне збільшення числа хромосом у клітинах. Це один із шляхів поліпшення сортів культурних рослин. Для селекції рослин застосовують особливий спосіб штучного об'єднання частин різних особин – щеплення.

Рис. 202. Гетерозис у рослин



Гетерозис кукурудзи за продуктивністю (ліворуч і в центрі – батьківські форми, праворуч – гібрид)



Гетерозис томатів (ліворуч і праворуч – батьківські форми, у центрі – гібрид)

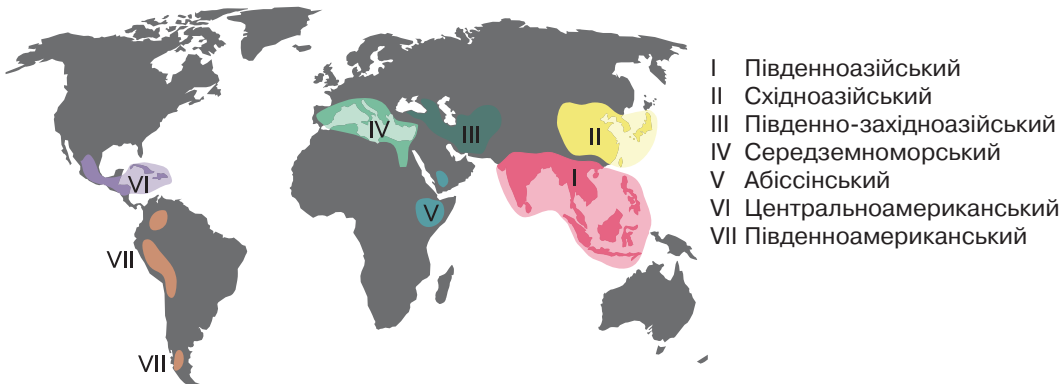
Частину рослини, яку прищеплюють, називають прищепою, а рослину, до якої прищеплюють, – підщепою.

**Селекція тварин.** Для багатьох тварин характерні невелика кількість потомства й значна тривалість життя. Тому в тваринництві, як правило, застосовують індивідуальний добір. Свійські тварини – роздільностатеві організми, для них характерне лише статеве розмноження. У селекції тварин застосовують споріднене та неспоріднене схрещування, а також віддалену гібридизацію для виведення нових порід. Крім того, користуються методом визначення якостей плідників за показниками потомства.

**Селекція мікроорганізмів.** Прокаріотів та одноклітинних еукаріотів широко використовують у харчовій, кормовій, виноробній промисловості. Вони до того ж ефективні для біологічної боротьби зі шкідниками. Гібридизація для більшості видів мікроорганізмів неможлива через відсутність статевого процесу.

**Центри походження й різноманітності культурних рослин та свійських тварин.** Учені давно з'ясували, що і рослини, і тварини походять з різних регіонів планети. У результаті досліджень М. І. Вавилов визначив сім основних центрів походження й різноманітності культурних рослин (рис. 203). У Південноазійському тропічному центрі виникло близько 33 % культурних рослин, наприклад лимон, огірок, манго. На Східноазійський центр припадає 20 % культурних рослин. Це просо, соя, редька, яблуна, груша тощо. З Південно-західноазійського центру походять морква, абрикос, бавовник, виноград тощо. Цукровий буряк, капуста та олива виникли в Середземноморському центрі. В Абіссінському центрі виникли тверда пшениця та зернове сорго. З Центральноамериканського центру походять гарбуз, какао, соняшник, квасоля та кукурудза. Картопля, томати, ананас та арахіс походять з Південноамериканського центру.

Рис. 203. Центри походження та різноманітності культурних рослин за М. І. Вавиловим



## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке селекція?
2. Дайте означення понять *сорт*, *порода*, *штам*.
3. Схарактеризуйте методи селекції.
4. Порівняйте особливості застосування методів селекції для рослинних і тваринних організмів.
5. Наведіть приклади досягнень у галузі селекції.

## § 51. Біотехнологія, її завдання та методи

### Згадаємо!

Що таке ферменти, вітаміни, інтерферони та гормони?

XXI століття називають «золотим століттям біології». Це стосується й одного з її напрямів – біотехнології.

**Об'єкти та методи біотехнології.** Ми вже зазначали, що людина здавна навчилася використовувати хімічні перетворення, що відбуваються в живих організмах, для своїх потреб – хлібопечення, сироваріння, виноробства. Можна сказати, що біотехнології виникли досить давно, але нові відкриття в біохімії, молекулярній біології, генетиці прискорили розвиток цього напряму біологічної науки.

**Біотехнологія** – це наука про використання біологічних об'єктів і хіміко-біологічних процесів у промисловому виробництві, сільському господарстві, енергетиці й медицині.

Біотехнологія ґрунтується на відкриттях у біохімії, мікробіології, молекулярній біології, клітинній та генетичній інженерії, що уможливають використання властивостей мікроорганізмів, клітин і тканин з визначеною метою.

Постає запитання: що є об'єктами біотехнології? Об'єктами можуть бути молекули (ферменти, вітаміни, амінокислоти), неклітинні форми життя (віруси), одноклітинні організми (бактерії, дріжджі) та багатоклітинні організми. Нині більшість об'єктів становлять мікроорганізми. До них належать усі прокариоти – бактерії та ціанобактерії, а також одноклітинні та колоніальні еукаріоти. Основою сучасного біотехнологічного виробництва є синтез речовин за допомогою мікроорганізмів (рис. 204). Головною ланкою є клітина, оскільки саме в

Рис. 204. Об'єкт (а) і продукт (б) біотехнології



а

Дріжджі



б

Дріжджовий хліб

**?** Назвіть приклади продуктів, що їх людина отримує внаслідок використання біотехнології.

ній утворюється речовина, – синтез якої є метою біотехнологічного процесу. У біотехнології застосовують специфічні методи, зокрема культивування біологічних об'єктів та вирощування клітин рослинних і тваринних тканин. Наприклад, вирощують бактерії та гриби для добування антибіотиків або клітини людини для добування інтерферону. Інші методи є спільними з методами, що їх застосовують у мікробіології, біохімії та інших науках. Особливої уваги потребують методи клітинної та генної інженерії, покладені в основу сучасної біотехнології (§ 53).

**Завдання біотехнології.** Завданнями сучасної біотехнології є:

- створення біологічно активних речовин і лікарських препаратів (інтерферонів, інсуліну, гормонів росту, антитіл, вакцин тощо);
- розроблення засобів захисту рослин від хвороб і шкідників; створення бактеріальних добрив і регуляторів росту рослин, а також нових сортів і гібридів рослин, одержаних методами генної та клітинної інженерії;
- синтез цінних кормових добавок і біологічно активних речовин (кормового білка, амінокислот, ферментів, вітамінів) з метою підвищення продуктивності тварин;
- розроблення екологічно безпечних технологій утилізації відходів для одержання енергоносіїв, добрива та кормових добавок;
- розроблення нових технологій добування цінних продуктів з метою використання в харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

**Досягнення традиційної біотехнології.** Біотехнологічні процеси випікання хліба, одержання кисломолочних продуктів тощо постійно вдосконалюються. Досягненням сучасної біотехнології є створення штучних популяцій грибів, що можуть синтезувати кормові білки з відходів рослинництва, нафти та нафтопродуктів. Створено екологічно безпечні технології утилізації сільськогосподарських, промислових та побутових відходів для одержання енергоносіїв, наприклад біогазу (рис. 205).

Рис. 205. Підприємство з виробництва біогазу



❓ Підготуйте повідомлення про досягнення сучасної біотехнології, використовуючи додаткові літературні джерела та інтернет-ресурси.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке біотехнологія?
2. Що є об'єктами біотехнології?
3. Схарактеризуйте завдання сучасної біотехнології.
4. Які досягнення сучасної біотехнології вам відомі?
5. Які досягнення біотехнології використовуєте ви?

## § 52. Генетична інженерія

### Згадаємо!

Що таке ДНК, РНК, гормони?

Як побудована бактеріальна клітина?

Що таке вірус?

Важливим напрямом біотехнології є генетична (генна) інженерія, де застосовують методи молекулярної біології, цитології, генетики, мікробіології та вірусології.

**Генетична (генна) інженерія** – це сукупність прийомів, методів і технологій одержання рекомбінантних РНК і ДНК, виділення генів з організму (клітин), здійснення маніпуляцій з генами та введення їх до інших організмів.

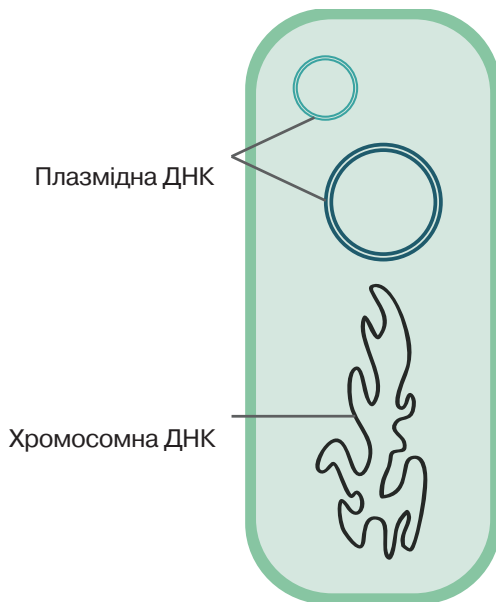
**Методи генетичної інженерії.** Найпоширенішим методом генетичної інженерії є перенесення спадкової інформації за допомогою векторів, тобто агентів, які можуть проникати в клітину. Векторами слугують віруси та плазміди. Плазміда – це молекула ДНК, автономна щодо хромосомної ДНК, яка здатна до самовідтворення (автономної реплікації). Вона зазвичай є кільцевою й дволанцюговою (рис. 206). Плазміди частіше за все трапляються в бактерій. Вектори забезпечують переміщення генів з одного організму до іншого.

Які ж основні етапи створення рекомбінантної плазміди? З клітини, що містить необхідний ген, виокремлюють молекулу іРНК. На цій молекулі синтезують комплементарну нитку ДНК. Потім іРНК видаляють, а на нитці ДНК за принципом комплементарності синтезують іншу. Її вбудовують у молекулу ДНК плазміди, яка слугує вектором (переносником).

Рис. 206. Плазміда бактеріальної клітини



Мікрофотографія плазміди



Розташування плазміди в бактеріальній клітині



Інший метод перебудови геномів організмів передбачає розділення молекули ДНК на фрагменти, тобто окремі ділянки. Ці фрагменти сполучають із молекулою векторної ДНК. Далі вони переміщуються в клітину, відокремлюються від вектора й приєднуються до ДНК хазяїна. Під час перенесення із клітини в клітину еукаріотів хромосом, які зазвичай розпадаються на фрагменти, одні з цих ділянок зникають, інші вбудовуються в хромосому клітини-хазяїна.

**Значення генетичної інженерії.** Генетично змінені бактерії продукують ряд речовин, зокрема гормони та інтерферон – їх виробництво нині відбувається в промислових масштабах. Наприклад, соматотропін (гормон росту) виробляють, використовуючи кишкову паличку. У такий спосіб отримують доступний та позбавлений вірусних забруднень препарат. Гормон інсулін, необхідний хворим на цукровий діабет, почали добувати з бактерій, у геном яких помістили ген людини, що відповідає за синтез цього гормону. Такий спосіб дешевший за виділення інсуліну з підшлункових залоз корів і свиней. Одним з досягнень генної інженерії є синтез інтерферону, що захищає організм людини, наприклад від грипу. Речовини, одержані завдяки генній інженерії, є ефективними препаратами з мінімальними побічними ефектами.

У сільському господарстві широко застосовують трансгенні, або генетично модифіковані, організми (ГМО) для виробництва харчових продуктів і підвищення їх якості. Яскравим прикладом є розробка синтезу вітаміну А в «золотому рисі» – генетично модифікованому сорті рису посівного із високим умістом бета-каротину (рис. 207). Генетично модифіковані організми часто мають вищі показники продуктивності й плодючості, що важливо для розв'язування проблеми забезпечення людства харчовими продуктами. Однак у багатьох розвинених країнах використання трансгенних організмів викликає занепокоєння в суспільстві. Сьогодні ще невідомо, як їхнє споживання впливає на генотип людей та природні екосистеми.

Рис. 207. Вид та генетично модифіковані сорти рослини



Рис посівний



Трансгенний сорт із помірним умістом бета-каротину



Трансгенний сорт з високим умістом бета-каротину

❓ Складіть повідомлення про генетично модифіковані організми, що їх використовує людина.

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке генетична інженерія?
2. Які методи застосовуються в генетичній інженерії?
3. Які продукти одержують шляхом генетичної інженерії?
4. Поясніть значення застосування генетичної інженерії.

## § 53. Клітинна інженерія

### Згадаємо!

Що таке соматична клітина, яйцеклітина, сперматозоїд?

**Клітинна (тканинна) інженерія.** Це галузь біотехнології, у якій застосовують методи виділення клітин з організму, перенесення їх на штучні поживні середовища, де ці клітини продовжують жити й розмножуватися. Крім того, клітинна інженерія займається сполученням соматичних клітин різних груп організмів і, отже, одержанням гібридів. Завдяки цьому вдається схрещувати організми, гібридизація яких статевим шляхом є неможливою. Як приклад можна навести віддалену гібридизацію соматичних клітин людини й миші, курки й дріжджів тощо. Це дає змогу створювати препарати, що підвищують стійкість проти різних захворювань.

Перспективним напрямом клітинної інженерії є **кловування** організмів. **Клоном** називають сукупність клітин або особину, яка утворилася від спільного пращура нестатевим шляхом (рис. 208). Методика репродуктивного кловування тварин є такою: з незаплідненої яйцеклітини видаляють ядро й пересаджують у неї ядро соматичної клітини іншої особини. Таку зиготу пересаджують у матку самки, у якій розвивається ембріон. Ця методика дає змогу одержувати від цінних за своїми якостями плідників необмежене потомство. Уперше клонована свійська тварина (вівця Доллі) з'явилася в результаті використання донорського ядра клітини молочної залози дорослої вівці. У цього першого успішного експерименту є суттєвий недолік – дуже низький коефіцієнт виходу живих особин (0,36 %). Однак він доводить можливість повноцінного кловування.

Рис. 208. Клоновані тварини



Вівця Доллі



Клоновані телята

❓ Поміркуйте над запитанням: «Чи є клонований організм точною генетичною копією материнського?»

Клонування людини – не лише наукова, а й етична проблема сьогодення. Репродуктивне клонування людей зіткнулося із великою кількістю етичних, релігійних і юридичних проблем, що нині не мають конкретного вирішення. У більшості країн світу репродуктивне клонування заборонене законом. Терапевтичне клонування, у свою чергу, передбачає використання ембріона для одержання стовбурових клітин. У деяких країнах цей тип клонування дозволений, наприклад у Великій Британії. Стовбурові клітини використовують для відновлення ушкоджених тканин та органів. У лабораторних умовах займаються розмноженням і подальшою спеціалізацією стовбурових клітин. Отже, можливим є штучне вирощування тканин і деяких органів людини й тварин.

Науковці розробляють методи одержання культури гібридів здорових клітин з раковими на штучних поживних середовищах, де виробляються антитіла, що знищують клітини злоякісних пухлин.

У природі трапляються химерні організми, переважно серед рослин. Людина навчилася створювати їх штучно (рис. 209).

Химерні тварини – це організми, що утворюються внаслідок поєднання бластомерів ембріонів з різними генотипами. Принцип одержання химер зводиться переважно до виділення двох чи більшої кількості ранніх зародків і їхнього злиття. Якщо в генотипі зародків, використаних для створення химери, є відмінності щодо певних характеристик, то вдається простежити долю клітин обох видів. За допомогою химерних мишей було, наприклад, з'ясовано питання щодо виникнення поперечносмугастих м'язів у ході розвитку багатоядерних клітин. Досліди зі створення химерних організмів тварин викликають негативне ставлення деяких учених. Водночас серед багатьох науковців і в суспільстві немає негативної реакції на химерні рослини.

Рис. 209. Химерні рослини



Химерна Сенполія (Фіалка узамбарська)



Химерний лілійник

### ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що називається клітинною інженерією?
2. Яке значення має клітинна інженерія?
3. Схарактеризуйте методи й наслідки клонування тварин.
4. Що таке химерні тварини?

## § 54. Біологія і медицина

### Згадаємо!

Що таке методи досліджень?

Які ви знаєте методи цитологічних, генетичних досліджень?

Медицина є одним із найважливіших напрямів діяльності людини. Її розвиток почався в давні часи, коли способи лікування хвороб були переважно інтуїтивними й ґрунтувалися на використанні лікарських рослин (рис. 210).

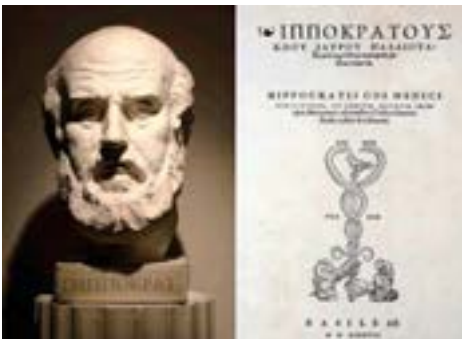
Поступово медицина сформувалася як наука – із власними методами та законами. Сучасна медицина є одним із чинників, що зумовлює подовження тривалості й поліпшення якості життя людини. Так, у XVIII ст. середня тривалість життя європейця становила близько 40 років, у другій половині XX ст. вона збільшилася до 66 – 76 років. Нині прогнозована тривалість життя в розвинених країнах – понад 80 років.

### Розвиток медицини тісно пов'язаний з успіхами біологічної науки.

Активна взаємодія між біологією та медициною почалася наприкінці XIX – на початку XX ст. Накопичені дані про будову (анатомія) і функціонування (фізіологія) організму дають змогу усвідомити закономірності життєдіяльності людини в нормі. Адже без розуміння цього неможливо виявляти причини та механізми формування хвороб.

Розвиток мікроскопічної техніки дав змогу вивчити будову організму людини на тканинному та клітинному рівнях, установити закономірності ембріонального розвитку людини тощо. Відкриття бактерій та дещо пізніше вірусів допомогли зрозуміти причини розвитку інфекційних захворювань, а відтак і започаткували науково обґрунтований пошук шляхів боротьби з

Рис. 210. Розвиток медицини в давні епохи



Давньогрецький лікар, реформатор античної медицини Гіппократ (460 – 370 рр. до н. е.).

Давньоєгипетське зображення сцени народження дитини. Жінки, які допомагали під час пологів, виконували функцію сучасних акушерів.



ними. Поява генетики уможливила пояснення причин спадкових захворювань. Розвиток біохімії сприяв установленню основних шляхів перетворень речовин в організмі людини. Відкриття вітамінів відкрило шлях для лікування хвороб, пов'язаних з їхнім дефіцитом.

Одним з найважливіших для медицини біологічних відкриттів стало винайдення антибіотиків: було зменшено рівень смертності, спричиненої інфікуванням хвороботворними бактеріями. Успіхи сучасної молекулярної біології дають інформацію стосовно зв'язків генів та ознак організмів. Розшифрування на початку ХХІ ст. геному людини вказало шлях до детального вивчення ролі конкретних генів у нормальному функціонуванні організму та розвитку патологій. Використання в дослідженнях лабораторних тварин з моделями хвороб людини дає змогу глибше аналізувати молекулярні механізми їх розвитку, а також випробовувати перспективні способи лікування, що є необхідним етапом розроблення новітніх лікарських засобів (рис. 211). Біотехнологічні методи дають змогу виробляти потрібні для медицини сполуки – антибіотики, вітаміни, антитіла. Наприклад, мікробіологічний синтез забезпечує більшу частину потреби людства в інсуліні (оцінюється в 16 000 кг на рік). Значну частину інсуліну, що входить до складу медичних препаратів, синтезують за допомогою генетично модифікованих кишкової палички або дріжджів.

**Використання біологічних методів під час діагностики захворювань.** Біологія надала медицині широкий діагностичний арсенал. Деякі методи аналізу є давніми, класичними, проте дуже важливими. Так, біохімічний аналіз (наприклад, крові) дає змогу визначити наявність в організмі певних хімічних речовин, що можуть бути індикаторами патологій. Наприклад, наявність цукру в сечі сигналізує про дисфункцію нирок, підвищена

Рис. 211. Миша – один з основних об'єктів для біомедичних досліджень



Рис. 212. Сучасна медична лабораторія

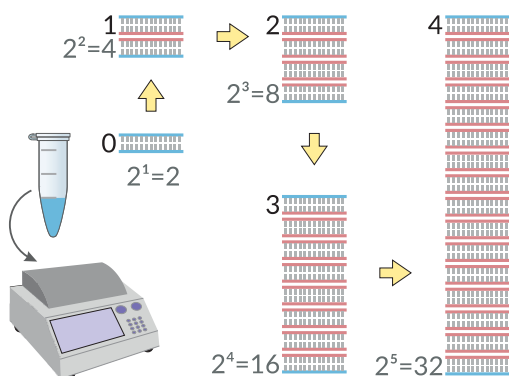


концентрація глюкози в крові – про цукровий діабет, знижена кількість гемоглобіну – про анемію тощо. Гістологічний аналіз дає змогу виявити порушення в будові тканин організму внаслідок уроджених вад або ідентифікувати ракові пухлини (рис. 212).

За допомогою цитологічних методів можна виявляти спадкові захворювання, пов'язані, наприклад, зі зміною числа хромосом (синдром Дауна). Мікробіологічні методи дають можливість виділити з організму та ідентифікувати збудників деяких інфекційних хвороб. Розвиток молекулярної біології збагатив медицину низкою сучасніших методик. Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР) забезпечує копіювання молекул ДНК лабораторного зразка, щоб можна було аналізувати їх іншими методами. За допомогою ПЛР можна точно (ідентифікуючи специфічні гени) визначити наявність вірусів або інших збудників під час прихованого періоду розвитку захворювання, тобто ще до появи симптомів (рис. 213). Секвенування молекул ДНК – це визначення їхньої нуклеотидної послідовності, що уможлиблює виявлення певних мутацій. Імуноферментний аналіз дає змогу за допомогою реакції антиген–антитіло точно визначати наявність і кількість певних макромолекул, якими можуть бути, наприклад, білки збудників хвороб. Ці та інші методи суттєво підвищують точність діагностики.

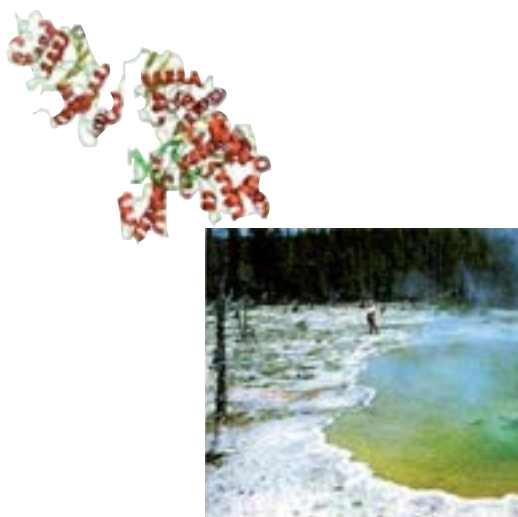
Цікаво, що відкриття, яке лежить в основі важливих для медицини методів, може відбутися в галузі біології, абсолютно не пов'язаній з людиною. Наприклад, розроблення ПЛР було б неможливим без відкриття ДНК-полімерази, що ефективно діє за підвищеної температури, за якої звичайні білки денатурують (75 °С). Її виділено з бактерій, що існують у гарячих джерелах (рис. 214). Описаний раніше високоточний метод редагування ДНК заснований на роботі комплексу ферментів CRISPR-Cas9, також виявленого в

Рис. 213. Прилад для проведення ПЛР



Протягом кожного циклу роботи кількість ДНК дослідного зразка подвоюється; після 30-го циклу утворюються понад 2 млн копій.

Рис. 214. Неочікувані зв'язки в науці



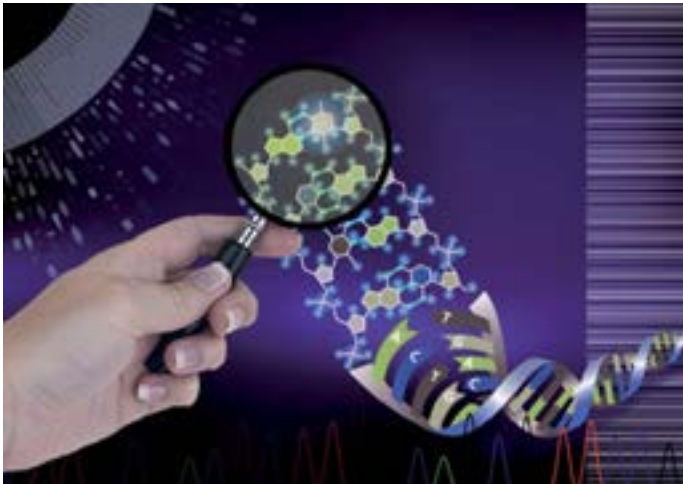
Структура білка Таq-полімерази, що її використовують для ПЛР, та гаряче джерело – місце існування бактерій, з якого її було виділено.

прокаріотичних організмах. Це свідчить про значущість фундаментальних досліджень – адже не завжди можна передбачити практичне застосування того чи іншого відкриття.

**Перспективи розвитку медицини.** Попри суттєві успіхи в галузі медицини ми досі не уявляємо механізмів розвитку багатьох хвороб, отже, методик їх ефективного лікування. Одним із сучасних напрямів розвитку є створення *персоналізованої медицини*, яка добирає схему лікування з урахуванням індивідуальних генетичних та інших особливостей пацієнта. У недалекому майбутньому кожна людина, звертаючись до лікаря, матиме не лише історію хвороби, а й повну генетичну розкладку. Завдяки цьому лікар задовго до появи перших симптомів знатиме, до яких захворювань схильний пацієнт. Сьогодні рак або інші серйозні захворювання іноді стають несподіванкою. Однак якщо людина буде поінформована щодо можливих загроз її здоров'ю, то уникнення хвороби стане справою особистої відповідальності. Батьки, будучи обізнаними з генетичною «історією» своїх дітей, матимуть змогу зберегти їхнє здоров'я.

Медики розробляють і випробовують методи генної терапії з метою лікування спадкових хвороб, подолання раку та ін. У 2013 р. вперше зі стовбурових клітин було вирощено цілі органи (нирку та печінку). Поки що це здійснили на лабораторних тваринах, але науковці сподіваються, що в такий спосіб можна буде одержати необхідні для пересадки органи людини. Одним із глобальних напрямів біології та медицини є дослідження нервової системи для розуміння причин неврологічних розладів, їх профілактики, корекції та лікування.

Біомедичні дослідження є важливою складовою сучасної науки. Можливо, наступні відкриття в цій царині чекають саме на вас!



## ПОВТОРІТЬ, ПОМІРКУЙТЕ

1. Що таке медицина?
2. Як дослідження в біологічній науці сприяють розвитку медицини?
3. Які методи біологічної науки використовують під час діагностики захворювань? Наведіть приклади.
4. Обґрунтуйте власний погляд щодо перспектив розвитку медицини.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Біологія як основа біотехнології та медицини»

### ВАРІАНТ I

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Який метод використовують у селекції?  
А природний добір  
Б штучний добір  
В світлову мікроскопію  
Г метод мічених атомів
2. Який продукт виробляють, використовуючи дріжджі?  
А квашену капусту  
Б м'ясні консерви  
В сир  
Г хліб
3. Рекombінантні РНК або ДНК отримують за допомогою методів  
А клітинної інженерії  
Б генетичної інженерії  
В вивчення спадковості  
Г цитологічних досліджень
4. Генетично модифіковані організми отримують методом  
А гібридизації  
Б штучного добору  
В клітинної інженерії  
Г генетичної інженерії
5. Ця наука забезпечує використання біологічних об'єктів та процесів їх життєдіяльності в промисловому виробництві, сільському господарстві, енергетиці та медицині. Укажіть її.  
А селекція  
Б медицина  
В біоінформатика  
Г біотехнологія
6. Відкриття й застосування яких речовин дало змогу зменшити смертність, спричинену інфікуванням хвороботворними бактеріями?  
А ферментів  
Б гормонів  
В вітамінів  
Г антибіотиків



### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. Є спадкові захворювання, які виявляють за допомогою цитологічних методів. Яке захворювання можна виявити за допомогою світлової мікроскопії?

А хворобу Дауна  
 Б гемофілію  
 В дальтонізм  
 Г грип

8. Прочитайте опис: «У генетичній інженерії спадкову інформацію переносять в іншу клітину за допомогою (1) та (2)». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.

А 1 – одноклітинних організмів	2 – вірусів
Б 1 – архей	2 – одноклітинних еукаріотів
В 1 – ціанобактерій	2 – вірусів
Г 1 – вірусів	2 – плазмід

9. На уроці біології для обговорення питання щодо проблем біотехнології клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що основою сучасного біотехнологічного виробництва є синтез різноманітних речовин за допомогою мікроорганізмів. Друга група вважала, що бактерії використовують для отримання антибіотиків. Яка група висловила правильне судження?

А лише перша  
 Б лише друга  
 В обидві групи  
 Г жодна з груп

### Тестове завдання на відповідність (3 бали)

10. Установіть відповідність між видом мутації (1 – 4) та її характеристикою (А – Д).

1 генні	А випадання одного із нуклеотидів
2 хромосомні	Б кратне збільшення кількості хромосом
3 анеуплоїдія	В збільшення гомологічних хромосом на одну
4 поліплоїдія	Г зміна структури хромосоми
	Д збільшення кількості цитоплазми в клітині

### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

- Оцініть можливі позитивні й негативні наслідки застосування сучасної біотехнології.
- Оцініть можливі позитивні й негативні наслідки клонування організмів.

## ВАРІАНТ II

**Тестові завдання з однією правильною відповіддю (0,5 бала)**

1. Одним з методів селекції є
  - А електронна мікроскопія
  - Б природний добір
  - В гібридизація
  - Г близнюковий
2. Який продукт виробляють, використовуючи молочнокислі бактерії?
  - А рибні консерви
  - Б м'ясні консерви
  - В сир
  - Г хліб
3. Для перенесення спадкової інформації з однієї клітини до іншої використовують
  - А віруси
  - Б білки
  - В бактерії
  - Г одноклітинні еукаріотичні організми
4. Генетично модифіковані організми отримують методом
  - А гібридизації
  - Б штучного добору
  - В клітинної інженерії
  - Г генетичної інженерії
5. Які організми використовують для промислового одержання гормонів, інтерферону?
  - А віруси
  - Б бактерії
  - В водорості
  - Г одноклітинні тварини
6. Застосування цих речовин зменшило смертність від інфекційних захворювань. Укажіть ці речовини.
  - А антибіотики
  - Б ферменти
  - В гормони
  - Г вітаміни

### Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1 бал)

7. За допомогою якого методу визначають наявність хімічних речовин, що можуть бути індикаторами захворювання?
- А цитологічного  
 Б біохімічного  
 В мікробіологічного  
 Г гібридологічного
8. Прочитайте опис: «Методи селекції дають змогу отримувати нові сорти (1) та породи (2)». Замість цифр необхідно вписати слова. Виберіть правильний варіант.
- А 1 – мікроорганізмів      2 – рослин  
 Б 1 – рослин                      2 – тварин  
 В 1 – тварин                      2 – рослин  
 Г 1 – тварин                      2 – мікроорганізмів
9. На уроці біології для обговорення значення цитологічних методів у медицині клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що цитологічні методи дають змогу виявляти спадкові захворювання. Друга група вважала, що за допомогою цих методів не можна виявляти спадкові порушення кількості хромосом. Яка група висловила правильне судження?
- А лише перша  
 Б лише друга  
 В обидві групи  
 Г жодна із груп

### Тестове завдання на відповідність (3 бали)

10. Установіть відповідність між методами селекції (1 – 4) та їх описом (А – Д).

1 аутбридинг	А схрещування близькоспоріднених особин
2 штучний добір	Б вибір особин із корисними ознаками
3 інбридинг	В схрещування особин, що належать до різних видів
4 поліплоїдія	Г явище гібридної сили під час неспорідненого схрещування
	Д кратно збільшення набору хромосом у клітинах організму

### Дайте відповідь на вибране вами завдання (3 бали)

1. Оцініть можливі позитивні й негативні наслідки застосування сучасної біотехнології.
2. Оцініть можливі позитивні й негативні наслідки використання генетично модифікованих організмів.

## § 55. Загальні властивості живих систем

Це останній параграф підручника. Протягом навчального року на його сторінках ви ознайомилися із властивостями живого, які проявляються на різних рівнях. Ви вже знаєте, що рівні організації живої природи – це відносно одноманітні біологічні системи, складові яких взаємопов’язані між собою. Наприклад, біологічною системою є клітина, оточена плазматичною мембраною, у цитоплазмі якої містяться органели та включення, що взаємодіють між собою. Біосфера як біологічна система також функціонує в певних межах, де наявні умови для існування живого. Складовими цієї біологічної системи є її абіотична та біотична частини. Вивчення проявів властивостей живого ви розпочинали з молекулярного рівня й поступово дійшли до біосферного. Усі властивості живого проявляються на кожному рівні. Це обмін речовин та енергії з навколишнім середовищем, саморегуляція, самовідтворення, розвиток, здатність сприймати інформацію, адаптація до умов існування. Тож наведемо приклади проявів певних властивостей в окремих біологічних системах.

Основою існування живого на різних рівнях є функціонування високомолекулярних органічних сполук. Головними з-поміж органічних речовин є білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи й ліпіди.

Обмін речовин та енергії з навколишнім середовищем – необхідна умова існування живих систем. Дві складові процесу – енергетичний та пластичний обмін – урівноважуючись, забезпечують динамічну сталість будови й властивостей внутрішнього середовища біологічних систем. Перебіг цих процесів в організмах ви вивчали в курсах біології людини, тварин та рослин у попередніх класах. У цьому ж навчальному році основну увагу було приділено вивченню цих процесів на рівні клітини та екосистеми.

Біологічні системи всіх рівнів організації можуть нормально функціонувати лише за умови підтримання сталості внутрішнього середовища (гомеостазу). Наприклад, існування певного виду залежить від його можливості підтримувати оптимальну чисельність деяких популяцій. Порушення гомеостазу на одному із рівнів веде до змін на всіх інших.

Біологічні системи здатні до самовідтворення, росту й індивідуального розвитку. Самовідтворення на молекулярному рівні ґрунтується на здатності молекули ДНК до реплікації з утворенням її копії. Це забезпечує самовідтворення клітин унаслідок поділу, адже одним із головних результатів цього процесу є розподіл молекул ДНК між дочірніми клітинами. У свою чергу, статеві та соматичні клітини забезпечують відповідно статеве та нестатеве розмноження організмів, тобто самовідтворення на організмовому рівні.

Здатність живих істот і надорганізмових живих систем адаптуватися до умов середовища також є однією з основних властивостей живого. Генотип реалізується у фенотипі шляхом синтезу та функціонування білків та може змінюватися завдяки процесам мутацій і рекомбінацій. Ці зміни зумовлюють здатність організмів пристосовуватися до умов навколишнього середовища. Ви ознайомилися із сучасною еволюційною теорією, яка називає та пояснює рушійні сили й закономірності історичного розвитку органічного світу.

Матеріальною основою еволюції є спадкова мінливість, а рушійною силою – природний добір. Унаслідок виживання найбільш пристосованих до умов існування організми адаптуються до умов навколишнього середовища. Отже, зміни, що відбуваються в генотипі окремого організму, є основою еволюційного розвитку органічного світу.

Для біологічних систем характерною ознакою є здатність до саморегуляції. Ядро забезпечує регуляцію процесів у клітині, на рівні організму саморегуляцію забезпечують регулятивні системи (нервова, ендокринна тощо). У цьому навчальному році ви більше дізналися про надорганізмові біологічні системи. Найменш інтегрованими й відповідно більш вразливими для зовнішніх впливів є популяційно-видовий, екосистемний та біосферний рівні. Зниження біорізноманіття веде до дестабілізації екосистем, порушення ланцюгів живлення й зрештою призводить до екологічної кризи, яка, у свою чергу, може спричинити біосферну кризу. Найзгубніше діють на стабільність надорганізмових біологічних систем фактори, інтенсивність дії яких неперіодично змінюється й виходить за межі витривалості біологічних систем. В основному так діють антропогенні фактори.

Вивчення властивостей живого на всіх його рівнях продовжується. Видатний педагог К. Д. Ушинський писав: *«Чим більше ми розуміємо незнані закони природи, тим неймовірнішими стають для нас дива»*. Тож попереду великі відкриття, до яких, можливо, долучитеся й ви.

Бажаємо вам успіхів в опануванні основ біологічної науки!



# Предметний покажчик

Автотрофи 70  
 Автофагія 55  
 Аденін 33  
 Активний центр 30  
 Актин 28  
 Алель 120  
 Алкалоїди 20  
 Амінокислота 25  
 Аналіз імуноферментний 235  
 Анатомія 6  
 Анафаза 100  
 Антибіотики 20  
 Антикодон 95  
 Антитіла 28  
 Антропогенез 167  
 Апарат Гольджі (*див.* Комплекс Гольджі)  
 Археї (Архебактерії) 182, 185  
 Атавізми 152  
 Атмосфера 205  
 АТФ-синтетаза 73, 77  
 Аутбридинг (*див.* Схрещування неспоріднене) 225

Бактерії 182, 185  
 – водневі 80  
 – Еубактерії (*див.* Бактерії)  
 – нітрифікуючі 80  
 Бактеріологія 6  
 Бактеріофаг 183  
 Білки 25  
 – рецепторні 28  
 – структурні 28  
 – транспортні 28  
 Біологія 5  
 Біологічна систематика 182  
 Біосфера 205  
 Біотехнологія 229  
 Бластомер 107  
 Бластуляція 107  
 Боротьба за існування 154  
 Ботаніка 6  
 Ботанічний сад 215

Вазопресин (*див.* Гормони)  
 Вакуолі 55  
 Вид(и) 159  
 – теплолюбні 198  
 – холодностійкі 198  
 Видоутворення 160  
 – географічне 160  
 – екологічне 161  
 Війки 54  
 ВІЛ (*див.* Вірус імунодефіциту людини)

Віріон 183  
Вірус(и) 183  
– грипу 184  
– імунодефіциту людини (ВІЛ) 184  
– прості 183  
– складні 183  
Вітамін 19  
Включення 53  
Вода 15  
Воски 24  
Вуглеводи 21

Гастрюляція 107  
Ген(и) 89, 119  
– регуляторні 90  
– структурні 90  
Генетика 117  
– медична 139  
Генетична (генна) інженерія 229  
Генетичний код 89  
Геном 89, 183  
Генотип 89, 119  
Генофонд 156  
Гемоглобін 28  
Гетерозис (*див.* Сила гібридна)  
Гетерополімери 18  
Гетеротрофи 70  
Гідросфера 205  
Гібрид 120  
Гібридизація 224  
– внутрішньовидова 224  
– міжвидова, або віддалена 224  
Гістони 28, 58  
Гліколіз 72  
Гліколіпіди 24  
Глікопротеїни 27  
Гліцин 25  
Гомополімери 18  
Гормони 28  
– вазопресин 28  
– гіпофіза тропні 28  
– інсулін 28  
– окситоцин 28  
Гриби 182, 190  
Гуанін 34

Ґрунт 205

Дезоксирибоза 33  
Денатурація 27  
Деструкція 27  
Джгутики 54  
Дивергенція 163  
Динеїн 28  
Диплоїдні клітини (*див.* Клітини диплоїдні)

- Дифузія 51  
 Дія гена  
 – летальна 126  
 – множинна 128  
 Добір  
 – індивідуальний 224, 226  
 – масовий 224  
 – природний 154  
 – рушійний 162  
 – стабілізуючий 162  
 – штучний 224  
 Домінантна ознака (*див.* Ознака домінантна)  
 Домінування неповне 125  
 Дрейф генів 157  
 Дроблення 107
- Еволюція 151  
 Екзони 92  
 Екзоцитоз 52  
 Екологія 196  
 Екосистема(и) 196, 201  
 – абіотична частина 201  
 – біотична частина 201  
 – штучні 202  
 Ектодерма 107  
 Еластин 28  
 Елементи органогенні 12  
 Ендоморфіни 28  
 Ендоцитоз 52  
 Енергетичний баланс 70  
 Ендоплазматична сітка (ЕПС) (*див.* Сітка ендоплазматична (ЕПС))  
 Ентодерма 107  
 Епістаз 127  
 Еубактерії (*див.* Бактерії)  
 Еукаріоти 182  
 Ефект парниковий 211
- Жири** 24  
**Життєвий цикл** 105  
**Життя** 7
- Заказник 215  
 Закон  
 – біогенетичний 181  
 – незалежного успадкування ознак 124  
 – одноманітності гібридів першого покоління 121  
 – оптимуму 197  
 – розщеплення 123  
 Запліднення 104  
 – внутрішнє 104  
 – зовнішнє 104  
 – подвійне 104  
 Заповідник  
 – біосферний 215  
 – природний 215



- Зародкові листки 107
- Захворювання
  - генні 139
  - екологічні 14
  - ендермічні 14
  - хромосомні 140
- Зелена книга 214
- Зона пригнічення 197
- Зоологія 6
  
- Ізоляція 157
  - географічна 157
  - екологічна 157
- Імуноферментний аналіз (*див.* Аналіз імуноферментний)
- Інактивація 31
- Інбридинг (*див.* Схрещування споріднене)
- Інсулін (*див.* Гормони)
- Інтерфаза 99
- Інтерферон 28
- Інтрони 92
  
- Калій-натрієвий насос 51
- Капсид 183
- Капсула 59
- Кератин 28
- Кислота(и)
  - аденозинтрифосфатна (АТФ) 36
  - дезоксирибонуклеїнова (ДНК) 34
  - нуклеїнові 33
  - рибонуклеїнова (РНК) 35
  - рибосомна (рРНК) 35
  - транспортна (тРНК) 35
- Кінезин 28
- Клітина(и) 45
  - диплоїдні 90
  - еукаріотична 48
  - прокаріотична 48, 59
- Клітинна стінка 50
- Клітинна (тканинна) інженерія 231
- Клітинне дихання 71
- Клітинне травлення 71
- Клітинний центр 53
- Клон 231
- Клонування 231
- Кодомінування 125
- Кодон стартовий 95
- Колаген 28
- Колообіг речовин 206
- Коменсал 200
- Коменсалізм 200
- Комплекс Гольджі 55
  - фермент-субстратний 29
- Комплементарність 34, 91, 127
- Конвергенція 164
- Конкуренція

- внутрішньовидова 200
- міжвидова 200
- Консументи 201
- Коферменти 30
- Кристи 66
- Критерій виду 160
  - біохімічний 160
  - генетичний 160
  - географічний 160
  - екологічний 160
  - морфологічний 160
  - фізіологічний 160
  - цитологічний 160
- Кросингвер 101
- Крохмаль 22
  
- Лактоза 22, 29
- Ланцюг
  - виїдання (пасовищний) 203
  - дентритний (розкладання) 204
  - живлення 203
- Лейкопласти 56
- Летальна дія гена (*див.* Дія гена летальна)
- Лізосоми 55
- Ліпіди 23
- Ліпопротеїди 24
- Літосфера 205
- Локус 119
- Лошак 224
  
- Макромолекули 18
- Матрикс 56
- Матрична РНК (мРНК) 35
- Межа витривалості
  - верхня 197
  - нижня 197
- Медіатори 28
- Мейоз 100
- Метод
  - генеалогічний 118
  - гібридологічний 117
  - експериментальний 6
  - молекулярно-генетичний 118
  - порівняльно-описовий 5
  - цитологічний 118
- Метафаза 100
- Мікологія 6
- Мікроеволюція 159
- Мікронитки 53
- Мікротрубочки 53
- Мімікрія 166
- Мінливість 133
  - модифікаційна (неспадкова) 137
  - мутаційна 133
  - спадкова 133, 154

- Міозин 28
- Мітоз 100
- Мітохондрії 56
- Міхур реплікативний 98
- Множинна дія гена (*див.* Дія гена множинна)
- Моделювання 6
- Моніторинг 6
- Моносахариди 21
- Мул 224
- Мутаген 134
- Мутагенез 134
- Мутації 166
  - генні (точкові) 134
  - геномні 136
  - спонтанні 134
  - хромосомні 135
- Мугуалізм 200
  
- Надмембранний комплекс 50
- Народжуваність 156
- Неповне домінування (*див.* Домінування неповне)
- Ноосфера 196
- Нуклеоїд 59
- Нуклеотиди 33
  
- Обмін
  - енергетичний 81
  - пластичний 81
  - речовин 69
- Ознака
  - домінантна 120, 121
  - рецесивна 120
- Окситоцин (*див.* Гормони)
- Олігосахариди 22
- Онтогенез 181
- Оптимум 197
- Органели 53
- Органи
  - аналогічні 152
  - гомологічні 151
- Організми химерні 231
- Органогенез 107
- Органогенні елементи (*див.* Елементи органогенні)
  
- Палеонтологія 151
- Пам'ятка природи 215
- Пандемія 184
- Паразит 200
- Паразитизм 200
- Паралелізм 165
- Пепсин 30
- Пептид 26
- Період
  - ембріональний 105
  - постембріональний (післязародковий) 105

- Пероксисоми 55
- Персоналізована медицина 236
- Пігменти 19
- Пілі 59
- Піноцитоз 52
- Плазматична мембрана (плазмолема) 49
- Плазміда 229
- Пластиди 56
- Полімерія 127
- Поліплоїдія 225
- Популяційні хвилі 156
- Популяція 155
  - приріст 156
  - чисельність 155
  - щільність 155
- Порода 223
- Правило екологічної піраміди 204
- Природний парк 215
- Продуценти 162, 201
- Прокаріоти 182, 185
- Промотор 89
- Профаза 100
  
- Реакція(ї)
  - аеробні 72
  - полімеразна ланцюгова 235
- R-група (замісник) 25
- Редуценти 201
- Ренатурація 27
- Рекомбінації 166
- Репарація 98
- Реплікативний міхур (*див.* Міхур реплікативний)
- Реплікація 97
- Рибоза 33
- Рибосоми 54
- Рівень (рівні)
  - біосферний 8
  - екосистемний 8
  - клітинний 8
  - організації біологічних систем 8
  - організмівий 8
  - популяційно-видовий 8
  - структурної організації білкової молекули 26
  - трофічний 203
- Рослини 182, 188
  - химерні 231
- Рудименти 151
  
- Сахароза 22
- Секвенування 235
- Селекція 223
- Середовище існування 198
  - водне 199
  - надземно-повітряне 198

Сила

– гібридна 225

– рушійна 154

Сітка

– ендоплазматична (ЕПС) 54

– трофічна 204

– шорстка (гранулярна) ЕПС 54

Смертність 156

Сорт 223

Спадковість 117

Сперматозоїд 103

Спермій 103

Сплайсинг 92

Сполуки

– органічні 18

– полімерні 18

Стартовий кодон (*див.* Кодон стартовий)

Стероїди 24

Сукцесія 202

– вторинна 210

– первинна 210

Суперкаксид 183

Схрещування 120

– дигібридне 120

– моногібридне 12

– неспоріднене 225

– споріднене (інбридинг) 225

Тварини 182, 189

– химерні 231

Телофаза 100

Тепличний (парниковий) ефект (*див.* Ефект парниковий)

Термінатор 89

Терморегуляторна функція (*див.* Функція терморегуляторна)

Тилакоїди 56

Тимін 33

Транскрипція 91

Трансляція 95

Триплет (кодон) 93

Трипсин 30

Тропні гормони гіпофіза (*див.* Гормони гіпофіза тропні)

Тубулін 28

Урацил 34

Успадкування

– зчеплене 129

– зчеплене зі статтю 131

**Фагоцитоз** 52

**Фактори**

– абіотичні 197

– антропогенні 197

– біотичні 197

– еволюції 154

– еволюції елементарні 156

- екологічні 197
- транскрипційні 108
- Фенотип 119
- Ферменти (ензими) 28, 29
- Фермент-субстратний комплекс (*див.* Комплекс фермент-субстратний)
- Фізіологія 6
- Філогенетичний ряд 181
- Філогенія (філогенез) 181
- Фосфоліпіди 24
- Фосфорилування 31
- Фотоліз 76
- Фотосинтез 75
- Фотосинтетична система (фотосистема) 76
- Функція білків
  - рухова 28
  - сигнальна 28
- Функція терморегуляторна 16
  
- Хемосинтез 79
- Хітин 22
- Хижак 200
- Хижацтво 200
- Хлоропласти 56
- Хлорофіл 75
- Холестерин 24
- Хроматин 58
- Хромoplastи 56
- Хромосоми 58
  - гомологічні 90,119
  
- Целюлоза 22
- Центріолі 53
- Центри походження і різноманітності культурних рослин та свійських тварин 226
- Цикл
  - клітинний 99
  - Кребса 72
- Цитоз 52
- Цитозин 34
- Цитоплазма 53
- Цитоскелет 53
  
- Червона книга України 214
- Чиста лінія 120
  
- Штам 223
  
- Щеплення 226
  
- Ядерний сік 58
- Ядерні пори 58
- Ядерця 58
- Ядро 58
- Яйцеклітина 103

## Джерела додаткової інформації

1. Айала Ф., Кайгер Дж. Современная генетика : в 3 т. – М. : Мир, 1987.
2. Албертс Б., Брей Д., Льюис Дж и др. Молекулярная биология клетки : в 3 т. – М. : Мир, 1994.
3. Баринов Е. Ф. и др. Атлас электронной микроскопии : в 2 т. – Донецк, 1997–1998.
4. Біологія : до від. для учнів 10, 11 кл. та вступників до ВНЗ / В. О. Мотузний. – К. : НАУ, 2004. – 156 с.
5. Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бугай О. В. Екологія і охорона навколишнього середовища : навч. посіб. – 2-ге вид., стереотип. – Суми : Унів. книга, 2003. – 284 с.
6. Вернадский В. И. Живое вещество биосферы. – М. : Наука, 1994. – 672 с.
7. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология : в 3 т. – М. : Мир, 1990.
8. Гюнтер Э. и др. Основы общей биологии. – М. : Мир, 1982. – 440 с.
9. Дарвин Ч. Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь. – Л. : Наука, 1991. – 539 с.
10. Крисаченко В. С, Мостяев О. І. Україна: природа і люди. – К. : НІСД, 2002. – 623 с.
11. Сингер М., Берг П. Гены и геномы : в 2 т. – М. : Мир, 1998.
12. Ситник О. С. Культурна антропологія: походження людини і суспільства : навч. посіб. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2012. – 180 с.
13. Сухомлинов А. И., Сухомлинова И. А., Микитюк А. Н. и др. Экология и здоровье человека. – Харьков : ХГПУ, 1992. – 128 с.
14. Царик Т. С., Файфура В. В. Основи екології. – Тернопіль, 2003. – 208 с
15. Червона книга України : Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха — К. : Глобалконсалтинг, 2009. – 900 с.
16. Червона книга України : Тваринний світ / за ред. І. А. Акімова. — К. : Глобалконсалтинг, 2009. — 600 с.
17. <http://biology.org.ua> (Новини в біологічній галузі, бібліотека для підготовки, архів завдань біологічних олімпіад та турнірів.)
18. <http://my.science.ua> (Проект, що популяризує науку в Україні. Науково-популярні статті, анонси різноманітних наукових та навколонукових подій. Будьте в курсі!)
19. <http://elementy.ru> (Актуальні новини науки, бібліотека, відеотека.)
20. <http://nobelprize.org> (Офіційний сайт Нобелівського комітету. У розділі «Фізіологія та медицина» можна ознайомитися з дослідженнями багатьох видатних учених, про яких ви дізналися з підручника.)
21. <http://antropogenez.ru> (Інформація стосується антропогенезу та загальних питань еволюції.)
22. <http://batrachos.com> (Добірка матеріалів із зоології та екології.)
23. <http://wikipedia.org> (Нескінченне джерело інформації про все.)
24. <http://lecbank.jimdo.com> (Науково-популярні лекції та навчальні відео.)

# Зміст

<i>Шановні дев'ятикласники!</i> .....	3
Вступ.	
§ 1. Біологія – наука про живе. Рівні організації біологічних систем .....	5
<b>Тема 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ</b> .....	9
<i>З історії відкриттів</i> .....	10
§ 2. Хімічний склад клітини. Неорганічні сполуки .....	11
§ 3. Органічні молекули. Біологічні макромолекули – біополімери .....	17
§ 4. Вуглеводи та ліпіди .....	21
§ 5. Білки: структурна організація та функції .....	25
§ 6. Ферменти, їх роль у клітині .....	29
Лабораторне дослідження властивостей ферментів .....	31
§ 7. Нуклеїнові кислоти: структурна організація та функції. АТФ .....	33
Цікавинки .....	37
<b>Практична робота. Розв'язування елементарних вправ</b> <i>зі структури білків та нуклеїнових кислот</i> .....	38
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми <i>«Вступ. Хімічний склад клітини та біологічні молекули»</i> .....	39
<b>Тема 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ</b> .....	43
<i>З історії відкриттів</i> .....	44
§ 8. Дослідження клітин .....	45
§ 9. Клітинна мембрана.....	49
§ 10. Цитоплазма й основні клітинні органели .....	53
§ 11. Ядро: будова і функції .....	57
§ 12. Типи клітин. Рослинна, тваринна та грибна клітини .....	59
<b>Лабораторна робота. Вивчення структурно-функціональної</b> <b>різноманітності клітин</b> .....	61
Цікавинки .....	62
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми <i>«Структура клітини»</i> ..	63
<b>Тема 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ</b> .....	67
<i>З історії відкриттів</i> .....	68
§ 13. Обмін речовин і перетворення енергії в клітині .....	69
§ 14. Біохімічні механізми дихання.....	71
§ 15. Фотосинтез. Його планетарна роль .....	75
§ 16. Хемосинтез.....	79
§ 17. Загальні принципи перетворення речовин у клітинах .....	81
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми <i>«Принципи функціонування клітини»</i> .....	83
<b>Тема 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b> .....	87
<i>З історії відкриттів</i> .....	88
§ 18. Гени та геноми .....	89
§ 19. Транскрипція. Основні типи РНК .....	91
§ 20. Генетичний код .....	93



§ 21. Біосинтез білка.....	95
§ 22. Подвоєння ДНК.....	97
§ 23. Клітинний цикл. Мітоз.....	99
Лабораторне дослідження фаз мітозу (на прикладі клітин кореня цибулі) .....	100
§ 24. Мейоз.....	101
§ 25. Статеві клітини й запліднення.....	103
§ 26. Індивідуальний розвиток організмів.....	105
<b>Практична робота. Розв’язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції</b> .....	109
Цікавинки .....	110
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Збереження та реалізація спадкової інформації» .....	111
<b>Тема 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК</b> .....	115
<i>З історії відкриттів</i> .....	116
§ 27. Генетика як наука: історія та методи .....	117
§ 28. Основні генетичні поняття .....	119
§ 29. Закони Менделя .....	121
§ 30. Неменделівське успадкування ознак .....	125
§ 31. Зчеплене успадкування .....	129
§ 32. Форми мінливості. Спадкова мінливість .....	133
§ 33. Неспадкова мінливість .....	137
Лабораторне дослідження мінливості у рослин і тварин.....	138
§ 34. Спадкові захворювання людини. Генетичне консультування .....	139
<b>Практична робота. Складання схем схрещування</b> .....	143
<b>Проект. Складання власного родоводу та демонстрація успадкування певних ознак (за вибором учня)</b> .....	144
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Закономірності успадкування ознак».....	145
<b>Тема 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ</b> .....	149
<i>З історії відкриттів</i> .....	150
§ 35. Еволюція та її докази. Відкриття Ч. Дарвіна.....	151
§ 36. Популяція як елементарна одиниця еволюції .....	155
§ 37. Видоутворення як етап еволюційного процесу .....	159
§ 38. Сучасні погляди на еволюцію .....	163
§ 39. Еволюція людини .....	167
§ 40. Світоглядні та наукові погляди на походження життя .....	171
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Еволюція органічного світу» .....	175
<b>Тема 7. БІОРИЗНОМАНІТТЯ</b> .....	179
<i>З історії відкриттів</i> .....	180
§ 41. Основи еволюційної філогенії та систематики .....	181
§ 42. Різноманітність форм життя: віруси та прокаріоти .....	183
<b>Практична робота. Порівняння будови та процесу розмноження клітинних та неклітинних форм життя</b> .....	186

§ 43. Різноманітність еукаріотичних організмів .....	187
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Біорізноманіття» ....	191
<b>Тема 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ</b> .....	195
<i>З історії відкриттів</i> .....	196
§ 44. Екологічні фактори.....	197
§ 45. Екосистема. Різноманітність екосистем .....	201
§ 46. Харчові зв'язки та потоки енергії у екосистемах .....	203
§ 47. Біосфера як цілісна система .....	205
§ 48. Стабільність екосистем та причини її порушення .....	209
§ 49. Заходи щодо збереження біосфери.....	213
Цікавинки .....	216
<b>Проект.</b> Виявлення рівня антропогенного впливу в екосистемах своєї місцевості .....	216
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Надорганізмові біологічні системи» .....	217
<b>Тема 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ</b> .....	221
<i>З історії відкриттів</i> .....	222
§ 50. Одомашнення рослин і тварин. Поняття про селекцію.....	223
§ 51. Біотехнологія, її завдання та методи.....	227
§ 52. Генетична інженерія .....	229
§ 53. Клітинна інженерія .....	231
§ 54. Біологія і медицина .....	233
Самоконтроль рівня навчальних досягнень з теми «Біологія як основа біотехнології та медицини» .....	237
§ 55. Загальні властивості живих систем .....	241
<b>Предметний покажчик</b> .....	243
<b>Джерела додаткової інформації</b> .....	252

Навчальне видання  
*АНДЕРСОН Оксана Анатоліївна*  
*ВИХРЕНКО Марина Анатоліївна*  
*ЧЕРНІНСЬКИЙ Андрій Олександрович*

## **БІОЛОГІЯ**

Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

Відповідальний за випуск *Ю. О. Корбуш*  
Підготовка оригінал-макету *О. А. Корбуш*  
Коректор *Н. І. Хоменко*  
Малюнки підготувала *К. Л. Гулак*  
Художник обкладинки *І. П. Медведовська*

Автор фото на с. 242 *А. Шолох*  
Колаж на с. 4 *М. Корбуш*

Підписано до друку 16.06.2017.  
Формат 70×100/16. Папір офсет.  
Гарнітура Шкільна. Друк офсет. Умов. друк. арк. 20,8.  
Тираж 11993 пр. Зам №

Виготовлено згідно із СОУ 18.1-02477019-07:2015

**Учбово-видавничий центр «Школяр»**  
02094, Київ, вул. Сергієнка, 18  
Свідоцтво ДК № 360 від 14.03.2001 р.

Тел.: (044) 599-64-48, 066-061-01-76, 067-209-60-80  
[www.shkolyar.com.ua](http://www.shkolyar.com.ua)  
E-mail: [shkolyar\\_info@ukr.net](mailto:shkolyar_info@ukr.net)

Віддруковано на ПАТ «Білоцерківська книжкова фабрика»,  
09117, м. Біла Церква, вул. Леся Курбаса, 4.  
Свідоцтво серія ДК № 4063 від 11.05.2011 р.  
Впроваджена система управління  
якістю згідно з міжнародним стандартом DIN EN ISO 9001:2000

Права авторів і видавничі права УВЦ «Школяр» захищені  
Законом України (Про авторське право і суміжні права) від 23.12.1993 р.  
(зі змінами від 11.07.2001 р.)

Друковане копіювання книжки або її частини, будь-які інші контрафактні видання тягнуть  
за собою відповідальність згідно зі ст. 52 цього Закону

український біологічний сайт

[biology.org.ua](http://biology.org.ua)



[my.science.ua](http://my.science.ua)

 **Nobelprize.org**  
The Official Web Site of the Nobel Prize

[nobelprize.org](http://nobelprize.org)



[wikipedia.org](http://wikipedia.org)

Банк Лекцій

[lecbank.jimdo.com](http://lecbank.jimdo.com)

Додаткові відомості для вивчення матеріалу цього підручника.

<http://biology.org.ua/book9>

А також новини в біологічній галузі, бібліотека, архів завдань біологічних олімпіад та турнірів



Проект, що популяризує науку в Україні. Науково-популярні статті, анонси різноманітних наукових та навколонукових подій. Будьте в курсі!



Офіційний сайт Нобелівської премії. У розділі «Фізіологія та медицина» ви можете ознайомитися з дослідженнями багатьох видатних учених, про яких ми розповідаємо в підручнику



Нескінченне джерело інформації про все. Радимо читати англійські розділи



Науково-популярні лекції та навчальні відео



