

**Оксана Андерсон  
Марина Вихренко  
Андрій Чернінський**

# **Біологія і екологія**

## **Рівень стандарту**

**Підручник для 10 класу  
закладів загальної середньої освіти**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*



Київ  
«Школяр»  
2018

УДК 57(075.3)  
Б63

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(лист Міністерства освіти і науки України від №1/11-8393 від 08.08.2018)

**ПРОДАЖ ПРИМІРНИКІВ КНИГИ БЕЗ ГОЛОГРАМИ НА ОБКЛАДИНЦІ ЗАБОРНЕНО**

Андерсон О. А. та ін.  
Б63      **Біологія і екологія:** підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти: рівень стандарту/О. А. Андерсон, М. А. Вихренко, А. О. Чернінський. – К. : Школяр, 2018. – 216 с. : іл.

ISBN 978-966-1650-57-1.

**УДК 57(075.3)**

ISBN 978-966-1650-57-1

© Андерсон О. А., Вихренко М. А., Чернінський А. О., 2018  
© УВЦ «Школяр», 2018  
© УВЦ «Школяр», художнє оформлення, 2018

## **Шановні десятикласники та десятикласниці!**

Ця книжка продовжує серію підручників з курсу «Біологія», вивчення якого ви розпочали в попередніх класах. Щоб успішно опанувати навчальний матеріал, ви маєте 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: виокремлювати 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. Рисунки, фотографії, схеми, таблиці розміщено в нижній частині тієї самої сторінки, де на них є посилання в тексті параграфа. Там само до них запропоновано завдання – це дасть вам змогу ретельно опрацьовувати частину змісту параграфа відразу під час його вивчення. Ви будете покроково сприймати інформацію, аналізувати її, узагальнювати щойно набуті знання, а значить, краще підготуєтесь до подальшої роботи над новим навчальним матеріалом.

Орієнтуватися в змісті параграфа вам допоможуть **позначки**, які структурують його за етапами уроку:



актуалізуйте опорні знання



повторіть раніше вивчене



працюйте в команді: виконайте завдання, складіть план дій. Чітко, коректно та зрозуміло формулюйте власну думку, поважайте думку інших



розв'яжіть задачу



знайдіть інформацію, використовуючи наукову літературу, інтернет-джерела тощо; інформацію оцінюйте критично



повторіть, поміркуйте, поясніть, висловіть судження, сформулюйте висновки

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

Тестові завдання рубрики «**Самоконтроль навчальних досягнень**» до кожної теми допоможуть вам ґрунтovно проконтролювати рівень власних навчальних досягнень, удосконалити навички роботи з тестовими завданнями різних форм. 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. Сподіваємося, вона буде для вас справді цікавою.

Водночас пам'ятайте, що сучасна біологія – захоплива, 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.

**Зичимо успіхів в опануванні основ біологічної науки!**

*Автори*



## Вступ.

### § 1. Біологія та екологія як науки



**Що таке біологія?**

**Які вирізняють рівні організації живого?**

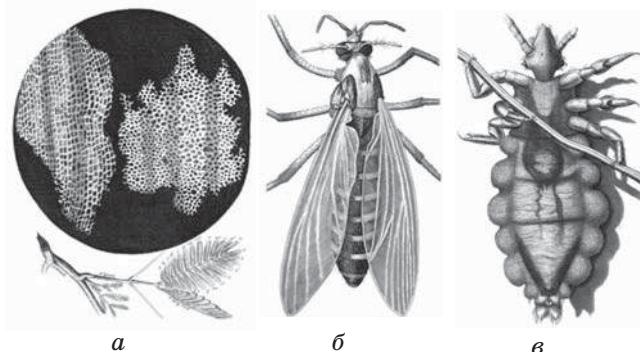
Історія природознавства сягає своїм корінням у сиву давнину, коли людина в пошуках засобів для існування поглиблювала свої уявлення про навколошній світ. Це були уривчасті відомості про корисні рослини, про тварин, на яких полювали, про явища та процеси, які становили небезпеку або допомагали вижити. Уже в Стародавньому Єгипті та Вавилоні були накопичені значні математичні знання, але тільки греки почали доводити теореми. Якщо науку трактувати як знання з його обґрунтуванням, то цілком справедливо вважати, що природознавство виникло приблизно в V столітті до н. е. у Стародавній Греції. Людина сприймала навколошній світ як єдине ціле, тому природничі науки формувалися як усеосяжні наукові дисципліни. Учений того часу часто досліджував різні природні об'єкти, процеси, явища. Наприклад, Роберт Гук – англійський натураліст, учений-енциклопедист – став відомим завдяки відкритому ним закону пружності (закону Гука). За допомогою сконструйованого ним телескопа він спостерігав за обертаннями Марса та Юпітера. Зазирнув у мікросвіт, створивши один з найдосконаліших на той час мікроскопів (рис. 1). Так були відкриті найменші складові живого, які вченій назвав клітинами (рис. 2).

*Рис. 1. Мікроскоп Р. Гука*



Роздивіться мікроскоп.  
Розпізнайте та назвіть  
його частини.

*Рис. 2. Малюнки мікроскопічних об'єктів з книги «Мікроскопія»: а – клітини кори коркового дуба, б – комар, в – воша*



Опублікована у вересні 1665 року, книга відразу стала бестселером. Вона присвячена результатам спостережень 28-річного автора з використанням різноманітних лінз. Відома своїми видатними мідними гравюрами мікросвіту, зокрема розкладними ілюстраціями з комахами.

**Біологія як наука.** Кінець XVIII та початок XIX століть ознаменувалися швидким процесом диференціації наук. Так, наприклад, із природознавства першою виокремилася біологія. Її назву в 1802 р. незалежно один від одного запропонували французький учений Жан Батист Ламарк (1744–1829) і німецький – Готфрід Рейнхольд Тревіранус (1766–1837).



⚠ **Біологія** (від грец. *bios* – життя та *logos* – учення) – це сукупність наук про живих істот, їхню будову, процеси життєдіяльності, зв'язки між собою й умовами навколошнього середовища, закономірності поширення земною кулєю, походження, історичний розвиток і різноманітність.

Нині біологія є сукупністю наук, що вивчають життя в усіх його виявах на різних рівнях організації біологічних систем (див. форзац 1).

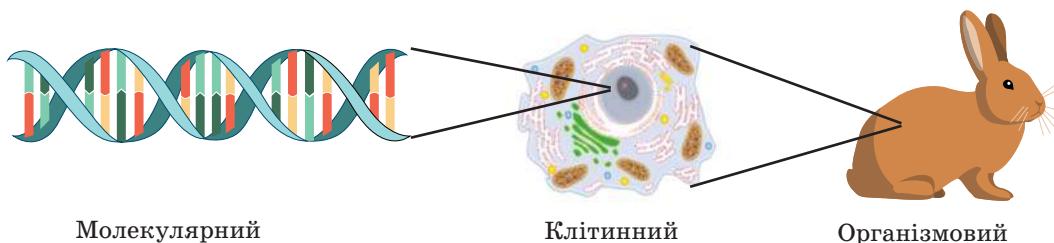
**Біологічні системи.** Поняття «система» застосовують у різних науках як сукупність взаємопов'язаних компонентів, що утворюють єдине ціле, взаємодіють із середовищем та між собою (*пригадайте, які системи ви вивчали в інших науках*). Упродовж вивчення біології ви ознайомилися з різними біологічними об'єктами – клітиною, організмом, екосистемою. Усі вони містять взаємопов'язані компоненти, що утворюють єдине ціле. Тому можна стверджувати, що клітина, організм чи екосистема є біологічними системами.



**Біологічна система** – сукупність взаємопов'язаних компонентів, що утворюють цілісний біологічний об'єкт, здатний до певною мірою самоновлення, саморегуляції та самовідтворення.

Світ живого можна уявити як ланцюжок, який утворений з ланок зростаючої складності – рівнів організації живої природи. **Рівні організації живої природи** – це відносно однomanітні біологічні системи. Одиниці одного рівня організації є складниками, з яких утворюється наступний вищий рівень.

Рис. 3. Рівні організації живої природи



Наведіть приклади біологічних систем різних рівнів організації.  
Поясніть взаємозв'язок компонентів наведених біологічних систем.



Розрізняють такі рівні організації: молекулярний, клітинний, організмовий, популяційно-видовий, екосистемний, біосферний (перелічені за висхідним принципом) (рис. 3).

Найнижчий рівень організації – **молекулярний**. На цьому рівні відбувається перебіг хімічних реакцій і перетворення енергії, зберігається її реалізується спадкова інформація, закодована в молекулах нуклеїнових кислот, на цьому ж рівні існують позаклітинні форми життя.

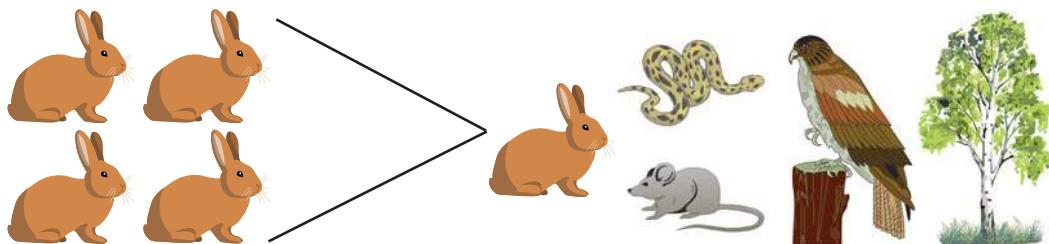
На **клітинному рівні** здійснюються процеси обміну речовин і перетворення енергії за участі органел клітини, забезпечуються процеси розмноження та передавання потомству спадкової інформації.

**Організмовий рівень** характеризується взаємодією тканин, органів, а у тварин – систем органів. На рівні організму відбувається обмін речовин та енергії з навколошнім 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.

**Екосистема** – це сукупність організмів, які пристосувалися до спільногоЕкосистемного проживання в певному середовищі існування, утворюючи з ним єдине ціле.



Популяційно-видовий

Екосистемний

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. Функціонування надорганізмових систем: видів, екосистем та біосфери – є предметом вивчення екології.

**Екологія як наука.** Уперше термін «екологія» був запропонований німецьким біологом Ернестом Геккелем 1866 року в книзі «Загальна морфологія організмів» для позначення біологічної науки, яка вивчає взаємовідносини організмів з їхнім середовищем.

 **Екологія** (від грец. *oikos* – домівка) – це наука про відносини живих істот між собою та з неорганічною природою, що їх оточує.

До кінця ХХ століття процес диференціації в основному завершився і почався новий етап – етап синтезу наукового знання. Одним з перших усвідомив величезний перетворювальний вплив організмів, тісну взаємодію і взаємозалежність усіх форм життя видатний український вчений Володимир Вернадський. Він особливо виділив перетворювальний вплив на Землю однієї з форм життя – людини, передбачив швидке зростання глибини та масштабів цього впливу. Нині екологія є міждисциплінарною наукою, що досліджує багатокомпонентні складні надорганізмові системи, а також вплив на них діяльності людини. Ця якісна зміна в розумінні екології вимагає озброєння її новими методами та робить її високоактуальною для розв'язання проблем людства. Основними завданнями сучасної екології є вивчення теперішнього стану біосфери та причин його змін, прогнозування динаміки стану біосфери в часі й просторі, розроблення шляхів збереження здатності біосфери до самооновлення, самовідтворення й саморегуляції за впливів людського суспільства (рис. 4).

*Rис. 4. Біосфера – найвищий рівень організації живої природи*



Поясніть, чому на сучасному етапі існування Землі є проблема збереження біосфери?

1. Дайте означення понять *біологія, екологія, біологічна система, екосистема*.
2. Які вирізняються рівні організації живої природи?
3. Поясніть взаємозв'язок різних рівнів організації біологічних систем.
4. Оцініть значення екологічних досліджень на сучасному етапі розвитку людства.



## § 2. Фундаментальні властивості живого



Дайте означення поняття життя.

За якими ознаками можна відрізнисти живий об'єкт від неживого?

Протягом багатьох століть біологія досліджує різні вияви життя, але нарешті на сучасному етапі її розвитку важко дати чітке й стисле означення поняття живого.

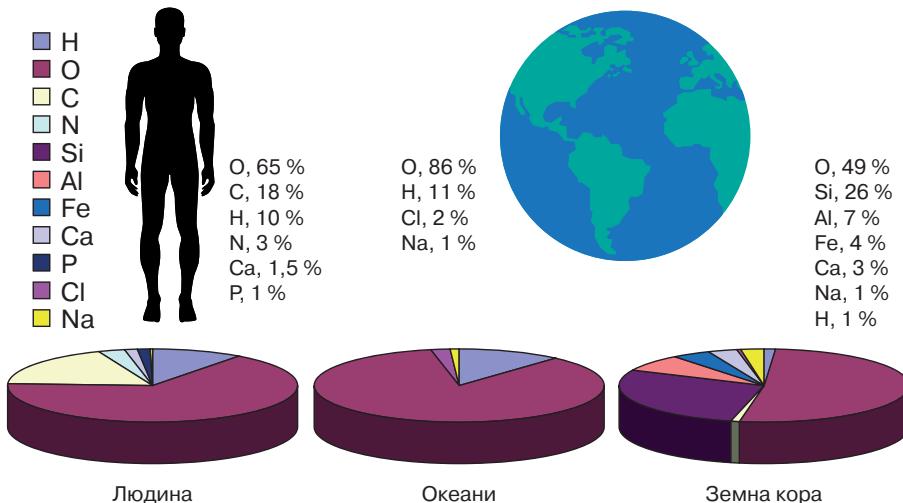


**Поняття про живе.** Живе характеризується сукупністю ознак, відомих вам з попередніх курсів біології: обміном речовин та енергії з навколошнім середовищем, сталістю внутрішнього середовища, розмноженням, ростом, розвитком, подразливістю й адаптацією до умов існування. Жива й нежива природа побудовані з однакових атомів, але співвідношення їх відрізняється, що зумовлено здатністю біологічних систем підтримувати сталість внутрішнього середовища (рис. 5). На молекулярному рівні відмінність між живою та неживою природою суттєва – нуклеїнові кислоти та білки утворюються лише в живих об'єктах, забезпечуючи збереження спадкової інформації та її реалізацію. Біологічні системи є відкритими, тобто існують завдяки енергії, яку вони отримують з навколошнього середовища. Тому можна навести такий варіант означення поняття живого.

⚠ **Живе** – це відкрита система, ключовими складниками якої є білки та нуклеїнові кислоти зі здатністю до самооновлення, саморегуляції та самовідтворення.

В означенні запропоновані фундаментальні властивості живого, зумовлені вищезазначеними ознаками біологічних систем.

Рис. 5. Уміст деяких хімічних елементів в організмі людини, морській воді та земній корі



Проаналізуйте схему.

Визначте хімічні елементи, за вмістом яких організм людини подібний до морської води.

Визначте хімічний елемент, якого найбільше в складі всіх трьох об'єктів.

**Фундаментальні властивості живого.** Усім живим істотам властивий **обмін речовин** — сукупність керованих хімічних реакцій, унаслідок яких організм одержує та перерозподіляє енергію, синтезує необхідні для життєдіяльності речовини. Надалі речовини, утворені організмом, рано чи пізно підлягають розщепленню, а це зумовлює необхідність постійного самооновлення. В основі самооновлення лежать реакції синтезу, тобто утворення нових молекул і структур на основі спадкової інформації, збереження та реалізація якої забезпечується функціонуванням нуклеїнових кислот (рис. 6).

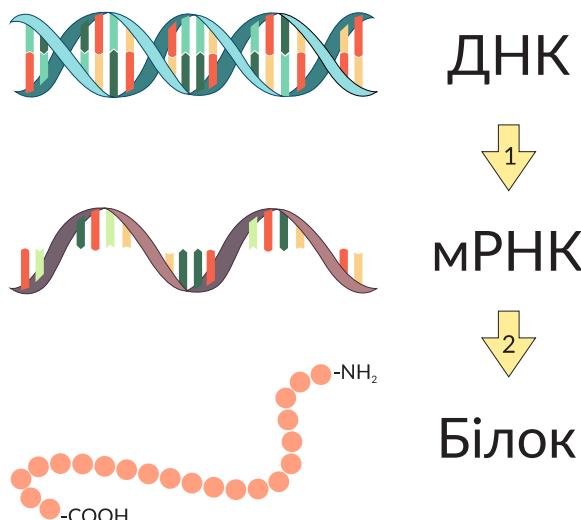
⚠ **Самооновлення** — властивість біологічних систем утворювати нові складові частини замість старих на основі спадкової інформації, збереження та реалізація якої забезпечується функціонуванням нуклеїнових кислот.

Біологічна система (клітина, організм, популяція, екосистема тощо) складається з відособлених або обмежених у просторі складових (органел, органів, особин, видів), які взаємодіють між собою. Але така взаємодія можлива лише за стану рівноваги внутрішнього середовища. Тому необхідною умовою стабільного розвитку та функціонування біологічних систем є підтримка **гомеостазу** — відносної сталості складу та властивостей внутрішнього середовища, у якому відбуваються біологічні процеси.

Складові біологічної системи взаємодіють не ізольовано від навколоїшнього середовища, тому сталість внутрішнього середовища безперервно порушується. Але й так само безперервно відновлюється завдяки здатності біологічних систем підтримувати гомеостаз — саморегуляції.

⚠ **Саморегуляція** — властивість біологічних систем підтримувати та відновлювати відносну сталість свого складу й перебігу функціональних процесів після їхньої зміни.

Рис. 6. Принцип реалізації спадкової інформації



Назвіть процеси (1, 2), які лежать в основі реалізації спадкової інформації.  
Поясніть роль нуклеїнових кислот у самооновленні біологічних систем.

Сигналами для корекції стану організму можуть бути відхилення від оптимальних значень важливих параметрів – концентрації різноманітних речовин, температури та інших показників життєдіяльності. Саморегуляція в біологічних системах завжди ґрунтуються на принципі зворотного зв'язку, коли результат певного процесу впливає на його перебіг. На кожному рівні організації є свої особливості саморегуляції.

На молекулярному рівні прикладом можуть слугувати ферментативні реакції, у яких кінцевий продукт негативно впливає на активність ферменту – у такій біохімічній системі автоматично підтримується певна концентрація продукту реакції. Для клітини важливо збереження певного значення концентрації різних речовин. Прикладом саморегуляції є підтримка певної концентрації йонів у клітині внаслідок функціонування плазматичної мембрани (*згадайте роботу натрій-калієвого насосу*).

Вивчення еволюції тваринного і рослинного світу дає зрозуміти, як ускладнення будови тіл супроводжувалося вдосконаленням механізмів саморегуляції на організмовому рівні. Підтримка гомеостазу на цьому рівні забезпечується координацією діяльності систем органів, які підтримують гомеостаз: травлення, дихання, виділення, кровообігу тощо. Така координація забезпечується нервовими, гуморальними та імунними механізмами (*пригадайте приклади саморегуляції з курсу біології людини*).

Саморегуляція на рівні екосистеми полягає в підтримці сталості видового складу та чисельності організмів. Найзгубніше впливають на надорганізмові біологічні системи фактори, інтенсивність дії яких змінюється неперіодично або виходить за межі витривалості. Зазвичай це стосується антропогенних факторів. Нераціональна діяльність людини може порушувати баланс природних процесів, спричинюючи незворотні зміни в екосистемах (рис. 7).

*Rис. 7. Приклади впливу людини на екосистеми*



Полезахисні ліососмуги



Сільськогосподарські угіддя й утворення ярів



У якому із зображених прикладів порушено баланс природних процесів? Відповідь обґрунтуйте. Наведіть приклади збереження балансу внаслідок діяльності людини.



Сьогодні придатних для сільського господарства родючих земель на планеті залишилося 2,5 млрд га. За останнє сторіччя через ерозію ґрунтів у світі було виведено з обороту 23 % родючих земель. Визначте, за який час людство втратить придатні для використання землі, якщо не змінить стратегії й тактики своєї поведінки.

У процесі існування живі системи не тільки підтримуються та оновлюються, а їй відтворюють себе, даючи початок іншим живим системам. Відтак життя можна уявити як безперервний процес виникнення з одних життєвих форм інших. У цьому процесі, адаптувшись до змін умов існування, життєві форми можуть набувати змін, що ми називаємо еволюцією (§ 44).

**! Самовідтворення** – здатність біологічних систем до відтворення собі подібних, в основі якої лежить передавання між поколіннями генетичної інформації.

Як ви вже знаєте, спадкова інформація закодована послідовністю нуклеотидів молекули ДНК. Утворення копій цієї молекули (*реплікація*) є основою передавання спадкової інформації нашадкам. Реплікація відбувається на молекулярному рівні організації живого і забезпечує самовідтворення на всіх інших. Унаслідок подвоєння ДНК дочірні клітини під час поділу отримують гени від материнської клітини.

Соматичні та статеві клітини забезпечують нестатеве та статеве розмноження, тобто самовідтворення на організмовому рівні. Розмноження є необхідною умовою існування будь-якого біологічного виду, забезпечуючи підтримку або збільшення його чисельності. Відтворення організмів різних видів уможливлює існування екосистемного та біосферного рівнів організації.

Самооновлення, саморегуляція та самовідтворення є фундаментальними властивостями, завдяки яким життя існує тривалий час. Проте негативний вплив діяльності людини на організми та середовище їх існування здатен порушувати існування життя на всіх рівнях його організації (рис. 8). Через це нам з вами треба усвідомлювати власну відповідальність за майбутнє нашої планети.

*Rис. 8. Негативний вплив діяльності людини на самовідтворення екосистем*



Унаслідок знищення лісів відбувається затоплення території в Камбоджі (супутникові зйомки з космосу, 2002 рік).



Знищенння лісів на острові Борнео призводить до руйнації ґрунтів.



Опишіть негативні наслідки знищення лісів для біосферного рівня організації живого.



### Ваша поведінка в ситуації:

«Ви помітили, що в парку вирубують здорові і молоді дерева. Що ви зробите?»



1. Дайте означення поняття живого.
2. Назвіть фундаментальні властивості живого.
3. Схарактеризуйте властивості живого: самооновлення, саморегуляцію, самовідтворення.

## § 3. Стратегія сталого розвитку природи і суспільства



Які екологічні проблеми місцевості вашого проживання, країни, планети вам відомі?  
Чим зумовлено їх виникнення?

Нероз'язаність екологічних проблем поставила людство на межу біосферної кризи, яка загрожує самому його існуванню. Наразі ми маємо складний вибір: або й далі жити, нехтуючи законами природи, або ж усвідомити відповідальність перед наступними поколіннями людей за стан нашої планети.

**Стратегія сталого розвитку природи і суспільства.** Сучасне покоління стає безпосереднім учасником формування нового екологічного світогляду. Створення економічних і політичних умов для забезпечення екологічно стабільного розвитку можливе лише на основі переорієнтації людської свідомості. Вочевидь, із глобальними проблемами неможливо впоратися, діючи роз'єднано, тому особливого значення набуває природоохоронна робота міжнародних організацій (рис. 9). У 1987 р. Міжнародна комісія ООН з навколошнього середовища і розвитку (МКНСР) під головуванням екс-прем'єра Норвегії Г. Г. Брунланд опублікувала звіт «Наше спільне майбутнє», у якому поняття сталого розвитку визначалось як розвиток суспільства, що задовольняє потреби сьогодення, не приносячи при цьому в жертву здатності майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. **Сталий (збалансований) розвиток** означає використання ресурсів у такий спосіб, який дає змогу їм повністю відновитися, надаючи прийдешнім поколінням доступ до тих самих ресурсів, якими користуємося ми.

Рис. 9. Міжнародні організації



Організація  
Об'єднаних Націй.  
Штаб-квартира в  
Нью-Йорку, США

ООН є центром  
зосередження  
природоохоронного  
співробітництва  
держав.



Назвіть напрямами природоохоронної  
діяльності Організації Об'єднаних  
Націй.

Всесвітній фонд природи. Емблема



Міжнародна неурядова організація, що опікується збереженням природи, дослідженнями та відновленням природного середовища. Це найбільша незалежна природоохоронна організація у світі, що має близько 5 млн працівників і добровольців по всьому світу, працюючи в понад 120 країнах. Щорічно здійснює понад 1200 екологічних проектів, привертаючи увагу людей до проблем охорони навколошнього середовища і їх розв'язання.

Конференція ООН з питань довкілля та розвитку, що проходила в Ріо-де-Жанейро в червні 1992 р., стала визначною подією. На ній були присутні голови 179 держав і представники багатьох країн, міжнародних і неурядових організацій. На конференції було ухвалено всесвітню програму дій «Порядок денний на ХХІ століття», де сталий розвиток пов'язується з гармонійним досягненням таких цілей:

- висока якість навколошнього середовища і здорове економіка для всіх народів світу;
- задоволення потреб людей і збереження сталого розвитку протягом тривалого періоду.

У 2015 році на саміті ООН з питань сталого розвитку були затверджені глобальні Цілі сталого розвитку (ЦСР) (рис. 10). За ініціативи Уряду України та за сприяння системи ООН в Україні протягом року тривав відкритий процес адаптації ЦСР до вітчизняного законодавства. Беручи до уваги принцип «нікого не залишити остронь», і використовуючи широкий спектр інформаційних, статистичних та аналітичних матеріалів, було розроблено національну систему ЦСР. 5 вересня 2017 року Уряд України представив Національну доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна», у якій подано результати адаптації 17 глобальних ЦСР з урахуванням специфіки національного розвитку, а саме: 86 конкретних завдань та 172 показники для моніторингу їх виконання. Результатом цієї роботи вбачається збереження безпечної для існування живої і неживої природи навколошнього середовища, захист життя і здоров'я населення від негативних впливів, зумовлених забрудненням навколошнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорона, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

**Я маю це знати як громадянин чи громадянка України.** Досягнення

Рис. 10. Глобальні Цілі сталого розвитку



Ознайомтеся з глобальними Цілями сталого розвитку.

Поясніть значення біологічних досліджень для досягнення глобальних Цілей сталого розвитку.

глобальних Цілей сталого розвитку природи і суспільства залежить від громадянської позиції кожної людини, яка має знати свої права та обов'язки. Усі закони й нормативно-правові акти приймаються в нашій державі на основі *Конституції України* й відповідають їй. Багато уваги приділяється в Конституції екологічним правам та обов'язкам людини та громадянина (рис. 11). Переход до суспільства сталого розвитку вимагає формування нової екологічної моделі поведінки, психологічної настанови на сприйняття екологічного світогляду та суспільних цінностей як особистісних. Тому визначальною умовою для реалізації стратегії сталого розвитку є освіта та виховання. Лише висока культура особистості в її екологічному розумінні уможливить збереження рівноваги між суспільством і природою.

**Основні галузі застосування біологічних досліджень.** Непересічне значення має біологічна освіта, яка уможливлює розуміння людиною процесів розвитку природи і суспільства. Обговорюючи значення біологічних досліджень для досягнення глобальних Цілей сталого розвитку, ви також упевнилися, що відкриття в біології є підґрунтам для становлення медицини, сільського господарства, охорони природи, багатьох галузей промисловості тощо.

**Медична біологія** вивчає будову, процеси життєдіяльності та розвиток організму людини, виникнення порушень і методи їх профілактики й діагностики, пристосованість до умов середовища, географічне поширення, чисельність людських популяцій, еволюційні та адаптивні процеси в них. Саме успіхи і відкриття в біології визначають сучасний рівень медичної науки. Розвиток мікроскопічної техніки дав змогу вивчити будову організму людини на тканинному та клітинному рівнях, установити закономірності ембріонального розвитку людини тощо. Відкриття та вивчення бактерій і вірусів допомогло зrozуміти причини розвитку інфекційних захворювань, а відтак і започаткували

Рис. 11. Конституція України – Основний закон держави



«Стаття 50. Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди.

Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення. Така інформація ніким не може бути засекречена.»

«Стаття 66. Кожен зобов'язаний не заподіювати шкоду природі, культурній спадщині, відшкодовувати завдані ним збитки.»



Підготуйте повідомлення про природоохоронне законодавство України, використовуючи інтернет-джерела.

науково обґрунтований пошук шляхів боротьби з ними. Винайдення антибіотиків уможливило зменшення рівня смертності, спричиненої інфікуванням хвороботворними бактеріями.

Відкриття в *генетиці* дали можливість розробляти методи ранньої діагностики та профілактики спадкових захворювань людини. Досягнення *генної інженерії* відкрили широкі перспективи для виробництва біологічно активних сполук – ферментів, гормонів, вітамінів і лікарських речовин. Успіхи *молекулярної біології* дають інформацію стосовно зв'язків генів і ознак організмів. Прочитання на початку ХХІ ст. геному людини вказало шлях до детального вивчення ролі конкретних генів у нормальному функціонуванні організму та розвитку патологій (рис. 12)

Швидкі темпи зростання населення планети привели до нестачі продуктів харчування. Цю проблему здатні розв'язати рослинництво і тваринництво, що базуються на досягненнях генетики та селекції. Завдяки знанню законів спадковості та мінливості, використанню методів генної інженерії можна створювати високопродуктивні сорти культурних рослин і породи свійських тварин. Біологічні знання допомагають у боротьбі зі шкідниками та хворобами культурних рослин, паразитами тварин, а відтак відіграють важливу роль у вдосконаленні лісового й рибного господарства, звірівництва.

Сучасна *екологія* – це комплексна наука, яка використовує знання різних природничих, технічних, гуманітарних і соціальних наук для вивчення взаємозв'язку суспільства і природи, впливу людини на природне середовище з метою його збереження. Досягнення екології є підґрунтам розроблення стратегії виживання людства. Екологічні дослідження стають обов'язковою складовою будь-якої сфери людської діяльності: промислового виробництва, енергетики, сільського й лісового господарства, транспорту, військової справи, культури.

*Рис. 12. Сучасна біологічна лабораторія*



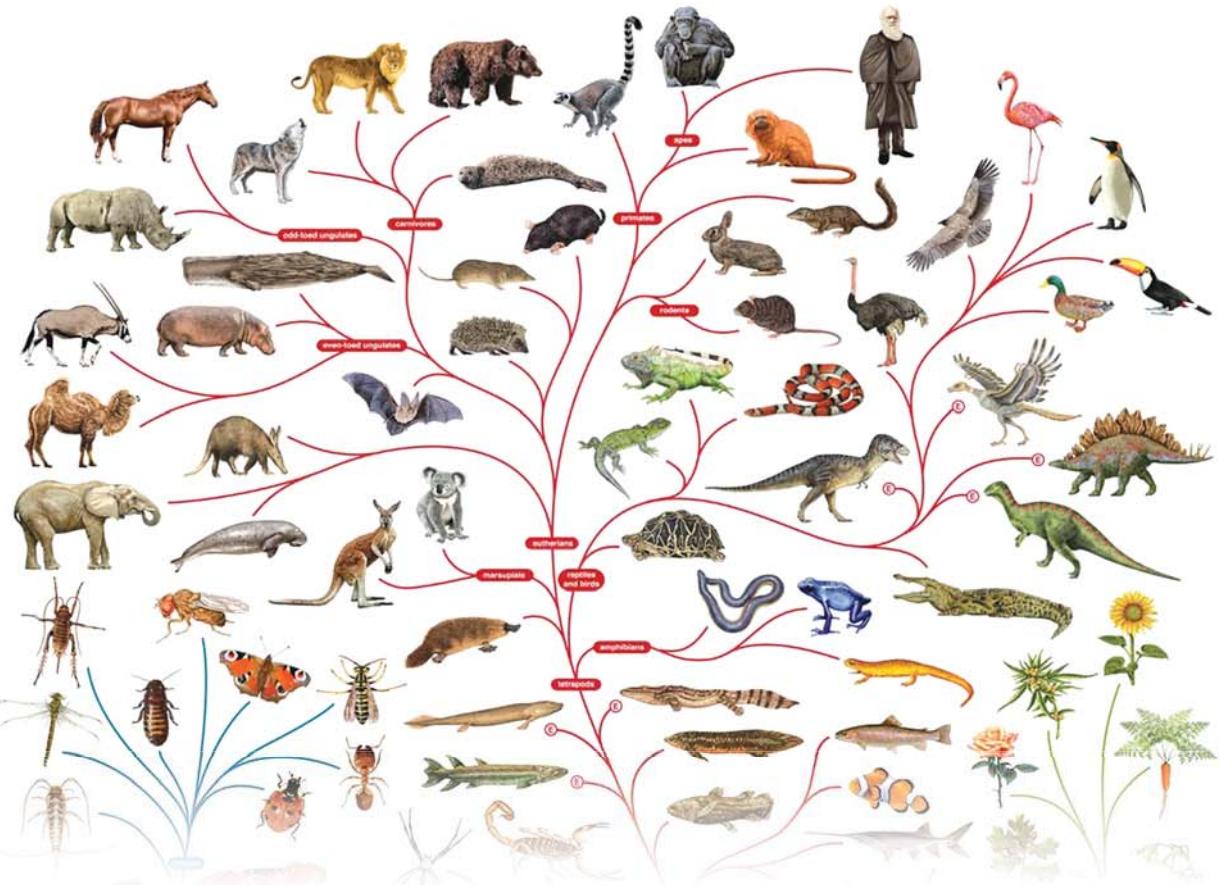
Назвіть методи біологічних досліджень.



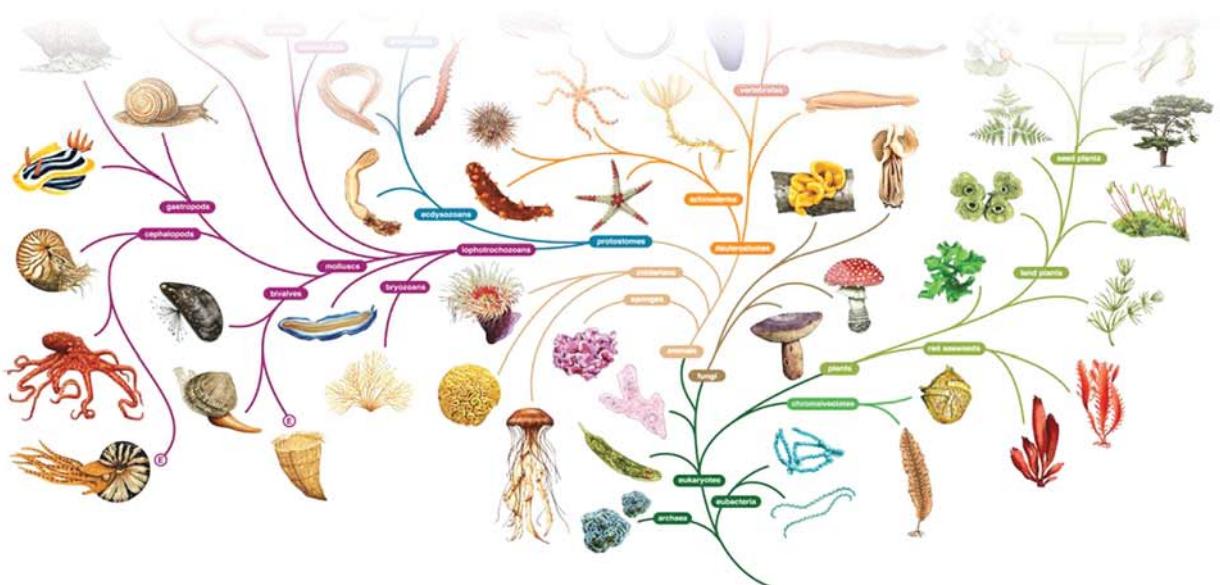
Опишіть на окремих прикладах застосування цих методів у молекулярній біології, цитології, генетиці, використовуючи раніше набуті знання та інтернет-джерела.



1. Поясніть поняття сталого розвитку природи і суспільства.
2. Перелічіть глобальні Цілі сталого розвитку.
3. Назвіть основні галузі застосування біологічних досліджень.
4. Оцініть важливість біологічних знань для розвитку людства.



## Тема 1 БІОРІЗНОМАНІТТЯ



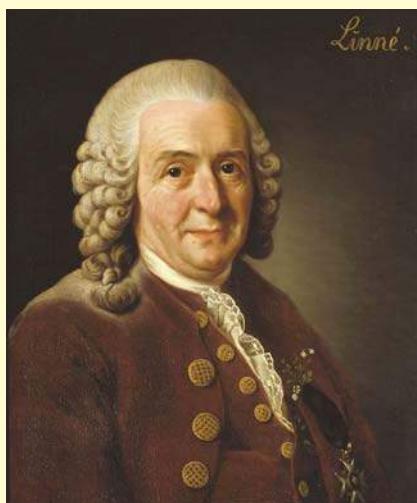
## З історії відкриттів

Мислителі давнини у своїх філософських працях намагалися пояснити походження організмів і систематизувати їх.

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 давньогрецький філософ *Аристотель* (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. Учений розробив систематику тварин, визначивши в ній місце людини, яку він називав суспільною твариною, наділеною розумом. Одна з перших спроб класифікації рослин належить давньогрецькому філософу й природодосліднику *Теофрасту* (бл. 371–287 рр. до н. е.), який 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. 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 їх гербаризацію.

Визначне місце в розвитку систематики належить шведському природознавцю й лікарю *Карлу Ліннею*. Хоча система організмів Карла Ліннея була штучною, вона спростила вивчення рослин – учений описав понад 1500 нових видів, запровадив близько тисячі нових наукових термінів і понять та створив бінарну номенклатуру, якою ми користуємося дотепер.

Першою науковою спробою пояснити історичний розвиток живої природи була еволюційна теорія французького природодослідника *Жана Батиста Ламарка*, яку він виклав у праці «Філософія зоології» (1809). 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. Створення природних систем, в основу яких покладено об'єднання організмів за родинними зв'язками, належить дослідникам наступних поколінь.



Карл Лінней  
(1707–1778)



Жан Батист Ламарк  
(1744–1829)

## § 4. Систематика – наука про різноманітність організмів



Дайте означення поняття вид.

Що таке систематика?

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. З розвитком мови таку інформацію людина передавала наступним поколінням, а тому виникла потреба називати та класифікувати организми.

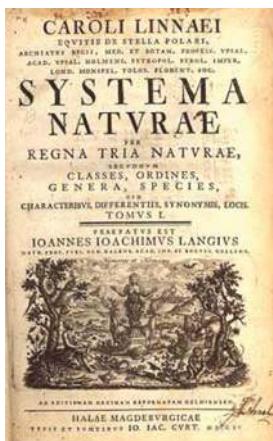


**Біологічна систематика.** Ми вже згадували про перші спроби систематизації організмів і внесок у становлення біологічної систематики як науки шведського природознавця й лікаря Карла Ліннея. Підходи до класифікації організмів він висвітлив у працях «Система природи» та «Види рослин» (рис. 13). Учений увів чітку підпорядкованість між такими систематичними категоріями, як царство – клас – порядок – рід – вид. Основна ж заслуга К. Ліннея – створення бінарної номенклатури й стандартизація та вдосконалення термінології в ботаніці. Але його система не враховувала походження сучасних організмів, тобто була штучною. Створення природної системи органічного світу є головним завданням сучасної систематики.



**Біологічна систематика** – біологічна наука про різноманіття живого, завданням якої є опис і впорядковування існуючих і вимерлих видів, їх класифікація та опрацювання природної системи органічного світу.

Рис. 13. Титульна сторінка праці К. Ліннея «Система природи», десяте видання



«Система природи» – найвідоміший твір К. Ліннея. Цю книгу вважають основоположним твором наукової біологічної систематики. Перше видання вийшло 1735 року в Лейдені. За життя Ліннея книга витримала тринадцять перевидань у різних країнах (тринадцяте – віденське – 1767 рік). Для сучасної систематики найважливішим є десяте видання, опубліковане в Стокгольмі 1758 року: воно прийняте за початковий пункт зоологічної номенклатури. За життя К. Лінней був одним з найвідоміших учених у Європі. Швейцарський філософ Жан-Жак Руссо послав йому повідомлення: «Скажіть йому, що я не знаю видатнішої людини на Землі». Шведський письменник Август Стріндберг писав: «Лінней був насправді поетом, який випадково став натуралистом».



Ознайомтеся з біографією К. Ліннея, використовуючи інтернет-джерела. Спробуйте пояснити висловлювання видатних сучасників щодо особистості вченого.

Відповідно до завдань, що стоять перед біологічною систематикою, виділяють її розділи. Розділ систематики, який вивчає об'єднання живих істот у групи на основі аналізу притаманних їм ознак, називають **таксономією**. Таке об'єднання здійснюють за допомогою зручної класифікації. **Біологічна номенклатура** – система наукових найменувань біологічних об'єктів, заснована на їхній подібності чи спорідненості. Це універсальна наукова система назв таксонів живих істот, пов'язаних тим або іншим ступенем спорідненості: тварин, грибів, рослин, бактерій, а також вірусів. Завдяки біологічній номенклатурі дають однозначні назви об'єктів, а також визначають їхнє місце в системі органічного світу, що допомагає уникнути використання громіздких описів.

**Принципи наукової класифікації живого.** В основу природної системи органічного світу – сукупності видів організмів, які живуть або жили на Землі, покладено принципи наукової класифікації живого.

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 загальновизнаною є подвійна (бінарна) номенклатура назв видів, яка, як зафіксовано раніше, була запропонована К. Ліннеєм: перше слово – родова назва, друге – видова (рис. 14).

Один з напрямів наукового пошуку систематики – дослідження еволюційних взаємовідносин видів (сучасних і вимерлих), є предметом філогенетичної систематики. Вагомий внесок у розробку цього напряму зробив німецький учений Ернест Геккель, який вивчав закономірності **філогенезу** – історичного розвитку як окремих груп (видів, родів тощо), так і всього живого загалом. Для визначення філогенезу певної групи вчений запропонував зіставляти дані палеонтології, порівняльної анатомії та порівняльної ембріології.

Рис. 14. Приклади біологічної систематики тварин і рослин

Царство	→ Тварини
Тип	→ Членистоногі
Клас	→ Комахи
Ряд	→ Перетинчастокрилі
Родина	→ Енциртиди
Рід	→ Eocenopnemus
Вид	→ Eocenopnemus vichrenkoi



Царство	→ Рослини
Відділ	→ Покритонасінні
Клас	→ Однодольні
Порядок	→ Холодкоцвіті
Родина	→ Амарилісові
Рід	→ Нарцис
Вид	→ Нарцис білий (поетичний, звичайний)



У 2006 році український ентомолог Сергій Анатолійович Сімутнік, співробітник Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, знайшов у рівненському бурштині викопні рештки вимерлого виду перетинчастокрилої комахи (мешкала в еоцені близько 40 млн. років тому). Учений уперше описав тварину і назвав на честь свого шкільного вчителя біології Анатолія Сіgneєвича Вихренка, заслуженого вчителя України.



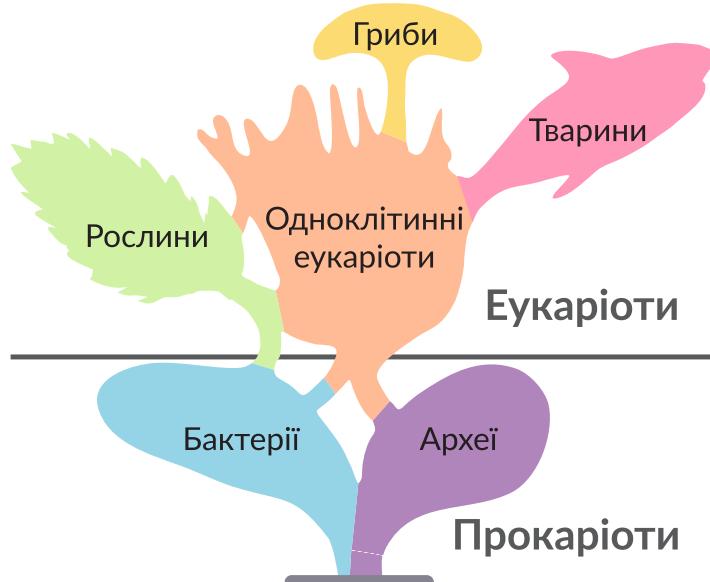
Наведіть приклади систематичного положення інших видів тварин і рослин, використовуючи інтернет-джерела.

Схожість видів часто вказує на спільне походження. Виконані й сучасні форми гіпотетично об'єднують у єдиний філогенетичний ряд, який відображає послідовність еволюційних змін організмів загалом чи їхніх окремих органів у межах певної систематичної групи. Тому особливе значення для наукової класифікації має **принцип філогенетичності**, тобто максимально точне відображення еволюційних зв'язків між організмами. Дослідження останніх десятиліть засвідчили, що споріднені види подібні на рівні генетичної інформації та структури білків, а відмінності в гомологічних генах 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.

Нині всі організми поділяють на дві великі групи відповідно до будови їхніх клітин – **Прокаріоти** та **Еукаріоти**. Поміж 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 вивчають як окрему групу. Представлення еволюційних взаємовідносин поміж групами організмів здійснюється за допомогою ілюстрацій, які називають філогенетичними деревами (рис. 15).

**Сучасні критерії виду.** Як вам відомо, уперше поняття виду ввів англійський ботанік Дж. Рей (1693). Відтак створено різні концепції виду – системи поглядів на поняття виду в біології. Найдавнішою є **типологічна (морфологічна) концепція** виду. Її прибічником був К. Лінней, який визначав вид як сукупність подібних за будовою особин, що схрещуються між собою, дають плідне потомство й не змінюються з часом. На думку Ч. Дарвіна та його послідовників, види реально існують у вигляді сукупності особин, які подібні за будовою,

Рис. 15. Схематичне відображення еволюційних зв'язків між основними групами організмів



відокремлені від інших і займають певний ареал на цей момент – вид розглядається як фрагмент неперервної еволюції. Головним критерієм виду за **біологічною (ізоляційною) концепцією** є репродуктивна ізоляція і, відповідно, відсутність гіbridів в умовах проживання на одній території близьких видів. Нові відкриття в біохімії, молекулярній біології, генетиці уможливили сучасне означення поняття вид.



**Вид** – сукупність особин, які подібні за будовою, процесами життєдіяльності, займають певний ареал, пристосовані до його умов, вільно схрещуються й дають плідне потомство.

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).

Нині описано близько 1,2 млн видів організмів (рис. 16). Ретельне вивчення наявної класифікації дозволяє передбачити, що розмаїття життя на Землі значно більше: на суходолі мешкає близько 6,5 млн видів і 2,2 млн живе в океанських глибинах. Отже, знання точної кількості мешканців Землі є питанням науки, відповідь на яке все ще не знайдено.

*Rис. 16. Приклади видів організмів*



Кишкова паличка



Гриб білий



Орляк звичайний



Коала сірий



Знайдіть інформацію щодо кількості описаних видів бактерій, грибів, рослин і тварин, використовуючи інтернет-джерела.



1. Що вивчає біологічна систематика?
2. Назвіть розділи систематики.
3. Поясніть наукові принципи класифікації живого.
4. Дайте означення поняття вид.
5. Перелічте сучасні критерії виду.
6. Оцініть важливість систематики для сучасних біологічних досліджень.

## § 5. Біорізноманіття нашої планети як наслідок еволюції



Дайте означення поняття еволюція.  
Що таке популяція, вид?

У чому причина різноманіття організмів на нашій планеті?

Чим пояснити пристосованість живих істот до умов існування? Відповіді на ці питання надав видатний англійський учений Чарльз Роберт Дарвін (1809–1882) у праці «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» (рис.17).



Учений розглядає еволюцію як процес незворотних змін будови та функцій організмів протягом їхнього історичного існування, наслідком якого є пристосованість живого до умов навколошнього середовища. Як головну рушійну силу еволюції вчений виокремлює *природний добір* – процес виживання найбільш пристосованих організмів певного виду до умов існування. Умови на нашій планеті змінюються, а тому переваги набувають організми, зміни в будові яких найбільше сприяють пристосуванню до умов навколошнього середовища. Ч. Дарвін пише: «*Висловлюючись метафорично, можна сказати, що природний добір щодня, щогодини розслідує по всьому світу найдрібніші зміни, відкидаючи погані, зберігаючи і складаючи добре, працюючи нечутно, невидимо, <...> над удосконаленням кожної органічної істоти по відношенню до умов її життя, органічних і неорганічних.*» Цей процес відбувається на основі спадкової мінливості внаслідок боротьби за існування, а результатом є поява нових видів.

*Rис. 17. Праця англійського природознавця Ч. Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя», опублікована 24 листопада 1859 р.*



У праці наведено наукові докази, зібрани під час подорожі вченого в Південну Америку, на Галапагоські острови та в Австралію на борту корабля «Бігль». Подорож тривала з 1831 по 1836 рік. Представлені в дослідженні положення є основою сучасної наукової теорії еволюції. Книга була зрозумілою навіть пересічному читачеві й уже при першій публікації викликала великий інтерес. Перший наклад 1250 примірників був розкуплений у перший день.



### Прочитайте вислів автора:

«Подорожуючи на «Біглі» як натуралист, я був вражений деякими фактами в розподілі органічних істот у Південній Америці і геологічними відносинами між старими і сучасними мешканцями цього континенту. Факти ці, як буде видно з останніх розділів цієї книги, здавалось, кидали деяке світло на походження видів – цю таємницю з таємниць. <...> Повернувшись додому в 1837 році, я напав на думку, що чого-небудь можна, мабуть, досягти в розв'язанні цього питання шляхом сумлінного збирання і обдумування різних фактів, що мають яке-небудь до нього відношення.»

Який метод біологічних досліджень використовував Ч. Дарвін?

Які якості, на вашу думку, допомогли вченому зробити наукові відкриття?

Створюючи теорію, Ч. Дарвін пов'язував дію природного добору з окремою особиною. Проте дослідження, проведені вже в ХХ ст., засвідчили, що цілком зрозуміти дію природного добору можна лише зважаючи на процеси, які відбуваються в групах організмів – популяціях.



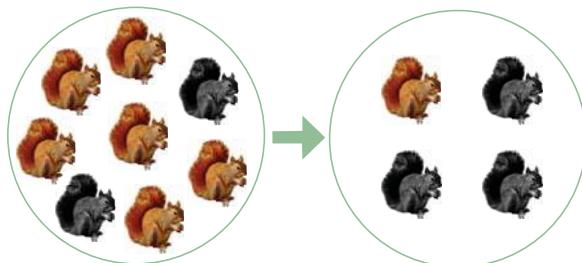
**Популяція. Мікроеволюція. Видоутворення.** У межах поширення виду його особини живуть сукупностями – популяціями. Наявність популяцій у природі пов'язана з неоднорідністю умов існування на території, що її займає вид. Що більш різноманітними є умови існування в ареалі виду, то більшою є кількість популяцій, із яких він складається.

⚠ **Популяція** – сукупність особин виду, яка займає частину території його поширення та ізольована від інших подібних сукупностей цього виду.

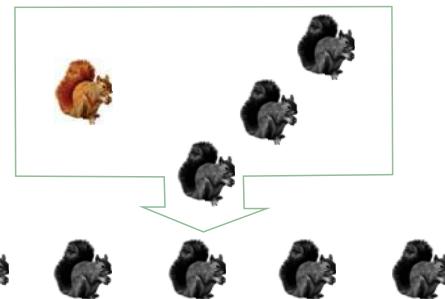
У своїй праці Ч. Дарвін передбачив, що «*природний добір був найважливішим, але не єдиним засобом модифікації*». І справді, подальші дослідження виявили, що на еволюційні процеси в популяціях, крім природного добору, впливають елементарні фактори еволюції – популяційні хвилі, дрейф генів та ізоляція. **Популяційні хвилі** – це періодичні або неперіодичні коливання чисельності популяцій у природних умовах. Унаслідок зменшення або збільшення чисельності особин частота зустрічальності тих чи інших алелів у генофонді популяції може змінюватися. Тож популяційні хвилі можуть бути передумовою зміни генофонду популяції, а отже, елементарним фактором еволюції. Унаслідок популяційних хвиль можуть виникати випадкові неспрямовані зміни частот зустрічальності алелів у популяції, які називають **дрейфом генів**. У невеликих популяціях загибелю особин, які є єдиними носіями певного алеля, спричиняє його зникнення з генофонду популяції. Певний алель випадково може зникнути, натомість унікальний алель випадково може закріпитися. Це, зі свого боку, може спричинити вимирання

*Rис. 18. Взаємозв'язок елементарних факторів еволюційного процесу в популяціях.*

#### Популяційні хвилі



#### Дрейф генів



Поясніть значення популяційних хвиль і дрейпу генів для процесу виникнення нового виду.

популяції в разі зниження пристосованості до умов навколошнього середовища або, навпаки, збільшити пристосованість популяції до середовища, і з такої популяції внаслідок дії природного добору утвориться новий вид (рис. 18). Також елементарним фактором еволюції є **ізоляція** – виникнення будь-яких бар'єрів, що унеможливлюють схрещування між особинами одного виду.



Зміни популяцій, спричинені елементарними факторами еволюції (популяційними хвилями, дрейфом генів та ізоляцією), називають **мікро-еволюцією**. Мікроеволюційні процеси в разі виникнення репродуктивної ізоляції (неможливості особин вільно схрещуватися й давати плідне потомство) можуть призводити до утворення нового виду. Як було зазначено раніше, головною рушійною силою утворення нових видів є 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 (рис. 19). **Екологічне видоутворення** – спосіб видоутворення, який є результатом появи різних форм екологічної ізоляції. Зазначимо, що видоутворення в такий спосіб відбувається в межах ареалу виду й часто пов'язане з пристосуванням організмів до споживання різної їжі (рис. 20).

Утворення нових видів може відбуватися у формі дивергенції, конвергенції та паралелізму. **Дивергенція** – еволюційний процес розходження ознак споріднених груп організмів унаслідок адаптації до різних умов існування. Унаслідок дивергентної еволюції під дією елементарних факторів еволюції з предкової форми утворюється декілька груп, кожна з яких пристосовується до певних умов існування. У разі дивергенції подібність визначається

*Рис. 19. Приклад географічного видоутворення:*

- а* – Конвалія травнева;
- б* – Конвалія закавказька

*а**б*

*Рис. 20. Приклад екологічного видоутворення:*

- а* – Шишкар сосновий;
- б* – Шишкар ялиновий

*а**б*

Вихідний вид декілька мільйонів років тому, у третинний період, був розповсюджений у листяних лісах Євразії. З поступом льодовиків у четвертинному періоді ареал був розріваний на декілька частин, і конвалія збереглася лише на територіях, які льодовик оминув, – виникли нові види.

Один вид шишкарів вигодовує пташенят насінням сосни, а інший – насінням ялини. Їх розмноження прив'язане до термінів дозрівання насіння цих рослин (вони дозрівають не одночасно). Тож розмноження в різну пору року спричиняє ізоляцію і надалі – видоутворення. Так виникли два види шишкарів.

спільністю походження, а відмінності – пристосуванням до різних умов середовища. Із посиленням розбіжності ознак відбувається процес видоутворення, види зазнають подальшої диференціації. Дивергенція приводить до різноманіття організмів, згладжуючи напруженість боротьби за існування (рис. 21). Інколи близькоспоріднені групи організмів, які утворилися внаслідок дивергенції, можуть знову потрапити в подібні умови. Тоді в організмів цих груп можуть незалежно формуватися подібні пристосування – такий еволюційний процес називають *паралелізмом*. Наприклад, копитні, які проживають у різних кліматичних зонах, рятуються від хижаків утечою, долають великі відстані до джерел води. Тому в різних видів спостерігається зменшення кількості пальців, захищених роговими копитами, що є пристосуванням до умов існування. Вивчаючи різноманітність організмів на нашій планеті, ви дізналися, що групи організмів, які не пов’язані безпосередніми родинними зв’язками, можуть пристосуватися до існування в однакових умовах – такий еволюційний процес називають *конвергенцією* (рис. 22).

Результатом дії рушійних сил еволюції є відносна пристосованість видів до умов навколошнього середовища. Вона може виявлятися в особливостях забарвлення, форми тіла, поведінки, фізіологічних і біохімічних процесів тощо. Процеси, які спричиняють еволюційні зміни органічної природи, діють постійно, як про це зазначав у своїй праці Ч. Дарвін:

*«Цікаво дивитися на густо зарослий беріг, вкритий численними різноманітними рослинами, з птахами, які співають в кущах, з комахами, які пурхають навколо, з червами, що повзають в сирій землі, і гадати, що всі ці чудово збудовані форми, які настільки різні між собою і так складно одна від одної залежать, були створені завдяки законам, які ще й тепер діють навколо нас.»*

Рис. 21. Приклад дивергенції



Сучасні науковці вважають, що зображені види виникли внаслідок дивергенції від спільногого предка.

Рис. 22. Приклад конвергенції



Сучасні науковці вважають, що структури, які забезпечують здатність до польоту, виникли внаслідок конвергентної еволюції.

Наведіть можливі аргументи на користь такого погляду.

Наведіть можливі аргументи на користь такого погляду.

1. Дайте означення понять еволюція, популяція, вид, видоутворення.
2. Що є головною рушійною силою еволюційного процесу?
3. Поясніть вплив елементарних факторів еволюції на процеси в популяціях.
4. Що таке географічне та екологічне видоутворення?
5. Поясніть утворення видів унаслідок дивергенції, конвергенції та паралелізму.
6. Обґрунтуйте значення праці Ч. Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя».

## § 6. Віруси та їхня біологічна роль



Дайте означення поняття життя.

За якими ознаками можна відрізняти живе від неживого?

Вам уже відомо, що основними формами життя є організми, які мають клітинну будову. Однак на нашій планеті виявлено й інші форми життя.

**Особливості будови та функціонування вірусів.** Уперше існування вірусів довів видатний ботанік Дмитро Івановський 1892 року. Досліджуючи захворювання тютюну – листкову мозаїку, він за допомогою керамічних фільтрів намагався виділити збудника цієї хвороби. Але навіть фільтри з найдрібнішим діаметром пор не змогли його затримати, і відфільтрований сік хвої рослини спричинював захворювання здорових. На підставі цього вчений висловив припущення про існування невідомого на той час наукі об'єкта (рис. 23). Пізніше було доведено існування аналогічних збудників різних захворювань тварин. Усі ці непомітні у світловий мікроскоп живі об'єкти дістали називу *віруси*. Але систематичне вивчення вірусів почалося лише в 30-ті роки ХХ століття після винаходу електронного мікроскопа.

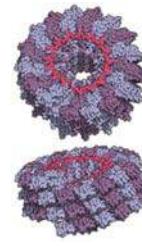
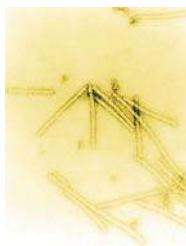


Дослідження показали, що в складі вірусів є органічні молекули – нуклеїнові кислоти та білки. У простих вірусів молекула нуклеїнової кислоти оточена капсидом, що складається з білкових молекул (рис. 24). Складні віруси під час формування віріонів захоплюють частину клітинної плазматичної мембрани, доповнюють її власними білками – утворюється суперкапсид. Геном вірусу може бути утворений як дво-, так й

Рис. 23. Рослина, уражена вірусом тютюнової мозаїки (ВТМ)



Рис. 24. Вірус тютюнової мозаїки:  
а – електронна мікрофотографія;  
б – модель будови



Молекула РНК – рожева,  
білки капсиду – синьо-фioletові.



Існування неклітинних форм життя є предметом наукової суперечки у зв'язку з тим, що однозначного означення поняття «життя» досі немає. Багато вчених вважає, що лише клітинні форми (організми) можна вважати живими. Наприклад, вірусолог Марк ван Редженморtel стверджує: «Найпростішою системою, яку можна назвати живою, є клітина. Віруси ... неживі інфекційні об'єкти, про які в крайньому разі можна сказати, що вони ведуть щось на зразок позиченого життя».

Чи згодні ви з таким твердженням?

Чи достатньо у вас знань для обґрунтування власної позиції?

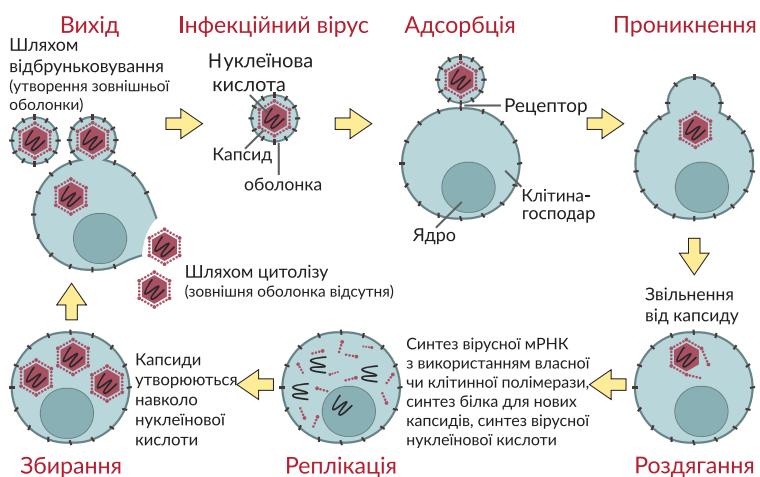
Якщо так – наведіть власні аргументи, якщо ні – уважно опрацюйте зміст параграфа та додаткові джерела інформації.

одноланцюговою молекулою ДНК або РНК. Віруси використовують органели клітин-хазяїнів для синтезу нових вірусних частинок – **віріонів**. Поза клітиною-хазяїном віруси не виявляють ознак життя.

Життєві цикли різних вірусів відбуваються за загальною схемою, у якій можна виокремити такі стадії: адсорбція вірусу на клітинній мембрани і проникнення вірусу в клітину; експресія і реплікація вірусного геному; збирання вірусів та їх вихід із клітини (рис. 25). Проникнення вірусу в клітину може спричинювати **інфекційне захворювання**. Розрізняють гострі та хронічні вірусні інфекції. Унаслідок **гострої інфекції** після утворення нового покоління вірусів клітина зазвичай гине. За **хронічної інфекції** нові покоління вірусних частинок утворюються в клітині протягом тривалого часу. Інколи материнська клітина може передавати вірусну інфекцію дочірнім. Також вірус може призвести до структурних і функціональних змін у клітині внаслідок механічного пошкодження клітинних структур. У деяких випадках віруси (наприклад, вірус папіломи людини та інші онкогенні віруси) можуть спричинити неконтрольований поділ клітин і перетворення їх на ракові.

Порівнюючи віруси з організмами, можна виявити як ознаки подібності, так і ознаки відмінності. Віруси мають у своєму складі органічні речовини – нуклеїнові кислоти та білки, здатні до розмноження, успадковування ознак, мінливості та адаптації до умов навколошнього середовища. Ознаки, за якими віруси відрізняються від організмів, такі: відсутність клітинної будови, власної блок-синтезувальної системи та обміну речовин; геном вірусу може бути утворений як дво-, так і одноланцюговою молекулою ДНК або РНК; віріон утворюється внаслідок збирання; деякі віруси можуть формувати всередині клітини кристали. Зважаючи на це, можна дати означення поняття вірусу.

*Rис. 25. Схема життєвого циклу вірусу*



Проаналізуйте схему. Поясніть, чому вірус може відтворюватися лише в клітині.



Підготуйте повідомлення на одну з тем, використовуючи інтернет-джерела:

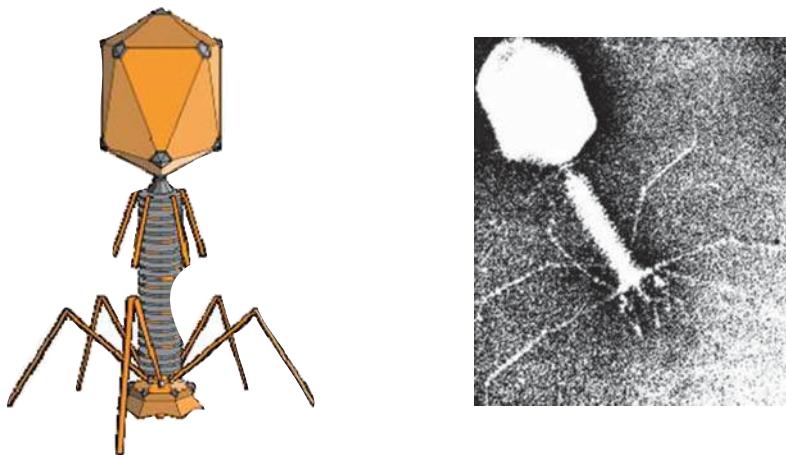
1. «Особливості життєвого циклу ВІЛ».
2. «Застосування вірусів у генетичній інженерії».

**!** **Віруси** – неклітинні форми життя, що є автономними генетичними системами, нездатними до самостійного існування поза клітиною хазяїна, тобто внутрішньоклітинними паразитами.

**Шляхи проникнення вірусу.** Більшість вірусів специфічні: вони врахають лише певні типи клітин хазяїна – багатоклітинних організмів чи окремі види одноклітинних організмів. Існує декілька шляхів проникнення вірусів у клітини бактерій, рослин і тварин. Проникнення в клітину-хазяїна починається із взаємодії вірусної частинки з мембраною клітини, на якій розташовані особливі рецепторні ділянки. Віруси бактерій – бактеріофаги, проникають у клітину шляхом, зумовленим будовою капсиду (рис. 26). Віруси рослин проникають в організм унаслідок руйнування цілісності покривів, а в клітину – через пошкодження клітинних стінок. У багатьох складних вірусів (наприклад, вірус грипу) мембрани вірусної частинки і клітини сливаються. Часто вірусна частинка потрапляє всередину клітини в результаті піноцитозу (вірус поліоміеліту). В організм тварин віруси проникають через різні системи органів. Наприклад, повітряно-крапельним шляхом через органи дихання проникають віруси грипу, віспи, кору. 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.

**Походження вірусів та їх роль в екосистемах.** Існує декілька гіпотез походження вірусів. Згідно з однією з них, віруси утворилися шляхом спрощення бактерій, що перейшли до внутрішньоклітинного паразитизму. На користь цієї гіпотези свідчать особливості будови багатьох ДНК-вмісних вірусів. Згідно з іншою гіпотезою, віруси утворилися з мобільних генетичних елементів клітини-хазяїна та набули здатності переміщатися не лише

Rис. 26. Бактеріофаг – вірус, що уражає бактерії



Бактеріофаг складається з розширеної головки, що містить ДНК, чохлоподібного відростка з порожнім стрижнем усередині та хвостових ниток. За допомогою цих ниток вірус сполучається з рецепторними ділянками клітини-хазяїна і прикріплюється до її поверхні. Потім чохлоподібний відросток скорочується, унаслідок чого стрижень проходить через оболонку бактерії та впорскує вірусну ДНК всередину клітини, а порожня оболонка бактеріофага залишається назовні.

в межах одного геному, а й поза батьківською клітиною. На користь цієї гіпотези свідчать особливості будови вірусів-сателітів.

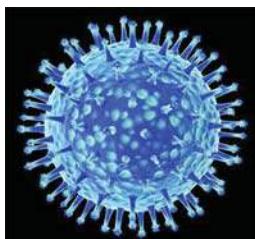
Віруси мають еволюційне значення. По-перше, вони можуть викликати захворювання, а отже впливати на чисельність видів. По-друге, вони здатні переносити генетичний матеріал між особинами навіть різних видів, що має значення насамперед у прокаріотів. Проте, і в хордових тварин геном містить істотну кількість залишків вірусної ДНК, що також мало еволюційне значення.

**Значення вірусів у житті людини.** Деякі віруси спричиняють різноманітні, часто масові (епідемічні) та дуже небезпечні захворювання людини, уражаючи органи дихання (грип, аденоінфекції), травну (гастроентерити, гепатити) та нервову (поліоміеліт, енцефаліти) системи, шкіру та слизові оболонки (кір, герпес, папіломи, вітряна віспа), пригнічують імунні реакції організму (СНІД), призводять до ракових захворювань (рис. 27, 28). Негативний вплив вірусів на життя людини зумовлений і тим, що вони викликають захворювання свійських тварин та сільськогосподарських рослин.

Проте існує і позитивний ефект від існування вірусів. Так, людина використовує їх у біологічних методах боротьби зі шкідливими видами (личинками кровосисних комарів, шовкопрядів-недопарків тощо). Зокрема, за допомогою вірусу вдалося розв'язати проблему масового розмноження кролів в Австралії, що загрожувало виснаженням пасовищ.

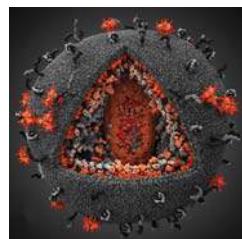
Віруси використовують і в генетичній інженерії: за їх допомогою певний ген, виділений з іншого організму або синтезований штучно, можна переносити в клітини бактерій. Так забезпечується синтез речовин, необхідних людині (наприклад, гормону інсуліну для лікування цукрового діабету, захисних білків-інтерферонів).

*Rис. 27. Модель будови віrusу грипу*



Вірус грипу вражає слизові оболонки дихальних шляхів. Геном утворений вісімма одноланцюговими молекулами РНК.

*Rис. 28. Модель будови віrusу імунодефіциту людини*



ВІЛ належить до ретровірусів і вражає здебільшого Т-лімфоцити, загибель яких призводить до зниження імунітету. Геном утворений двома одинаковими молекулами одноланцюгової РНК.



Проаналізуйте інформацію з інтернет-джерел щодо шляхів зараження, симптомів і впливу на організм зображеніх вірусів.

Складіть можливий план заходів попередження вірусних захворювань.



1. Дайте означення поняття *вірус*.
2. Схарактеризуйте особливості будови та функціонування вірусів.
3. Які існують гіпотези походження вірусів?
4. Поясніть роль вірусів в еволюції організмів.
5. Наведіть аргументи щодо користі чи небезпеки вірусів.

## § 7. Пріони та віроїди



Дайте означення понять білок, нуклеїнова кислота.  
Що таке розмноження?

Протягом багатьох років американський вірусолог Деніел Карлтон Гайдушек вивчав загадкову хворобу куру і встановив її інфекційну природу. За це відкриття у 1976 році вчений отримав Нобелівську премію в галузі фізіології або медицини. Але протягом довгого часу не було встановлено конкретну причину смертельних захворювань нервової системи людини і тварин, які нині об'єднують у групу трансмісивних енцефалопатій.

**Пріони.** У 1982 році американський біохімік Стенлі Прудзінер довів, що так званий «невстановлений трансмісивний агент» є патологічною формою клітинного білка, який запропонував назвати «prion» (від англ. *proteinaceous infectious particles* — «протеїнові інфекційні частки»). За відкриття пріонів у 1997 році вчений отримав Нобелівську премію.

Пріоновий білок (позначається PrP) у людини кодується геном PRNP, локус якого розташований у короткому плечі хромосоми 20, та в результаті дозрівання містить 208 амінокислотних залишків. У нормальній формі, яка називається клітинною ( $\text{PrP}^{\text{C}}$ ), цей білок є компонентом клітинних мембран. Остаточно його роль не з'ясована, але важливо, що найвищу концентрацію він має в нервових клітинах. Патологічна форма пріонового білка ( $\text{PrP}^{\text{Sc}}$ ) утворюється внаслідок посттрансляційних перетворень і, як правило, характеризується переходом  $\alpha$ -спіралей білка в  $\beta$ -складчатість (рис. 29). Уражена патологічною формою цього білка ділянка мозку має характерну губчасту структуру внаслідок руйнування (рис. 30).

Рис. 29. Схеми просторової організації:  
а – нормального білка;  
б – пріонної форми

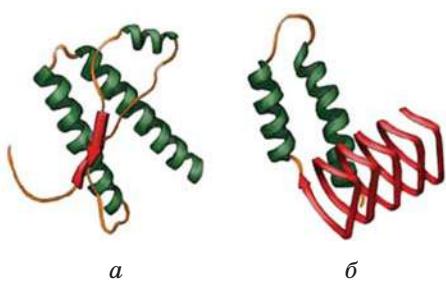
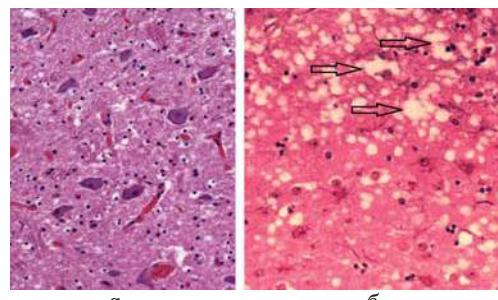


Рис. 30. Гістологічний препарат нервової тканини здорової тварини (а) та ураженої пріонами (б). Стрілками позначені структури, що формують типову для хвороби губчасту структуру.



Розпізнайте на рисунку  $\alpha$ -спіралі білка та  $\beta$ -складчатість.



Доведіть або спростуйте твердження: «Пріони – об'єкти живої природи».



Змоделюйте перетворення білка в пріонну форму (можна використовувати кольорові ручки, аплікацію тощо).



Створіть презентацію «Пріонові захворювання людини», використовуючи інтернет-джерела.

Для пошуку додаткової інформації використовуйте інтернет-джерела.

Пріони характеризуються високою стійкістю: не гинуть під час кип'ятіння, можуть витримувати холод до  $-40^{\circ}\text{C}$ , не виявляють чутливість до ультрафіолетового випромінювання тощо. Патологічні форми мають ту саму амінокислотну послідовність, що й нормальні білки, а тому організм не продукує проти нього антитіла та не атакує їх лімфоцитами. Наразі вченими вивчено кілька шляхів поширення пріонових захворювань. Пріони можуть передаватися від інфікованої тварини або людини. Проникаючи в організм, вони провокують перетворення нормальних пріонів у патологічні, тим самим збільшуючи свою кількість. Виникнення пріонових захворювань у такий спосіб зумовлене вживанням у їжу м'ясо або молока зараженої тварини, використанням інфікованого біологічного матеріалу (препаратів крові, гормональних препаратів, трансплантацій, наприклад, рогівки, твердої мозкової оболонки тощо). Захворювання може також розвиватися внаслідок генної мутації або спонтанного виникнення патологічного білка. Отже, пріонові захворювання можуть мати як спадковий, так і інфекційний характер. У людини описані такі пріонові захворювання, як губчаста енцефалопатія, хвороба Кройцфельдта-Якоба, куру, синдром Альперса тощо.

**Віроїди.** Назва «віроїд» була запропонована в 1971 р. Теодором Дінером. Віроїди – найменші здатні до розмноження частинки, які відомі у природі. Від вірусів віроїди відрізняються певними ознаками: відсутня білкова оболонка, складаються лише з короткої (246–467 нуклеотидів) одноланцюгової кільцевої молекули РНК. Молекули РНК віроїдів не кодують власних білків. Наразі виявлено близько 10 різновидів віроїдів, які відрізняються за структурою, хазайнами, яких вони вражають, симптомами хвороб. Наразі відкриті лише віроїди, які вражають рослинні організми (рис. 31). Функціонування цих неклітинних форм життя остаточно не з'ясоване, тому, можливо, нові відкриття чекають саме на вас.

Рис. 31. Захворювання, спричинене віроїдом



Симптоми захворювання, спричинені віроїдом веретеноподібності бульб картоплі.



Підготуйте повідомлення про захворювання, спричинені віроїдами.

1. Сформулюйте означення термінів *пріон*, *віроїд*.
2. Опишіть особливості будови та функціонування пріонів.
3. Поясніть значення пріонів у житті людини.
4. Опишіть особливості будови віроїдів.
5. Чи можна віднести пріони та віроїди до живого?
6. Обґрунтуйте необхідність подальших досліджень неклітинних форм життя.

## § 8. Прокаріоти – найдавніші організми на планеті



Що таке клітина?

Які складові клітини?

Які групи організмів виокремлюють за особливостями будови клітини?

На початку архейської ери вже існувало життя, про що свідчить насамперед склад гірських порід, які мають вік приблизно 3 млрд років. Вони містять велику кількість графіту з решток органічних сполук, які входили до складу організмів – **прокаріотів**. До нашого часу багато прокаріотів дожило, не змінюючись.



**Середовище існування та рівень організації.** Нині прокаріотичні організми населяють усі середовища існування на планеті, навіть із дуже екстремальними умовами (рис. 32). Кількість бактерій в 1 г ґрунту може досягати сотень мільйонів і навіть кількох мільярдів, а 1 мл води містить від 5 до 100 тис. бактеріальних клітин. Багато видів бактерій живе в інших організмах. Це група одноклітинних і колоніальних організмів.

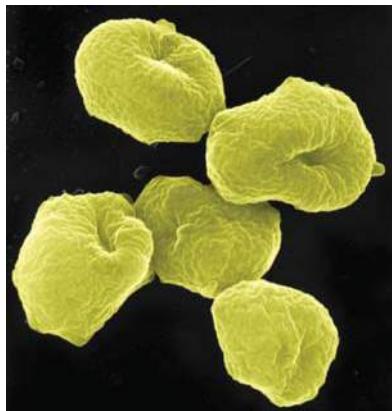


**Прокаріоти** – це мікроскопічні клітинні організми, які не мають сформованого ядра та мембраних органел. До них належать *археї* та *бактерії*.

Середні розміри цих істот становлять від 0,1 до 10 мкм, проте є свої «гіганти» – спірохети можуть мати довжину 500 мкм і бути видимими неозброєним оком (рис. 33).

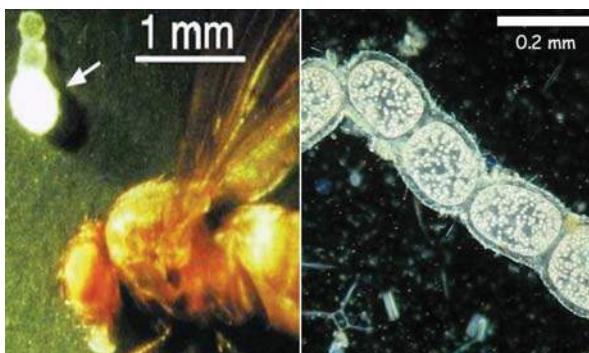
Найменшими вільноживучими бактеріями є мікоплазми (лише 0,12–0,15 мкм), які приблизно однакові за розміром з найбільшими вірусами.

Рис. 32. Архебактерія Sulfolobus



Це екстремофільний організм, що мешкає у гарячих джерелах із високою кислотністю та умістом сполук Сульфуру.

Рис. 33. Бактерія Thiomargarita namibiensis



Це найбільша з відкритих бактерій, яка в діаметрі має 0,75 мм.



Деякі вчені вважають, що колоніальні форми прокаріотів можна вважати нитчастими багатоклітинними організмами. Обґрунтуйте власну позицію з цього питання, опрацювавши його за допомогою інтернет-джерел.

Дрібний розмір важливий для прокаріотів, тому що пришвидшує транспортування поживних речовин і виділення продуктів обміну через поверхню клітини. Прокаріоти відрізняються простотою форми, і всю їх різноманітність за цією ознакою можна звести до декількох груп: кулясті, паличкоподібні, звивисті і нитчасті. **Кулясті прокаріоти** – коки – можуть розташовуватися поодиноко (мікрококи), парами (диплококи), ланцюжками (стрептококи), скupченням клітин у вигляді виноградного грона (стафілококи). Поміж **паличкоподібних прокаріотів** часто вирізняють баціли і клоstrидії, а поміж **звивистих** – вібріони (у вигляді коми), спірили (у вигляді спіралі у 2–3 оберти) і спірохети (у вигляді спіралі більше ніж у 3 оберти).

**Будова клітини.** Прокаріотичні клітини складаються з поверхневого апарату, цитоплазми та нуклеоїду (рис. 34). Однією з основних відмінностей клітини прокаріотів від клітини еукаріотів є відсутність ядерної мембрани: ДНК бактерій міститься в **нуклеоїді** – особливій зоні цитоплазми клітини. Зовні клітини розташована клітинна стінка, яка забезпечує її структурну цілісність і захист. У багатьох прокаріотів клітинна стінка ззовні оточена шаром слизової речовини, який дістав назву **капсули**. Вона захищає клітини від висихання, механічних ушкоджень, перешкоджає проникненню вірусів, забезпечує зв'язок між сусідніми клітинами в колоніях тощо. До структур поверхневого апарату прокаріотичної клітини також належать ворсинки (пілі) і джгутики. **Ворсинки** – це невеликі порожнисті вирости клітини, які забезпечують її прикріplення до різних організмів і субстрату. На поверхні тіла багатьох прокаріотів є **джгутики** – органели руху, які забезпечують пересування клітин у просторі.

Обов'язковим компонентом поверхневого апарату прокаріотичної клітини є **плазматична мембра**.

Рис. 34. Схема будови прокаріотичної клітини на прикладі бактерії



Поясніть особливості будови бактеріальної клітини.

За хімічним складом мембрana є білково-ліпідною. У мембрanaх багатьох прокаріотів виявлено специфічні ліпіди, яких немає в мембрanaх еукаріотів. Усередині клітини деяких прокаріотів формуються внутрішньоклітинні вип'ячування мембрани з упорядкованим розташуванням ферментів і fotosинтезувальних пігментів. У цитоплазмі прокаріотичних клітин є такі структурні елементи, як рибосоми, цитоскелет, плазміди, включення. **Рибосоми** – це немембрannі органели, які забезпечують синтез білків. За структурою рибосоми прокаріотів і еукаріотів подібні, однак рибосоми прокаріотів мають менші розміри. **Цитоскелет** виконує багато функцій, здебільшого відповідаючи за форму клітини та за внутрішньоклітинне транспортування. У клітинах багатьох прокаріотів поряд з нуклеоїдом містяться позахромосомні кільцеві молекули ДНК, що дістали назву **плазмід**. З їх допомогою бактеріальні клітини здатні обмінюватися деякими генами, що має важливе значення в забезпеченні їхньої пристосованості до умов існування.

**Життедіяльність.** Для прокаріотів характерна різноманітність у типах і способах живлення. Переважна більшість прокаріотів є **гетеротрофами**, які живляться органічними сполуками відмерлих решток (**сапротрофи**), живих організмів (**паразити**) або завдяки співіснуванню (**симбіотрофи**). Поміж **автотрофних** прокаріотів є **фотосинтетики** (рис. 35), які використовують енергію світла для синтезу органічних речовин, і **хемосинтетики**, джерелом енергії для яких є реакції окиснення неорганічних сполук (рис. 36).

За типом дихання прокаріоти поділяють на аеробів та анаеробів. **Аероби** – це організми, які для дихання використовують молекулярний кисень атмосфери, а організми, які можуть жити без доступу атмосферного кисню, є **анаеробами**. Прокаріоти здатні до повзального або плавального руху. Відповідь на подразнення в них виявляється у вигляді **таксисів** – рухів у напрямку від

Рис. 35. Мікрофотографія ціанобактерії Носток



Унаслідок fotosинтезу ціанобактерій виділяється молекулярний кисень.



Поясніть значення fotosинтезу ціанобактерій для виникнення та існування життя на планеті.

Рис. 36. Корінь бобової рослини з бульбочками, які утворені азотфіксувальними бактеріями – хемосинтетиками



Азотфіксувальні бактерії здатні засвоювати безпосередньо з атмосфери молекулярний азот, який надходить в екосистему в доступній для засвоєння рослинами формі.



До складу яких органічних молекул входить Нітроген?

Згадайте роль цих речовин у життедіяльності організмів.

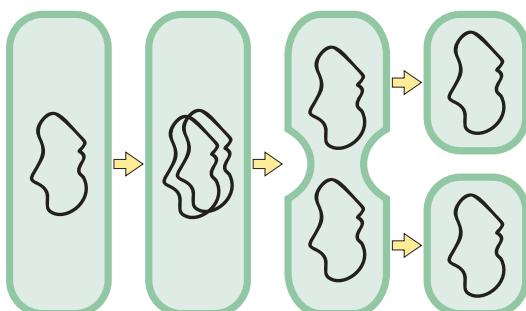
подразника або до нього, наприклад, хемотаксис, фототаксис тощо.

Найчастіше прокаріоти розмножуються нестатевим поділом клітини на впіл (бінарний поділ) або ж множинним поділом (ціанобактерії) (рис. 37). Цим організмам властивий високий темп розмноження. За сприятливих умов час, упродовж якого відбувається поділ клітини, для багатьох видів коливається в межах від 15 до 30 хвилин. У прокаріотів відсутнє статеве розмноження, проте існує статевий процес, який полягає в обміні між різними організмами генетичною інформацією. Це відбувається під час процесу, що називають **бактеріальною кон'югацією** – обміну ділянками ДНК (плазмідами) через цитоплазматичні місточки між клітинами.

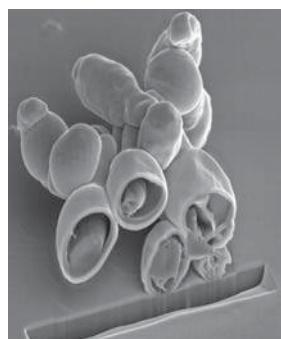
Несприятливі умови прокаріоти переживають за допомогою **спор** – клітин з пониженим метаболізмом, оточених багатошаровою оболонкою, стійких до впливів, нищівних для звичайних клітин (рис. 38). Спороутворення слугує як для переживання несприятливих умов, так і для розселення бактерій. Спори можуть витримувати високі рівні ультрафіолетового випромінювання, гамма-випромінювання, дезінфікуючих засобів, нагрівання, тиску і висушування, а в деяких випадках – можуть виживати навіть у космічному просторі.

Незважаючи на відносну простоту будови, прокаріотичні мікроорганізми є складними саморегулювальними системами. Залежно від умов існування, у них можуть активуватися (або ж навпаки гальмуватися) ті чи інші гени. Унаслідок цього їхні клітини здатні синтезувати ферменти, які перетворюють сполуки навколошнього середовища, ю у такий спосіб адаптуватися до його змін. Така адаптивність, різноманітні способи живлення, швидкі розмноження та ріст, здатність переживати несприятливі умови у вигляді спор, високий ступінь генетичної мінливості зумовлюють збереження та існування прокаріотів у природі. Тому ці найменші організми населяють усю планету.

*Rис. 37. Схема розмноження (бінарний поділ клітини)*



*Rис. 38. Спори бактерій*



Спори *Geobacillus stearothermophilus*, утворені внаслідок дії високих температур і тиску, можна бачити міцну оболонку та внутрішній вміст спор.



Опишіть розмноження бактерії, використовуючи схему.



1. Дайте означення поняття **прокаріоти**.
2. Опишіть особливості будови прокаріотичних організмів.
3. Схарактеризуйте процеси життєдіяльності прокаріотів.
4. Поясніть стратегію виживання прокаріотичних організмів.

## § 9. Різноманітність прокаріотичних організмів



Які особливості організації прокаріотичної клітини?

Яка будова біологічних мембран?

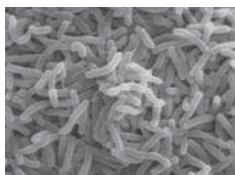
Що таке біотехнологія?

Ми ознайомилися із загальними особливостями будови та функціонування прокаріотичних організмів. Дослідження цих організмів на молекулярному рівні привело до наукових відкриттів, які стали підґрунтам для поділу прокаріотів на дві групи: **Бактерії** (Еубактерії) та **Археї** (Архебактерії).

**Бактерії (Еубактерії).** Бактерії живуть у ґрунті, воді, повітрі, в інших організмах. Особливості організації зумовлені їхнім пристосуванням до умов, у яких інші организми існувати не можуть. До складу клітинної стінки бактерій входить муреїн, який відносно пористий і не протидіє проникненню малих молекул. Поміж бактерій є види, у яких клітинна стінка містить дуже товстий шар муреїну. Клітинна стінка інших видів містить тонкий шар муреїну, тому вони мають другу, так звану зовнішню мембрану, що розташована зовні від клітинної стінки. У цитоплазмі різних видів містяться включення, які функціонують як структури. До них належать хлоросоми з бактеріохлорофілами в зелених бактерій, фікобілісоми з пігментами в ціанобактерій, магнітосоми в магнетотаксичних бактерій для орієнтування вздовж ліній магнітного поля Землі.

За способом живлення бактерії поділяють на декілька груп. **Паразитичні бактерії** живляться за рахунок живих організмів і можуть спричинювати захворювання. У людини такими захворюваннями є чума, тиф, туберкульоз, менінгіт, ангіна, ботулізм, газова гангрена (рис. 39).

Рис. 39. Різноманітність паразитичних бактерій



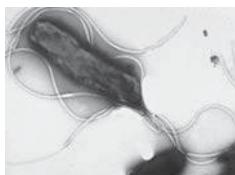
Холерний вібріон  
*Vibrio cholerae*



Чумна паличка  
*Yersinia pestis*



Золотистий стафілокок  
*Staphylococcus aureus*



Збудник виразкової хвороби шлунку  
*Helicobacter pylori*



Збудник туберкульозу  
*Mycobacterium tuberculosis*



Збудник ботулізму  
*Clostridium botulinum*



Проаналізуйте інформацію з інтернет-джерел щодо шляхів зараження, симптомів і впливу на організм зображеніх бактерій.



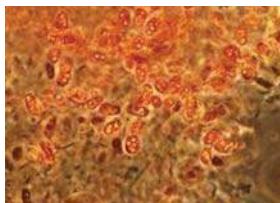
Складіть можливий план заходів попередження бактеріальних захворювань.

**Сапротрофи** живляться органічними рештками відмерлих рослин і тварин, харчовими продуктами людини тощо. Вони спричиняють гниття або бродіння органічних речовин. **Автотрофні бактерії** – це бактерії, що можуть синтезувати органічні речовини з неорганічних у результаті фотосинтезу (фототрофні, або фотосинтетики) або хемосинтезу (хемотрофні, або хемосинтетики). Поміж **фототрофів** особливе місце посідають ціанобактерії, про які вже йшлося. На їхніх поодиноких тилакоїдах, які є впинанням плазматичної мембрани, відбувається процес фотосинтезу з виділенням кисню, чим вони подібні до рослин. Фотосинтезувальними пігментами є хлорофіли і філокобіліни. Особливістю фотосинтезу зелених і пурпурних сіркові бактерій є те, що він відбувається за участю бактеріохлорофілів в анаеробних умовах, коли кисень не виділяється. **Хемотрофні бактерії** – сіркові бактерії, залізобактерії, нітрифікувальні бактерії, використовують для синтезу енергію хімічних реакцій (рис. 40). Поміж бактерій трапляються як аеробні, так і анаеробні види.

Багато бактерій (спирили, холерний віброн) здатно до самостійного руху за допомогою джгутиків – такі організми будуть **плавальними**. **Повзальні** бактерії – ціанобактерії, сіркові бактерії – можуть пересуватися твердим субстратом за допомогою білкових фібріл, які містяться в клітинній оболонці.

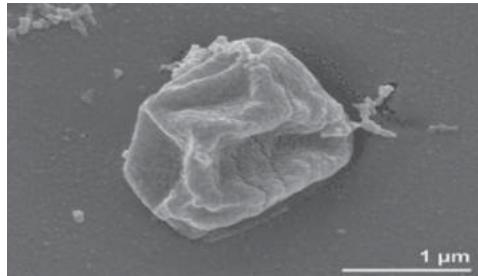
**Археї (Архебактерії).** Спочатку їх було виявлено в екстремальних середовищах, але потім було знайдено в усіх типах екосистем. Деякі з них живуть за дуже високих температур, часто вищих ніж 100 °C, наприклад ті, котрих знайшли в гейзерах (температура +45 ... +113 °C), інших знайдено в дуже холодних середовищах (рис. 41). Археї можуть існувати в надзвичайно солоних водах, зокрема багато з них живе в Мертвому морі та на півдні затоки Сан-Франциско, надаючи їй яскравих кольорів: від червоного до зеленого.

Рис. 40. Хемосинтезувальні бактерії



Залізобактерії

Рис. 41 Archea Pyrolobus fumarii



Залізобактерії надають воді характерного іржавого кольору.



Які корисні копалини утворилися внаслідок життєдіяльності бактерій?

Живуть поблизу підводних гідротермальних джерел за температури 106 °C та pH 5,5. ДНК цих мікроорганізмів стабільна за рахунок великого відсотка нуклеотидних пар гуанін-цитозин, а клітина не руйнується внаслідок особливостей будови мембрани.

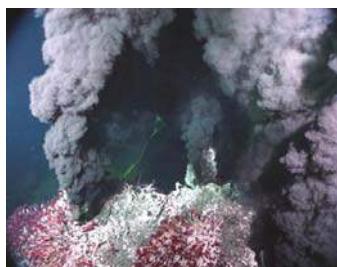
Наразі відкриті археї, які живуть у воді, ґрунті, багато гетеротрофних метаноутворювальних археїв знайдено в травних трактах тварин, наприклад, жуївих тварин, термітів та людини (рис. 42), проте не відомі представники цієї групи, які викликали б захворювання. Зазвичай вони є основою функціонування екстремальних екосистем, тому що за способом живлення поміж археїв переважають хемосинтетики (рис. 43).

Археї вважаються найдавнішими з прокаріотичних організмів і частково поєднують ознаки бактерій та еукаріотів, що було виявлено лише внаслідок біохімічних, молекулярних та генетичних досліджень. Розміри клітин археї типові для більшості відомих прокаріотів, їх середній діаметр становить близько 1 мкм. Форма клітин археї різноманітна, як у бактерій, хоча трапляються трикутні, прямокутні та квадратні види. Як у всіх прокаріотів, у них немає ядра та мембрани органел. Будова плазматичної мембрани відрізняє археї від інших груп організмів, у першу чергу через особливості ліпідного складу. На відміну від типових для бактерій та еукаріотів фосфоліпідів, утворених за допомогою естерних зв'язків, ліпіди археї утворені етерним зв'язком. Останній є більш хімічно стійким, а тому вважають, що ця особливість пов'язана із пристосуванням таких організмів до екстремальних умов існування. Подібно до бактерій, вони мають клітинну стінку, але її складові мають дещо іншу хімічну структуру. Геном археї представлений кільцевою молекулою ДНК, проте процес реалізації генетичної інформації більш подібний до еукаріотичний організмів. Зокрема, ДНК пов'язана із гістонами, гени археї містять інtronи, а під час дозрівання мРНК відбувається сплайнинг. У той же час унікальною особливістю археї є структура їхніх молекул тРНК та пРНК. Археї погано культивуються в лабораторних умовах, тому багато їх особливостей залишаються не вивченими.

*Рис. 42. Гетеротрофні метаноутворювальні археї*



*Рис. 43. Екосистема «чорних курців»*



«Чорні курці» – гідротермальні джерела в рифтових зонах світового океану, температура води яких понад 300°C, насичена отруйними сполуками сірки та важких металів з кислотністю 2,2–2,8 та дуже високим тиском. Основу харчового ланцюга становлять хемотрофні археї.



У 1977 році американські мікробіологи Карл Воуз та Джордж Фокс, застосовуючи методи молекулярної генетики, виділили археї в окрему групу. Це стало підґрунтям для створення К. Воузом (1990) класифікації організмів у межах трьох доменів: Бактерії, Археї і Еукаріоти.

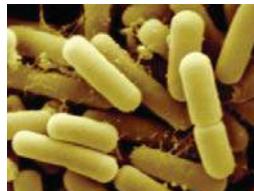


Ознайомтеся з цією класифікацією, використовуючи інтернет-джерела. Висловіть судження щодо такого погляду на класифікацію організмів.

**Біологічна роль прокаріотів.** Автотрофні організми є продуцентами, утворюючи первинну органічну речовину. Проте не завжди роль фототрофних прокаріотів є позитивною, зокрема інтенсивне розмноження ціанобактерій спричиняє «цвітіння» води. Різноманітна роль гетеротрофних прокаріотів. Паразитичні організми спричиняють захворювання людини, тварин і рослин. Симбіотичні прокаріоти співіснують із грибами, рослинами чи тваринами. Сапротрофні прокаріоти руйнують мертву органічну речовину, перетворюючи її на неорганічні сполуки, доступні для подальшого використання автотрофами, замикаючи колообіг речовин. Значна різноманітність хімічних реакцій, які є основою метаболізму прокаріотів, зумовлює важливу роль їх у багатьох колообігах. Азотфіксувальні та нітрифікувальні бактерії є необхідними для перетворень нітрогеномісних сполук, сірковактерії беруть участь у перетворенні сполук Сульфуру, залізобактерії окиснюють ферумвмісні речовини.

**Використання прокаріотів людиною.** Протягом тисяч років сапротрофні бактерії використовуються для виробництва харчових продуктів (рис. 44). Актиnobактерії роду Стрептоміцес дають людині близько половини відомих наукі антибіотиків. Бактерії також використовуються в біологічній боротьбі зі шкідниками. Здатність бактерій руйнувати різноманітні органічні сполуки використовують у переробці відходів, збиранні розлитої нафти. Людина навчилася за індикаторними мікроорганізмами, які можуть окиснювати метан і пропан, проводити пошуки нафтових і газових родовищ. Завдяки здатності швидко рости, простій будові геному прокаріоти широко використовуються в генетиці та біотехнології. Завдяки генній інженерії людство використовує бактерії для отримання інсуліну, факторів росту, антитіл тощо. Створюючи мутації в бактеріальній ДНК, учени можуть визначати функцію генів. Сучасні відкриття уможливили використання ферментів архей у молекулярній біології (рис. 45).

*Rис. 44.* Молочнокислі бактерії та харчові продукти, у виготовленні яких вони використовуються



*Rис. 45.* Археї та молекулярна біологія



Термостабільна ДНК-полімераза, отримана від Pyrococcus furiosus, уможливила винайдення полімеразної ланцюгової реакції як простого та швидкого методу ампліфікації ДНК (створення багатьох копій).



1. Дайте означення понять бактерії, археї.
2. Порівняйте бактерії та археї.
3. За якими ознаками археї подібні до еукаріотичних організмів?
4. Обґрунтуйте біологічну роль прокаріотичних організмів.
5. У яких галузях людина використовує прокаріотичні організми?
6. Поясніть думку вчених про те, що археї є окремою групою організмів на планеті.

## § 10. Сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів



Якими є ознаки живого?

Яку будову має прокаріотична клітина?

Для розуміння сучасних поглядів на систему еукаріотичних організмів є потреба згадати особливості організації еукаріотичної клітини.



**Будова еукаріотичної клітини.** Зазвичай еукаріотичні клітини більші за розмірами, ніж прокаріотичні – їх середній діаметр становить біля 5–20 мкм, натомість у бактерій та архей – 0,5–2 мкм. Серед еукаріотів є одноклітинні та багатоклітинні організми – рослини, тварини та гриби, клітини яких мають спільній план будови (рис. 46).



**Еукаріоти** – це організми, клітини яких містять сформоване ядро та мембрани органелі.

Еукаріотична клітина має три нерозривно пов'язані складові: **поверхневий апарат, цитоплазму та ядро**.

Поверхневий апарат складається з плазматичної мембрани, надмембранного та підмембранного комплексів. Клітини містять одномембранні (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, вакуолі, лізосоми, пероксисоми) та двомембранні (мітохондрії, пластиди) органели. Рибосоми в еукаріотів більші, ніж рибосоми прокаріотів, також відрізняється будова джгутиків. Багато клітин еукаріотів здатно до фаго- та піноцитозу завдяки відсутності клітинної стінки.

Рис. 46. Еукаріотичні організми



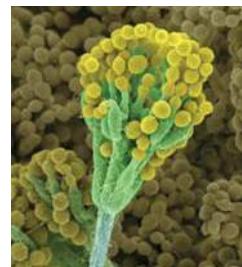
Амеба протей



Дафнія



Улотрикс



Пеніциліум



Розпізнайте групи, до яких належать зображені організми.

За якими ознаками ви це зробили?

Більша частина генетичного матеріалу міститься у хромосомах, що утворені молекулами ДНК та білками (гістонами). Також генетичний матеріал, окрім ядра, міститься в мітохондріях і представлений мітохондріальною ДНК. Майже для всіх рослин характерна наявність у деяких клітинах генетичного матеріалу не лише в ядрі та мітохондріях, а й у пластидах (зокрема в хлоропластах). Гени еукаріотичних організмів мають інtronно-екзонну будову.

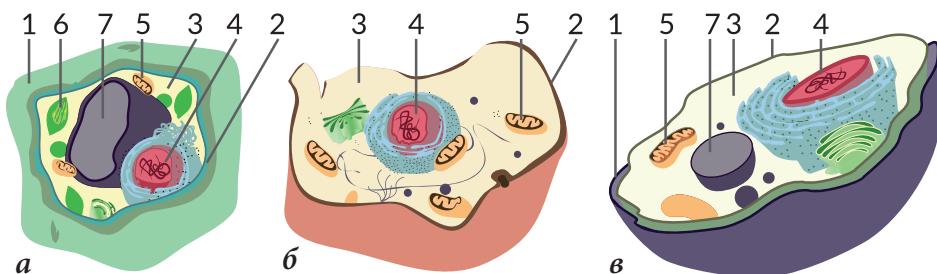
На відміну від прокаріотів, у еукаріотів переважає статеве розмноження, яке пов'язане з обміном генетичною інформацією між різними особинами та здійснюється за допомогою спеціалізованих статевих клітин.

**Сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів.** Поміж еукаріотичних організмів за особливостями будови клітини та процесами життєдіяльності вирізняються рослинні, тваринні та грибні організми (рис. 47). Одноклітинні еукаріотичні організми – цілісні біологічні системи, а тому їх розглядають як окрему групу. Вони нерідко поєднують ознаки, властиві представникам різних груп (*пригадайте особливості Евглени зеленої*).

До **тваринних** відносять багатоклітинні організми з гетеротрофним живленням, клітини яких мають гліокалікс. **Рослини** є організмами, автотрофними за способом живлення, клітини яких містять хлоропласти і клітинну стінку, до складу якої входить целюлоза. **Гриби** – гетеротрофні організми, клітини тіла яких не утворюють тканин, а клітинна стінка містить хітин. В екосистемах рослини переважно виступають продуцентами, тварини – консументами (рідше редуцентами), а гриби – редуцентами (рідше консументами).

До групи **одноклітинних** еукаріотів належать організми, поміж яких є і автотрофи (хламідомонада, хлорела), і гетеротрофи (інфузорії, амеби). Існують організми, спосіб живлення яких може змінюватися залежно від умов існування – міксотрофи.

Рис. 47. Будова рослинної (а), тваринної (б) та грибної (в) клітин



1 – клітинна стінка;

2 – плазматична  
мембра;

3 – цитоплазма;

4 – ядро;

5 – мітохондрії;

6 – хлоропласт;

7 – вакуоля.



Виявіть ознаки схожості та відмінності клітин.

Сформулюйте відповіді на запитання:

- Про що може свідчити схожість клітин?
- Чим, на вашу думку, зумовлені відмінності?



1. Дайте означення поняття **еукаріотів**.

2. Опишіть будову еукаріотичної клітини.

3. Поясніть сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів.

## § 11. Одноклітинні еукаріоти



Якими є особливості будови рослинної, тваринної та грибної клітини?

За сучасними уявленнями одноклітинні еукаріоти об'єднують у кілька різних груп, які мають характерні відмінності (рис. 48). Проте є низка ознак, які є спільними в усіх таких організмів.

**Особливості будови клітин.** Організми цієї групи можуть бути одно- або багатоядерними. У деяких з них (інфузорій, форамініфер) наявні ядра двох типів: – вегетативні, що регулюють процеси обміну речовин, і генеративні, що забезпечують передавання спадкової інформації під час розмноження. Як і в усіх еукаріотів, у цитоплазмі одноклітинних еукаріотів містяться немембрани, дво- та одномембрани органели.

Поверхневий апарат клітин цієї групи організмів може бути різним. У деяких зовнішній шар клітини представлений клітинною стінкою, що складається переважно з целюлози та пектину, як у рослин. В інших одноклітинних еукаріотів, як і в грибів, до складу клітинної стінки входить хітин. Є організми, клітина яких вкрита плазматичною мембраною з гліокалікісом. У цьому випадку можливе утворення псевдоподій (амеби). А в інфузорій, наприклад, клітина має постійну форму завдяки наявності щільного підмембранного шару цитоплазми – пелікули.

**Особливості процесів життєдіяльності.** За типом живлення одноклітинні еукаріоти поділяють на автотрофи, гетеротрофи й міксотрофи. *Гетеротрофні* організми можуть поглинати їжу за допомогою піноцитозу або фагоцитозу. Наприклад, інфузорії є хижаками, які полюють на здобич. Резервою речовиною в гетеротрофів є глікоген. Деякі одноклітинні здатні до

Рис. 48. Представники одноклітинних еукаріотів



Інфузорія-туфелька



Мукор



Хлорела звичайна



Опишіть особливості будови та життєдіяльності зображених видів одноклітинних еукаріотів.

**автотрофного** способу живлення, зокрема деякі хламідомонади є **міксотрофами** (рис. 49). Ці організми здатні до фотосинтезу, а резервною речовиною здебільшого слугує крохмаль.

Поміж одноклітинних еукаріотів є такі, що здатні до активного руху. Цей рух забезпечують особливі органели – джгутики, війки та псевдоподії. Рухи джгутиків і війок забезпечують потоки води навколо клітин. Псевдоподії утворюються внаслідок перетікання цитоплазми, що зумовлює особливий тип руху – амебоподібний. Набагато рідше трапляється ковзний тип руху. Наприклад, діатомові водорості рухаються за рахунок стікання слизу з поверхні клітини в певному напрямку.

Способи розмноження одноклітинних еукаріотів є різноманітними, воно може відбуватися як статевим, так і нестатевим шляхом. Деякі (Амеба протей, Евглена зелена) розмножуються мітотичним поділом. У інших (Плазмодій малярійний) цей процес більш складний і називається множинним поділом. Деякі одноклітинні на певній стадії життєвого циклу формують статеві клітини – гамети. В інфузорій відбувається специфічний процес – кон'югація, під час якої дві клітини обмінюються ядрами.

Несприятливі умови деякі одноклітинні еукаріоти здатні переживати у вигляді цисти. У процесі інцистування відбуваються складні перетворення клітини – зникають деякі структури, зменшується кількість води в цитоплазмі, формуються захисні оболонки.

Одноклітинним організмам притаманна подразливість – вони здатні реагувати на різні чинники направленим переміщенням усього організму (клітини) до або від подразника. Такі реакції називають **таксисами**. Учені виділяють **термотаксис** (рух під дією теплових стимулів), **фототаксис** (рух під дією світла), **реотаксис** (рух проти течії води або струменя повітря),

Рис. 49. Хламідомонада



Рис. 50. Розмноження Евглени зеленої поділом клітини навпіл



Опишіть особливості будови та життєдіяльності зображених організмів.



Складіть оповідання про живлення міксотрофних одноклітинних організмів, використовуючи інтернет-джерела.

**геотаксис** (рух під дією сил гравітації).

### Роль одноклітинних в екосистемах та значення в житті людини.

Роль одноклітинних еукаріотів у природі та житті людини значна. Вони є учасниками ланцюгів живлення, відіграють важливу роль у ґрунтоутворювальних процесах. Деякі з них, відмираючи, утворюють поклади вапняних і силіцієвих порід, що входять до складу земної кори.

Поміж одноклітинних еукаріотів є паразити рослин, тварин і людини. Так, Плазмодій малярійний, оселяючись в еритроцитах людини, руйнує їх, спричиняючи виникнення захворювання – малярії, а Амеба дизентерійна, паразитуючи в клітинах стінок товстого кишечника людини, спричиняє захворювання травної системи (рис. 51). Джгутикові трипаносоми і лейшманії (переважно тропічні види) спричиняють такі захворювання, як сонна хвороба і лейшманіози.

Профілактика захворювань людини, що їх спричиняють паразитичні одноклітинні еукаріоти, передбачає дотримання правил гігієни, термічну обробку їжі, проведення заходів з перериванням життєвого циклу паразита. Вплив таких хвороб на людину є настільки істотним, що відкриття способів боротьби з малярією було відзначено Нобелівською премією (2015, Юю Ту).

Одноклітинні діатомові водорості є домінуючим компонентом фітоплактону, а відтак є головним продуcentом морських екосистем.

Людина використовує здатність одноклітинних водоростей очищувати водойми шляхом поглинання розчинених у воді речовин. Вони збагачують водойми киснем, який виділяють у процесі фотосинтезу. Багато видів одноклітинних водоростей поширені в ґрунті й на його поверхні. Вони поліпшують фізичні властивості ґрунту, збагачують його органічними речовинами.

Одноклітинні водорості входять до складу лишайників, які сприяли утворенню ґрунту з гірських порід і відіграли велику роль у заселенні суходолу.

Рис. 51. Одноклітинні еукаріотичні паразити людини



Еритроцити, уражені  
Плазмодієм малярійним

Малярія – захворювання, назва якого походить від італійського «malaaria» – «погане повітря». У давнину лікарі вважали, що це захворювання спричиняють випарування з боліт, оскільки випадки захворювання на малярію найчастіше трапляються в низинах поблизу водойм.



Амеба дизентерійна



Поясніть, чому ж насправді малярія поширені в таких місцинах.



Проаналізуйте інформацію з інтернет-джерел щодо шляхів зараження, симптомів і впливу на організм зображеніх одноклітинних організмів.



Складіть можливий план заходів попередження захворювань.

Деякі організми людина використовує у своїй господарській діяльності. Так, спеціальні види дріжджів, що виділяють багато карбон (IV) оксиду, використовуються в хлібопекарнях для піднімання тіста (рис. 52).

**Організація колоній одноклітинних еукаріотів.** Клітини одноклітинних організмів можуть об'єднуватися в колонії для спільноговиконання життєвих функцій. Але у цьому випадку кожна клітина колонії, як і раніше, може сама виконувати всі функції живого і є окремим самостійним організмом.

Одними з представників колоніальних організмів є колоніальні зелені водорості з роду Вольвокс.

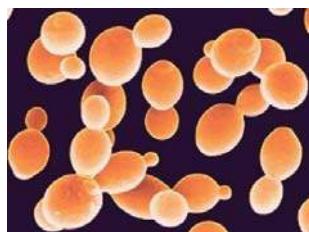
Колоніальні організми, що належать до роду вольвокс, мають вигляд слизових кульок діаметром до 2 мм, у периферичному шарі яких розміщено до 50 тис. клітин із джгутиками. Ці клітини зрослися своїми бічними стінками одна з одною і з'єднані плазмодесмами – цитоплазматичними містками (рис. 53).

Дуже поширені колоніальні форми й поміж інших груп водоростей – діатомових. З-поміж гетеротрофних джгутикових та інфузорій також чимало колоніальних форм, існують колоніальні радіолярії.

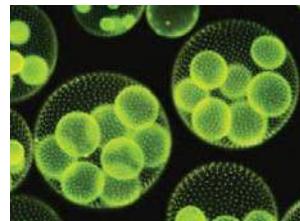
У примітивних колоніях спостерігається рівномірне розміщення клітин у товщі слизу, що їх об'єднує, а в більш високоорганізованих колоніях відбувається певне диференціювання, за якого клітини відходять до периферії колонії.

Давні колоніальні форми, утворені одноклітинними еукаріотами, є проміжною ланкою між одноклітинними й багатоклітинними організмами. Клітини справжніх багатоклітинних організмів диференціюються і вже не можуть існувати поза межами організму. Виконувати всі функції цілісного організму клітина багатоклітинних організмів не може, вона повністю залежить від інших клітин і структур організму.

Rис. 52. Дріжджі



Rис. 53. Колонія одноклітинних еукаріотів



Зелені водорості з роду Вольвокс.



Наведіть приклади застосування одноклітинних організмів у біотехнологічних процесах.



Обґрунтуйте значення явища колоніальності для утворення багатоклітинних організмів.



1. Схарактеризуйте особливості будови клітин одноклітинних еукаріотів.
2. Опишіть процеси життєдіяльності одноклітинних еукаріотів.
3. Поясніть роль одноклітинних організмів у природі і їх значення в житті людини.
4. Як утворюються колонії одноклітинних еукаріотів?
5. Доведіть або спростуйте твердження: «Хламідомонада – цілісний організм».

## § 12. Біорізноманіття рослин



Що таке життєвий цикл, гаметофіт, спорофіт?

Які ви знаєте групи рослин?

Варто згадати, що, окрім одноклітинних еукаріотів, на планеті існують най-різноманітніші багатоклітинні еукаріотичні організми. Це, як відомо, рослини, тварини та гриби. Еволюція цих груп організмів, особливо рослин і тварин, відбувалася паралельно, але розглядати їх буде дoreчно окремо.



**Особливості будови та життєдіяльності рослин.** Нагадаємо особливості, що відрізняють клітини рослин від клітин інших багатоклітинних еукаріотів. Клітинна стінка містить полісахариди, насамперед целюлозу. Крохмаль слугує резервною речовиною. У цитоплазмі клітин є вакуоля з клітинним соком. У рослинних клітинах є пластиди. Одні з них – хлоропласти – містять хлорофіл. За участі цього пігменту в рослинах відбувається фотосинтез.

Тіла більшості рослин сформовані тканинами, що містять клітини різних типів. Виокремлюють кілька типів рослинних тканин (рис. 54). Клітини **твірних тканин** (меристема) здатні до поділу та перетворення 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.

Рослини здатні до фотосинтезу, а тому мають вирішальне значення для

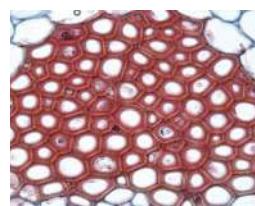
Рис. 54. Тканини рослинного організму



Покривна тканина



Провідна тканина



Механічна тканина



Асиміляційна тканина



Поясніть взаємозв'язок будови та функцій тканин рослинного організму.

існування життя на Землі, оскільки цей процес є основним джерелом органічних речовин. Кисень, що виділяється під час фотосинтезу потрібний для дихання й утворює озоновий шар планети.

Вегетативні органи – корінь і пагін – забезпечують процеси обміну речовин, росту тощо. Генеративні органи – органи, за допомогою яких відбувається розмноження, – квітка та плід (рис.55).

Нестатеве розмноження відбувається з утворенням спор у спеціалізованих органах – спорангіях. Рослини також можуть розмножуватися вегетативними органами. Статеве розмноження відбувається за участі спеціалізованих клітин – гамет. У насінних рослин після запліднення формується насінina, що дозріває відкрито на лусках шишок у голонасінних рослин або захищена стінками плоду в покритонасінних рослин. Запліднення в покритонасінних відбувається всередині органа розмноження – квітки. У життєвому циклі рослин відбувається чергування статевого та нестатевого поколінь.

**Еволюція рослин.** Перші рослини з'явилися та розвивалися у воді. Такі водні автотрофні організми ми називаємо **водоростями**. Деякі з них – одноклітинні – ми розглянули раніше. Крім них існують багатоклітинні водорости, розміри яких можуть сягати десятків метрів. Існування у водному середовищі дозволяє запобігти пересиханню, унаслідок високої щільності вода підтримує тіло рослини, а також полегшує рух статевих клітин.

Із зростанням щільності життя у воді організми були змушені опановувати нове середовище існування – рослини вийшли на суходіл. Згідно із сучасними уявленнями, предками наземних рослин є зелені водорости. Одними з перших наземних рослин уважають риніофітів, у життєвому циклі яких переважав спорофіт. Ці рослини не мали виразного поділу тіла на органи, однак у них

Рис. 55. Особливості будови різних груп рослин



Поясніть відсутність органів у водоростей.

Чому в наземних рослин тіло поділене на органи?

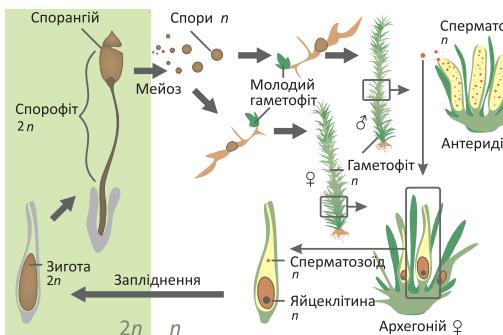
утворилися покривна й провідна тканини, що забезпечили їм захист від висихання в наземно-повітряному середовищі, а також транспортування поживних речовин. Подальше ускладнення будови органів і зміни в розмноженні привели до появи наземних рослин, пристосованих до життя на суходолі.

Мохи стали розвиватися в напрямку переважання в життєвому циклі статевого покоління (гаметофіту), де спорофіт існує за рахунок гаметофіту (рис. 56). Так як у мохів немає коренів та провідних тканин, а запліднення залежить від наявності води, вони набули здатності пасивно всмоктувати воду, яку накопичують у водоносних клітинах.

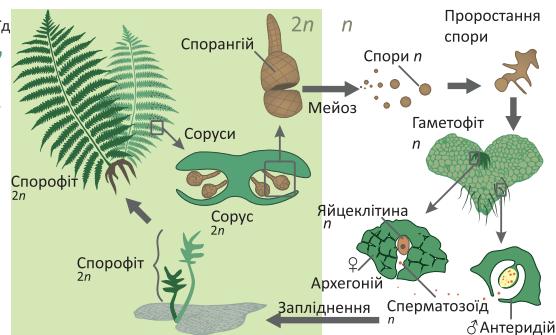
Унаслідок подальшого пристосування до умов суходолу виникають папороті, хвоці і плауни. У них формується провідна тканина, великі пагони, а це збільшує площину поглинання сонячних променів і вуглекислого газу. Виникають корені, які не лише стали утримувати рослину в ґрунті, а й забезпечили ефективне всмоктування з неї води і мінеральних речовин. В життєвому циклі став переважати спорофіт, а гаметофіт редукувався до невеликої пластинки – заростка (рис. 57). В умовах суходолу це стало великою перевагою, тому що тканина гаметофіту дуже чутлива до нестачі вологи. Спорофіт стає самостійною рослиною та еволюціонував не лише в трав'янисті, але і в деревні форми – із давніх папоротеподібних рослин почали формуватися перші ліси на Землі. Але перепоною в опануванні більш посушливих місцин залишається залежність запліднення від наявності води.

Подальшим кроком в опануванні суходолу стало виникнення насінного розмноження, коли зародок захищений покривами та забезпечений поживними речовинами для розвитку і проростання – на планеті виникають голонасінні та покритонасінні рослини. В життєвому циклі цих рослин переважає спорофіт, а гаметофіт зазнав ще більшої редукції. Крім того, статеві клітини

*Рис. 56. Життєвий цикл мохоподібних*



*Рис. 57. Життєвий цикл папоротеподібних*



Пригадайте й опишіть життєвий цикл моху Зозулин льон.



Пригадайте й опишіть життєвий цикл папороті Щитник чоловічий.

стали формуватися у внутрішніх тканинах рослин, тому водне середовище перестала грati роль необхідної умови для протікання статевого процесу (рис. 58).

У покритонасінних рослин пристосуванням до запилення і запліднення, яке підвищує можливості для перехресного запилення і, відповідно, комбінтивної мінливості, стає квітка. Перевагою також є подвійне запліднення, яке відбувається в зав'язі квітки (*згадайте його біологічне значення*). Унаслідок дивергенції утворилися різноманітні квітки, які пристосовують рослину до різних способів запилення (за допомогою комах, вітру, води тощо). Ще один генеративний орган – плід, забезпечив захист насіння та його поширення. Всі ці особливості дозволили покритонасінних зайняти панівне становище в рослинному покриві Землі.

**Роль рослин в екосистемах та значення в житті людини.** Рослини, акумулюючи в органічних речовинах енергію Сонця, забезпечують життя всього живого на Землі. Вони відіграють провідну роль у колообігу багатьох хімічних елементів (Фосфору, Карбону тощо) і хімічних сполук (вода, кисень тощо). Рослини впливають на клімат, формують температурний режим планети. Кисень, що виділяють рослини під час фотосинтезу, використовується для дихання і захищає біосферу від ультрафіолетового проміння (рис. 59). Саме рослини є первинною трофічною ланкою в ланцюгах живлення. Корисні копалини, наприклад кам’яне та буре вугілля, торф, утворені з рослин. Рослини сприяють утворенню боліт (сфагнові мохи) та беруть участь у формуванні ґрунтів. У житті людини рослини відіграють значущу роль. Харчові культури, наприклад рис, квасолю та капусту, людина вживає в їжу. Такі рослини, як конюшинна, тимофеївка, слугують кормом для свійських тварин. Також існують технічні та лікарські культури. Декоративні рослини вражают своєю різноманітністю.

Рис. 58. Життєвий цикл покритонасінних

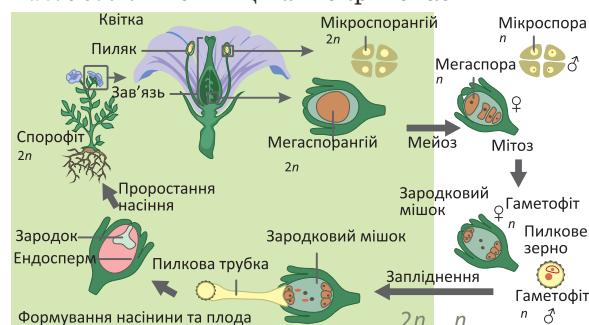


Рис. 59. Тропічні ліси – легені планети



Висловіть судження про переваги покритонасінних рослин.



#### Створіть просвітницькі проекти для учнів молодших класів:

1. «Значення покритонасінних рослин у житті людини».
2. «Рослини та утворення корисних копалин».
3. «Лікарські рослини України».
4. «Рослини Червоної книги України».
5. «Що я можу зробити для збереження рослинного світу».



1. Сформулюйте означення рослинного організму.
2. Які тканини рослинного організму вам відомі?
3. Схарактеризуйте будову покритонасінної рослини.
4. Які основні риси еволюції рослин?
5. Яка роль рослин у природі та їх значення в житті людини?

## § 13. Біорізноманіття тварин



Які тканини, органи та системи органів характерні для тваринного організму?

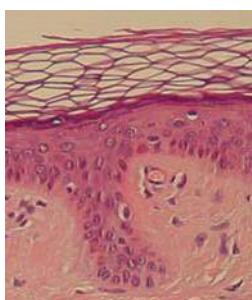
Вам уже відомо, що тварини належать до еукаріотичних організмів.



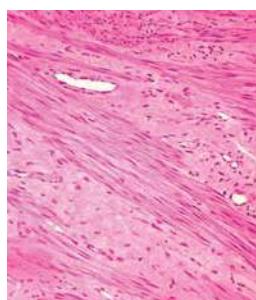
**Особливості будови та життєдіяльності тварин.** До тварин належать багатоклітинні організми, клітини яких не мають клітинної стінки. Над плазматичною мембраною розташований глікокалікс. На відміну від рослин, у клітинах тварин запасається не крохмаль, а глікоген. Тваринам властивий гетеротрофний спосіб живлення, більшість з них здатні до активного руху. Поміж тварин є організми, що не мають тканин, наприклад губки. Їхнє тіло сформоване зі стінок і порожнини, заповненої водою.

Тіла більшості тварин утворені тканинами й органами. У тваринному організмі виокремлюють чотири типи тканин (рис. 60). *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.

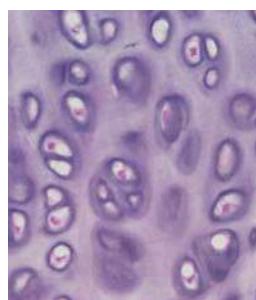
Рис. 60. Тканини тваринного організму



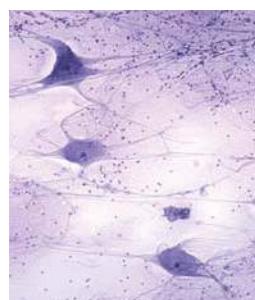
Покривна  
(епідерміс)



М'язова  
(гладенька)



Тканини  
внутрішнього  
середовища  
(хрящова)



Нервова



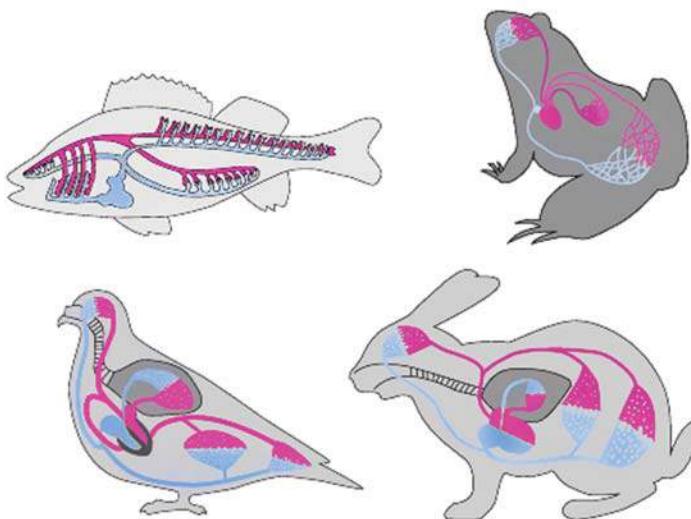
Поясніть взаємозв'язок будови та функцій тканин тваринного організму.

З тканин складаються *органи*, сукупність органів утворює *системи*. Пригадаємо функції та загальний план будови систем органів на прикладі хребетних тварин.

Тіло тварини вкриває *шкіра*. Вона захищає її від негативного впливу навколошнього 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, капіляри (рис. 61). 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*, у багатьох тварин таким органом є нирки. *Нервова й ендокринна системи* забезпечують регуляцію функцій організму. Завдяки *органам чуття* відбувається зв'язок організму з навколошнім середовищем. Хребетні є роздільностатевими тваринами. *Статева система* забезпечує розмноження.

**Еволюція тварин.** На думку багатьох учених багатоклітинні організми походять від колоніальних джгутикових, що мали гетеротрофний спосіб життя. Багатоклітинні тварини відрізняються від одноклітинних насамперед тим, що їхне тіло складається з великої кількості клітин. Проте окремі клітини багатоклітинних своєю будовою схожі на одноклітинних тварин. У ентодермі губок і кишковопорожнинних (двошарові) є джгутикові клітини, схожі

Рис. 61. Кровоносні системи хребетних тварин



Складіть порівняльну характеристику кровоносних систем хребетних тварин. Висловіть судження про фактори навколошнього середовища, які могли привести до таких еволюційних змін.

на джгутикових одноклітинних, і клітини, дуже близькі за будовою до амеб. У розвитку кожної багатоклітинної тварини завжди є одноклітинна стадія – яйце. Все це свідчить про походження багатоклітинних тварин від одноклітинних.

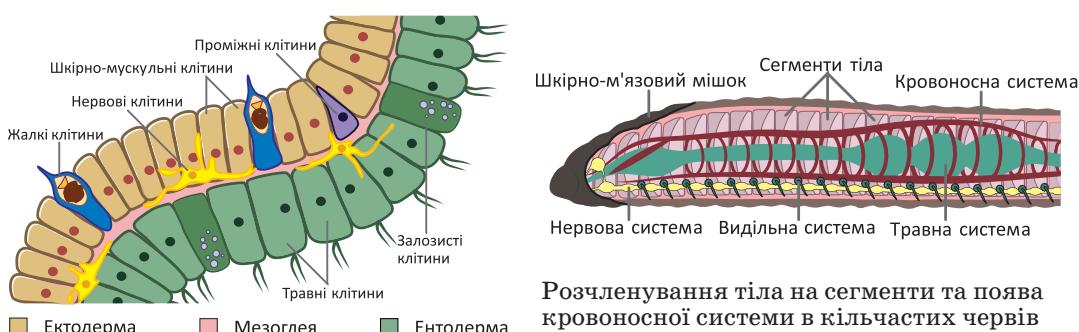
Кишковопорожнинні характеризуються променевою симетрією тіла, яка є пристосуванням до прикріплена або малорухливого способу життя. Тіло цих тварин складається з двох шарів клітин, які диференційовані за будовою та функціями (рис. 62). Надалі виникають групи тварин, у яких в ембріогенезі закладаються три зародкові шари. Першими тришаровими тваринами є плоскі черви, у яких вже формуються системи органів, а проміжки між органами заповнені паренхімою. Будова травної системи плоских червів і кишковопорожнинних подібна. Вона має вигляд мішка з єдиним отвором – ротовим. Тіло тварин має вже двобічну симетрію як пристосування до повзання.

Подальше ускладнення організації пов'язане із виникненням у круглих червів порожнини тіла. Одночасно відбулося ускладнення будови травної системи – вона стала насkrізною через виникнення анального отвору, що обумовило однонаправленість руху їжі та підвищило ефективність травлення.

Важливим етапом в еволюції тварин було розчленування тіла на сегменти та поява кровоносної системи у кільчастих червів (рис. 62). Особливості будови членистоногих – тіло поділене на відділи, у багатьох видів почленоване черевце, вказують на зв'язок цієї групи тварин із кільчастими червами. Членистоногі набувають прогресивних рис організації: хітиновий покрив тіла виконує функцію зовнішнього скелету, членисті кінцівки забезпечують складні рухи. У членистоногих та молюсків прогресивно розвивається нервова система, виникає дихальна система.

Дослідження ембріонального розвитку хордових тварин свідчить про зна-

*Рис. 62. Еволюційні зміни в будові тварин*



Гідра прісноводна – двошарова тварина

Розчленування тіла на сегменти та поява кровоносної системи в кільчастих червів



Висловіть судження про переваги багатоклітинної організації організму тварин.

чну їхню відмінність від описаних раніше груп тварин. Ці тварини мають внутрішній скелет, центральну нервову систему у вигляді трубки. Поміж давніх хордових з'явилися риби – тварини з парними плавцями, органами дихання яких є зябра. Вихід тварин на суходіл (предки сучасних амфібій) був пов'язаний із розвитком суглобових кінцівок, легеневим типом дихання і, як наслідком, виникненням другого кола кровообігу. Видозміна покривів у рептилій та виникнення яйця із зародковими оболонками дало змогу заселити посушливі ділянки суходолу. Подальші еволюційні зміни – поява крил та формування подвійного дихання, пов'язані із виникненням птахів. Панівною ж групою поміж хордових є ссавці, яким притаманний внутрішньоутробний розвиток та досконала будова нервової системи. Завдяки сталій температурі тіла ссавці й птахи можуть жити в найрізноманітніших умовах.

**Роль тварин в екосистемах та значення в житті людини.** Тварини є складовими ланцюгів живлення, і тому вони беруть участь у підтриманні динамічної рівноваги в природі. До останнього часу вважалось, що всі хижаки завдають шкоди, і їх знищували. На підставі вивчення поведінки вовків було встановлено, що вони перш за все знищують слабких і хворих тварин. Тому певний рівень чисельності хижаків необхідний для нормального функціонування екосистем. Деякі тварини, наприклад дощові черви, ґрунтові кліщі, беруть участь у ґрунтоутворенні. За участю тварин формується склад підземних і ґрунтових вод. Багато видів комах, деякі птахи, зокрема колібрі, є запилювачами рослин (рис. 63). Поміж комах і ссавців є такі, що сприяють розповсюдженню насіння. Тварини або продукти їхньої життєдіяльності є їжею для людини (рис. 64) й сировиною для промисловості. Людина продовжує одомашнювати диких тварин. У багатьох сім'ях живуть тварини – домашні улюблениці.

Рис. 63. Роль тварин в екосистемах



Колібрі – птаха-запилювач

Рис. 64. Значення тварин у житті людини



Бджола медоносна продукує мед

#### Створіть просвітницькі проекти для учнів молодших класів:

1. «Значення тварин у житті людини».
2. «Мої домашні улюблениці».
3. «Тварини Червоної книги України».
4. «Що я можу зробити для збереження тваринного світу?».



1. Сформулюйте означення тваринного організму.
2. Які тканини тваринного організму вам відомі?
3. Схарактеризуйте системи органів тварин на прикладі хребетної тварини.
4. Які основні еволюційні зміни тваринного світу?
5. Яка роль тварин у природі та значення в житті людини?

## § 14. Біорізноманіття грибів



До якої групи належать гриби?

Існує група еукаріотичних організмів, що відрізняється і від тварин, і від рослин, але в її представників є риси подібності з представниками обох груп організмів, – гриби.



**Особливості будови та життєдіяльності грибів.** У цю групу об'єднано гетеротрофні організми, поміж яких є сапротрофи та паразити. Деякі гриби утворюють мікоризу з коренями рослин, тобто є симбіонтами. У цитоплазмі немає клітинного центру. У складі клітинних стінок часто є хітин. Резервною речовиною, як і у тварин, є глікоген, а в процесі метаболізму утворюється сечовина.

Для грибів характерний необмежений ріст, що є спільною ознакою з рослинами. Справжніх тканин у грибів немає. У них може бути як статеве, так і нестатеве розмноження. Деякі гриби втратили можливість розмножуватися спорами й перейшли до вегетативного розмноження. Учені відносять до цієї групи грибоподібні організми, наприклад слизовики (рис. 65) та власне гриби (рис. 66).

**Еволюція грибів.** Учені не виключають, що гриби можуть бути найдавнішими еукаріотами. Викопні рештки цих організмів пролежали в породах понад мільйон років. Більшість учених вважає, що схожість водоростей і грибів зумовлена тим, що в них були спільні предки з групи джгутикових. Також вони припускають, що в різних груп грибів можуть бути різні предки.

Рис. 65. Слизовик



Тубіфера іржава

Рис. 66. Цвілевий гриб



Пеніциліум (мікрофотографія)

Шапинковий гриб



Сироїжка їстівна



Порівняйте слизовики та гриби, використовуючи додаткову літературу та інтернет-ресурси.

Багатоклітинні еукаріоти, у тому числі й гриби, виникли у водному середовищі й пристосувалися до життя в ньому. Вони були здатні до статевого розмноження. Надалі гриби, як рослини та тварини, почали опановувати суходіл. Імовірно, саме в цей період сформувалися перші мікоризи (симбіоз грибів і коренів рослин), оскільки гриbam були необхідні речовини, які вони самостійно синтезувати не могли. Також утворилися лишайники (симбіоз грибів і водоростей). Це дало змогу симбіонтам мешкати в таких місцях, де порізно вони ніколи б не оселилися (на бідних ґрунтах, скелях тощо).

**Роль грибів в екосистемах та значення в житті людини.** Гриби відіграють важливу роль у колообігу речовин у природі. Гриби-сапротрофи розкладають органічні сполуки ґрунту до мінеральних, які надалі засвоюються рослинами. Цвілеві гриби беруть участь у ґрунтоутворенні. Вони здатні утворювати ферменти й здійснюють процес розкладання листя та деревини. Грибниці багатьох грибів накопичують органічні сполуки, які після її руйнування перетворюються на перегній. Мікориза позитивно впливає на життєдіяльність рослин. Плодові тіла шапинкових грибів слугують кормом для багатьох ссавців (білки, олені), птахів, комах тощо. Гриби-паразити (трутовики, цвілеві гриби) можуть руйнувати дерева, знищувати врожай.

Відомо близько 100 видів юстівних грибів, що містять поживні речовини. Деякі з них (печериці, гливи) штучно вирощують. Неюстівні гриби, наприклад Поганка бліда, Гриб чортів можуть викликати смертельні отруєння (рис. 67). Під час збирання грибів необхідно бути особливо обережними, утримуватися від збору старих і невідомих грибів, бо вони можуть спричинити смертельне отруєння. Із таких цвілевих грибів, як пеніциліум, отримують антибіотики, а інші використовують для виробництва сирів. Люди, тварини та рослини можуть хворіти при ураженні цвілевими грибами.

Rис. 67. Йустівні та неюстівні шапинкові гриби



Лисичка справжня



Сироїжка юстівна



Гриб білий, або Боровик



Лисичка несправжня



Поганка бліда



Гриб чортів, або Ригач



#### Створіть просвітницькі проекти:

1. «Обережно: отруйні гриби!».
  2. «Мікози: у чому їхня небезпека?».
  3. «Відкриття антибіотиків – крок у подолання інфекційних захворювань».
1. Сформулюйте означення грибного організму.
  2. Які основні риси еволюції грибів?
  3. Яка роль грибів у природі та значення в житті людини?

## Лабораторна робота

### Визначення таксономічного положення виду в системі органічного світу (вид на вибір учителя або вчительки)

**Мета:** навчитися визначати таксономічне положення виду рослини або тварини в системі органічного світу.

**Матеріали:** зображення рослин та тварин.

#### Перебіг роботи

1. Розгляньте приклад класифікації рослин:

Відділ	Покритонасінні
Клас	Однодольні
Порядок	Лілієцвіті
Родина	Лілійні
Рід	Лілія
Вид	Лілія лісова



Визначте таксономічне положення виду, зображеного на рисунку:

Відділ \_\_\_\_\_

Клас \_\_\_\_\_

Порядок \_\_\_\_\_

Родина \_\_\_\_\_

Рід \_\_\_\_\_

Вид            Цибуля ведмежа



2. Розгляньте приклад класифікації тварин:

Тип	Хордові
Клас	Ссавці
Ряд	Хижі
Родина	Котячі
Рід	Барс
Вид	Барс сніжний



Визначте таксономічне положення виду, зображеного на рисунку:

Тип \_\_\_\_\_

Клас \_\_\_\_\_

Ряд \_\_\_\_\_

Родина \_\_\_\_\_

Рід \_\_\_\_\_

Вид            Ведмідь бурий



#### Висновок

## Проект

### Складання характеристики виду за видовими критеріями

#### Етапи реалізації проекту

1. Ознайомтеся з літературою та інтернет-ресурсами з наведеного питання.
2. Ознайомтеся з характеристиками видів-двійників Хом'як даурський та Хом'як джунгарський.
3. Складіть характеристику обраного вами виду або видів за видовими критеріями.
4. Сформулюйте висновок про значення критеріїв для встановлення виду.

Видовий критерій	Характеристика видового критерія	Приклад видів	
Морфологічний	Подібність у будові особин одного виду (особливості будови органів та їхніх систем)		
Фізіологічний	Подібність у процесах життєдіяльності організмів одного виду	У природі живуть близько двох років	У природі живуть близько одного року
Генетичний	Відмінність видів за каріотипом (кількістю і формою хромосом)	20 хромосом	22 хромосоми
Географічний	Популяції одного виду займають певну частину біосфери (ареал)	Західний та Східний Сибір, Монголія	Західний Сибір, Середня та Центральна Азія
Екологічний	Особини одного виду живуть у подібних екологічних умовах і займають власну екологічну нішу в екосистемі	Живуть у лісі, степу, лісостепу, біля водоймищ  Споживають овес, кукурудзу, пшеницю, комах	Живуть у степу, напівпустелі  Споживають овес, кукурудзу, пшеницю, комах

## Індивідуальні завдання

### Відкриття нових видів в Індокитаї

Прочитайте інформацію, наведену у фрагменті статті.

«Різноманітні ландшафти Індокитаю – від гірських лісів до болотистих низин. Кожного року зоологи та ботаніки відкривають тут нові для науки види тварин і рослин. Лише у 2008 році тут було описано 63 невідомих наукі видів хребетних тварин – 28 видів риб, 18 видів рептилій, 14 видів амфібій, 2 види ссавців та 1 вид птахів, а також 100 видів вищих рослин». (Greater Mekong — New species discoveries 2008. WWF 2008).



Національний парк Кат Тен,  
Південний В'єтнам

**Завдання 1.** Яке з висловлювань підтверджується інформацією, наведеною у фрагменті статті.

- A пристосованих до життя у водному середовищі видів тварин відкрито менше в порівнянні з кількістю видів, які пристосовані до життя на суходолі
- Б видів тварин, що є теплокровними, відкрито менше в порівнянні з кількістю відкритих видів холоднокровних тварин
- В на території Індокитаю не трапляються види безхребетних тварин
- Г на території Індокитаю не трапляються види нижчих рослин

**Завдання 2.** Учень та учениця аналізували графік «Відкриття нових видів з 1750 року». Учень зазначив, що в період з 1750 року було описано більше 1 млн нових видів. Учениця висловила судження про підвищення темпів відкриття нових видів в останні 100 років. Хто має рацію?

- A лише учень
- Б лише учениця
- В обоє мають рацію
- Г обоє помилляються



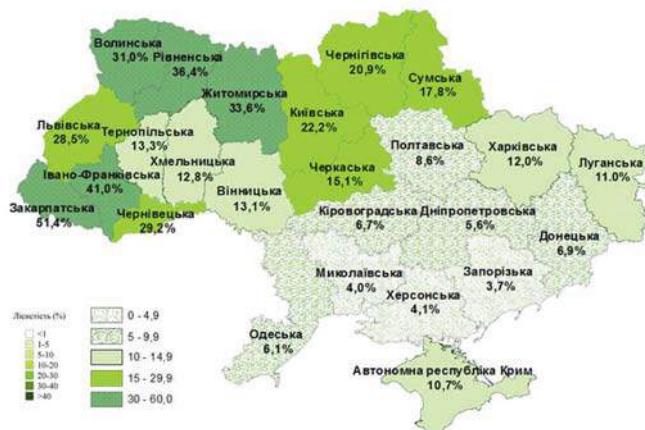
**Завдання 3.** Уявіть, що ви – дослідник або дослідниця в галузі зоології. Які території ви оберете для наукових досліджень, аби відкрити й описати якомога більше нових видів? Відповідь обґрунтуйте.

# Індивідуальні завдання

## Ліси України

Ознайомтеся з інформацією.

«Ліси України забезпечують потреби суспільства в лісових ресурсах, але розташовані на території дуже нерівномірно (див. карту). Сформовані понад 30 видами деревних порід, поміж яких домінують сосна, дуб, бук, ялина, береза, вільха, ясен, граб, ялиця. Високий відсоток заповідних лісів (16,1%), який має стійку тенденцію до зростання».

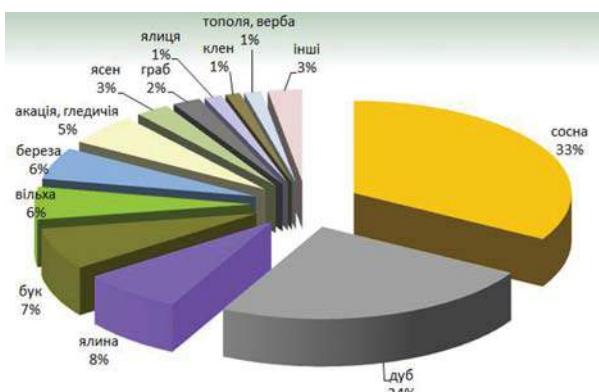


Лісистість областей України (2011 рік)

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеної інформації?

- А південна частина території України заліснена більше в порівнянні з північною
- Б максимальний ступінь лісистості території областей є вищим за 70 %
- В в Українських Карпатах ліси ростуть більш ніж на 25 % території
- Г переважна частина території України заліснена менше за 5 %

**Завдання 2.** Учень та учениця аналізували діаграму «Розподіл площи лісів України за переважаючими деревними видами». Учень зазначив, що близько 42% площи лісів займають хвойні рослини. Учениця висловила судження, що більше 50 % площи лісів займають покритонасінні рослини. Хто має рацію?



- А лише учень
- Б лише учениця
- В обое мають рацію
- Г обое помиляються

**Завдання 3.** Які причини, на Вашу думку, високого відсотка заповідних лісів в Україні?

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень.

### Вступ. Біорізноманіття

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

1. Ці форми життя не мають клітинної організації, є білком і здатні викликати інфекційні захворювання людини та тварин. Укажіть їх.

- А віруси
- Б віроїди
- В віріони
- Г пріони

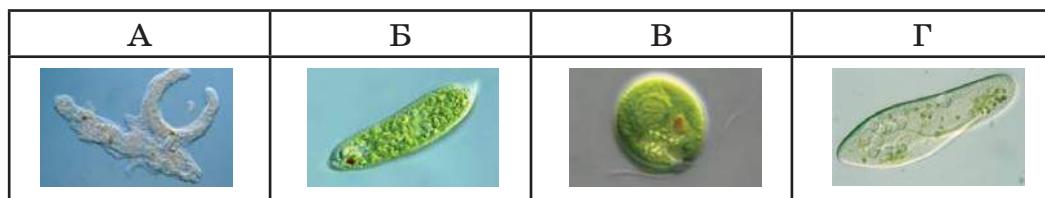
2. Укажіть захворювання людини, яке спричиняють віруси.

- А губчаста енцефалопатія
- Б ендемічний зоб
- В туберкульоз
- Г поліоміеліт

3. Укажіть прокаріотичний організм.

- А інфузорія-туфелька
- Б хламідомонада
- В ціанобактерія
- Г амеба протей

4. Укажіть поміж зображених гетеротрофний організм, який пересувається за допомогою війок.



5. Автотрофні організми, у клітинах яких відбувається фотосинтез, – це

- А залізобактерії
- Б бактерії бродіння
- В пурпурові бактерії
- Г нітрифікувальні бактерії

6. Можливим способом попередження пріонного захворювання може бути

- А профілактичне щеплення
- Б використання антибіотиків
- В введення лікувальної сироватки
- Г не вживання в їжу зараженого м'яса

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

7. Проаналізуйте твердження щодо вірусів.

- I. Плазматична мембрана вірусів складається з ліпідів та білків.
  - II. Існують віруси, у яких носієм спадкової інформації є молекула РНК.
- Чи є поміж них правильні?

- A** правильне лише I  
**B** правильне лише II  
**C** обидва правильні  
**D** немає правильних

**8.** Учень та учениця обговорювали значення прокаріотів у житті людини. Учень висловив думку, що поміж прокаріотів багато хвороботворних. Учениця зauważила, що вчені навчилися використовувати бактерії для отримання антибіотиків, гормонів, ферментів. Хто має рацію?

- A** лише учень  
**B** лише учениця  
**C** обоє мають рацію  
**D** обоє помиляються

**9.** Під час лабораторної роботи учні та учениці спостерігали за рухом хламідомона-ди в напрямку до джерела світла. Така поведінка є виявом

- A** рефлексу  
**B** інстинкту  
**C** позитивного таксису  
**D** негативного таксису

**Тестові завдання з коротким описом (1,5 бала)**

**10.** Прочитайте опис: «Це одноклітинні або колоніальні організми, які не мають мембраних органел. Поміж них є як автотрофні, так і гетеротрофні організми». Продовжте опис за наведеними ознаками.

Клітина містить	Паразитичні види є причиною виникнення в людини	Унаслідок життєдіяльності певних видів утворилися поклади
1 ядро	1 туберкульозу та холери	1 торфу
2 рибосоми	2 грипу та герпесу	2 залізної руди
3 клітинну стінку з целюлози	3 цинги та рапахіту	3 кам'яного вугілля

**11.** Укажіть правильні твердження щодо зображеного організму.

До складу клітинної стінки входить	За способом живлення є	В екосистемах належить до функціональної групи
1 муреїн	1 фототрофом	1 продуцентів
2 целюлоза	2 хемотрофом	2 консументів
3 крохмаль	3 міксотрофом	3 редуцентів



**Виконайте завдання в письмовій формі (3 бали)**

Доведіть, що одноклітинний організм є біологічною системою.

Поясніть значення біологічних досліджень для розв'язання проблем людства.



*Тема 2*

## ОБМІН РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ



## З історії відкриттів

Людство поступово розкриває таємниці життєдіяльності клітини, процесів пепетворення в ній речовин, енергетичного забезпечення процесів обміну речовин.

Уперше синтезував з неорганічної речовини органічну сполуку німецький хімік, лікар *Фрідріх Велер* (1800–1882). Після робіт Велера з часом почали з'ясовуватися механізми таких процесів, як дихання, бродіння, ферментація, фотосинтез. Вивчення хімічного складу та 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) 1833 р. *Ансельмом Паеном*. Труднощі, пов'язані з виділенням ферментів із тканин і клітин, наводили на думку про неможливість вивчення клітинних ферментів поза живими істотами. Проте 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 1882 р., проте широко використовувати його почали після робіт німецького хіміка *Карла Нойберга* 1903 р. Відтоді біохімія швидко розвивалася, особливо починаючи з середини ХХ ст., перш за все завдяки розробці нових методів (хроматографія, рентгеноструктурний аналіз, метод міченіх атомів тощо).

Наукові праці *Климента Тімірязєва* присвячено вивченю 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 або медицини 1922 р.).

За свої дослідження в галузі біохімії отримали Нобелівську премію з фізіології або 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 темнової 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.)



Климент Аркадійович Тімірязєв  
(1843–1920)



Ханс Адольф Кребс  
(1900–1981)

## § 15. Обмін речовин та енергії – основа функціонування біологічних систем



Дайте означення поняття обмін речовин.

Що таке пластичний та енергетичний обмін?

Біологічні системи – це відкриті системи, тобто вони перебувають у стані постійного обміну речовин і енергії з навколошнім середовищем. Для забезпечення власних енергетичних потреб організми використовують енергію, що надходить з навколошнього середовища. Вони акумулюють енергію у формі хімічних зв'язків органічних молекул, отже, перетворення енергії взаємопов'язане з обміном речовин. Для біологічних систем обмін з навколошнім середовищем є умовою збереження й підтримки їхньої структурної організації шляхом самооновлення всіх речовин і компонентів, з яких вони складаються. Є відкриті системи і в неживій природі, але їх існування якісно відрізняється від існування живих систем (рис. 68).

**Обмін речовин та перетворення енергії.** Біологічні системи потребують надходження речовин з навколошнього середовища та їх перетворення.



❗ Сукупність усіх хімічних перетворень речовин в організмі з моменту надходження їх з навколошнього середовища до моменту виведення продуктів розпаду називають **обміном речовин**, або **метаболізмом**.

В організмі одночасно відбувається перебіг процесів двох типів. З навколошнього середовища надходять певні речовини, поглинається енергія, необхідна для утворення хімічних зв'язків, і відбуваються реакції синтезу складних речовин із простих, що забезпечують поновлення їхнього хімічного складу – *асиміляція* (від латинського слова *assimulo* – роблю подібним).

Рис. 68. Приклади відкритих систем

Амеба протей. Живлення



Самородна сірка. Горіння



Опишіть процес живлення амеби протей.

Поясніть значення живлення для підтримання гомеостазу зображеного організму.



**Ознайомтеся з прикладом відкритої системи:**

«Палаючий шматок самородної сірки перебуває в стані обміну з навколошнім середовищем: горіння відбувається за участі  $O_2$ ; унаслідок процесу виділяється  $SO_2$  та енергія у вигляді тепла.»



Дайте відповідь на запитання:

«Чи зберігає шматок сірки свою первинну структуру?»

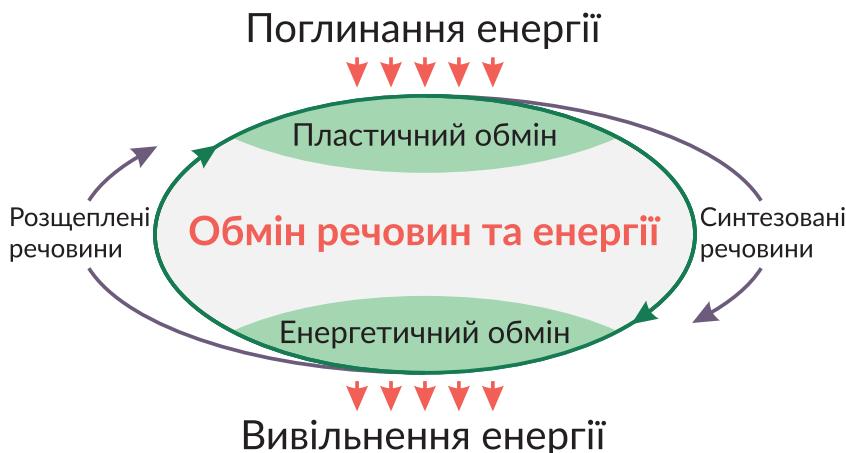
**!** **Асиміляція**, або пластичний обмін, – сукупність реакцій синтезу високомолекулярних органічних речовин, що супроводжуються поглинанням енергії.

Водночас у біологічній системі відбувається протилежний процес – розщеплення складних речовин на простіші з вивільненням енергії – **дисиміляція** (від латинського слова *dissimulo* – роблю неподібним). Енергія, яка вивільняється, може накопичуватися в синтезованих молекулах АТФ, перетворюватися на теплову енергію тощо.

**!** **Дисиміляція**, або енергетичний обмін, – сукупність реакцій розщеплення й окиснення органічних речовин, що супроводжуються вивільненням енергії.

**Взаємозв'язок асиміляції та дисиміляції.** Асиміляція та дисиміляція є протилежними складовими процесу обміну речовин і перетворення енергії. Однак вони нерозривно пов'язані між собою, що зумовлено значним запасом потенційної енергії саме в органічних молекулах. Реакції біосинтезу потребують поглинання енергії, що вивільняється в результаті реакцій енергетично-го обміну. Для перебігу реакцій енергетичного обміну необхідний постійний біосинтез органічних речовин, які надалі будуть розщеплюватися. У процесі енергетичного обміну молекули АТФ утворюються, а в процесі пластичного обміну вони витрачаються, розщеплюються з виділенням енергії (рис. 69). Взаємозв'язок асиміляції і дисиміляції доводять дослідження, які показали, що під час розмноження організму значно переважають реакції розщеплення. Це зумовлено різким збільшенням витрат енергії на процеси подальшого росту та розвитку. У будь-якому організмі реакції обміну речовин і перетворення енергії тісно взаємозв'язані між собою, що становить основу життедіяльності та забезпечує цілісність організму.

Рис. 69. Єдність процесів синтезу та розщеплення речовин



Поясніть взаємозв'язок асиміляції та дисиміляції у функціонуванні різних біологічних систем.



1. Дайте означення поняття *обмін речовин*.
2. Чим відрізняється біологічна система від відкритої неживої системи?
3. Порівняйте асиміляцію та дисиміляцію.
4. Поясніть єдність процесів синтезу та розщеплення речовин в організмі.

## § 16. Особливості обміну речовин та перетворення енергії в автотрофних і гетеротрофних організмів



### Що таке автотрофні та гетеротрофні організми?

Єдність та узгодженість процесів пластичного й енергетичного обмінів забезпечують функціонування організмів як цілісних біологічних систем, здатних до саморегуляції й самооновлення. Для забезпечення власних енергетичних потреб організми використовують енергію, що надходить з навколошнього середовища, акумулюючи її у формі хімічних зв'язків органічних молекул.



**Автотрофне та гетеротрофне живлення.** Організми, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають **автотрофами** (від грец. *autos* – сам і *trophe* – їжа, живлення). Одні з них використовують для цих процесів енергію світла – зелені рослини й деякі прокаріоти (ціанобактерії, зелені та пурпурові бактерії). Пригадайте, що процес утворення органічних речовин з неорганічних за участю світла називається **фотосинтезом**, а організми, які в такий спосіб акумулюють енергію, – **фототрофами**, або **фотосинтетиками**. Про особливості фотосинтезу бактерій ми розповідали в § 9. Іншим потенційним джерелом є енергія екзотермічних реакцій. Процес утворення органічних сполук з неорганічних за рахунок енергії хімічних реакцій називається **хемосинтезом**. Організми, здатні застосовувати енергію хімічних реакцій, називають **хемотрофами**, або **хемосинтетиками**. Таких організмів багато поміж бактерій та архей: залізобактерії, сірководневі, пурпурові бактерії тощо (рис. 70).

Рис. 70. Автотрофні організми в зоні штормових викидів Білого моря



Поміж бурих водоростей, що гниють на узбережжі, на вологому солоному піску, насиченому сірководнем, вирізняються плями різного кольору. Це скупчення прокаріотів: ціанобактерії – зелені, пурпурні бактерії – рожеві, а сірковактерії – білі плями.



Складіть розповідь про особливості обміну речовин та енергії організмів, про які йдеється в описі. Використовуйте для цього підручник (§ 8, 9, 16) та інтернет-джерела.

Перелічимо кілька реакцій, що відбуваються за участі бактерій, у яких віддається достатня для синтезу органічних сполук кількість енергії. Залізобактерії окиснюють сполуки Феруму(ІІ) до сполук Феруму(ІІІ), сіркобактерії окиснюють Сульфур сірководню до молекулярної сірки. Тіонові бактерії також перетворюють сполуки Сульфуру, окиснюючи молекулярну сірку, сульфіти або сульфіди до сульфатів.

Водневі бактерії окиснюють молекулярний водень до води. Нітрифікуванальні бактерії здатні окиснювати амоніак, що утворюється під час гниння органічних речовин, до нітратів та нітратів. Отже, спектр перетворюваних хімічних речовин є досить широким. Проте енергія, що виділяється в описаних 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.



Організми ж, які використовують енергію готових органічних речовин, називають *гетеротрофами* (від грец. *heteros* – інший і *trophe* – їжа, живлення). До цієї групи належать гриби, більшість тварин і бактерій. Для них джерелом енергії є синтезовані іншими організмами органічні сполуки, які вони отримують з їжею (живі організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності).

С організми, яким властивий змішаний тип живлення – *міксотрофи*. Міксотрофам притаманне автотрофне живлення (речовинами, що утворюються внаслідок фотосинтезу або хемосинтезу) та гетеротрофне (органічними сполуками, що надходять з навколошнього середовища). До міксотрофів відносять деякі залізобактерії, сіркобактерії, одноклітинні еукаріотичні організми, рослини-напівпаразити, комахоїдні рослини тощо (рис. 71).

Рис. 71. Приклади гетеротрофних і міксотрофних організмів



Бабка



Венерина муholovка



Хамелеон



Розпізнайте гетеротрофний і міксотрофний організм. Поясніть своє рішення.

**Різноманітність гетеротрофних організмів.** Гетеротрофні організми різняться за об'єктами живлення, які є джерелом органічних речовин. Об'єктами живлення для одних тварин можуть бути інші тваринні організми, на яких вони полюють. Тип живлення, за якого один організм (хижак) живиться іншим (або іншими) організмом (жертвою), називають **хижакством**. У процесі спільної еволюції хижаки і жертви пристосовуються один до одного: у хижаків з'являються і розвиваються засоби виявлення й атаки, а в жертв — засоби маскування і захисту (рис. 72).

Хижакство не треба плутати з типом живлення, за якого об'єктом живлення тварини є рослинний організм, — **фітофагією**. Поміж безхребетних до фітофагів належать губки, більшість червів і комах. Хребетні фітофаги частково використовують тваринну їжу, оскільки їм необхідні певні незамінні амінокислоти тваринного походження, наприклад, північні олені іноді споживають у їжу лемінгів тощо.

За такого типу живлення в рослин виникають певні захисні пристосування. Найефективнішим «винаходом» для захисту є утворення найбільш поширених у світі рослин полімерних сполук — целюлози та лігніну. Обидві речовини дуже стійкі, міцні й для їх побудови не потрібно будь-яких «дефіцитних» хімічних елементів. У деяких безхребетних є ферменти, які розщеплюють ці речовини (наприклад, целюлаза), але в хребетних тварин вони відсутні, і її засвоєння здійснюється переважно за допомогою симбіотичних одноклітинних організмів. Найвідоміші приклади взаємовигідного співіснування тварин і мікроорганізмів — різні жуйні тварини (рис. 73). Організми, які живляться соками або виділеннями інших організмів і виконують при цьому життєво важливі трофічні функції, називають **симбіотрофами**. Таких організмів багато поміж мікроорганізмів.

Рис. 72. Приклади хижакства: полювання зтраї вовків (а) і крокодилів (б)



а



б

Рис. 73. Вівці



В 1 см<sup>3</sup> об'єму шлунка вівці налічується до 16 млн бактерій, 1 млн джгутикових найпростіших і 330 тис. інфузорій.



Проаналізуйте способи полювання хижаків і дайте відповіді на запитання.

- Яка стратегія полювання притаманна зображенім тваринам?
- Які особливості будови є пристосуваннями для такої стратегії?

У природі також натрапляємо на випадки співіснування організмів, за яких один з організмів (паразит) певний час використовує іншого (хазяїна) як джерело живлення та середовище існування. Такий тип живлення називають **паразитизмом**. Паразити є поміж бактерій, одноклітинних еукаріотів (див. § 11), тварин (плоскі, круглі та кільчасті черви, членистоногі, молюски), грибів (борошнисто-росяні, трутовики, ріжки, сажки) і навіть квіткових рослин (рис. 74).

Відмінність паразитизму від хижакства та інших форм взаємодії організмів полягає в тому, що фізіологія паразита підпорядкована фізіології хазяїна, його життєвий цикл неможливий без отримання від хазяїна необхідних для нього ресурсів.

**Сапрофагія** – тип живлення органічними речовинами тіл мертвих організмів або продуктів їхньої життєдіяльності. Такі органічні речовини часто називають детритом, а організми, для яких він є об'єктом живлення, – **детритофагами**. Відомо багато трупoidних хребетних тварин – гієни, грифи, стерв'ятники, ворони, деякі риби. У такий же спосіб можуть харчуватися і великі безхребетні. Наприклад, жук-мертвоїд здатен удвох із самкою закопувати трупи мишей на глибину до 20 см і там годувати ними своїх личинок. Найбільше різноманітних детритофагів мешкає в ґрунті, завдяки чому з органічних речовин, що розкладаються, формується гумус (рис. 75). Значна частина детриту гніє та розкладається в процесі живлення грибів і бактерій. Ці організми об'єднують в особливу групу редуцентів, які завершують розкладання органічних речовин, повертаючи до екосистеми Карбон у вигляді неорганічних сполук, воду і мінеральні солі. Енергія, що надходить до організму з навколошнього середовища, може запасатися в хімічних зв'язках синтезованих сполук або ж витрачатися на різноманітні процеси функціонування.

Рис. 74. Повитиця – паразитична рослина



На земній кулі нараховують 274 види повитиць, в Україні – 14. Паразитують на 630 видах рослин, нерідко викликаючи їх повну загибель. Рослини не мають коренів і справжніх листків, стебла тонкі, жовто-коричневі або зелено-жовті, що прикріплюються до інших рослин за допомогою присосків. Квітки рожеві або білуваті, зібрани в суцвіття, плід – коробочка.

Рис. 75. Дощовий черв'як – детритофаг



Усього відомо близько 1500 видів дощових черв'яків, більшість яких мешкає в тропіках. Вагомий внесок у вивчення біології та значення дощових черв'яків для лісових ґрунтів зробив український вчений Андрій Зражевський.



1. Дайте означення понять *автотрофи*, *гетеротрофи*, *фототрофи*, *хемотрофи*.
2. Порівняйте фототрофи і хемотрофи.
3. Наведіть приклади гетеротрофних організмів з різними типами живлення.
4. Схарактеризуйте типи живлення гетеротрофних організмів.
5. Які особливості будови клітин зумовлюють у більшості рослин автотрофне живлення, а у тварин – гетеротрофне?

## § 17. Вуглеводи та ліпіди



Який вуглевод утворюється внаслідок фотосинтезу?

Які вуглеводи запасаються в клітинах рослин, тварин і грибів?

Зміст цього розділу охоплює питання обміну речовин і перетворення енергії, тому необхідно згадати особливості будови, властивості та біологічну роль органічних сполук. Розпочнемо з вуглеводів і ліпідів.

**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 (блізько 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).

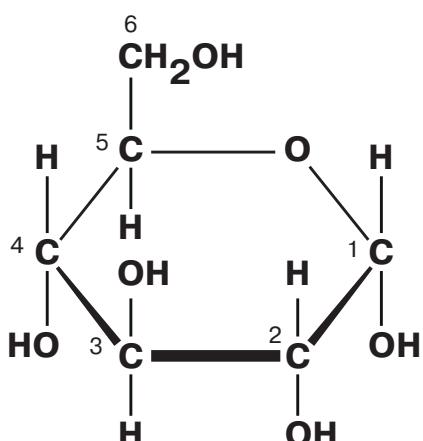


**Вуглеводи** – це органічні сполуки, у яких співвідношення атомів Карбону, Гідрогену, Оксигену здебільшого відповідає формулі  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , де  $n = 3$  й більше.

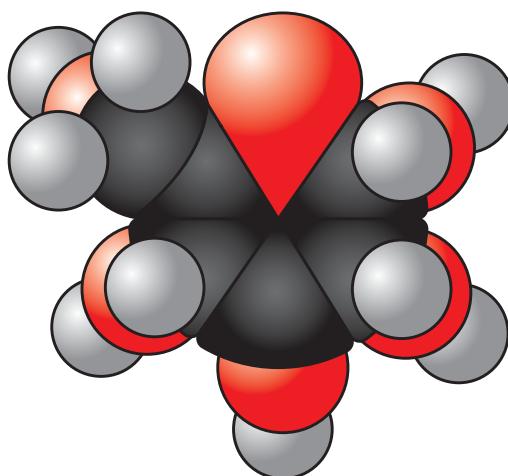
Проте є вуглеводи, у яких це співвідношення дещо інше, а деякі містять також атоми Нітрогену, Фосфору чи Сульфуру. До вуглеводів належать моносахариди, олігосахариди й полісахариди.

**Моносахариди** – вуглеводи, які не розщеплюються на простіші вуглеводи, добре розчинні у воді, мають солодкий смак. Розглянемо будову молекули моносахаридів на прикладі глюкози. Її молекулярна формула  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (рис. 76).

Рис. 76. Будова молекули глюкози: а – структурна формула; б – масштабна модель



а



б



Поясніть значення глюкози у функціонуванні організму людини.

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 –OH- груп. За таких умов утворюється хімічний зв'язок між двома залишками моносахаридів через атом Оксигену (–O–).

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 (рис. 77). 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) (рис. 78).

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 з виділенням енергії може відбуватися й за його відсутності.

Рис. 77. Схема утворення дисахариду на прикладі сахарози

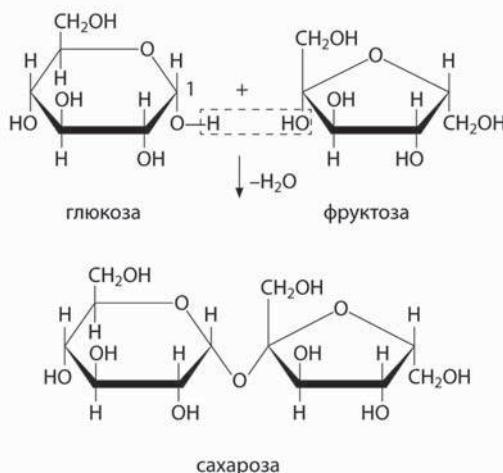
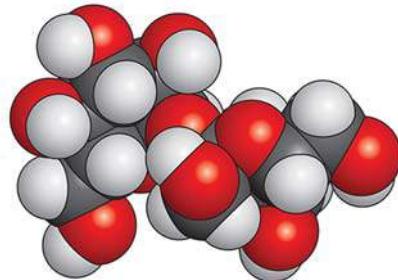


Рис. 78. Будова молекули сахарози. Масштабна модель



Згадайте, як людина використовує сахарозу.

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

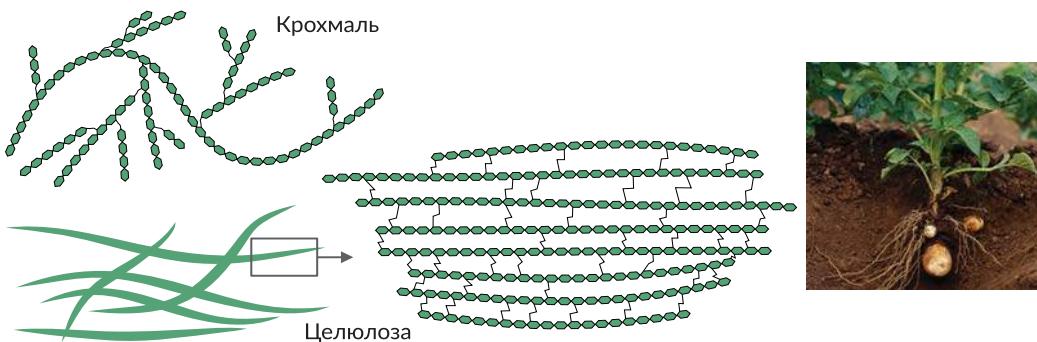
Полісахариди можуть накопичуватися в клітинах, тобто виконувати *резерву* функцію. У клітинах тварин і грибів накопичується глікоген, у клітинах рослин – крохмаль. *Будівельна (структурна)* функція вуглеводів полягає в тому, що полісахариди входять до складу певних структур. Так, хітин формує зовнішній 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 та слизових оболонок.

Ланцюги полісахаридів можуть лінійно розташовуватися в просторі або ж розгалужуватися, що пов’язано з їхніми функціями. Ланцюги полісахаридів, які входять до складу клітинних стінок, з’єднуються численними зв’язками між собою, що забезпечує міцність і 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. 79).

**Будова, властивості та біологічна роль ліпідів.** До складу кожної клітини організму входять ліпіди.

!  
Ліпіди – це похідні жирних кислот і багатоатомних спиртів або альдегідів, які погано розчиняються у воді. Жирними кислотами є органічні кислоти з ланцюгом від чотирьох атомів Карбону, зазвичай нерозгалуженим. Деякі ліпіди мають дещо іншу будову.

Rис. 79. Будова полісахаридів



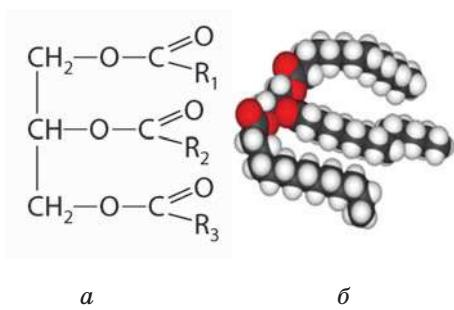
Проаналізуйте особливості будови крохмалю та целюлози.

Який з полісахаридів забезпечує структурну функцію, а який є резервною речовиною?

Поясніть значення цих полісахаридів у життєдіяльності зображеного організму.

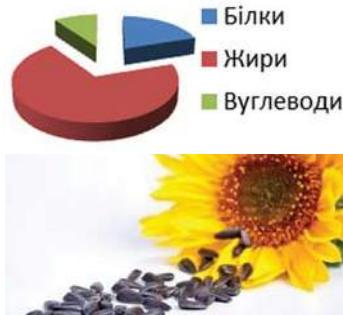
Ліпіди гідрофобні, але добре розчиняються в неполярних розчинниках: бензені, хлороформі, ацетоні. Велику групу ліпідів становлять жири. **Жири** – естери трьохатомного спирту гліцеролу й трьох залишків нерозгалужених жирних кислот (рис. 80). Одна з найважливіших функцій жирів – **енергетична**. У разі 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 вкліочень – у клітинах жирової тканини, насіння соняшника тощо (рис. 81). Запаси жирів можуть використовуватись організмами як джерело енергії та як метаболічне джерело води (за окиснення 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 їхньою низькою тепlopровідністю. 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 покриває листки та плоди наземних рослин, поверхню хітинового скелета багатьох членистоногих, запобігаючи надлишковому випаровуванню води з поверхні тіла. Окрему групу ліпідів утворюють **стероїди**. Найважливішим стероїдом організму тварин є холестерол – складова клітинних мембрани, а також попередник для синтезу вітаміну D, гормонів надніиркових і статевих залоз, які забезпечують **регуляторну** функцію. Поміж 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), фосфоліпіди (містять залишки ортофосфатної кислоти). Фосфоліпіди є основою біологічних мембрани і виконують **будівельну** функцію.

Рис. 80. Будова молекули жиру



*a* – структурна формула  
*b* – масштабна модель

Рис. 81. Органічні речовини в насінні соняшника



Велика кількість ненасичених жирних кислот, що є важливим компонентом їжі людини, міститься в рослинних оліях – соняшниковій, оливковій, конопляній.



Проаналізуйте діаграму. Укажіть співвідношення органічних речовин у насінні соняшника.

1. Дайте означення понять **вуглеводи** й **ліпіди**.
2. Наведіть приклади вуглеводів.
3. Які речовини належать до ліпідів?
4. Схарактеризуйте біологічну роль вуглеводів і ліпідів.
5. Обґрунтуйте взаємозв'язок властивостей жирів та їхніх функцій.
6. На прикладі будови полісахаридів поясніть взаємозалежність будови та функції.
7. Порівняйте енергетичне та пластичне значення вуглеводів і ліпідів.

## § 18. Білки, їхня біологічна роль



Які сполуки є мономерами білків?

Чому білки є необхідним компонентом харчування людини?

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

Поміж 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 % .

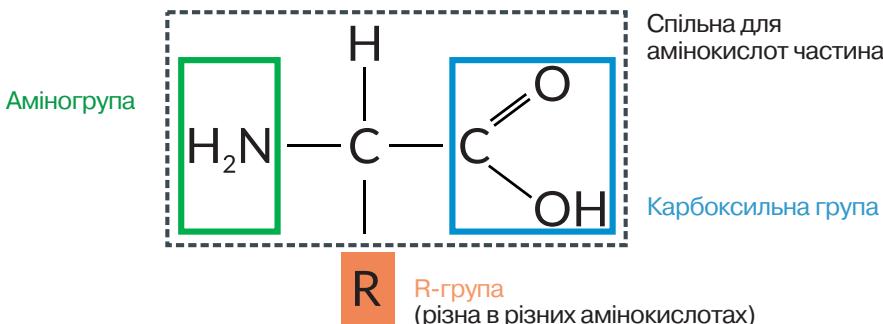


**! Білки** – високомолекулярні нітрогеновмісні біополімери, мономерами яких є амінокислоти.

**Будова та властивості амінокислот.** Амінокислоти – це органічні речовини, молекули яких містять аміногрупу ( $-NH_2$ ), що виявляє основні властивості, та карбоксильну групу ( $-COOH$ ) з кислотними властивостями. Ці групи сполучені з тим самим атомом Карбону. Ковалентними зв'язками цей атом Карбону сполучений із двома атомами Гідрогену в амінокислоті, яка називається гліцином. У молекулах інших амінокислот один з атомів Гідрогену заміщений на певну групу атомів. Її називають замісником і позначають  $-R$ . Саме цією групою атомів амінокислоти відрізняються одна від одної. Структурну формулу амінокислоти зображено на рисунку (рис. 82 ).

Нині відомо понад 100 амінокислот, але лише 20 з них входять до складу білків. Різні комбінації цих 20 амінокислот забезпечують величезну різноманітність білкових молекул.

Рис. 82. Будова молекули амінокислоти



Амінокислоти, які не синтезуються в організмі людини, наприклад валін, метіонін, лейцин, лізин і деякі інші, називають незамінними. Вони повинні постійно надходити в організм у складі білків їжі. Відсутність хоча б однієї з цих амінокислот призводить до порушення синтезу білків. Замінні амінокислоти, наприклад гліцин, серин, можуть синтезуватися в організмі людини з інших амінокислот, що надходять з їжею.



Підготуйте повідомлення про харчові продукти, які містять замінні та незамінні амінокислоти.

Оскільки в амінокислотах кислотні й основні властивості виявляють різні групи атомів, то їхні молекули можуть реагувати одна з одною з утворенням міцного ковалентного зв'язку, який називається пептидним. Відтак у речовині, що утворилася, з одного боку залишається аміногрупа, а з іншого – карбоксильна, які здатні реагувати з іншими амінокислотами (рис. 83). 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.

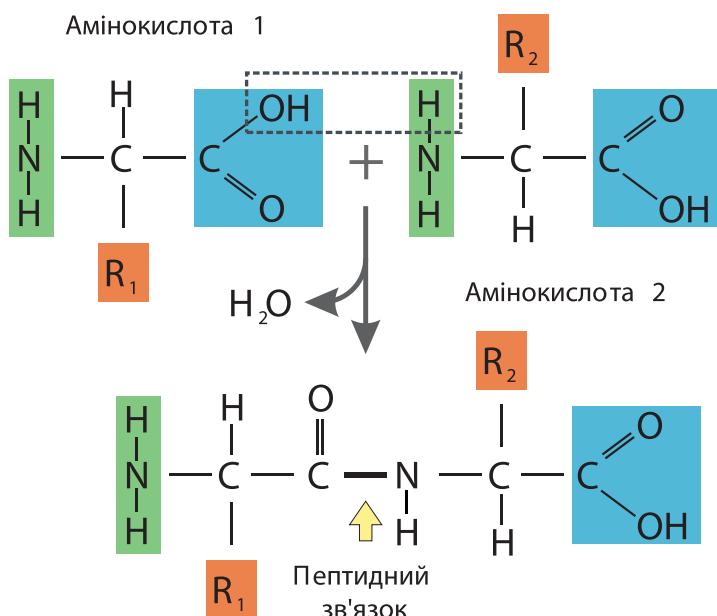
**Рівні структурної організації білкових молекул.** Різноманітність будови білкових молекул зумовлена складністю розташування їх у просторі. Виділяють кілька рівнів структурної організації білкових молекул.

Кожен білок утворений лінійним ланцюжком з великою 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 об'єднання кількох третинних

Рис. 83. Схема утворення пептидного зв'язку



## Право на поширення електронної версії мають МОН України та ІМЗО

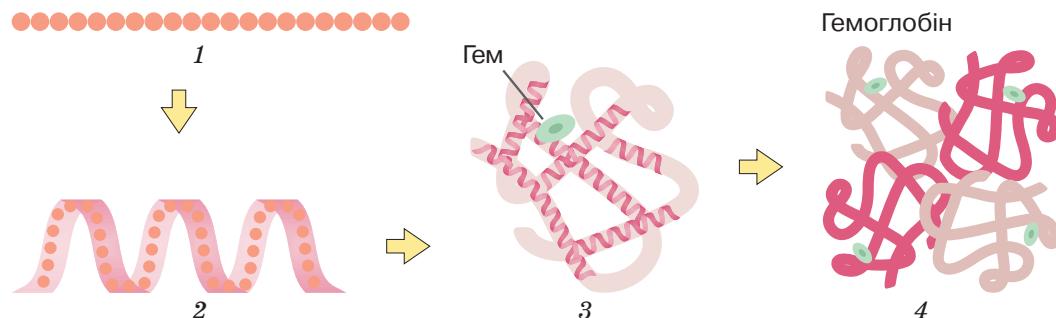
структур в одну функціональну білкову молекулу формує її **четвертинну структуру**, яка, на відміну від первинної, вторинної та третинної, характерна не для всіх білків.

Процес укладання поліпептидних ланцюгів у вторинну, третинну та четвертинну структури є достатньо складним і контролюється спеціальними білками (рис. 84). 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**.

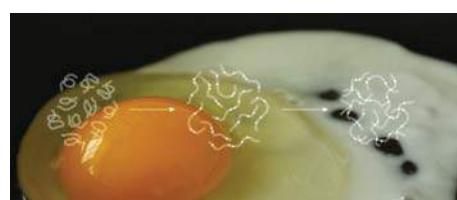
За певних умов (висока температура, дія кислот, лугів або іонів важких металів, іонізуючого випромінювання тощо) білкові молекули втрачають рівні організації: четвертинні структури розпадаються на окремі субодиниці, третинні структури розгортаються до рівня спіралей або складок, а ті, своєю чергою, випрямляються до поліпептидних ланцюжків. Такий процес утрати білковими молекулами природної структури називається **денатурацією** (рис. 85). 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 іоном Феруму(ІІ) всередині. Ця частина молекули безпосередньо зв'язує кисень, проте характер цього зв'язування визначається саме білковою частиною. В еукаріотів більшість мембраних білків і велика кількість інших зв'язані з вуглеводами. Такі комплексні молекули називаються **глікопротеїнами**.

*Rис. 84. Рівні структурної організації білкової молекули на прикладі гемоглобіну:*  
1 – первинний; 2 – вторинний; 3 – третинний; 4 – четвертинний



*Rис. 85. Процес денатурації білків альбумінів курячого яйця внаслідок дії високих температур*



Денатуровані молекули гірше розчиняються у воді, але при вживанні їх у іжу легше засвоюється.

**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 (динеїн і кінезин є молекуллярними двигунами, що переміщують усередині клітин деякі органели), так і на рівні всього організму (актин і міозин забезпечують м'язове скорочення). **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 їхні 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 – ендодорфіни) мають білкову (пептидну) природу. **Транспортні** білки здатні зв'язувати певні речовини та переносити їх: білок еритроцитів гемоглобін потрібен для транспортування кров'ю кисню, мембрани білки-переносники забезпечують проникнення в клітину важливих складових (глюкози, іонів) (рис. 86). **Захисна** функція білків полягає у зв'язуванні шкідливих речовин, зокрема токсинів, що виробляються хвороботворними організмами, і згубному впливі на віруси. До таких білків належать антитіла та інтерферони. Білок плазми крові фібрин бере участь у зсаданні крові. Отже, існування біологічних систем значною мірою залежить від функціонування білків (рис. 87).

Рис. 86. Транспортний білок плазматичної мембрани

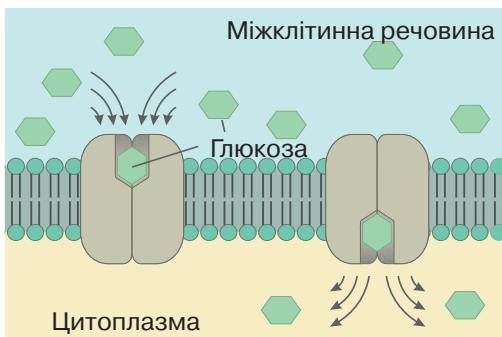


Рис. 87. Життєдіяльність організму залежить від функціонування білків



Проаналізуйте схему. Як на схемі позначено транспортний білок? Яка речовина транспортується за його допомогою?



Складіть розповідь про функції білків в організмі, використовуючи рисунок.



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.

## § 19. Ферменти та їхня біологічна роль



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 із 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 якщо вони відбувалися б у неживій природі за нормальних умов. Такі особливості функціонування живого забезпечують спеціалізовані білки або молекули РНК, які називаються ферментами (ензимами).



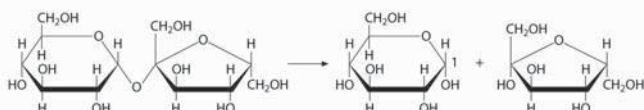
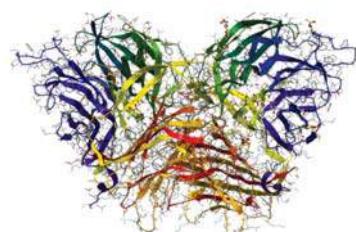
**Функціонування ферментів.** *Ферменти* є біологічними каталізаторами – речовинами, які значно прискорюють швидкість реакцій, не витрачаючись у них. Тобто ферменти взаємодіють зі сполуками, що є субстратом реакції, змінюють їхню структуру, перетворюючи на продукт реакції, але самі при цьому не змінюють свого хімічного складу (рис. 88). Назви ферментів зазвичай формуються з назв їхніх субстратів з додаванням закінчення *-аза*. Наприклад, фермент лактаза розщеплює молочний цукор лактозу на моносахариди глюкозу та галактозу (*проаналізуйте інший приклад (рис. 89)*). Деякі ферменти мають традиційні назви (без закінчення *-аза*), наприклад пепсин і трипсин, що забезпечують процеси травлення людини (*пригадайте, процес розщеплення яких речовин вони катализують*).

Рис. 88. Схема дії ферменту



Проаналізуйте схему.  
Запропонуйте підписи до неї.

Рис. 89. Тривимірна модель будови молекули ферменту, що розщеплює сахарозу на моносахариди



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

Унаслідок зв'язування 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.

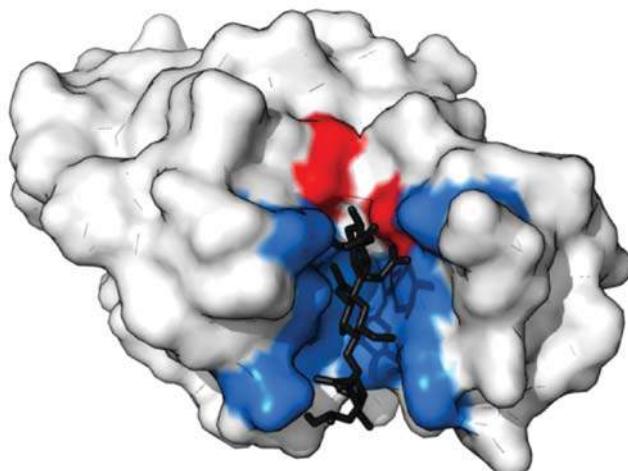
Функціонування ферменту визначається просторовою структурою його молекули. Завдяки здатності білків набувати найрізноманітніших третинних і четвертинних структур ферменти каталізують велику кількість реакцій – міжнародна база даних ферментів налічує близько 7000 назв і постійно повноюється. Найважливішою для функціонування ферменту є частина молекули, що безпосередньо зв'язує субстрат і забезпечує його перетворення. Це активний центр (рис. 90).

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

**Фактори, що впливають на активність ферментів.** Рівень активності ферментів може визначатися концентрацією продуктів реакції. Зазвичай 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.

Важливим фактором є температура: з підвищенням температури на 10 °C ферментативна активність зростає приблизно у 2–3 рази. Проте, як і всі білки, ферменти можуть денатурувати, втрачаючи властиву їм природну структуру.

*Рис. 90.* Тривимірна модель молекули ферменту лізоциму. Активний центр виділено кольором, також можна бачити зв'язану молекулу субстрату



Укажіть функцію зображеної речовини.



Підгответте повідомлення про ферменти, які функціонують на рівні організму.

## Право на поширення електронної версії мають МОН України та ІМЗО

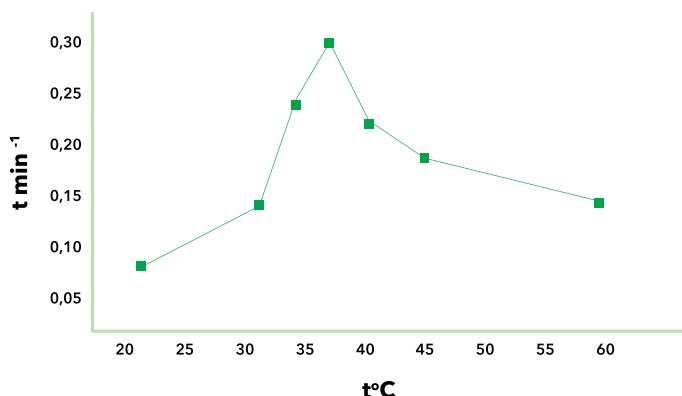
Це призводить до втрати каталітичної активності, наприклад, в організмі людини білки починають денатурувати за температури  $\sim 40^{\circ}\text{C}$ . Такий вплив можна простежити під час дослідження швидкості розщеплення крохмалю амілазою (рис. 91). В інших організмів білки залишаються стійкими в більшому інтервалі температур, зокрема, деякі бактерії живуть у водоймах, температура в яких вища ніж  $80^{\circ}\text{C}$ , а археї долають межу у  $100^{\circ}\text{C}$  (див. § 9).

Іншим шляхом регуляції роботи ферментів є приєднання до них певних сполук, наприклад, залишку ортофосфатної кислоти. Така реакція називається фосфорилюванням. Унаслідок неї неактивний фермент стає активним і починає виконувати свою функцію. Фосфорилювання може спричинити 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. Таким чином, зміна активності ферменту є одним зі способів регуляції функціонування клітин. Деякі речовини можуть блокувати активний центр ферменту – це призводить до порушення його функціонування.

**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 каталаза забезпечує розщеплення до води й кисню отруйного для організму гідроген пероксиду, що утворюється в клітинах як проміжний продукт окиснення.

У випадку, якщо той чи інший фермент не функціонує, контролювана 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

Рис. 91. Залежність швидкості розщеплення крохмалю амілазою від температури



На графіку представлені результати дослідження. Оберіть твердження, які можна сформулювати внаслідок аналізу отриманих результатів:

«Швидкість розщеплення:

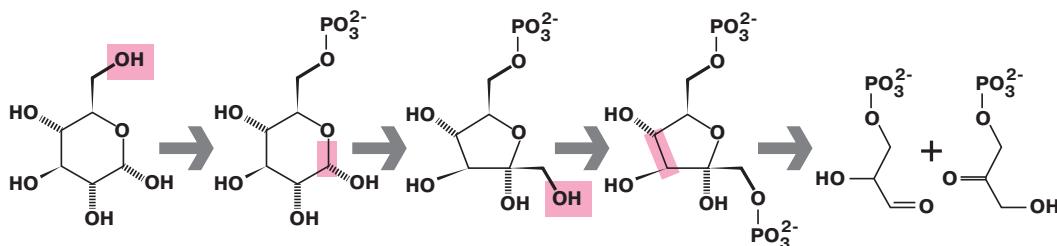
- 1) завжди прямо пропорційна змінам температури;
- 2) залежить від генетичної програми організму;
- 3) максимальна за температури  $\sim 37^{\circ}\text{C}$ .

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 виявлятиметься як симптоми несприйняття лактози (нудота, здуття, біль, пронос тощо). Багато таких захворювань є вродженими, тобто зумовлені мутаціями генів, які кодують структуру відповідних ферментів (§ 43).

Ферментативні реакції часто є послідовними каскадами, коли продукт попередньої реакції стає субстратом наступної (рис. 92). Тож для синтезу або розщеплення певних сполук потрібна злагоджена послідовна робота кількох (часто десятків) ферментів. Такі складні ланцюжки реакцій забезпечують процеси отримання клітиною енергії, фотосинтезу тощо. Якщо хоча б один з 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, рапіт, цинга, куряча сліпота тощо. 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. 92. Частина ланцюга розщеплення глюкози



Простежте, які структурні перетворення відбуваються під час кожної реакції. Зважте, що кожна стрілка відповідає впливу певного ферменту.



1. Дайте означення поняття *ферменти*.
2. Наведіть приклади ферментів.
3. Чому наявність ферментів є необхідною умовою життєдіяльності клітини?
4. Опишіть механізм дії ферменту.
5. Які фактори впливають на активність ферментів?

## § 20. Нуклеїнові кислоти та їхня біологічна роль. АТФ

Що таке біополімер?



Які органічні речовини забезпечують збереження та реалізацію спадкової інформації?

Ріст і розвиток усіх організмів визначаються та 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 та його регуляції. Обидва зазначені типи молекул належать до нуклеїнових кислот.

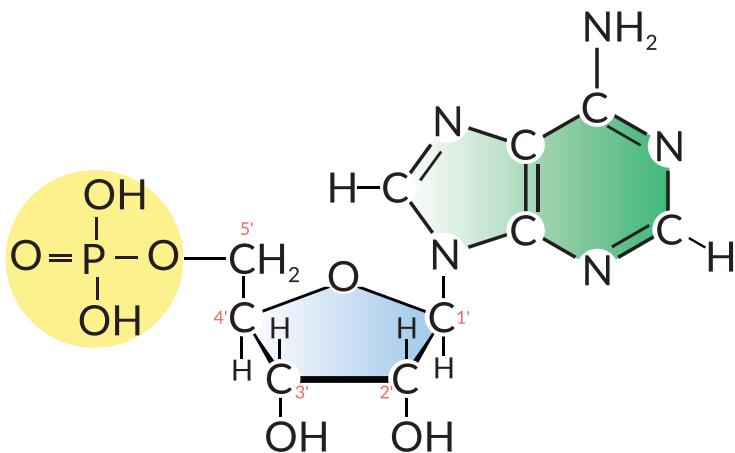


**Нуклеїнові кислоти** – біополімери, мономерами яких є нуклеотиди.

**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.

**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 входити до складу нуклеотидів, називають *аденіном, тиміном, урацилом, цитозином* та *гуаніном*. Скорочено їх позначають першими літерами назв речовин: А, Т, У, Ц, Г (рис. 93).

*Рис. 93.* Будова молекули нуклеотиду (залишок моносахариду позначено синім колірором, 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?

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 визначимо особливості будови цих речовин.

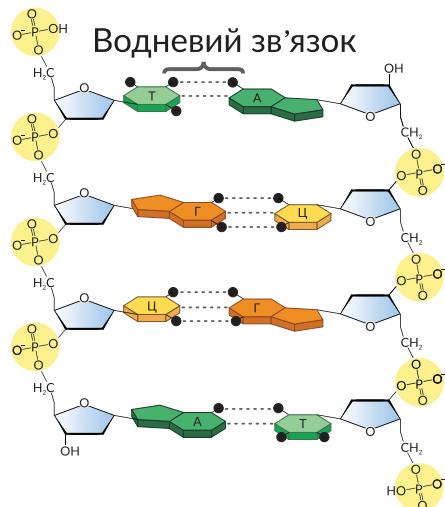
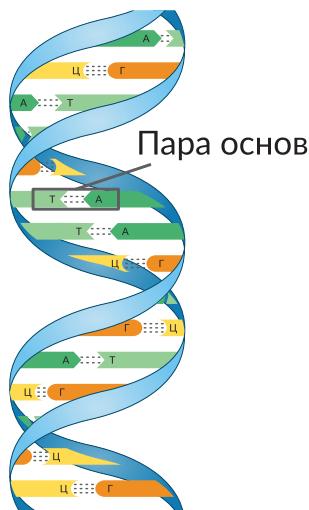


### Молекула ДНК.

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 і 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 **компллементарністю** (рис. 94).

Ця закономірність має важливе значення для забезпечення процесів копіювання молекул ДНК та переписування з них інформації на молекули РНК. Водночас така особливість будови молекули ДНК зумовлює те, що структура першого ланцюга комплементарно повторює структуру другого,

*Рис. 94. Модель молекули ДНК – подвійна спіраль. Фрагмент молекули*



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

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 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 аденину, рибози та трьох залишків ортофосфатної кислоти. Особливістю будови цієї молекули є те, що для приєднання наступних залишків ортофосфатної кислоти потрібно набагато більше енергії, ніж

Таблиця 1.

Порівняння нуклеїнових кислот

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

на приєднання першого – так у клітинах накопичується енергія (рис. 95). 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:



Утворена АДФ може далі розщеплюватися до аденоzinomonofosfatnoi kisloty (AMF), ale під час цієї реакції вивільняється менше енергії (~33–42 кДж/моль). AMF є звичайним РНК-нуклеотидом, що не зберігає великої кількості енергії.

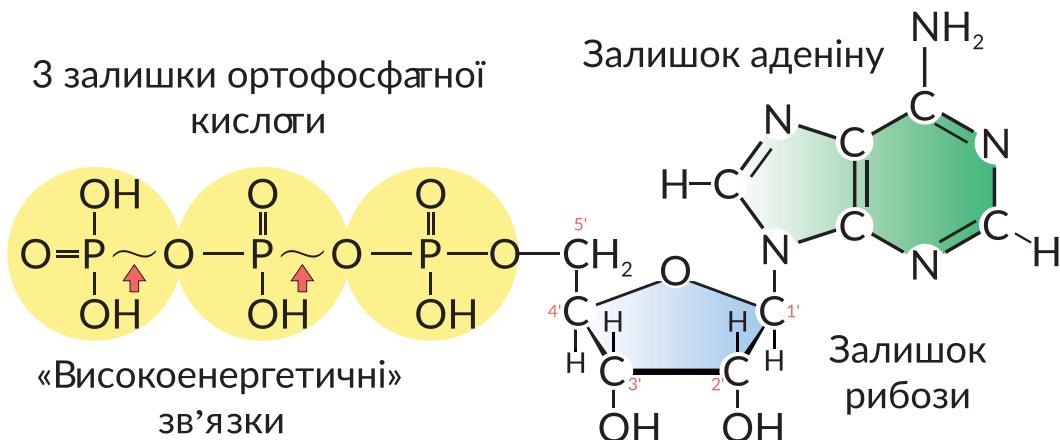


**! АТФ** – це молекула, що є універсальним внутрішньоклітинним переносником енергії.

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 нікотинамідаденіндинуклеотид-фосфат (НАДФ) (назви наведено не для запам'ятовування). Ці нуклеотиди переносять хімічні речовини і є важливими для роботи мітохондрій і фотосинтезу. У хлоропластах рослинних клітин НАДФ відновлюється під час світлових реакцій фотосинтезу і потім забезпечує Гідрогеном біосинтез вуглеводів упродовж темнової фази.

Рис. 95. Структурна формула молекули АТФ



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?

## § 21. Вітаміни, їхня роль в обміні речовин



Що таке ферменти?  
Які ви знаєте вітаміни?

Довгий час уважали, що для життєдіяльності організму потрібні лише білки, жири, вуглеводи, вода та мінеральні солі. Але спостереження показували, що одноманітне харчування призводить до виникнення різних захворювань. Так, моряки під час довгих подорожей, не маючи в раціоні овочів і фруктів, хворіли на цингу (скорбут). У країнах Азії, де основною стравою був шліфований рис, значна частина населення була уражена бері-бері. У 1897 році голландський учений Христіан Ейкман дослідив, що причиною виникнення цього захворювання в курей була нестача певної речовини в їжі. Цю сполуку – а саме тіамін (вітамін В<sub>1</sub>) – у 1911 році виділив польський учений Казимир Функ і показав її ефективність у лікуванні бері-бері. Молекули тіаміну мають у своєму складі аміногрупу, тому вчений назвав його вітаміном (аміном життя).



**Вітаміни** (від лат. *vitae* – життя та *аміни*) – низькомолекулярні біологічно активні речовини різної хімічної природи, необхідні в невеликих кількостях для нормального обміну речовин і життєдіяльності організмів.

**Властивості вітамінів.** Для позначення кожного вітаміну, крім хімічної та фізіологічної назви, використовують літери латинського алфавіту. Наприклад, хімічна назва вітаміну А – ретинол, а фізіологічна – антиксерофталмічний (рис. 96)

Рис. 96. Основні вітаміни організму людини та їх добова потреба

Позначення літерою	Хімічна назва	Фізіологічна назва	Добова потреба, мг
Жиророзчинні вітаміни			
A	Ретинол	Антиксерофталмічний	1,5-2
D	Кальциферол	Антирахітичний	0,02
E	Токоферол	Антиоксидантний	20-40
K	Філохіон	Антигеморагічний	1-2
Водорозчинні вітаміни			
B <sub>1</sub>	Тіамін	Антіневритний	1,2-2
B <sub>2</sub>	Рибофлавін	Вітамін росту	1,5-2
B <sub>3</sub>	Нікотинова кислота	Антидерматитний	10
B <sub>5</sub> (PP)	Пантотенова кислота	Антіпелагричний	10-20
B <sub>6</sub>	Піридоксин	Антидерматитний	2-4
B <sub>9</sub>	Фолієва кислота	Фактор росту	0,3-1
B <sub>12</sub>	Ціанокобаламін	Антінематичний	0,003
C	Аскорбінова кислота	Антискорбутний	60-100
H	Біотин	Антисеборейний	0,15-0,3

Тепер відомо, що до вітамінів належать не лише аміни. Наприклад, вітамін D є стеролом, а вітамін A – циклічним спиртом. Основними властивостями вітамінів є висока біологічна активність, розчинність у жирах або воді, руйнування під час нагрівання, нетривалість існування.

Важливо відзначити, що тварини і рослини потребують майже всіх відомих наукі вітамінів і зазвичай здатні їх синтезувати. Однак людина і низка тварин (наприклад мавпи) втратили цю здатність і тепер можуть поповнювати дефіцит вітамінів здебільшого за рахунок компонентів їжі. Усі основні групи харчових продуктів людини багаті на вітаміни, хоча жоден продукт не може повністю задовольнити потреби організму (рис. 97). Інколи в рослинних клітинах виробляються їхні попередники – провітаміни, які перетворюються у вітаміни в організмі. Крім того, деякі вітаміни, зокрема К і Н, синтезуються кишковою мікрофлорою, а вітамін D утворюється в шкірі під впливом ультрафіолетового випромінювання.

**Біологічна роль вітамінів.** Біологічна роль вітамінів у різних організмах подібна, але особливу увагу ми приділимо функціонуванню їх в організмі людини.

Сучасні дослідження свідчать про різноманітну участь вітамінів у процесах життєдіяльності організму. Більшість вітамінів є коферментами або їх попередниками, наприклад вітаміни групи В, К. Як коферменти, вітаміни беруть участь у багатьох ферментативних реакціях у клітині, допомагають засвоювати життєво необхідні органічні речовини, що містяться в їжі (значення коферментів ми розглядали в § 19). Вітаміни беруть участь в утворенні деяких **гормонів** – біологічно активних сполук, які регулюють різні етапи обміну речовин в організмі. Наприклад, вітамін D бере участь в утворенні стероїдних гормонів (статевих гормонів, кортикостероїдів). Деякі вітаміни, зокрема А,

Рис. 97. Вітаміни в харчових продуктах

Назва вітаміну	Харчовий продукт
V <sub>1</sub> (тіамін)	Нежирне м'ясо, зернові, бобові, риба, печінка, яйця, зелень, чорний хліб
V <sub>6</sub> (піридоксин)	Зернові, овочі, м'ясо, риба, банани, картопля, помідори, шпинат
V <sub>12</sub> (ціанокобаламін)	Печінка, м'ясо, риба, молочні продукти, яйця, морська капуста
C (аскорбінова кислота)	Овочі і фрукти, особливо цитрусові, ягоди, полуниці, помідори, молода картопля, зелень
A (ретинол)	Вітамін А міститься в риб'ячому жирі, яєчних жовтках, печінці, молоці; провітамін А ( $\beta$ -каротин) – у червоних, помаранчевих, жовтих і темно-зелених овочах
D (кальциферол)	Риб'ячий жир, яєчні жовтки, молоко
K (філохіон)	Темно-зелені листкові овочі, капуста, свинина і печінка



Проаналізуйте інформацію. Чи вживаєте ви харчові продукти, які містять зазначені вітаміни?



Підготуйте повідомлення про вміст інших вітамінів у харчових продуктах, використовуючи інтернет-джерела.

С, Е, мають антиоксидантні властивості і захищають наш організм від руйнівної дії вільних радикалів. Деякі вітаміни відіграють важливу роль в обміні мінеральних речовин. Наприклад, вітамін С (аскорбінова кислота) сприяє всмоктуванню організмом заліза, а вітамін D бере участь у збереженні Кальцію і Фосфору.

Вітаміни впливають на регуляцію функціонування життєво важливих органів і систем організму, наприклад, вітаміни групи В важливі для роботи нервової системи, вітамін А – слизових оболонок і шкіри, вітамін С – сполучних тканин, а вітамін D – для формування кісткової тканини тощо. Від рівня забезпеченості їжі вітамінами залежить рівень розумової і фізичної працездатності, стійкість людини до впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища (інфекційних захворювань, дії токсинів).

Добова потреба у вітамінах значною мірою залежить від віку, статі, маси тіла, стану організму (при захворюваннях потреба у вітамінах збільшується). Організму людини необхідні принаймні 20 різних вітамінів, добові потреби яких коливаються від 0,003 до 100 мг. Можна обчислити необхідну кількість харчового продукту на добу для задоволення потреби в певному вітаміні, зважаючи на вміст у ньому вітаміну та добову потребу для організму (рис. 98).

Порушення процесів обміну і виникнення багатьох захворювань часто пов’язане з відхиленням від нормального вмісту в організмі одного або групи вітамінів. Залежно від ступеня забезпеченості організму якимось вітаміном, розрізняють *авітаміноз* (відсутність), *гіповітаміноз* (нестача) та *гіпервітаміноз* (надлишок). Дефіцит може виникати через неспроможність засвоєння вітамінів клітинами організму. Причинами цього може бути руйнування вітамінів через підвищення кислотності шлунку (вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>5</sub>, С), порушення утворення транспортних білків (вітамін В<sub>12</sub>), зменшення надходження жовчі,

*Рис. 98. Уміст вітамінів у харчових продуктах (у 100 г)*

Вітамін С. Добова потреба – 100 мг



Шипшина собача,  
1000 мг

Вітамін D. Добова потреба – 20 мкг



Смородина чорна,  
200 мг



Окунь морський,  
2,3 мкг



Капуста брюссельська,  
100 мг



Полуниця лісова,  
60 мг



Печінка, 0,4 мкг



Сметана, 0,2 мкг



Проведіть обчислення кількості (г) кожного харчового продукту для задоволення добової потреби у вітаміні.

що перешкоджає всмоктуванню жиророзчинних вітамінів, зміни мікрофлори тощо. Вітамінна недостатність також може виникати внаслідок зменшення надходження вітамінів з їжею, недотримання правил кулінарної обробки і зберігання харчових продуктів (рис. 99).

Завдяки розширенню знань про раціональне харчування гіпо- т авітамінози стали досить рідкісними захворюваннями. Такі стани не треба плутати з виявами спадкових захворювань, які спричиняють порушення всмоктування і транспортування вітамінів, перетворення їх у коферменти тощо.

Ми опишемо деякі захворювання людини, що виникають унаслідок нестачі вітамінів. Бері-бері – хвороба, яка вражає нервову систему людини, призводить до слабкості, втрати апетиту, підвищеної збудливості і паралічу, пов’язана з нестачею вітаміну  $B_1$ . За відсутності в харчових продуктах вітаміну С в людини порушується синтез колагену, що призводить до уповільнення росту сполучної тканини і загоєння ран, кровоточивості ясен, анемії, збільшується схильність до інфекційних захворювань – це вияви цинги (скорбута). Нестача вітаміну А спричинює захворювання, унаслідок якого людина не може бачити в умовах недостатньої освітленості, – гемералопію, або «курячу сліпоту». За більш тривалого дефіциту вітаміну А в людини розвивається хвороба ксерофталмія, яка характеризується сухістю рогівки ока. Нестача вітаміну D викликає в дітей рапіт, за якого порушується мінералізація кісток, затримується розвиток зубів. Вітамін Е сприяє розвитку репродуктивної системи, а тому внаслідок його нестачі в чоловіків порушується утворення сперматозоїдів, а в жінок можуть спостерігатися відхилення в розвитку плода.

Вітамін К бере участь у регуляції процесів зсідання крові, сприяє зміцненню капілярів та припиненню кровотеч. Вітамін Н відіграє роль у вуглеводному обміні, взаємодіючи з інсуліном і, тим самим, стабілізує вміст глюкози в крові.

*Рис. 99. Правила обробки та зберігання харчових продуктів, пов’язані з властивостями вітамінів*

<p><b>1.</b> Вітаміни (особливо <math>B_1</math>, С) руйнуються внаслідок надто тривалої термічної обробки або надто високої температури.</p> <p><b>2.</b> Ферменти розщеплення вітамінів малоактивні за низьких температур.</p> <p><b>3.</b> Поміж вітамінів багато водорозчинних.</p> <p><b>4.</b> Вітаміни <math>B_2</math>, <math>B_6</math>, <math>B_{12}</math>, С, А швидко руйнуються внаслідок впливу світла.</p> <p><b>5.</b> Вітаміни А, Е, С легко окиснюються.</p>	<p><b>A</b> Зберігати в непрозорих контейнерах.</p> <p><b>B</b> Овочі та фрукти нарізати не дрібно, зберігати недовго. Поміщати в закриті контейнери або обгортати плівкою.</p> <p><b>B</b> Зберігати охолодженими.</p> <p><b>G</b> Мити овочі та фрукти краще до нарізання.</p> <p><b>D</b> Варити овочі рекомендується в невеликій кількості води, і поміщати їх туди після того, як вода закипить. Корисно вживати свіжими.</p>
---	--



Установіть відповідність між властивістю вітамінів (1–5) і правилом обробки та зберігання харчових продуктів (А–Д).



1. Дайте означення поняття *вітаміни*.
2. Як називають вітаміни?
3. Схарактеризуйте властивості вітамінів.
4. Поясніть біологічну роль вітамінів.
5. Чому необхідно вживати різноманітну їжу?
6. Які ви знаєте захворювання, пов’язані з нестачею вітамінів?
7. Обґрунтуйте правила збереження вітамінів у харчових продуктах.

## § 22. Структури клітини та метаболізм



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

Які органели клітини ви знаєте?

Наявність яких органел вирізняє рослинну клітину?

Метаболізм будь-якої біологічної системи зумовлений процесами, які відбуваються в клітині. Тому дослідження будови та життедіяльності клітини мають першочергове значення для розуміння обміну речовин на різних рівнях організації живого. Метаболізм забезпечує плазматична мембрана, мембрани та немембрани органели клітини.

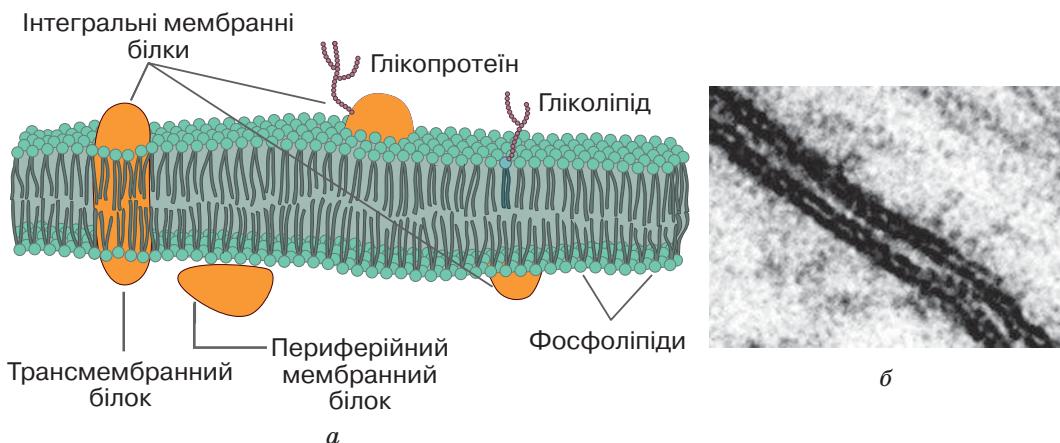


**Функції плазматичної мембрани.** Плазматична мембрана, оточуючи кожну клітину, відділяє її вміст від позаклітинного простору. Особливості будови плазматичної мембрани (плазмолеми) зумовлюють її відповідні функції: бар'єрну, транспортну, контактну, рецепторну та ферментативну (рис. 100).

Будова мембрани унеможливило дифузію крізь неї полярних молекул, зокрема йонів. Тож плазматична мембрана виконує **бар'єрну** функцію, регулюючи обмін речовин між клітиною й навколошнім середовищем. Проте крізь мембрани має здійснюватися **транспортування** речовин як усередину клітини, так і назовні. Це необхідно для постачання клітині речовин і виведення продуктів обміну.

Розрізняють два типи транспортування речовин: рух речовин, за якого не витрачається енергія АТФ, називають пасивним, а рух, пов'язаний з витратами енергії, – активним. Пасивне транспортування відбувається за рахунок

Рис. 100. Плазматична мембрана: а – схема будови; б – мікрофотографія контакту мембран двох клітин

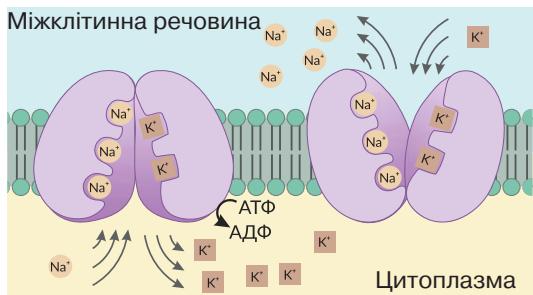


До складу мембрани входять ліпіди, білки та вуглеводи. Основою плазмолеми є подвійний шар із фосфоліпідів. Okрім фосфоліпідів, до складу плазматичної мембрани входять інші ліпіди (зокрема холестерол) і значна кількість білків (до 50 % від маси мембрани).

Просвічувальна електронна мікроскопія дозволяє побачити місце контакту мембран двох клітин, кожна з яких має двошарову структуру.

**простої дифузії** (від місця з більшою концентрацією речовини до місця з меншою її концентрацією). У такий спосіб крізь мембрани проникають насамперед неполярні молекули: з неорганічних речовин крізь мембрани добре дифундуєтуть кисень і вуглекислий газ, а з органічних речовин – стероїдні речовини. Транспортування крізь мембрани полярних речовин забезпечують білкові молекули-переносники. Молекули-переносники необхідні також для потрапляння в клітину глюкози. Пасивний рух речовин за допомогою молекул-переносників називають **полегшеною дифузією**. Інколи необхідно транспортувати речовину від місця з меншою її концентрацією до місця, де її концентрація більша. Цей процес потребує витрат енергії, а тому є активним. Прикладом може бути **натрій-калієвий насос**. Він забезпечує вихід із клітини іонів Натрію та надходження в неї з позаклітинного простору іонів Калію (рис. 101). Робота цього насоса забезпечує нормальнє функціонування клітин, підтримуючи на певному рівні концентрації іонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  усередині та зовні їх. Особливим типом активного транспортування є **цитоз** – переміщення речовин у складі мембраних пухирців. Процес виведення речовин із клітини внаслідок злиття везикул з плазматичною мембраною називають **екзоцитозом**. У такий спосіб із клітин вивільнюються синтезовані нею ферменти, гормони, медіатори тощо. Процес активного надходження твердих і рідких речовин із зовнішнього середовища всередину клітини називають **ендоцитозом** (рис. 102). Розрізняють піноцитоз (поглинання рідких речовин) і 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**.

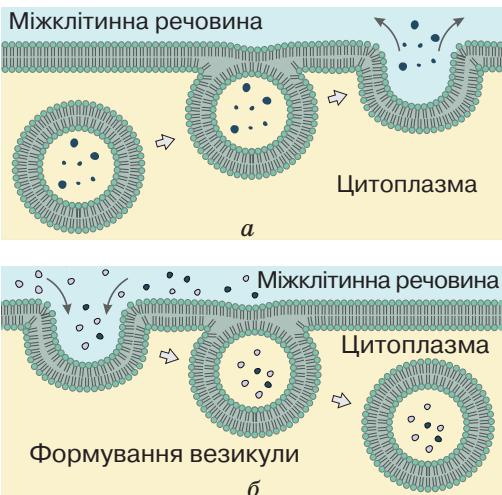
Рис. 101. Схема роботи натрій-калієвого насоса



Проаналізуйте схему. Прочитайте твердження.

- I. Унаслідок роботи  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ -насоса синтезуються молекули АТФ.
  - II. Йони Натрію «викачуються» з клітини, а йони Калію «закачуються» в клітину. Чи є поміж них правильні?

Рис. 102. Схеми процесів екзоцитозу (а) й ендоцитозу (б)



Назвіть організми, у живленні яких важливу роль відіграє ендоцитоз.

**Рецепторна** функція полягає в здатності реагувати на хімічні речовини, змінюючи при цьому функціонування клітин. 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 мембрани, виконують **ферментативну** функцію. Зокрема вони забезпечують мембранне (пристінкове) травлення в кишечнику людини. У прокаріотичних клітинах інші мембральні білки беруть участь у процесах фотосинтезу, запасанні енергії шляхом синтезу АТФ тощо.

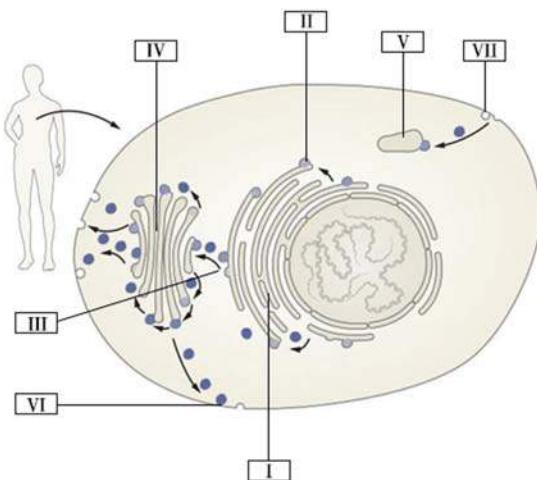


**Органелі клітини та їхні функції.** Уміст еукаріотичних клітин поділяється внутрішніми мембрани на функціональні ділянки, що забезпечує розділення різних процесів обміну речовин у просторі і часі.

До одномембраних органел належать ендоплазматична сітка (ЕПС), комплекс Гольджі, лізосоми, пероксисоми та вакуолі.

**Гладенька ЕПС** забезпечує синтез ліпідів, зокрема стероїдних речовин, знешкодження деяких токсичних речовин (в організмі людини активно функціонує в клітинах печінки) та депонування іонів Кальцію. Останнє є важливим для функціонування м'язових клітин. До мембрани **шорсткої ЕПС** (рис. 103, I) з цитоплазматичного боку можуть прикріплюватися немембральні органели – **рибосоми** (рис. 103, II), які синтезують у порожнину трубочок білкові молекули. Основною функцією цього типу ЕПС є участь у синтезі білків і транспортування синтезованих речовин у мембраних пухирцях – **везикулах** (рис. 103, III) до **комплексу Гольджі** (рис. 103, IV). Отже, комплекс Гольджі функціонально поєднаний з ЕПС. Надалі в комплексі Гольджі здійснюється перетворення білкових молекул (утворення глікопротеїнів, ліпопротеїнів тощо) і пакування їх у мембрани пухирці відповідно до функціонального призначення. Білки, що експортуються з клітини (наприклад ферменти або гормони)

Рис. 103. Утворення та транспортування речовин у клітині



У 2013 році Нобелівську премію з фізіології або медицини отримали біохімік Джеймс Ротман, цитолог Ренді Шекман, біохімік і нейробіолог Томас Зюдхоф – «за відкриття системи везикулярного транспорту – основної транспортної системи в наших клітинах».



Укажіть процеси, які позначено цифрами VI, VII. Яке значення цих процесів у метаболізмі клітин?



Підготуйте повідомлення про значення відкриття везикулярного транспорту для розвитку біології, використовуючи інтернет-джерела.

або ж мають убудуватися до плазматичної мембрани, розміщуються в секреторних пухирцях. Ферменти, що здійснюють внутрішньоклітинне травлення, пакуються в лізосоми (рис. 103, V), які тут утворюються. **Лізосоми** – мембрани органелі у вигляді пухирців, усередині яких містяться ферменти, що розщеплюють полімерні органічні сполуки до мономерних. У комплексі Гольджі також синтезуються деякі полісахариди.

**Пероксисоми** – мембрани органелі 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 мембрани порожнини, заповнені рідким умістом. Залежно від їхньої будови та функцій вирізняють кілька типів таких органел. Рослинні клітини містять великі клітинні вакуолі. Вони беруть участь у регуляції тургору, можуть містити пігменти, надаючи частинам рослин забарвлення, зберігати продукти обміну речовин. Прісноводні одноклітинні організми містять скоротливі вакуолі, функція яких – виведення з клітин надлишкової води. Розщеплення поживних речовин усередині деяких клітин відбувається в травних вакуолях, що формуються за участю лізосом.



Поміж клітинних органел вирізняють двомембрани – мітохондрії та хлоропласти. У **мітохондріях** відбуваються основні процеси, які забезпечують клітину енергією, синтезуючи молекули АТФ (рис. 104). Пластиди – це двомембрани органелі, властиві лише рослинам і деяким одноклітинним організмам. Найпоширенішими є **хлоропласти** – органелі зеленого кольору, що здійснюють фотосинтез (рис. 105). Безбарвні пластиди – **лейкопласти** – забезпечують запасання поживних речовин – крохмалю, жирів і білків. А пластиди, забарвлені в кольори жовто-червоної частини спектра, – **хромопласти** – надають забарвлення.

Рис. 104. Будова мітохондрії

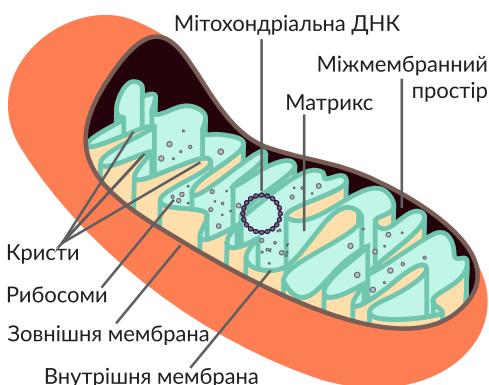
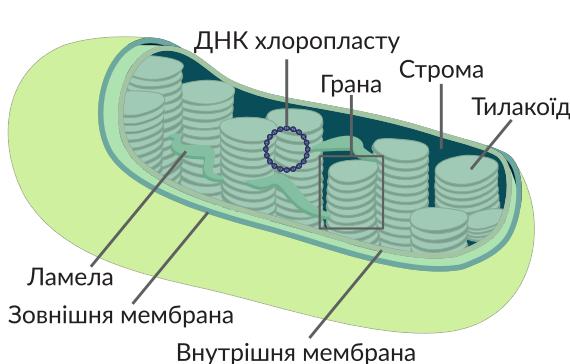


Рис. 105. Будова хлоропласта



1. Назвіть структури клітини, які забезпечують метаболізм.
2. Перелічіть функції плаазмолеми.
3. Поясніть відмінності між пасивним та активним транспортуванням речовин.
4. Які речовини можуть транспортуватися крізь мембрану шляхом дифузії, а які – ні? Чому?
5. Які одномембрани органелі ви знаєте? Які процеси вони забезпечують у клітині?
6. Поясніть значення хлоропластів в обміні речовин.
7. Обґрунтуйте значення мітохондрій в енергетичному обміні.

## § 23. Енергетичне забезпечення процесів метаболізму

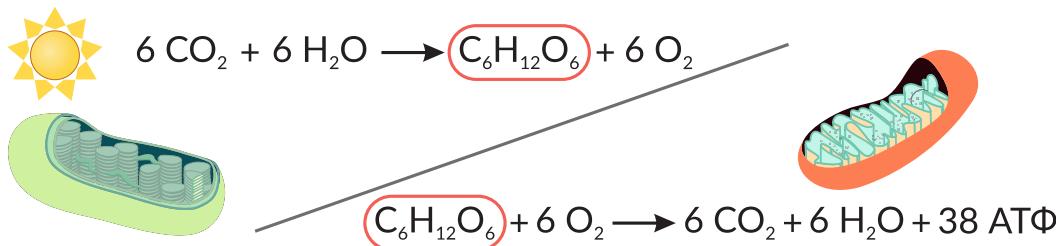


Що таке енергетичний обмін?  
Як кисень потрапляє до клітин?

Організми використовують енергію, яка надходить з навколошнього середовища, акумулюючи її у формі хімічних зв'язків органічних молекул – перетворення енергії взаємопов'язане з обміном речовин. Автотрофи для синтезу органічних речовин використовують енергію світла (фототрофи) або енергію хімічних реакцій (хемотрофи), а гетеротрофи – енергію готових органічних речовин, отримуючи їх із їжею (§ 16).

Взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну можна проілюструвати на процесах метаболізму рослинної клітини, з якими ви знайомилися в дев'ятому класі. Під час фотосинтезу утворюється **глюкоза** – одне з основних джерел енергії для більшості клітин, а внаслідок енергетичного обміну відбувається безкисневе розщеплення глюкози та подальше окиснення органічних речовин у мітохондріях за участі кисню. Частина енергії, що вивільняється, розсіюється у формі теплової енергії, а частина забезпечує синтез АТФ – універсального внутрішньоклітинного переносника енергії, про значення якого ми вже розповідали (рис. 106). Такий процес окиснення називається клітинним диханням, і він пов'язаний з дифузією газів. Дифузія кисню та вуглекислого газу в рослин відбувається через продихи. У інших організмів це може здійснюватися через поверхню тіла або спеціалізовані органи (зябра, трахеї, легені).

*Rис. 106. Процеси метаболізму рослинної клітини*



Порівняйте особливості енергетичного обміну клітин автотрофних і гетеротрофних організмів.

 **Дихання** – це сукупність процесів, які забезпечують надходження в організм кисню, використання його в окиснювальних процесах і видалення з організму вуглекислого газу.

Реакції енергетичного обміну подібні в усіх організмів. Повне окиснення глюкози в більшості еукаріотів відбувається за участі мітохондрій, тому їх називають «енергетичними станціями» клітини. Навіть в аеробних прокаріотів, які не мають таких органел, відбуваються схожі процеси. При цьому їхня АТФ-аза вбудована в плазматичну мембрани.

В енергетичному обміні виділяють три етапи: підготовчий, безкисневий та кисневий. Під час *підготовчого етапу* енергетичного обміну полісахариди розщеплюються до мономерів, унаслідок чого вивільняється незначна кількість енергії, яка розсіюється у формі теплової енергії. Першим етапом розщеплення глюкози є сукупність реакцій, яка називається гліколізом. Ці реакції не потребують кисню й називаються *анаеробними*. Гліколіз є низкою послідовних хімічних перетворень з участю ферментів (див. § 19). У результаті утворюються дві молекули трикарбонової органічної кислоти, яка називається піровиноградною. Сумарний енергетичний вихід гліколізу становить 2 молекули АТФ на одну молекулу глюкози. Піровиноградна кислота ще містить значну кількість зв'язаної енергії, яку клітини можуть використовувати для синтезу АТФ. Наступні реакції відбуваються в мітохондріальному матриксі з використанням кисню, що надходить у мітохондрії шляхом дифузії. Ці реакції потребують кисню, а тому даний етап називається *кисневим* або *аеробним*. Унаслідок повного окиснення однієї молекули глюкози утворюється вода та вуглекислий газ, і відбувається синтез 38 молекул АТФ (рис. 107). Надалі молекули АТФ можуть зазнавати розщеплення завжди, коли клітині потрібна енергія для здійснення процесів метаболізму.

Рис. 107. Етапи енергетичного обміну



 Проаналізуйте схему. Прокоментуйте перетворення енергії на кожному етапі.

 Чому більшість організмів використовує аеробний спосіб енергетичного обміну?

1. Дайте означення понять *дихання*, *клітинне дихання*.
2. Поясніть особливості енергетичного обміну клітин автотрофних і гетеротрофних організмів.
3. Опишіть процес енергетичного обміну.
4. Поясніть роль АТФ у процесах обміну речовин.

## § 24. Раціональне харчування – основа нормального обміну речовин



Яке пластичне та енергетичне значення вуглеводів, жирів і білків?

Яка роль вітамінів в обміні речовин?

Тепер ми обізнані з обміном речовин та енергії як основою функціонування біологічних систем. Організм людини також є біологічною системою, яка використовує енергію готових органічних речовин, отримуючи їх із їжею. Тому важливим чинником, який впливає на здоров'я людини, є харчування. Знання щодо раціонального харчування стануть підґрунтам для збереження здоров'я власного організму.

**Поняття раціонального харчування.** Що таке раціональне харчування? Таке запитання повинна ставити перед собою кожна сучасна людина.

❗ **Раціональне харчування** (від лат. *ratio* — розумний) — це повноцінне в кількісному та збалансоване в якісному відношенні харчування, що забезпечує нормальній ріст і розвиток організму, його високу працездатність, активне довголіття та стійкість до несприятливих чинників навколошнього середовища.

Харчування забезпечує пластичну та енергетичну складові обміну речовин в організмі людини. З білками, жирами й вуглеводами їжі ми отримуємо будівельні матеріали для створення нових клітин і міжклітинних структур, тобто компоненти їжі пов'язані з пластичною складовою метаболізму. Щобільше, за рахунок енергії, яка акумульована в хімічних зв'язках цих речовин, ми повніюємо енергетичні ресурси організму (рис. 108).

*Рис. 108. Міністерство охорони здоров'я України разом із Центром громадського здоров'я та експертами-дієтологами запропонували у 2017 році рекомендації щодо здорового харчування та визначили найважливіші групи продуктів, які мають входити до щодобового раціону харчування людини.*



**Основні принципи раціонального харчування.** Поняття раціонального харчування передбачає дотримання трьох основних принципів: забезпечення енергетичного балансу; задоволення потреби організму в певних харчових речовинах; дотримання режиму харчування.

**Енергетичний баланс** харчового раціону – співвідношення енергії, що надходить до організму з їжею, та енергії, що витрачається внаслідок діяльності організму. Через це маса тіла має бути оптимальною та в дорослоЙ людини залишатися незмінною. Енергетичну цінність або калорійність органічних речовин визначають за тим, скільки енергії вивільняється під час розщеплення одиниці маси. Одиноцею вимірювання енергії є **джоуль** або **калорія** (1 кал = 4,18 Дж). Енергетичну цінність речовин зазвичай вимірюють, розраховуючи, скільки кілоджоулів або кілокалорій припадає на 1 г речовини. Енергетична цінність жирів – 38,9 кДж/г, білків – 17,2 кДж/г, вуглеводів – 17,2 кДж/г (§17, 18). Можна визначити енергетичну цінність харчового продукту, знаючи його масу та кількісний склад у ньому органічних сполук (рис. 109).

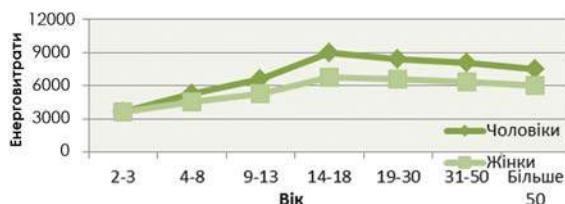
Організм людини витрачає енергію (загальний обмін) на забезпечення життєдіяльності в умовах спокою (основний обмін) та на фізичну активність (функціональний обмін). Загальний обмін підлітка зазвичай становить 170–250 кДж на 1 кг маси тіла на добу. Основний обмін – найменша кількість енергії, яку організм витрачає в стані повного спокою для підтримання процесів життедіяльності (роботу печінки, нирок, серця, нервової та дихальної систем). Він зменшується з віком: у підлітків 142,6 кДж на 1 кг тіла, а в дорослих 100,56 кДж на 1 кг маси тіла (полічіть кількість енергії, яку витрачає організм підлітка на функціональний обмін). Рівень функціонального обміну залежить від способу життя (інтенсивність фізичної та розумової діяльності). Енерговитрати залежать також від маси, віку та статі людини (рис. 110).

Рис. 109. Визначення енергетичної цінності продукту



Обчисліть енергетичну цінність харчового продукту.

Рис. 110. Залежність енерговитрат організму людини (кДж/добу) від віку та статі за активного способу життя



Проаналізуйте графік. Поясніть результати. Підготуйте повідомлення про харчування людини за надзвичайних умов (космонавтів, альпіністів тощо).

Добовий раціон повинен задовольняти енергетичні потреби організму, але не бути надмірним. За умов звичайної денної активності калорійність їжі повинна перевищувати основний обмін приблизно на 25%. У разі перевищення надлишок буде накопичуватися у формі жирових відкладень. У їжі повинна міститися достатня кількість білків, жирів, вуглеводів. Кількість білків повинна становити 0,8 г на кг ваги тіла, цей показник може збільшуватися у випадку інтенсивних фізичних навантажень. Вуглеводи повинні покривати 55–65%, а жири – 25% енергетичних потреб організму. Не менше третини жирів повинні бути рослинного походження. У спрощеному вигляді співвідношення за масою між білками, жирами і вуглеводами у їжі повинно становити 1:1:4.

Потрібно дотримуватися правильного режиму харчування. Найбільш оптимальним для дорослої людини є чотириразове харчування: перший сніданок – 25 % калорійності їжі, другий сніданок – 15 %, обід – 35 %, вечеря – 25 %.

У їжі повинні бути додаткові важливі для існування організму речовини (неорганічні солі, вітаміни тощо), тому вона повинна бути достатньо різноманітною. Важливe значення має наявність рослинної клітковини (целюлози) – вона, хоч і не перетравлюється нашими ферментами, необхідна для нормальної перистальтики. Для цього в раціоні повинні бути свіжі овочі та фрукти, а також цільнозернові продукти. Необхідно споживати достатню кількість води, уникнути солодких напоїв і значної кількості соків, молока. М'ясо містить значну кількість білків, а риба – корисні жири. Разом з цим потрібно уникати надто жирних продуктів, а також обробленого м'яса (копченості). Звісно ж, продукти повинні бути свіжими, придатними до споживання, не містити шкідливих сполучок, а їжа має бути приготованою з дотриманням технології кулінарної обробки.

Виконання цих простих правил робить життя людини довшим, що доведено науковими дослідженнями.

**Таблиця 2.** Приклад складання харчового раціону (сніданок)

Харчові продукти	Уміст на 100 г продукту (білки/жири/вуглеводи)	Енергетична ціність кДж/100г	Кількість спожитого продукту (г)
<b>Хліб пшеничний</b>	7,6/0,9/46,7	969	100
<b>Молоко</b>	2,8/2,5/4,7	227	200
<b>Сир твердий</b>	25,1 / 45,0 / 2,5	1500	50
<b>Сосиски</b>	12,4 / 19,4 / 0,0	968	100
<b>Яблуко</b>	2,2 / 0,0 / 48,0	220	200



Порахуйте енергетичну цінність наведеного сніданку та проаналізуйте її з точки зору відповідності принципам раціонального харчування.



Підготуйте повідомлення «Здоров'я та корисні продукти!», використовуючи інтернет-джерела.



1. Дайте означення поняття раціонального харчування.
2. Перелічіть принципи раціонального харчування.
3. Що таке енергетичний баланс харчового раціону?
4. Які фактори впливають на енерговитрати організму людини?
5. Опишіть вплив збалансованого харчування людини на її здоров'я.
6. Оцініть важливість раціонального харчування для збереження здоров'я.

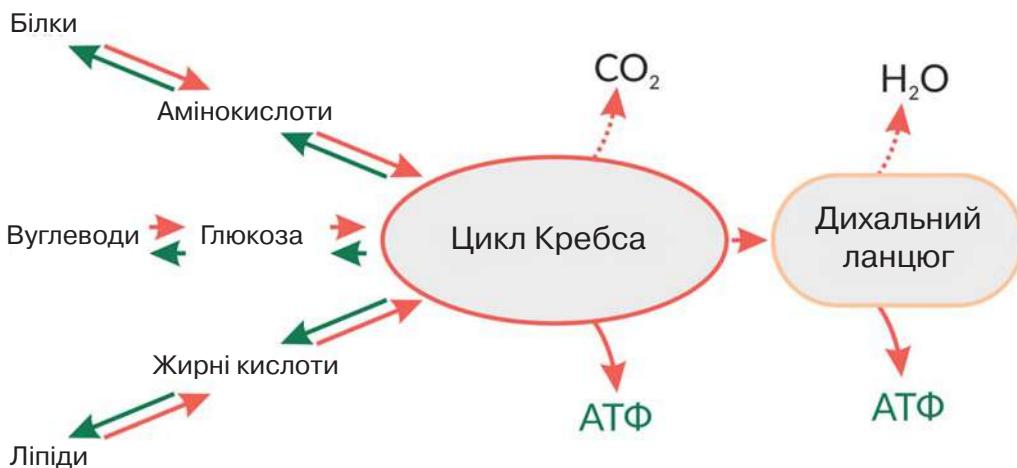
## Практична робота

### Складання схем обміну вуглеводів, ліпідів і білків в організмі людини

**Мета:** виявити метаболічні шляхи вуглеводів, ліпідів, білків в організмі людини; скласти схеми їхнього обміну

#### 1. Ознайомтеся з інформацією.

Більшість органічних сполук розщеплюється 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 треба пам'ятати, що білки повністю розщеплюються для постачання організму енергії лише в разі нестачі інших енергетичних сполук (див. схему). 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 нітрогеновомісні основи, які є компонентами нуклеотидів. З органічних кислот згаданого циклу також синтезуються жирні кислоти, необхідні для утворення молекул жирів і фосфоліпідів. Отже, процесом, що об'єднує обмін вуглеводів, білків і ліпідів, є цикл Кребса (див. схему).



2. Виявіть шляхи потрапляння вуглеводів, ліпідів і білків в організм людини, використовуючи додаткову літературу та інтернет-джерела.

3. Складіть схеми обміну вуглеводів, ліпідів і білків в організмі людини.

## § 25. Надходження в організм хімічних елементів і якість питної води: вплив на здоров'я людини



Які функції в організмі окремих хімічних елементів?

Як властивості води зумовлені будовою її молекули?

Ще понад 2000 років тому Гіппократ та інші мислителі зазначали, що фактори навколошнього середовища впливають на стан здоров'я людини. Зокрема такими факторами є вода та хімічні елементи, які беруть участь у метаболізмі. Усі потрібні нашему організму хімічні елементи та значна кількість води є незамінними. За їх дефіциту, який може виникати як за рахунок недостатнього надходження, так і за рахунок проблем із засвоєнням, можуть виникати важкі розлади обміну речовин.

**Ендемічні захворювання людини.** Вчені виокремлюють *ендемічні захворювання* – захворювання, характерні для певної місцевості, пов'язані з нестачею або надмірним умістом у середовищі якого-небудь хімічного елемента. Наприклад, ендемічний зоб – захворювання, яке характеризується збільшенням щитоподібної залози. Воно виникає в місцевостях, де ґрунт, і відповідно вода, містять мало Йоду. Щитоподібна залоза виробляє гормони – тироксин, трийодтиронін, до складу яких входить Йод, а розвиток захворювання спричиняє його нестача – йододефіцит. Добова потреба організму людини в цьому елементі становить 150 мкг, а в ендемічних районах організм отримує лише до 50 мкг Йоду на добу. Цей хімічний елемент міститься у воді, йодованій солі, харчових продуктах (рис. 111 ).

Рис. 111. 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.



Підготуйте повідомлення «Проблема йододефіциту в Україні», використовуючи наукову літературу та інтернет-джерела.

Кальцій необхідний для побудови кісткової тканини, і тому його нестача спричиняє остеопороз – кістки стають ламкими, страждають зуби.

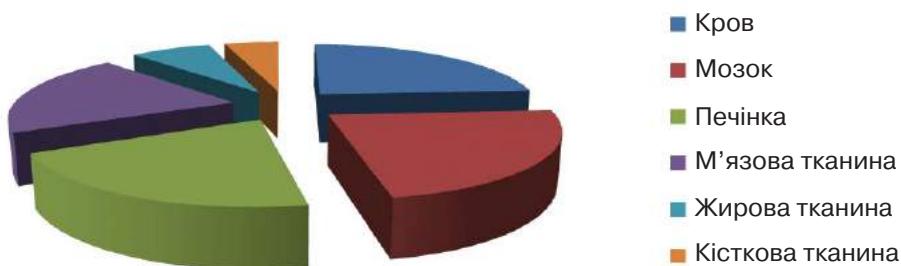
Нестача Магнію є однією з причин високого рівня серцево-судинних захворювань у ряді регіонів з «м'якою» водою. Деякі географічні райони відрізняються підвищеним умістом Магнію в довкіллі і відповідно в місцевих продуктах харчування. У цих районах реєструють набагато нижчу захворюваність на злюйкіні новоутворення, що стало поштовхом до вивчення ролі Магнію в протипухлинному процесі в організмі людини.

Інтерес до функцій Цинку значно зрос після встановлення причини синдрому карликості із сповільненням статевого розвитку в осіб, що проживають у місцевостях з низьким умістом цинку в ґрунті (переважно країни Близького Сходу).

Залізодефіцитні анемії далеко не рідкість у багатьох країнах, що розвиваються. Причиною тому є переважання в харчуванні рослинної їжі з незначним умістом Феруму, що в ряді місць ускладнюється зниженням його вмістом у ґрунтах і поширеністю шлунково-кишкових захворювань, що перешкоджають засвоєнню цього хімічного елемента в їжі.

**Вода та організм людини.** Як розчинник, вода є середовищем для перебігу багатьох хімічних реакцій в організмі людини. 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 поживні речовини, продукти обмінних процесів (наприклад, з кров'ю). В організмі вода розподілена нерівномірно. Це залежить від інтенсивності процесів обміну речовин між органами й тканинами. Як приклад наводимо діаграму розподілу води в різних органах і тканинах організму людини (рис. 112).

Рис. 112. Розподіл води в органах і тканинах організму людини



Проаналізуйте діаграму.

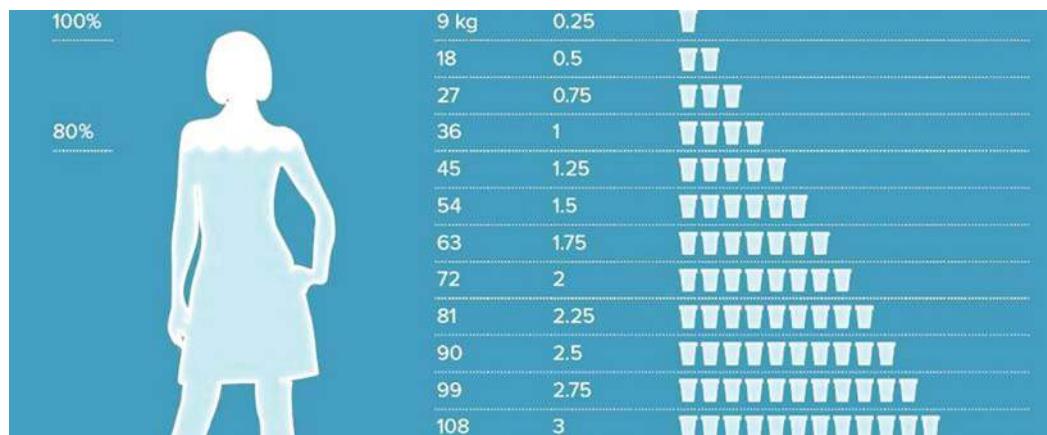
У яких складових організму людини води найбільше, а в яких – найменше?

Чим це можна пояснити?

Як інші рідини, вода погано стискається, а тому може виконувати механічну функцію. Вода забезпечує пружність клітин і частин тіла. Наприклад, рідина, яка заповнює простір між головним мозком і кістками черепа, забезпечує амортизацію під час ударів. Завдяки воді послаблюється тертя між різними поверхнями (наприклад, у суглобах). Вода має порівняно високі питому теплоємність і теплоту випаровування, унаслідок чого виконує терморегуляторну функцію. Вода переносить теплоту від більш нагрітих органів до холодніших. Добова потреба у воді залежить від маси тіла (рис.113). Недостатнє споживання води призводить до передчасного старіння шкіри, утворення небезпечних тромбів у крові, порушення обміну речовин і теплобіміну. Втрата всього 10% води в організмі позначається сильною втомою, нездатністю працювати і навіть серйозними захворюваннями.

**Якість питної води.** Природна вода є розчином газів і мінеральних речовин – залежно від температури й тиску в ній можуть міститися всі елементи періодичної системи, які є в природі, і навіть метали й важкорозчинні сполуки. **Питна вода** – це природна вода, яку людина може пити сирою. Проблема забезпечення якісною питною водою належить до числа соціально значущих, оскільки вода безпосередньо впливає на стан здоров'я громадян і кардинально визначає ступінь екологічної та епідеміологічної безпеки. За твердженням ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я) істотна кількість випадків захворювань людини пов'язані з якістю питної води. Унаслідок уживання неякісної питної води щороку приблизно 25% населення України (переважно дитячого віку) підлягають ризику захворіти. Споживання людиною неякісної питної води може спричинювати серцево-судинні захворювання, порушення функціонування шлунково-кишкового тракту, ендокринних залоз, алергічні захворювання і новоутворення в організмі людини.

Рис. 113. Добова потреба води залежно від маси тіла людини



Проаналізуйте схему. Виявіть добову потребу води відповідно до вашої маси. Прокоментуйте залежність добової потреби води в організмі людини від маси тіла.



Підготуйте повідомлення «Кількість води та порушення в організмі людини», використовуючи наукову літературу та інтернет-джерела.

**Якість води** – поєднання хімічного і біологічного складу та фізичних властивостей води водного об'єкта, яке зумовлює її придатність для певних видів використання. Критерії якості питної води – встановлені значення показників якості води (фізичні, хімічні, біологічні), що відповідають певним вимогам, за яких надійно захищається здоров'я людини.

До фізичних показників якості води належать температура, прозорість чи каламутність, колір, запах і смак.

Хімічними показниками є кислотність (рН), окиснюваність (показник умісту органічних сполук), жорсткість або мінералізація (показник умісту неорганічних солей), а також концентрації низки хімічних речовин (основні йони, розчинні гази, біогенні речовини, мікроелементи, радіоактивні речовини, специфічні забруднювальні речовини). Слід зауважити, що води, абсолютно вільної від більшості шкідливих хімічних сполук, не існує. Важливо, щоб їх наявність не перевищувала встановленого безпечноного максимального рівня – цей показник називається гранично допустимою концентрацією. Переважна більшість шкідливих речовин при перевищенні гранично допустимих концентрацій чинить негативний вплив на життя та здоров'я людини.

До біологічних (мікробіологічних) показників належить уміст кишкової палички (колі-індекс), сaproфітних бактерій, а також конкретних видів патогенних бактерій (таких, як холерний вібріон), вірусів і одноклітинних еукаріотичних паразитів, наявність яких може привести до виникнення інфекційних хвороб у людини.

В Україні 2005 р. прийнято «Закон про питну воду», у якому прописані всі правила й вимоги із забезпечення населення якісною питною водою. У додавлення до цього Закону МОЗ України в 2010 р. затвердило нові санітарно-гігієнічні вимоги до питної води (табл. 3).

Таблиця 3. Нормативи для питної води за окремими показниками

Показник	Норматив, мг/дм <sup>3</sup> (не більше)		
	ВОЗ	ЄС	Україна
<b>pH</b>	6,5–8,5	6,5–8,5	6,0–9,0
<b>Алюміній</b>	1,5	0,05–0,2	0,5
<b>Ферум</b>	0,3	0,2	0,3
<b>Фтор</b>	1,5	2,0	1,5
<b>Плюмбум</b>	0,01	0,025	0,03
<b>Нітрати</b>	50	50	45
<b>Хлориди</b>	250	250	350



Проаналізуйте таблицю. Прокоментуйте нормативи для питної води за окремими показниками в Україні.



- Що таке ендемічні захворювання?
- Які функції води в організмі людини?
- Обґрунтуйте необхідність надходження певної кількості води впродовж доби до організму людини.
- Назвіть критерії якості питної води.
- Оцініть важливість якості питної води для збереження здоров'я.

## § 26. Негативний вплив на метаболізм токсичних речовин. Знешкодження токсичних сполук в організмі людини



### Які функції печінки?

Людина завжди залежала від навколошнього середовища. Рослини і тварини були для неї іжею, але водночас отруйні види становили небезпеку. Нині антропогенний фактор підвищив ризик небезпечноного впливу на живе, зокрема й саму людину, різноманітних отруйних речовин.

**Токсичні речовини.** Ці речовини порушують обмін речовин, знижують імунітет, можуть викликати патологічні зміни певних органів, наприклад нирок, печінки.

⚠️ Токсичні речовини – це речовини, які викликають отруєння всього організму людини або впливають на окремі системи організму людини. Вони можуть бути екзогенного походження, зокрема токсини тварин, рослин, грибів (рис. 114), хімічні речовини антропогенного походження – солі важких металів, нафтопродукти, фреони, пестициди, складники миючих засобів, парфумерні вироби, лікарські препарати, харчові добавки тощо (рис. 115). Також на організм можуть діяти токсичні речовини ендогенного походження, які утворюються внаслідок метаболічних процесів в організмі людини, зокрема аміак. Токсичність речовини визначається низкою факторів: здатністю та шляхами проникнення до організму людини, характером впливу на різні органи, дозою, необхідною для викликання її ефекту тощо. На ураження токсичною речовиною впливають вік людини, її стать, маса тіла, а також харчовий режим і наявність захворювань.

Рис. 114. Приклади тварин і рослин, токсини яких небезпечні для людини



Скорпіон



Дурман звичайний

Рис. 115. Стандартизований символ токсичної речовини в ЄС



Позначення небезпечних місць із токсичними речовинами антропогенного походження

Спектр сполук, які можуть бути токсичними, надзвичайно широкий. Йони та солі важких металів (Плюмбуму, Хрому тощо), зв'язуючись із білками, порушують їхні функції. Унаслідок діяльності людини в довкілля можуть потрапляти радіоактивні ізотопи, деякі з яких здатні накопичуватися в організмі. Наприклад, Йод входить до складу тиреоїдних гормонів, а подібний до Кальцію Стронцій відкладається в кістковій тканині. Через це збільшується доза поглинутого іонізувального випромінювання.

Велика кількість токсинів є поміж органічних сполук. Наприклад, рослинний алкалоїд колхіцин блокує утворення мікротрубочок і зупиняє клітинний поділ. Тетродотоксин, що міститься у відомій рибі фугу, блокує збудження нервових і м'язових клітин. Деякі органічні сполуки здатні викликати психогічну, а потім і фізіологічну залежність, яку називають наркоманією (рис. 116). Частина токсичних сполук є онкогенними (§51).

**Знешкодження токсичних сполук в організмі людини.** Велике значення для збереження життєдіяльності організму має детоксикаційна функція печінки. Механізми цього процесу полягають у перетворенні токсичних хімічних сполук на менш токсичні або взагалі не токсичні речовини. Прикладом цього є знешкодження аміаку, який утворюється під час дезамінування амінокислот та інших нітрогеновмісних сполук, за якого він перетворюється на менш шкідливу сечовину, яка виділяється в кров, а потім виводиться нирками в складі сечі. Ви пам'ятаєте, що внаслідок особливостей кровопостачання вся кров від травного тракту одразу прямує до печінки. Детоксикаційна функція цього органа робить його вкрай важливим «біологічним фільтром» нашого організму. Проте, значна частина токсичних сполук нейтралізується у печінці повільно або не змінюється зовсім. Через це слід уникати потрапляння таких сполук до організму.

Рис. 116. Небезпека наркоманії



Наркотичні сполуки порушують роботу систем задоволення головного мозку. Ці системи активуються природними чинниками меншою мірою, внаслідок чого в людини формується наркотична залежність – вона не може добре почуватися, не приймаючи наркотики. Нервові клітини також стають менш чутливими до наркотичних сполук, тому для досягнення бажаного ефекту доза має збільшуватися, часто в десятки разів. Водночас наркотичні речовини негативно впливають й на інші фізіологічні системи, чинячи переважно негативний, токсичний ефект.



Створіть просвітницький проект «Ні – вживанню наркотичних речовин!», використовуючи наукову літературу та інтернет-джерела.



1. Дайте означення поняття *токсичні речовини*.
2. Який вплив токсичних речовин на організм людини?
3. Яка роль печінки у знешкодженні токсичних речовин в організмі людини?

## § 27. Нейрогуморальна регуляція функціонування організму людини

Що таке гомеостаз?

Які способи регуляції функцій організму людини?

Що таке гормони?

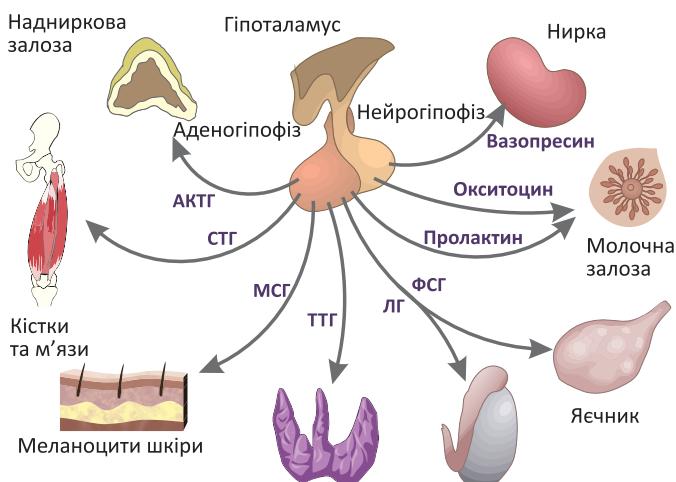
Ви пам'ятаєте, що однією з ключових властивостей живого є саморегуляція – здатність підтримувати на сталому рівні склад внутрішнього середовища (гомеостаз) та цілісність організму.

**Способи регуляції функцій організму людини.** Забезпечення гомеостазу в людини забезпечується трьома основними способами: нервовим, гуморальним та імунним.



**Нервова регуляція** забезпечується діяльністю нервової системи, основою функціонування якої є генерація і передача між клітинами нервових імпульсів. Інформація про внутрішнє та навколоінше середовище організму сприймається спеціалізованими рецепторами. Після обробки нейронами нервової системи ця інформація передається до різноманітних ефекторів – м'язів і залоз. Шлях збудження від рецептора до ефектора називається рефлексорною дугою. **Гуморальна регуляція** здійснюється виділенням у внутрішнє середовище організму гормонів. Органи, що продукують гормони, називаються залозами внутрішньої секреції або ендокринними залозами (рис. 117). Ці речовини виділяються у кров, транспортуються до органів і впливають на їх клітини, безпосередньо активуючи певні ферментативні системи або ж регулюючи активність окремих генів (§39).

Рис. 117. Гіпоталамо-гіпофізарна регуляція ендокринних залоз організму



Разом з гіпофізом гіпоталамус утворює гіпоталамо-гіпофізарну систему, у якій гіпоталамус регулює функціонування гіпофіза, тобто є центральною сполучною ланкою між нервовою та ендокринною системою.



Пригадайте функції відомих вам гормонів. Поясніть функціонування зображеної системи регуляції

Завданням *імунної регуляції* є підтримка генетичної цілісності організму.

**Нейрогуморальна функціональна система.** Ця система здійснює поєднання нервових і гуморальних механізмів, головна роль у ній належить складовій проміжного мозку – гіпоталамусу. Його нейрони отримують інформацію про стан внутрішнього середовища організму. Нервовими шляхами через волокна симпатичної та парасимпатичної нервової системи він може надсилати керівні команди до різних ефекторних органів, впливаючи на кровообіг, травлення та роботу інших внутрішніх органів, адаптуючи їх до поточного функціонування організму. Деякі його нейрони виділяють спеціалізовані гормони (рилізинг-фактори), які керують роботою гіпофіза. Гіпофізарні тропні гормони (рис. 117), своєю чергою, впливають на функціонування інших ендокринних залоз, чиї гормони регулюють значну кількість процесів організму (табл. 4).

Отже, система нейрогуморальної регуляції є складною, багаторівневою та ієрархічною. За поширеністю впливу гормони можуть бути вузькоспецифічними, тобто впливати на окремі клітини чи окремі біохімічні реакції, або ж системними, тобто впливати на значну кількість різноманітних клітин. Специфічні гормони регулюють перебіг конкретних реакцій (наприклад, концентрація глюкози у крові регулюється гормоном підшлункової залози інсуліном). Системні гормони регулюють загальний рівень і напрямок обмінних процесів в організмі (наприклад, гормон щитоподібної залози тироксин впливає на енергетичний обмін). Порушення нейрогуморальної регуляції супроводжується розвитком захворювань. Наприклад, недостатнє утворення інсуліну спричиняє цукровий діабет, унаслідок якого в крові підвищується рівень глюкози. Надлишок в крові тироксіну спричиняє базедову хворобу, а нестача – мікседему. Причиною виникнення таких захворювань, як гігантизм та карликівість є відповідно надлишок та нестача гормону росту.

Таблиця 4

<b>Гіпофіз</b> Соматотропін (гормон росту)	Стимулює синтез білка у клітинах різних тканин, забезпечуючи ріст організму
<b>Щитоподібна залоза</b> Тироксин, трийодтиронін	Посилюють енергетичний обмін тканин, на клітинному рівні спричиняють збільшення числа мітохондрій
Кальцитонін	Регулює обмін Кальцію, збільшуєчи швидкість утворення кісткової тканини
<b>Прищітоподібні залози</b> Паратгормон	Регулює обмін Кальцію, зменшуючи його кількість в кістковій тканині
<b>Надніркові залози</b> Мінералокортикоїди (альдостерон, кортикостерон)	Беруть участь у регуляції водно-сольового балансу у організмі, впливаючи на функціонування нирок
Глюкокортикоїди (кортизон, гідрокортизон)	Регулюють обмін білків, ліпідів і вуглеводів, переважно стимулюють реакції енергетичного обміну
Адреналін, норадреналін	Забезпечують реакцію «боротьба або втеча»
<b>Підшлункова залоза</b> Інсулін	Збільшує споживання глюкози клітинами
Глюкагон	Збільшує концентрацію глюкози в крові, стимулює розщеплення глікогену



1. Дайте означення поняття *нейрогуморальної регуляції*.
2. Поясніть взаємозв'язок нервової та ендокринної регуляції метаболізму.
3. Схарактеризуйте на прикладах регулятивний вплив гормонів на обмін речовин.

## Індивідуальні завдання

### Еритроцити та АТФ-аза

Ознайомтеся з інформацією:

«Енергетичними молекулами клітини є АТФ. Органічна сполука АТФ-аза забезпечує відщеплення від молекули АТФ третього залишку ортофосфатної кислоти. Цей процес супроводжується вивільненням енергії, яку використовує клітина, а тому АТФ-ази задіяні в багатьох клітинних функціях. Зокрема було досліджено, що молекула АТФ є «паливом» для роботи натрій-калієвого насосу клітинних мембран. Тоді перед ученими постало питання: чи не містять мембрани спеціальної АТФ-ази, яка передає натрій-каліевому насосу енергію від АТФ? У 1957 році фермент  $\text{Na}^+ \text{-K}^+$ -АТФ-азу було відкрито данським хіміком Йенсом Скоу, за що він отримав Нобелівську премію з хімії (1997р.). Цікаві відомості щодо взаємозв'язку цього ферменту з роботою натрій-каліевого насоса були отримані на мембранах еритроцитів. Йонний склад еритроцитів людини відрізняється від навколошнього середовища (див. таблицю), що свідчить про активну роботу насоса. У порівнянні з умістом еритроцитів людини, в еритроцитах собак та кішок багато іонів Натрію. Виявилося, що мембрани еритроцитів цих тварин не містять АТФ-азу, а людини містять.»

Рідина	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{PO}_4^{3-}$
Плазма крові	142	5	2
Спинномозкова рідина	142	3	—
Цитоплазма еритроцита	19	136	140

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеної інформації?

- А ферменти за своєю хімічною природою є білками
- Б робота натрій-каліевого насоса зумовлює переважання іонів Калію в позаклітинному середовищі організму людини
- В наявність великої кількості іонів Натрію в еритроцитах кішок і собак свідчить про активну роботу натрій-каліевого насоса
- Г робота натрій-каліевого насоса мембрани еритроцитів людини пов'язана з наявністю АТФ-ази

**Завдання 2.** Учень та учениця аналізували наведену таблицю вмісту деяких іонів у рідинах організму людини. Учень зазначив, що більша кількість ортофосфат-аніону міститься у внутрішньоклітинному середовищі в порівнянні з плазмою крові. Учениця зауважила, що цей аніон необхідний для синтезу АТФ. Хто має рацію?

- А лише учень
- Б лише учениця
- В обею мають рацію
- Г обею помилляються

**Завдання 3.** Поясніть взаємозв'язок будови та функції молекули АТФ.

## Індивідуальні завдання

### Кисень і висота

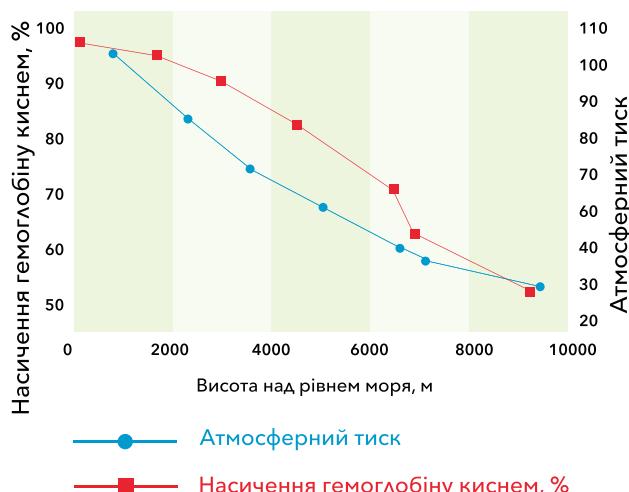
Ознайомтеся з інформацією:

«Під час підйому людини в гори одночасно понижується атмосферний тиск, парціальний тиск кисню в атмосфері і легеневих альвеолах. Це може викликати гіпоксемію – знижений уміст кисню в крові, а також гіпоксію (кисневе голодування) – стан, що виникає за недостатнього постачання тканин киснем або порушені його використання в процесі біологічного окиснення. Кисень необхідний для процесів окисного фосфорилювання, за якого синтезується АТФ. Дефіцит кисню порушує перебіг усіх процесів в організмі, що залежать від енергії АТФ, наприклад роботу мембраних насосів клітин, що транспортують іони проти градієнту концентрацій, синтез високомолекулярних сполук – ферментів, рецепторів гормонів, медіаторів тощо.»

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеної інформації?

- А синтез вуглеводів і жирів в організмі людини відбувається без участі АТФ
- Б унаслідок підйому в гори одночасно підвищується атмосферний тиск, що може викликати гіпоксією
- В унаслідок зниження постачання до організму кисню може порушуватися проведення нервових імпульсів
- Г із пониженням атмосферного тиску підвищується парціальний тиск кисню в легеневих альвеолах

**Завдання 2.** Учень та учениця аналізували графік залежності насыщення гемоглобіну киснем і залежності атмосферного тиску від висоти над рівнем моря. Учень зазначив, що із збільшенням висоти над рівнем моря насычення гемоглобіну киснем знижується. Учениця висловила судження, що це відбувається через зростання атмосферного тиску. Хто має рацію?



- А лише учень
- Б лише учениця
- В обое мають рацію
- Г обое помилляються

**Завдання 3.** Які можливі шляхи адаптації організму людини під час підйому в гори та до проживання в місцевостях, що розташовані високо над рівнем моря?

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень.

### Обмін речовин і перетворення енергії

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

- Процес утворення органічних сполук з неорганічних за рахунок світлової енергії називають
  - А гліколізом
  - Б фотолізом
  - В фотосинтезом
  - Г хемосинтезом
- Із залишків глюкози в клітині можуть утворюватися
  - А нуклеїнові кислоти
  - Б полісахариди
  - В ліпіди
  - Г білки
- Укажіть поміж зображених автотрофний організм.



- Укажіть спосіб живлення гетеротрофного організму, за якого один з організмів певний час використовує іншого як джерело живлення та середовище існування.
  - А хижакство
  - Б фітофагія
  - В сапрофагія
  - Г паразитизм
- На рисунку зображено один зі способів цитозу. Який процес забезпечується в такий спосіб?
  - А дифузія кисню
  - Б дифузія вуглекислого газу
  - В поглинання клітинами бактерій
  - Г підтримання концентрації йонів  $\text{Na}^+$  у клітині
- Укажіть захворювання, яке виникає внаслідок нестачі вітамінів.

- А рапіт
- Б поліоміеліт
- В дизентерія
- Г ендемічний зоб



**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.** Учень та учениця обговорювали енергетичну цінність фруктів, уміст речовин у яких наведено. Учень зазначив, що найбільшу енергетичну цінність має інжир, який містить більше жирів і білків. Учениця зазначила, що найменшу енергетичну цінність має виноград. Хто має рацію?
- А лише учень
  - Б лише учениця
  - В обое мають рацію
  - Г обое помиляються
- | Фрукти          | Уміст у 100 г продукту |      |           |
|-----------------|------------------------|------|-----------|
|                 | Білки                  | Жири | Вуглеводи |
| <b>Інжир</b>    | 2,8                    | 0,9  | 57,8      |
| <b>Фініки</b>   | 2,1                    | 0,6  | 72,3      |
| <b>Виноград</b> | 0,1                    | 0    | 17,3      |
- 9.** Прочитайте опис: «*Ферменти, які розщеплюють вітаміни, малоактивні за низьких температур*». Укажіть умову зберігання або обробки харчових продуктів, яка пов'язана з описаною властивістю.
- А овочі та фрукти необхідно зберігати в закритих контейнерах
  - Б овочі та фрукти необхідно зберігати охолодженими
  - В мити овочі та фрукти краще до нарізання
  - Г варити овочі треба в невеликій кількості води

**Тестові завдання з коротким описом (1,5 бала)**

- 10.** Укажіть правильні твердження щодо енергетичного обміну.
- |  |   |                    |
|--|---|--------------------|
| Частина енергії, яка вивільняється в реакціях, запасається під час утворення молекул | В еукаріотичних клітинах пов'язаний з функціонуванням | Одним з процесів є |
| 1 глюкози  | 1 комплексу Гольджі                                   | 1 гліколіз         |
| 2 кисню  | 2 клітинного центру                                   | 2 фотосинтез       |
| 3 АТФ  | 3 мітохондрій   | 3 хемосинтез       |
- 11.** Укажіть правильні твердження щодо білків.
- |                 |                                   |                    |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------|
| Мономерами є    | Одна із функцій в клітині         | До білків належить |
| 1 жирні кислоти | 1 каталітична                     | 1 крохмаль         |
| 2 амінокислоти  | 2 теплоізоляційна                 | 2 пепсин           |
| 3 нуклеотиди    | 3 збереження спадкової інформації | 3 хітин            |

**Виконайте обране завдання в письмовій формі (3 бали)**

Обґрунтуйте взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну в рослинній клітині.

Оцініть важливість раціонального харчування для збереження здоров'я.



*Тема 3*  
**СПАДКОВІСТЬ І МІНЛИВІСТЬ**

## З історії відкриттів

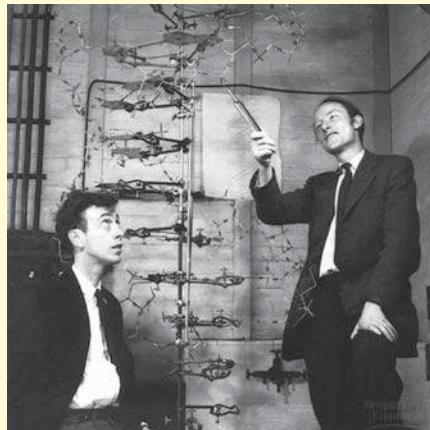
Перші відомості про успадкування ознак отримано з повсякденних спостережень і медичної практики. Багато цінних спостережень за успадкуванням ознак у людей і тварин уміщено в наукових, філософських і літературних джерелах стародавніх і середніх віків. Прості типи успадкування ознак у людини описано задовго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

Батьком генетики вважають австрійського ботаніка Грегора Йоганна Менделя, який відкрив закономірності успадкування ознак за схрещування організмів. У 1866 р. він опублікував отримані результати в праці під назвою «Експерименти з рослинними гібридами». Але інтерес до публікації був незначним. Лише на початку ХХ ст. було усвідомлено важливість висновків Грегора Менделя. У 1900 р. закони Менделя «перевідкрили» 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 роках у працях німецького зоолога Августа Вейсмана, американських біологів-генетиків Т. Х. Моргана, А. Штурцеванта, Г. Д. Меллера та інших. У ній стверджується, що передавання ознак і властивостей організму від покоління до покоління (спадковість) здійснюється переважно через хромосоми, у яких містяться гени.

У квітні 1953 р. в англійському журналі *Nature* з'явилася стаття Джеймса Дьюї Вотсона і Френсіса Кріка 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, і процесів відтворення неклітинних форм життя (вірусів), роботи з рентгеноструктурного аналізу, у яких брали участь також англійські вчені в галузі біофізики Морісс Вілкінс і Розалінд Франклін. У 1968 р. американських науковців Роберта Голлі, Гара Гобінда Корана, Маршалла Ніренберга нагороджено Нобелівською премією за розшифрування генетичного коду та визначення його ролі в синтезі білків. Дослідження вчених допомогло зрозуміти, як на основі ДНК формується структура молекул РНК та як функціонує генетичний код, зумовлюючи перетворення цієї структури на послідовність амінокислот у молекулі білка. Відкриття започаткувало вивчення можливості контролювати спадковість і позбавлятися спадкових патологій.



Грехор Йоганн Мендель  
(1822–1884)



Джеймс Дьюї Вотсон і  
Френсіс Крік біля моделі ДНК

## § 28. Генетика як наука



Що таке науковий метод?

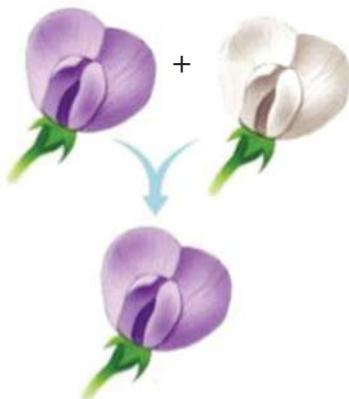
Чому спадковість і мінливість є важливими властивостями живого?



Здатність організмів зберігати й передавати спадкову інформацію наступним поколінням називається **спадковістю**. Разом з **мінливістю** – здатністю організмів набувати різних форм і мати різні ознаки – вона є однією з ключових властивостей живого. Без спадковості було б неможливим самовідтворення живого. Мінливість створює різноманітність організмів, яка є матеріалом для еволюції, а відтак – для розвитку життя на Землі. У цьому розділі ми розглянемо закономірності передавання ознак з покоління в покоління, які вивчає розділ біології як **генетика**.

**Методи генетики.** Перші дані щодо успадкування різних ознак, отримувалися шляхом спонтанного спостереження. Наукові ж результати вперше було отримано Г. Менделем, який використав **гібридологічний метод** – схрещування організмів з різними ознаками та аналіз їхнього потомства (рис. 118). Ми розглянемо його в наступних параграфах. Зрозуміло, що експериментальне схрещування не можна застосувати для дослідження успадкування ознак людини. Для цього розроблено низку інших методів. Так, за допомогою **генеалогічного аналізу** досліджують вияв ознак у родичів у ряді поколінь (рис. 119). Крім того, можна порівнювати розвиток і ступінь вияву ознак у близнят – такий метод називають **близнюковим**. На основі його результатів можна зробити висновок, наскільки ті чи інші ознаки зумовлені генетичною інформацією, а наскільки – впливом середовища (§43). Учених у галузі біології, медицини цікавлять не лише механізми формування нормальних ознак, а першочергово механізми

Рис. 118. Принцип гібридологічного методу

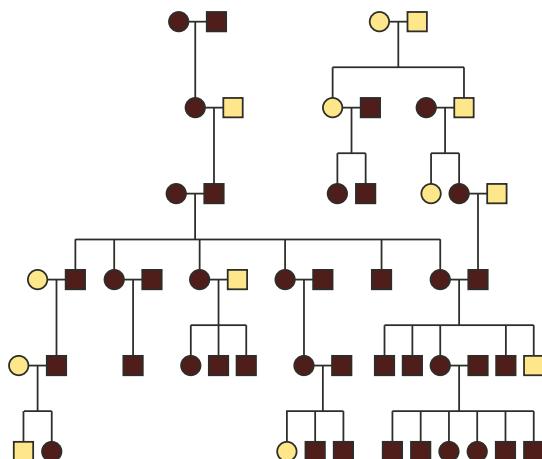


За схрещування рослин з фіолетовими та білими квітками утворюються лише рослини з фіолетовими квітками.



Про що свідчить цей результат?

Рис. 119. Приклад родоводу (генеалогічного дерева)



Квадратики позначають чоловіків, кружечки – жінок. Темним кольором позначено людей з певною ознакою чи хворобою, успадкування якої досліджується.

розвитку та шляхи корекції захворювань. Сукупність таких досліджень становить **медичну генетику** (§ 43).

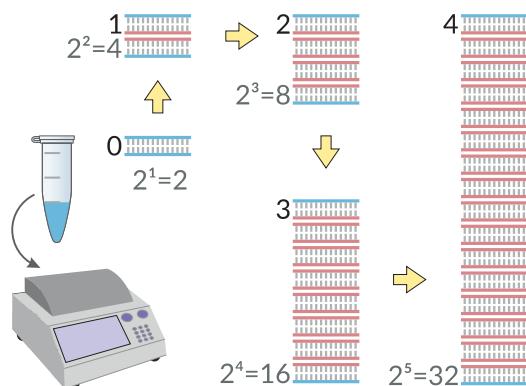
**Цитологічні методи**, зокрема пов'язані з аналізом набору хромосом, можуть виявити деякі спадкові захворювання, наприклад синдром Дауна.

Ще більше інформації ми можемо отримати за допомогою методів **молекулярної біології**. **Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР)** забезпечує копіювання молекул ДНК лабораторного зразка (рис. 120), щоб далі мати можливість аналізувати їх іншими методами. **Секвенування** (від англ. *sequence* – послідовність) – процес «читання», визначення нуклеотидної послідовності певних генів. Воно дає можливість виявляти різні варіанти генів, у тому числі пов'язані з хворобами – **генетичні маркери** (§ 43). Це дає змогу надавати персоналізовані поради стосовно профілактики або лікування захворювань. Важливу інформацію можна отримати, використовуючи **тваринні моделі** (рис. 121). Завдяки аналізу структури ДНК учени здатні ідентифікувати гени, які є подібними в людини і тварин. З метою розуміння їхніх функцій можуть інактивувати такі гени у тварин шляхом викликаних мутацій, після чого спостерігати за змінами в діяльності клітин, органів і цілого організму.

Методи **генетичної інженерії** дають змогу змінювати клітини задля набуття організмами корисних для людини властивостей. Одним з найсучасніших напрямів біомедичної науки є генетична модифікація клітин задля лікування певних хвороб (§ 43). Ще одним напрямом науки про спадковість є **популяційна генетика** (§ 40), яка аналізує зв'язок між наявними варіантами генів (зокрема мутаціями) та ознаками або захворюваннями.

Отже, для розуміння механізмів формування ознак і процесів спадковості проводять дослідження на молекулярному, клітинному, організмовому чи популяційному рівнях.

Рис. 120. Принцип методу ПЛР



За кожен цикл роботи кількість ДНК дослідного зразка подвоюється, після 30-го циклу утворюється більше ніж 2 млн копій.



Відкриття та вивчення яких організмів привело до створення методу ПЛР?



1. Що таке генетика?
2. Схарактеризуйте методи генетичних досліджень.
3. Поясніть, із розвитком яких наук пов'язане становлення сучасних методів генетичних досліджень.

Рис. 121. Найбільш поширені в біомедицині модельні організми



Розпізнайте представників різних видів: круглий черв *Caenorhabditis elegans*, муха *Drosophila melanogaster*, риба *Danio rerio*, хатня миша *Mus musculus*, шимпанзе *Pan troglodytes*.

Чий геном є найбільш близьким до людини і чому?

## § 29. Зберігання генетичної інформації в клітинах



Які особливості будови молекули ДНК, клітинного ядра? Що таке хроматин? Яка біологічна функція молекули ДНК? Що таке ген, геном?



Ви пам'ятаєте, що генетична інформація зберігається в структурі молекул ДНК, які є обов'язковим компонентом клітин усіх організмів. Передавання ДНК до клітин наступних поколінь є основою спадковості.

**!** Сукупність молекул ДНК, що містяться в одній клітині, називають геномом.

У еукаріотів більша частина ДНК міститься в **ядрі**. Саме в ньому відбуваються ключові процеси, які забезпечують збереження, реалізацію та передавання наступним поколінням генетичної інформації. Усі ядра мають подібну будову, а саме – поверхневий апарат (оболонку) і внутрішнє середовище (матрикс) (рис. 122). Поверхневий апарат ядра утворюють дві мембрани – зовнішня та внутрішня, між якими є заповнена рідиною щілина. Внутрішній вміст 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 змінити рівень активності генів (§ 39), а тому контроль такого транспортування важливий для регуляції роботи клітини. Головна за функціями частина ядерного вмісту – **хроматин** (рис. 123), який складається з молекул ДНК, сполучених з білками – **гістонами**. Гістони, зокрема, захищають ДНК від впливу хімічних сполук, запобігаючи виникненню мутацій (§ 37).

Рис. 122. Будова ядра

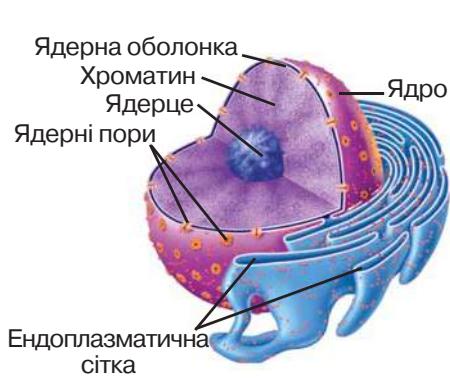
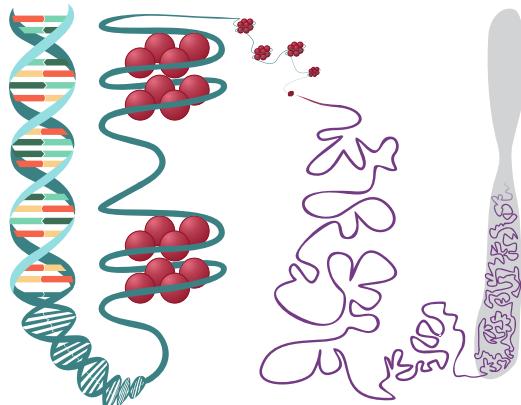


Рис. 123. Структура хроматину



Схарактеризуйте функції головних складових ядра.



Знайдіть на рисунку молекулу ДНК, гістонові білки та конденсовану хромосому.

**Організація 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.

Нитки ДНК, ніби частково намотані на гістонові молекули, формують структури, подібні до намиста. Вони, своєю чергою, можуть закручуватися в спіралі, які вкладатимуться в петлі, а петлі вкладатимуться в петлі другого порядку. Такий процес називається ущільненням, або конденсацією хроматину. Максимально ущільнений хроматин формує X-подібні структури – **хромосоми** (рис. 124). Вони стають помітними в полі зору мікроскопа лише під час клітинного поділу. 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, розплетеному стані.

Окрім ядерної ДНК, геном еукаріотичних клітин містить ДНК мітохондрій і пластид. Порівняно з ядерними хромосомами, їх розміри невеликі: від 15 до 170 тис. пар нуклеотидів, кілька десятків (до 100) генів (порівняйте з розмірами ядерних геномів (див. таблицю 5). Позаядерна ДНК також забезпечує частину спадковості, проте її закономірності дещо відмінні, ми розглянемо їх окремо (§ 36).



**Гени.** Спадкова інформація записана в молекулах ДНК певними порціями: різні ділянки цих молекул містять інформацію про різні ознаки. Згідно з сучасними уявленнями про молекулярно біологічне підґрунтя спадковості, можна навести таке їх означення.

⚠ **Ген** – це ділянка ДНК, на основі якої може відбуватися синтез функціональних молекул РНК. Сумісність генів певного організму називають **генотипом**. Генетична інформація зумовлює ознаки організму.

Деякі з генів кодують структури білків (гени мРНК), інші ж кодують РНК

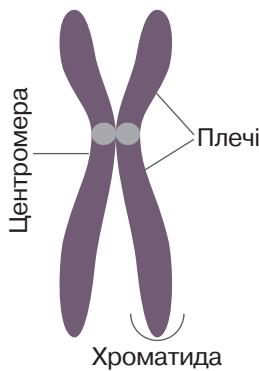
Таблиця 5.

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 – дигплоїдні організми.

Рис. 124. Структура хромосоми



У такому стані хромосоми існують під час поділу клітин. На цій стадії кожна хроматида містить одну молекулу ДНК.



Проаналізуйте твердження.

I. Геном еукаріотів містить менше генів, ніж геном прокаріотів.

II. Лише 3% геному людини містить інформацію про гени. Чи є поміж них правильні?

із самостійними функціями (рРНК, тРНК). «Білкові» гени еукаріотів мають певну структуру (рис. 125). Основна частина, яку називають *кодувальною*, містить інформацію про структуру білка (або РНК). На початку гена розташована послідовність нуклеотидів, яку називають *промотором*. Саме з нею зв'язуються білки, які зчитують інформацію. За кодувальною частиною розташована завершальна ділянка гена, яку називають *термінатором*.

За функціями умовно розділяють *структурні* гени, які визначають певну ознаку (наприклад, кодують фермент, що каталізує певну хімічну реакцію), та *регуляторні*, основним ефектом яких є вплив на активність інших генів.

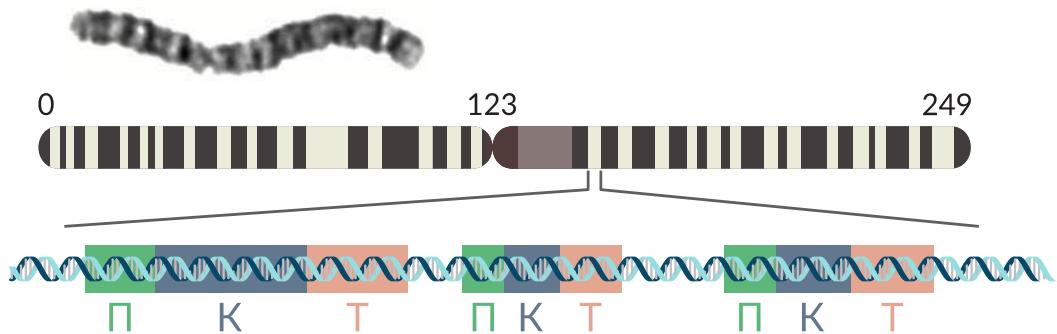
Не весь геном утворений генами. Між генами існують проміжки, які не містять інформації про будову білків або РНК. Крім того, некодувальні ділянки можуть бути всередині генів еукаріотів – їх називають інtronами (§ 31). Кількість некодувальної ДНК суттєво різничається в різних видів (див. табл. 5). Наприклад, у людини на неї припадає більше ніж 97% ДНК, натомість відома рослина, у якої вона займає всього 3%. 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 (§ 39).

**Хромосоми і каріотипи.** Кількість і розміри хромосом (відповідно кількість і довжина молекул ДНК) у клітині є видовою ознакою, яка може суттєво варіювати в представників різних видів.

💡 Сукупність хромосом, які містяться в ядрах клітин, називають **каріотипом**.

Існують організми, клітини яких містять виключно хромосоми з унікальним, відмінним від інших, набором генів. Такі клітини називають **гаплоїдними**. Клітини інших організмів (у тому числі й людини) мають подвійний набір

Рис. 125. Структура гена



Мікрофотографія та схематична структура першої хромосоми людини (числа відповідають мільйонам пар нуклеотидів). Показано три гени, кожен з яких містить промотор (П), кодувальну частину (К) і термінатор (Т). Світлі смужки відповідають ділянкам, що містять багато генів, темні – ділянкам, які майже не містять генів.



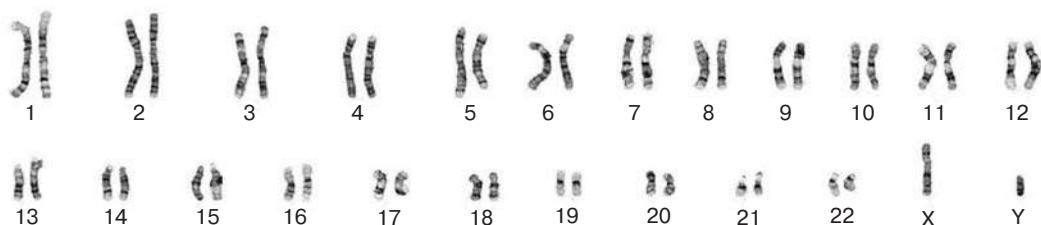
Підготуйте повідомлення з теми: «Хромосоми людини та гени, що в них містяться», «Планування та реалізація проекту «Геном людини». Користуйтесь для цього науковою літературою та інтернет-джерелами.

хромосом. Це означає, що в клітинах містяться пари хромосом, які характеризуються однаковим набором генів, розташованих в однаковій послідовності.

Такі хромосоми називають гомологічними, а клітини з подвійним набором – **диплоїдними**. Багато диплоїдних організмів мають особливу пару хромосом, яка різничається структурою в представників різних статей. Таку пару називають статевими хромосомами. Нестатеві хромосоми називають аутосомами. Хромосоми можуть бути ідентифікованими за допомогою світлової мікроскопії. Вони різняться за довжиною, місцем розташування первинної перетяжки (центромери) та закономірностями чергування світлих і темних смужок (рис. 126). Організми з несумісними наборами хромосом нездатні сформувати плідне потомство, а відтак учени розглядають їх як представників різних видів.

**Особливості геному та хромосомного набору людини.** Розшифрування геному людини було одним з найбільших наукових проектів, воно тривало більше ніж 10 років. У результаті було встановлено, що він складається з 3,2 млрд пар нуклеотидів ядерної ДНК. Лише близько 3% цієї ДНК кодують гени, яких налічується більше ніж 20 тис. Мітохондріальна ДНК є суттєво коротшою – її розмір усього 16–17 тис. пар нуклеотидів, проте кожна клітина містить багато (кілька сотень або тисяч) мітохондрій. У цій молекулі записано всього 37 генів, які кодують власні мітохондріальні ДНК, а також білки, залучені до функціонування дихального ланцюга (наприклад АТФ-синтетазу). Каріотип людини складається з 46 хромосом, які формують 23 пари. З них 22 пари є аутосомами, а 23-тя статева: жінки мають дві X-хромосоми, натомість у чоловіків є одна X і одна Y. Y-хромосома є коротшою та містить менше генів, ніж X, а тому вони не є гомологічними. Порушення хромосомного набору, яке може виникнути під час клітинного поділу, часто призводить до загибелі клітини або формування хромосомних захворювань (§ 37).

Рис. 126. Набір хромосом (каріотип) людини (світлова мікроскопія)



Можна бачити, що кожна пара хромосом має свої особливості будови



Визначте, які з зображених хромосом є статевими. Яку стать має людина, каріотип якої зображенено на цьому рисунку?



1. Дайте означення понять *геном*, *ген*, *каріотип*.
2. Порівняйте організацію геному прокаріотичної та еукаріотичної клітини.
3. Опишіть структуру гена.
4. Що таке структурні та регуляторні гени?
5. Чому каріотип є одним з критеріїв виду?
6. У чому особливість геному та хромосомного набору людини.
7. Обґрунтуйте значення досліджень геному людини.

## § 30. Передавання генетичної інформації з покоління в покоління



Що таке принцип комплементарності?

Як відбувається процес розмноження в людині?



Ми вже з'ясували, як генетична інформація зберігається в клітинах. Для того, щоб гени, які входять до її складу, могли передатися наступним поколінням та зумовити певні ознаки, існують процеси її передавання, пов'язані з поділом клітин. Дуже важливим етапом клітинного циклу є подвоєння наявної в клітині ДНК – **реплікація** (рис. 127). Вона відбувається перед клітинним поділом.

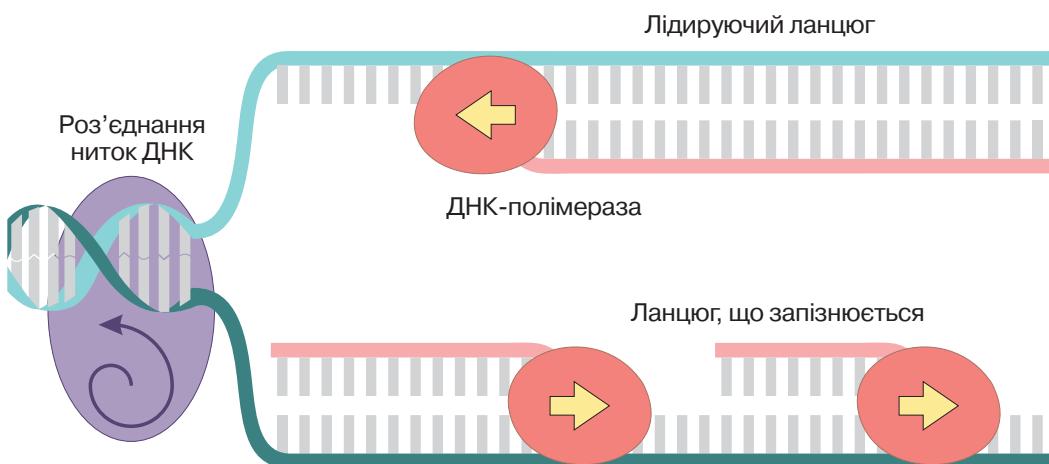


**Реплікація** – процес подвоєння ДНК, у якому на основі однієї молекули утворюються дві її копії.

Ви пам'ятаєте, що важливою особливістю будови молекул ДНК є те, що вона складається з двох лінійних ланцюжків нуклеотидів. Структура кожного з них комплементарно повторює структуру іншого – напроти аденоїлового (А) нуклеотиду одного ланцюга в іншому завжди тимідиловий (Т), а напроти гуанілового (Г) завжди цитидиловий (Ц). Під час реплікації спеціалізовані ферменти розділяють нитки ДНК та добудовують до кожної з них нову, дотримуючись принципу комплементарності. У результаті формуються дві ідентичні молекули, що будуть у процесі поділу передані до двох дочірніх клітин.

Існує кілька варіантів передавання генетичної інформації наступним поколінням. У найпростішому з них, що притаманний, наприклад, прокаріотам, вихідна клітина ділиться **простим поділом** на дві дочірні, кожна з яких отримує копію материнської молекули ДНК (яка в прокаріотів одна). У більш складному

Рис. 127. Реплікація



Пригадайте та схарактеризуйте процес реплікації. Що є його результатом?

варіанті розмноження організмів пов'язано з обміном між ними генетичною інформацією. Такий спосіб розмноження називають *статевим*, він здійснюється шляхом формування спеціалізованих статевих клітин.



У багатьох організмів, у тому числі й у людини, формування статевих клітин відбувається за участі особливого типу клітинного поділу – *мейозу*.

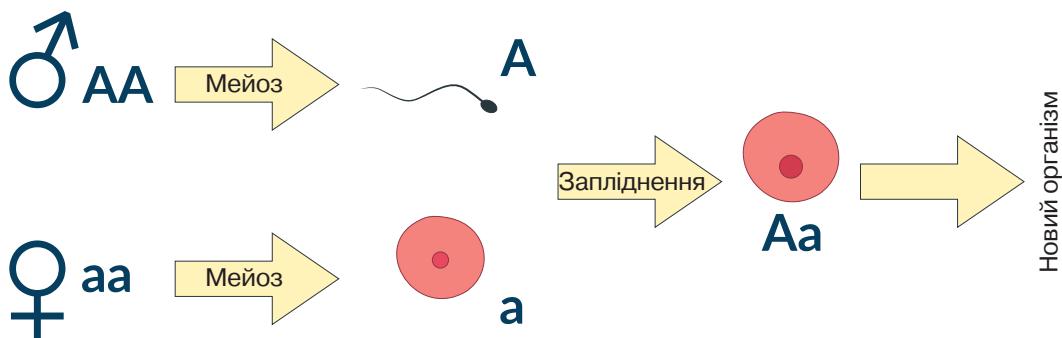
**Мейоз** – тип клітинного поділу, за якого вдвічі зменшується число хромосом (кількість молекул ДНК).

Унаслідок мейозу з диплоїдної клітини утворюються гаплоїдні клітини (рис. 128). Мейоз має низку відмінностей від іншого типу клітинного поділу – *мітозу*. У результаті мітозу утворюються дві клітини, що мають ідентичний материнський набір ДНК (а відтак – і генів). За мейозу ж формуються гаплоїдні клітини, а отже статеві клітини мають лише половину генетичної інформації, що була в батьківського організму. Крім того, унаслідок *кросинговеру* – обміну гомологічними ділянками між парними хромосомами – статеві клітини можуть містити такі комбінації варіантів генів, яких не було в батьків.

Процеси, пов'язані з розмноженням, ми розглянемо детальніше в наступній темі, а зараз відзначимо головні факти, що стосуються більшості диплоїдних організмів (у тому числі й людини):

- розмноження відбувається за участі статевих клітин (або гамет), які мають одинарний, гаплоїдний набір хромосом (ДНК, а отже й генів);
- розвиток організму наступного покоління починається зі злиття двох гамет (запліднення), унаслідок чого відновлюється диплоїдність клітин;
- організм наступного покоління має два набори генів, кожен з яких походить від одного з батьківських організмів;
- крім описаних вище генів, що зберігаються в ядрі, з покоління в покоління переходить невелика кількість генів мітохондрій і хлоропластів (у рослин).

Рис. 128. Схема передавання ядерної генетичної інформації з покоління до покоління



Знаки Марса (♂) та Венери (♀) позначають батьківський і материнський організми. Літери позначають певні гени.



Поясніть, чому організми мають по дві копії цього гена.



1. Дайте означення понять *реплікація*, *мейоз*.
2. Поясніть біологічне значення гаплоїдного набору хромосом статевих клітин.
3. Як формується генотип наступного покоління?
4. Чому дочірній організм має гени, що притаманні обом батьківським організмам?

## § 31. Реалізація спадкової інформації: транскрипція та процесинг РНК



Які процеси забезпечують реалізацію спадкової інформації?

Які існують відмінності в будові РНК та ДНК?



Збереження та передача наступним поколінням спадкової інформації є важливими процесами, але для формування ознак організму потрібно, щоб ця інформація була використана, реалізована в правильний спосіб. Утворення на основі генетичної інформації функціональних продуктів (білків або РНК) називають *експресією* гена. Цей процес складається з низки послідовних етапів (рис. 129), першим з яких є зчитування інформації з ДНК або *транскрипція*.

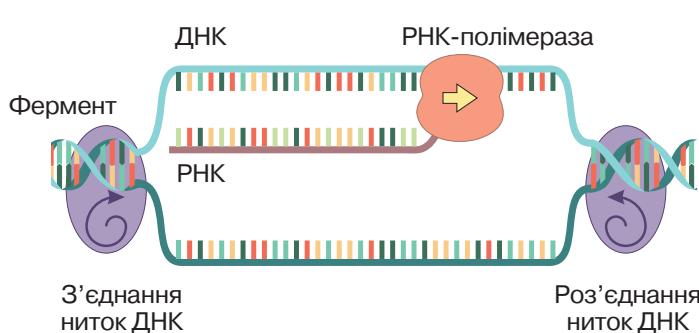
**Транскрипція** – синтез молекули РНК з використанням молекули ДНК як матриці.

**Етапи транскрипції.** 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 (рис. 130), першим з яких є з'язування з промотором гена. Для цього РНК-полімераза має бути з'єднаною з одним або кількома іншими важливими білками – *транскрипційними факторами*. Вони визначають, з яким саме геном з'язуватиметься зазначений фермент, а отже, впливають на активність генів, що має важливе значення для регуляції росту та розвитку організму. Гени, які кодують транскрипційні фактори, є регуляторними. Наступним етапом є синтез молекули РНК (рис. 130). РНК-полімераза роз'єднує дві нитки ДНК і рухається вздовж лише однієї з них. Вона розпізнає нуклеотиди ДНК і включає

Рис. 129. Процеси реалізації генетичної інформації



- 1 – транскрипція,  
2 – трансляція,  
3 – функціонування  
білків.



Поясніть, чому спадкова інформація найчастіше стосується будови молекули білка.

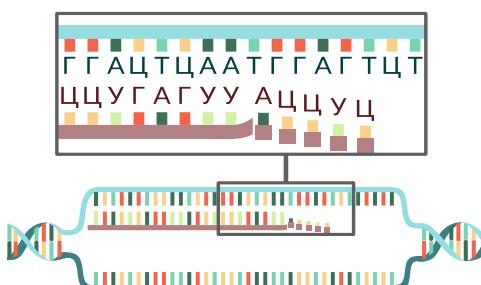
в молекулу РНК комплементарні до них РНК-нуклеотиди (рис. 131).

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 розрізняють кілька типів молекул РНК. **Рибосомні** РНК (рРНК) входять до складу рибосом і забезпечують їхне 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. Існують і інші типи РНК. Усі вони беруть участь у біосинтезі білка або його регуляції. Переважна більшість генів ядерної ДНК кодує послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі («білкові гени»).

**Дозрівання РНК.** Утворені в процесі транскрипції молекули РНК ще не можуть виконувати своїх функцій. В еукаріотів вони зазнають певних змін, які називаються **процесингом**. Важливим його етапом є **сплайсинг** (від англ. *splice* – зрощувати, з'єднувати). Більшість генів еукаріотів містить некодувальні ділянки, що «виризаються» під час зазначеного процесу. Такі ділянки називають **інtronами**, а ті, що залишаються в молекулі РНК, – **екзонами**. Отже, сплайсинг – це процес «виризання» інtronів і «зшивання» екзонів. Зрозуміло, що інформацію про структуру білків містять лише екзони. На інtronи може припадати 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. 132). Уважають, що саме це є причиною описаної мозаїчної (екзонно-інtronної) структури генів. Зрілі молекули РНК експортуються з ядра в цитоплазму, де починають виконувати свої функції.

Рис. 131. Принцип комплементарності під час транскрипції

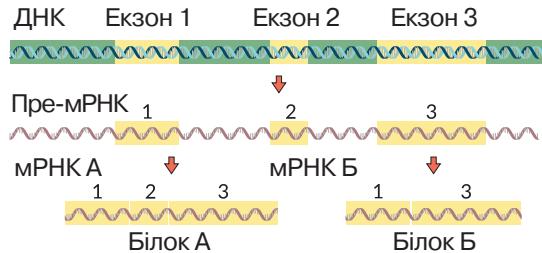


Змоделюйте послідовність нуклеотидів у молекулі мРНК, яка синтезується на такому фрагменті молекули ДНК: ААТГЦГЦАТЦГ.



1. Дайте означення понять транскрипція, транскрипційні фактори, процесинг, сплайсинг.
2. Схарактеризуйте типи РНК.
3. Опишіть будову гена еукаріотичної клітини.
4. Поясніть механізм транскрипції.
5. Підготуйте повідомлення з теми «Які особливості будови генів еукаріотичної клітини?», використовуючи інтернет-джерела.

Рис. 132. Дозрівання молекули РНК. Сплайсинг



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



Визначте, які екзони є спільними або відмінними в мРНК білків А і Б.

## § 32. Реалізація спадкової інформації: синтез білків і формування ознак



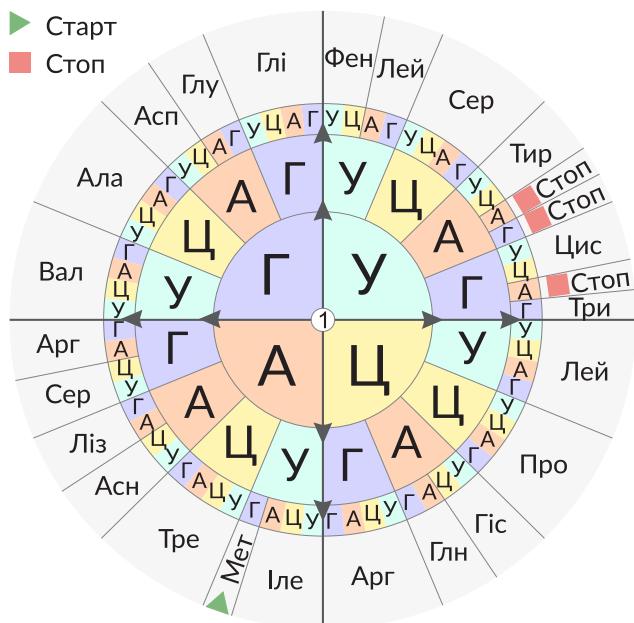
*Які особливості будови білків і нуклеїнових кислот як біополімерів.*

Молекули РНК, синтезовані на матриці ДНК, можуть виконувати самостійні функції (тРНК, рРНК), але більшість із них слугує переносником інформації про структуру білків (мРНК). Мономерами нуклеїнових кислот є нуклеотиди, а білки складаються з амінокислот. Отже, інформація про амінокислотну послідовність білків, тобто їхню первинну структуру, закодована в послідовності нуклеотидів молекул мРНК. Відтак синтез білкової молекули має відбуватися за правилом перетворення «нуклеотидної» інформації на «амінокислотну». Таким правилом є **генетичний код** – система запису послідовності амінокислотних залишків білкових молекул за допомогою послідовності нуклеотидів молекул РНК. Для генетичного коду (рис. 133) характерні певні властивості.

**1. Інформація з РНК читається порціями з трьох нуклеотидів.** Послідовність із трьох нуклеотидів називають триплетом або кодоном. Якщо уявити нуклеотиди як літери (іх є чотири – А, У, Г, Ц), то триплети – це слова, що складаються з цих літер. Триплети кодують 20 амінокислот і три спеціальні стоп-послідовності, що означають закінчення кодованого білка.

**2. Інформація зчитується безперервно.** Кожен наступний триплет починається відразу за попереднім (рис. 134). Триплети не перекриваються й не накладаються один на одного. Жоден нуклеотид не може водночас бути складовою двох триплетів.

Рис. 133. Таблиця генетичного коду



У таблиці наведено триплети РНК. Визначення певного триплету слід розпочинати від центра таблиці, позначеного цифрою 1. Перший нуклеотид триплета вибираємо з внутрішнього кола, другий – із другого кола, третій – із третього кола. У четвертому колі вказано скорочену назву кодованих амінокислот, старт-або стоп-кодон.



Визначте амінокислоти, які кодують триплети ЦЦЦ, ГЦА, УУУ

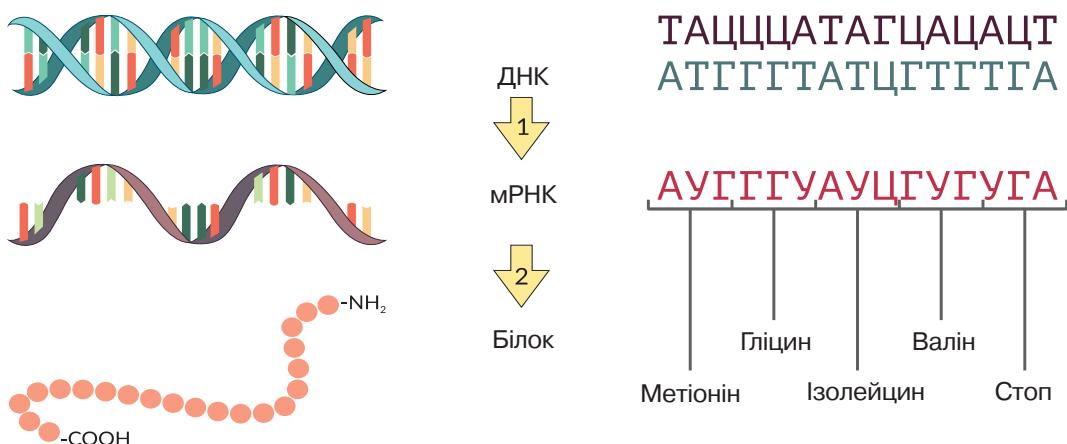
**3. Генетичний код є однозначним.** Кожен триплет відповідає лише одній амінокислоті (або є стоп-кодоном). Той самий триплет у клітині не може кодувати дві різні амінокислоти (рис. 133).

**4. Генетичний код є надлишковим.** Існують чотири типи РНК-нуклеотидів (А, У, Г, Ц), а триплет є комбінацією з трьох нуклеотидів. Відповідно, може бути всього  $4 \times 4 \times 4 = 64$  різних послідовностей із трьох зазначених літер. Отже, у такий спосіб можна закодувати не більше ніж 64 одиниці інформації. Проте до складу білків входять лише 20 різних амінокислот і 3 стоп-кодони. «Беззмістовних» триплетів не існує, а тому деякі амінокислоти закодовано більше ніж одним кодоном. Можна пересвідчитися, що амінокислота триптофан кодується лише одним триплетом, натомість аргінін – аж шістьма (рис. 133). 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 за допомогою схеми генетичного коду знайти варіанти таких замін*).

**5. Генетичний код є універсальним.** Відповідність послідовностей триплетів та амінокислот є однаковою в усіх клітинах усіх організмів і навіть неклітинних форм життя (вірусів). Це правило має кілька винятків: дещо змінений генетичний код працює в мітохондріях, хлоропластах, у деяких найпростіших і бактерій. Тим не менше, загалом генетичний код є універсальним правилом кодування структури білків більшістю генів.

Утворення білків на основі інформації, що зберігається в молекулах нуклеїнових кислот, є одним із ключових процесів, властивих живим системам (рис. 134). Різноманітність просторових структур, яких можуть набувати білкові молекули, зумовлює виконання ними найрізноманітніших функцій, що виявляється як ознаки організмів.

Рис. 134. Принцип функціонування генетичного коду



1 – транскрипція, 2 – трансляція.

Послідовність матричного ланцюга ДНК показано коричневим кольором, комплементарний йому ланцюг – сірим, послідовність відповідної мРНК – червоним. Показано відповідність кожного триплета кодованій амінокислоті.



**!** Синтез поліпептидного ланцюга за участі рибосом на матриці мРНК називають **трансляцією**.

Вона здійснюється за участю **рибосом** – органел, притаманних усім клітинах. Крім рибосом та мРНК, для трансляції потрібна енергія (АТФ) та амінокислоти, зв’язані з тРНК. Молекула тРНК має специфічну будову (рис. 135). До одного її кінця приєднується залишок амінокислоти. Також тРНК містить три особливі нуклеотиди, комплементарні до триплета, який кодує транспортувану амінокислоту. Цю послідовність називають **антикодоном**. Молекули тРНК, що мають певний антикодон, зв’язують лише ту амінокислоту, яка кодується відповідним кодоном. Молекулу тРНК, сполучену із залишком амінокислоти, називають **активованою**. У біосинтезі білка виокремлюють кілька етапів. На початку синтезу рибосома зв’язує мРНК й поступово просуває її крізь себе, ніби скануючи (рис. 136). Таке «сканування» триває, доки не знайдеться кодон АУГ. Він називається стартовим кодоном, з нього розпочинається синтез будь-якого білка. Щойно рибосома знайшла найближчий кодон АУГ, вона зв’язує тРНК з метіоніном (та антикодоном УАЦ). Після цього рибосома продовжує просувати нитку мРНК крізь себе. Упродовж такого просування відбувається розпізнавання кодонів, зв’язування молекул тРНК із відповідними антикодонами та формування пептидних зв’язків між амінокислотами. Цей синтез завершується, коли рибосома дійде до одного зі стоп-кодонів. У результаті роботи описаного механізму утворюється поліпептидний ланцюг, послідовність амінокислот якого визначена структурою молекули мРНК відповідно до генетичного коду. Такий поліпептид ще не є функціональним білком. Він має набути характерної для нього тривимірної (вторинної, третинної, четвертинної) структури, а також зазнати певних хімічних модифікацій, що здійснюються за участі спеціалізованих ферментів здебільшого в комплексі Гольджі.

Рис. 135. Будова молекули тРНК

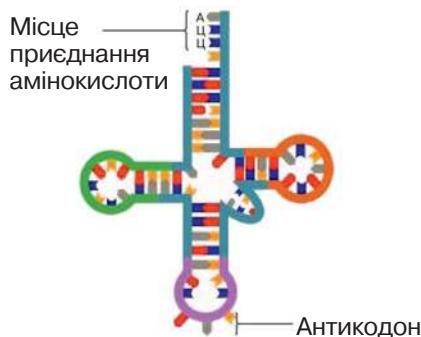
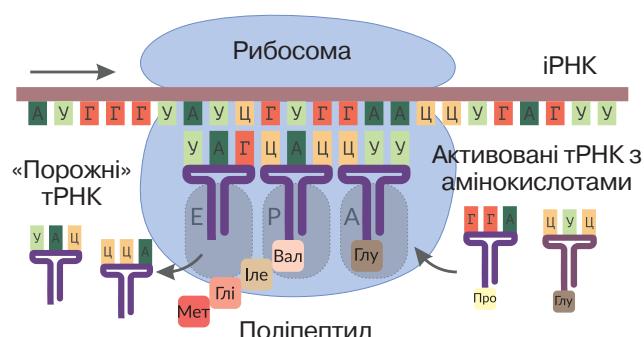


Рис. 136. Трансляція



Визначте, яку амінокислоту транспортує молекула тРНК із антикодоном УЦГ.



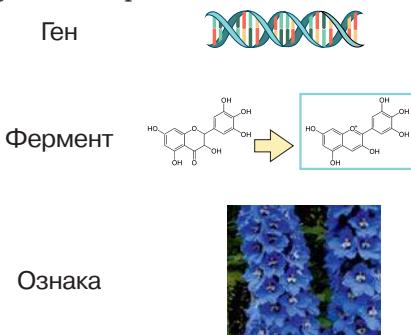
Пригадайте та поясніть механізм процесу трансляції.



**Гени та ознаки.** Сукупність генів певного організму називають **генотипом**, а сукупність ознак організму – **фенотипом** (термін **фен** позначає одиничний варіант певної 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. 137). Регуляторні гени впливають на активність інших регуляторних або структурних генів. Зрозуміло, що вони також зумовлюють певні ознаки, але їхній вияв зазвичай є складнішим. Ознаки бувають якісні і кількісні. **Якісні** ознаки мають варіанти, які чітко відрізняються один від одного: наприклад, руде або не руде волосся, чоловіча/жіноча статі, різні групи крові в людини. **Кількісні** ознаки виявляються в широкому діапазоні без чітких меж між різними варіантами. До них належать зріст, вага, колір шкіри в людини тощо.

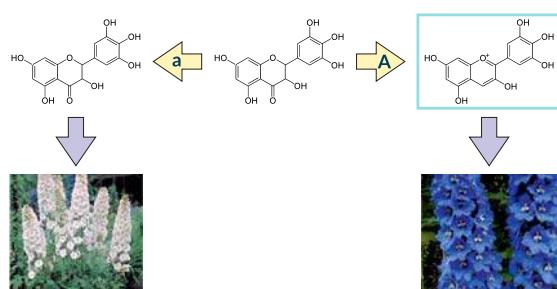
**Гени та алелі.** Місце розташування певного гена в хромосомі називають **локусом**. У диплоїдних організмів парні, гомологічні хромосоми містять однаковий набір генів, локуси яких розташовані в однакових послідовностях. Отже, кожний такий організм має дві копії кожного гена (окрім тих, що розташовані в статевих хромосомах). Нуклеотидні послідовності копій генів, розташованих в однаковому локусі гомологічних хромосом, можуть дещо різнятися. Такі варіанти генів називають **алелями**. Різні алелі зумовлюють розвиток різних варіантів однієї ознаки – наприклад синій чи білий колір пелюсток квітки (рис. 138). Яким же буде фенотип організму, що має два різні алелі? У більшості випадків виявлятиметься лише один з двох можливих варіантів ознаки. Такий варіант називають **домінантним**, а інший, пригнічений – **рецесивним**. Існують і більш складні варіанти взаємодії алельних генів, які ми розглянемо пізніше (§ 34)

Рис. 137. Принцип формування кольору квіткі в рослині



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

Рис. 138. Алельні варіанти гена, який визначає колір квіткі



Домінантний алель (A) кодує фермент, що перетворює безбарвну сполуку на синю; рецесивний алель (a) кодує неробочий фермент, безбарвна сполука не набуває змін, пелюстки не мають кольору.



1. Дайте означення понять *трансляція*, *генотип*, *фенотип*, *алелі*.
2. Що таке генетичний код?
3. Поясніть властивості генетичного коду.
4. Поясніть механізм трансляції.
5. Як генетична інформація зумовлює формування ознак?

## § 33. Гібридологічний метод. Закономірності, відкриті Менделем



Що таке гени і хромосоми?

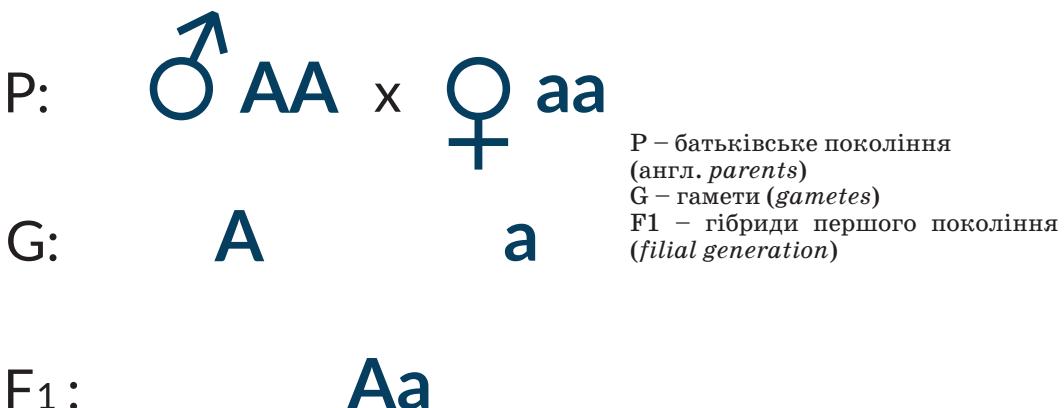
Як вони забезпечують передавання спадкової інформації з покоління в покоління?

Як ви знаєте, перші наукові відомості про закономірності успадкування ознак було отримано Грекором Менделем. Пізніше було виявлено, що вони є справедливими аж ніяк не для всіх ознак (ми розглянемо це в наступних параграфах). Тим не менше, ці закономірності, відомі як закони Менделя, є дуже важливими – за ними успадковується велика кількість ознак, у тому числі й притаманних людині.



**Схеми схрещування.** Для визначення особливостей успадкування ознак можуть проводитися експериментальні схрещування (рис. 139). Організми, які мають певний варіант досліджуваної ознаки і чиї потомки виявляють цю ж ознаку з покоління в покоління, називають **чистою лінією**. Схрещуючи особини, що належать до різних ліній, дослідники та дослідниці отримують **гібриди**. Під час подальшого схрещування гібридів між собою отримують гібриди **другого покоління**. Ви пам'ятаєте, що диплоїдні організми мають по два алелі кожного гена (окрім тих, локуси яких розташовані в статевих хромосомах – їх ми розглянемо окремо). Якщо обидва алелі є однаковими, організм називається **гомозиготним** (від грец. ὁμός – одинаковий), коли ж вони різні – **гетерозиготним** (від грец. ἕτερος – різний). Залежно від того, які саме алелі є в гомозиготних організмах, вони можуть бути

Рис. 139. Генетичний запис схеми схрещування



Визначте, які з наведених організмів є гомозиготними, а які гетерозиготними. Які ознаки (домінантну чи рецесивну) виявляють організми батьківського покоління та гібриди?

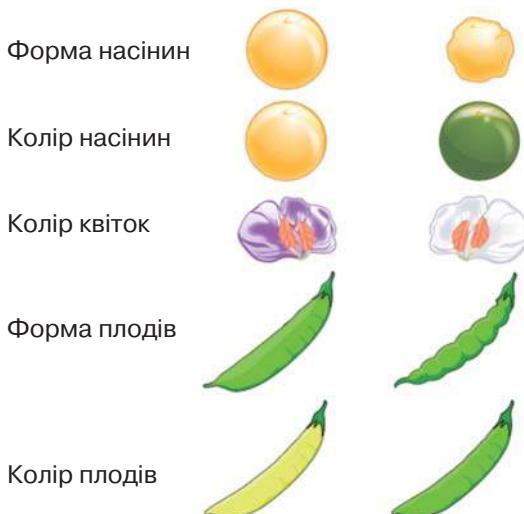
домінантно або рецесивно гомозиготними, виявляючи відповідні ознаки. Гетерозиготи виявляють домінантні ознаки. Під час запису генотипів різні гени зазвичай позначають різними латинськими літерами: домінантні але-лі величими, рецесивні – малими (рис. 139). Інколи використовують перші літери алфавіту (ABCD...), інколи – літери слів, пов’язаних з ознаками.

Наприклад, організм, гетерозиготний за двома генами, матиме генотип AaBb. Він матиме домінантні ознаки, зумовлені генами А і В. Учених в галузі генетики може цікавити один ген або кілька різних. У першому випадку схрещування називають **моногібридним**. Якщо вивчають два гени водночас, то таке схрещування називатимуть **дигібридним**, кілька – **полігібридним**.

**Перший закон Менделя.** Одним з видів, що слугував досліднику об’єктом для експериментів, був Горох посівний. Ця рослина має багато зручних для аналізу зовнішніх ознак (рис. 140). 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. Виявилося, що всі нащадки від такого схрещування завжди мали жовте насіння. Іншими словами, варіант ознаки одного з батьків завжди пригнічував варіант іншого. Як ви вже знаєте, таку ознаку називають домінантною. Описана закономірність відома як **перший закон Менделя**, або **закон одноманітності гібридів першого покоління**: у першому поколінні гібридів від схрещування гомозигот з домінантною та рецесивною ознаками виявляється лише домінантна ознака.

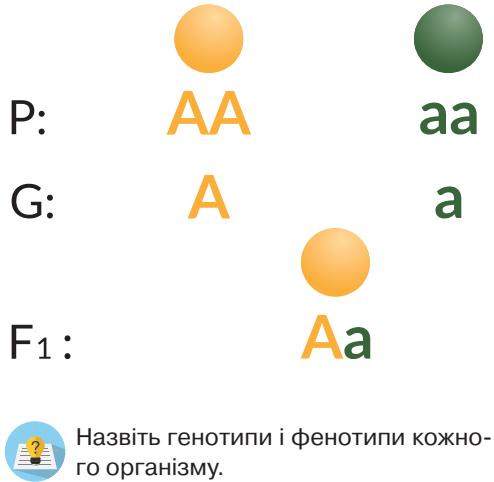
Ви вже знаєте те, чого не знав Мендель, а саме – як формування ознак пов’язане з генами й хромосомами. Чисті лінії є генетично одноманітними щодо аналізованої ознаки, оскільки з покоління в покоління стійко виявляють лише один її варіант. Рослини чистої лінії з жовтим насінням мають

Рис. 140. Деякі ознаки гороху, що успадковуються за законами Менделя



Домінантні – ліворуч.

Рис. 141. Перший закон Менделя

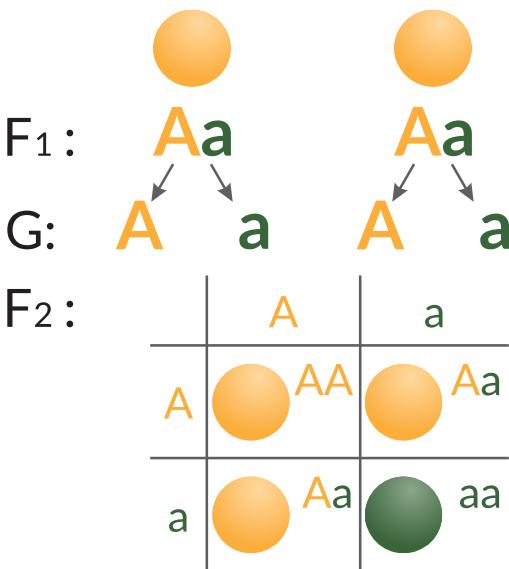


два домінантні алелі, їхній генотип – AA, вони є домінантно гомозиготними (рис. 141, Р). Рослини чистої лінії із зеленим насінням мають два рецесивні алелі, їхній генотип – aa, вони є рецесивно гомозиготними (рис. 141, Р). Унаслідок мейозу гомозиготні організми утворюють гамети, що містять лише властивий їм алель (рис. 141, Г).

Отже, домінантно гомозиготні організми утворюватимуть винятково гамети з генотипом А, натомість рецесивно гомозиготні організми – гамети з генотипом а. Об’єднання їх у результаті запліднення призведе до формування гетерозиготного організму з одним домінантним й одним рецесивним алелями (рис. 141, F1). За таких умов організм виявлятиме лише домінантну ознаку. Це і є поясненням першого закону Менделя.

**Другий закон Менделя.** Що ж відбудеться, якщо схрестити отримані гібриди першого покоління? На відміну від гомозигот, гетерозиготні організми (Aa) утворюють гамети двох різних типів: з алелями А й а в співвідношенні 50 : 50 (рис. 142, Г). Для того щоб визначити, яким буде покоління від схрещування таких організмів, будують таблицю, що називається *решіткою Паннетта* (рис. 142, 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 домінантними гомозиготами, 50 % – гетерозиготами і ще 25 % – рецесивними гомозиготами. Оскільки всі організми, які мають хоча б один домінантний алель, виявляють домінантну ознаку, жовтий колір насіння матимуть 75 % гібридів другого покоління, а решта 25 % будуть зеленими. Так виявляється закономірність, яку називають *другим законом Менделя* або *законом розщеплення*: у поколінні, отриманому під час

Рис. 142. Другий закон Менделя



У котів домінантний алель L (*long hair*) зумовлює розвиток довгого волосся хутра, натомість рецесивний алель l зумовлює звичайне хутро. Яка ймовірність народження довгошерстого кошенята в парі гомозиготних за цим геном котів, якщо самець має довге волосся, а самиця – коротке?



Назвіть генотипи і фенотипи кожного організму.

схрещування гібридів першого покоління, відбувається розщеплення за фенотипом та 3/4 покоління виявлятиме домінантну ознаку, а 1/4 – рецесивну.

Іншими словами, співвідношення між кількістю організмів, які мають різні варіанти ознак, становитиме 3 : 1 на користь домінантної.

Як бачимо, рецесивні ознаки не зникають під дією домінантних, а лише «приховуються» і можуть виявитися в наступних поколіннях.

**Третій закон Менделя.** Уявно відтворивши експерименти Менделя, ми простежили за характером успадкування однієї з багатьох ознак гороху. Наступною ідеєю було встановлення особливостей успадкування двох ознак водночас. Мендель схрестив два організми, що різнилися не лише кольором насінин, а й формою. Один з батьківських організмів мав жовте гладеньке насіння, інший – зелене зморшкувате. Отримані в результаті схрещування гібриди першого покоління були одноманітними: їхне насіння було жовтим і гладеньким, що є свідченням домінантності цих варіантів ознак. Познайчивши ген, що відповідає за колір, літерою A, а ген, що відповідає за форму насіння, – літерою B, запишемо схему цього схрещування (рис. 143). 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 A і a) містяться в різних хромосомах однієї пари. Під час формування статевих клітин кожна з них отримує лише одну хромосому з пари. Якщо локуси генів A і B містяться в різних парах хромосом, то різні комбінації алелів цих генів утворюються під час мейозу випадковим чином (рис. 144). Організм з генотипом AaBb продукуватиме гамети чотирьох різних типів у співвідношенні 1:1:1:1, тобто по 25 %. На основі цієї інформації можна заповнити решітку

Рис. 143. Дигібридне схрещування двох гомозигот

Рис. 144. Формування гамет у дигетерозиготного організму

P: **AABB** × **aabb** F<sub>1</sub>:

G: **AB**

**ab**

F<sub>1</sub>:

**AaBb**

**AaBb**

**G:**

**AB Ab aB ab**

Гетерозиготні організми формують гамети різного типу

Гомозиготні організми формують один тип гамет



Якою буде кількість гамет, що їх формуватиме організм із генотипом AaBbCc? Запишіть їхні генотипи.

Паннета (рис. 145). У результаті такого схрещування утворюються організми з усіма можливими варіантами ознак.

За таких умов найбільша частка припадає на носіїв обох домінантних ознак (9/16). Однаковою є кількість організмів, що є домінантними лише за кольором або лише за формуєю насіння (по 3/16). Найменшою ж є частка рослин, що мають обидві рецесивні ознаки (1/16). Таким чином, усього є чотири варіанти фенотипів, а співвідношення між ними становить 9:3:3:1 (рис. 145). Цю закономірність називають **законом незалежного успадкування ознак**: різні варіанти двох ознак розподіляються між потомками незалежно одна від одної. Важливо, що для його справедливості локуси аналізованих генів мають розташовуватися в різних хромосомах.

**Аналізуюче схрещування.** Ви вже вмієте визначати фенотип організму за його генотипом. Але інколи перед експериментаторами постає протилежне завдання – визначити генотип організму з певним фенотипом. Якщо він має рецесивну ознаку, то відповідь однозначна: це рецесивна гомозигота (aa). А от генотип організму з домінантною ознакою є невизначенім: він може бути як домінантною гомозиготою (AA), так і гетерозиготою (Aa). Для того щоб відповісти на поставлене запитання, проводять схрещування з рецесивною гомозиготою (рис. 146). Наявність поміж гібридів розщеплення за фенотипом (1 : 1) є ознакою гетерозиготності організму, чий генотип потрібно проаналізувати.

Знання законів Менделя дає змогу простежити успадкування багатьох ознак у свійських рослин і тварин, а також у людини.

**Менделівські ознаки людини.** Відповідно до законів Менделя успадковується значна кількість ознак, у тому числі й притаманних людині. Більша частина з них стосується розвитку різноманітних патологій або

Рис. 145. Генотипи та фенотипи другого покоління дигібридного схрещування

F <sub>1</sub>	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. 146. Принцип проведення аналізуючого схрещування

P:	AA	x	aa		Aa	x	aa
G:	A		a		A	a	a
F <sub>1</sub> :	Aa				Aa		aa

(100%) (50%) (50%)



#### Проаналізуйте результати дигібридного схрещування.

1. Організми з якими ознаками є нащадками гібридів першого покоління?
2. Полічіть кількість гібридів другого покоління з однаковими фенотипами.
3. Яким є співвідношення між рослинами з домінантним і рецесивним варіантами кожної з двох ознак окремо?

відхилень. Це цілком зрозуміло, адже ми пам'ятаємо, що більшість функцій в клітинах та організмах виконують певні білки, структура яких зумовлена генами. Зміни в нуклеотидній послідовності генів можуть призводити до змін в амінокислотній послідовності білків, а це, своєю чергою, може привести до порушення їхньої структури та роботи, що буде виявлятися як хвороба. Генетичні захворювання людини ми проаналізуємо в § 43, а зараз назовемо кілька прикладів успадкування різних варіантів нормальних ознак. Однією з таких є резус-фактор крові людини. За цим параметром існують дві групи крові – резус-позитивна та резус-негативна. Еритроцити резус-позитивних людей містять особливий білковий антиген; у резус-негативних людей він відсутній. Цей білок кодується домінантним алелем гена RHD, локус якого міститься в першій хромосомі. Рецесивний алель не містить інформації про цей білок (точніше, він взагалі відсутній, але для спрощення ми можемо вважати, що він є, проте не працює). Гетерозиготні люди мають лише одну копію домінантного алеля, та цього достатньо для утворення резус-антигена (табл. 6). Саме тому успадкування цієї ознаки відбувається за домінантним типом. Іншим прикладом є наявність ластовиння – характерної рудої пігментації шкіри (рис. 147). Вона пов'язана з варіантами будови гена MC1R, локус якого розташований у 16-ї хромосомі. Цей ген кодує білковий рецептор до певних гіпофізарних гормонів, які регулюють пігментацію шкіри. Ця ознака також успадковується за домінантним типом. У популярній літературі натрапляємо на помилкові відомості щодо простого менделівського успадкування багатьох зовнішніх ознак людини (форма брів, обличчя, вушної раковини, навіть досить кумедних, як здатність згортати язик трубочкою). Проте сучасні дослідження виявляють, що справжній характер їхнього успадкування є більш складним.

Таблиця 6. Групи крові та резус-фактор

Генотип	Антиген на еритроцитах	Група крові
RHD / RHD	+	Rh+
RHD / rhd	+	Rh+
rhd / rhd	-	Rh-



Чи можливе народження у двох резус-позитивних батьків дитини з негативним резусом? Відповідь обґрунтуйте.

Рис. 147. Ластовиння – домінантна ознака



1. Опишіть схеми схрещування, які проводив Г. Мендель.
2. Що таке моногібридне та дигібридне схрещування?
3. Сформулюйте закономірності, які були встановлені Г. Менделем.
4. Для чого використовується аналізуюче схрещування?
5. Наведіть приклади менделівського успадкування ознак у людини.

## § 34. Неменделівське успадкування ознак



Які ви знаєте системи груп крові в людини, які в них існують групи крові?

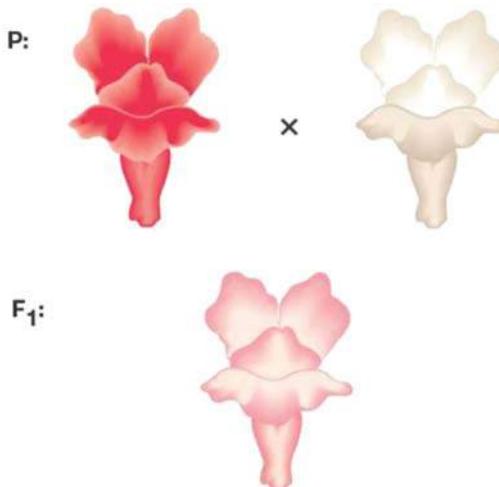
Яка умова є важливою для дотримання третього закону Менделя?

Незважаючи на важливість законів Менделя, вони справедливі для успадкування не всіх ознак. Для них необхідне дотримання низки умов. По-перше, один ген повинен визначати одну певну ознаку з двома альтернативними станами, подібно до того, як ми розглядали вище. По-друге, локуси досліджуваних генів повинні розташовуватися в різних нестатевих хромосомах. По-третє, білкові продукти аналізованих генів не повинні суттєво взаємодіяти між собою. Кожний з перелічених пунктів має низку винятків, що призводять до відхилень від установлених Менделем чисельних характеристик успадкування.

**Взаємодія алельних генів.** Деякі з цих відхилень зумовлені складною 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 виявляють 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 гіридів другого покоління в цьому випадку спостерігається червоні, рожеві та білі квітки у співвідношенні 1:2:1, що відповідає співвідношенню між носіями різних генотипів (рис. 148). Такий спосіб успадкування ознак називають *неповним домінуванням*.

Рис. 148. Неповне домінування за успадкування кольору квіток у ротиків садових



Запишіть генотипи зображених рослин, використавши для позначення алелів літери A/a.



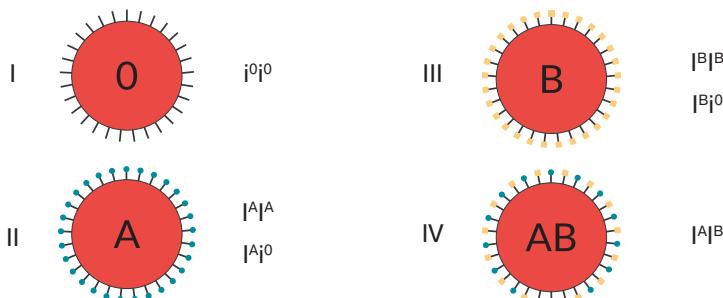
Поміркуйте: чи є неповне домінування доказом ідеї про змішування ознак батьків під час передавання наступним поколінням?

**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 AB0 (рис. 149). У цьому випадку домінантним гомозиготам, рецесивним гомозиготам і 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). Вияв цієї ознаки пов'язаний з 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:  $i^0$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ . Кожний 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  $i^0$  спостерігають повне домінування, тобто генотипам  $I^Ai^0$  та  $I^Bi^0$  відповідатимуть групи крові A і B відповідно (саме тому алель  $i^0$  позначенено маленькою літерою: щоб підкреслити його рецесивність). А в разі одночасної наявності алелів  $I^A$  та  $I^B$  виявлятиметься не лише один з них, як можна було б очікувати за повного домінування, а обидва. Це і є кодомінування.

**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 хосія.

Рис. 149. Схематична будова еритроцитів і генотипи людей з різними групами крові



На основі опису механізму успадкування груп крові в системі AB0 розв'яжіть задачі.

1. Які групи крові можуть мати діти в родині, де батько і мати мають III групу крові?
2. Чи буде в родині, де батько має IV, а мати I групи крові, група крові дітей такою самою, як у когось із батьків?
3. У батька II група крові, а в матері I. Їхня дитина має II групу крові. Визначте генотип дитини.

Прикладом є порода менських кішок, головною характеристикою яких є відсутність хвоста (рис. 150). За цю ознаку «відповідає» домінантний алель одного з генів ( $T/t$  - tailless). У гомозиготному стані він призводить до загибелі організму. У гетерозиготному стані він виявляється розвитком укороченого хвоста й низкою 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). Співвідношення поміж народжених кошенят породистих і безпородних становитиме 2:1, що не відповідає другому закону Менделя.

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

**Epistasis** – тип взаємодії неалельних генів, за якого домінантний алель одного гена пригнічує вияв іншого гена. Наприклад, у кішок є ген  $W/w$  (*white* – білий), домінантний алель якого пригнічує функціонування клітин, що відповідають за формування кольору хутра. Відповідно, тварини з домінантним фенотипом будуть білими. У рецесивних гомозигот «у гру вступають» інші гени, що визначають синтез і розподіл різних пігментів – такі кішки можуть бути рудими, чорними, плямистими, строкатими тощо. Наприклад, один з генів  $T/t$  (*tabby* – строкатий) забезпечує формування поширеного строкатого забарвлення шкіри ( $TT/Tt$  – строкатість,  $tt$  – однорідне забарвлення). Проте за наявності домінантного алеля  $W$  стан цього гена не має значення, адже він не може виявитися через нестачу пігментних клітин (рис. 151).

Рис. 150. Менська кішка, комбінації генотипів і фенотипів



$TT$  – загибель плода  
 $Tt$  – короткий хвіст (менська порода)  
 $tt$  – нормальний хвіст (звичайний вигляд)

Поясніть, чому в потомстві породистих кішок можуть бути кошенята з нормальню довжиною хвоста.

Рис. 151. Епістаз



Праворуч – біле хутро ( $W_T$ ), ліворуч «дикий плямистий окрас» ( $wwT$ ). Незалежно від алельного стану гену  $T/t$  алель  $W$  пригнічує його вияв



Побудуйте решітку Паннета й обчисліть співвідношення між різними фенотипами за схрещування котів з генотипами  $WwTt$  та  $WwTt$ .

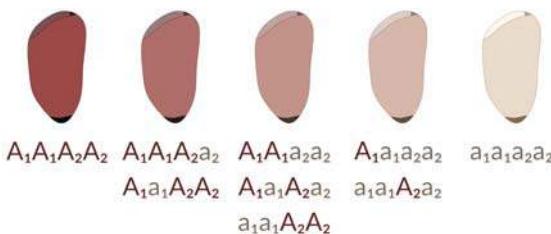


Знайдіть в Інтернеті інші приклади успадкування кольору хутра котів.

**Полімерія** – взаємодія неалельних множинних генів, що однаково впливають на розвиток однієї ознаки, ступінь вияву якої залежить від кількості певних алелів. Полімерні гени позначають одинаковими літерами, а алелі одного локусу мають одинаковий нижній індекс. Зазвичай за таким принципом успадковуються кількісні ознаки: колір шкіри, маса, зріст тощо (рис. 152). Буває також інший тип полімерії, за якого наявність ознаки визначається хоча б одним домінантним алелем у будь-якому з локусів кількох генів. Перший тип називають кумулятивною (накопичувальною), а другий – некумулятивною полімерією.

**Комплементарність** – тип взаємодії неалельних генів (розташованих у різних локусах), за якої необхідною умовою вияву певної ознаки є одночасна наявність у кожному локусі хоча б одного домінантного алеля. За таких умов наявність домінантних алелів лише в одному локусі не приведе до появи цієї ознаки. Наприклад, у муhi дрозофілі 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 із цих генів має дві алельні версії: домінантну, що кодує робочий фермент ( $A$  і  $B$ ), і рецесивну, що кодує непрацездатний білок ( $a$  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 цьому випадку є червоний пігмент. Для його формування потрібна послідовна дія двох ферментів, тобто одночасна наявність двох домінантних алелів (рис. 153). Генотип червоноокої муhi має бути  $A_B$  (де « $_$ » позначає будь-який алель відповідного гена).

Рис. 152. Приклад полімерного успадкування кольору насіння

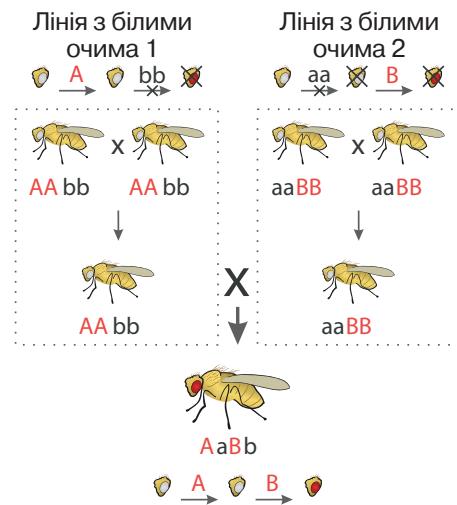


За ознакою відповідають два гени, її вияв залежить від сумарної кількості домінантних алелів у будь-якому з двох локусів.



Перевірте це, порахувавши кількість домінантних і рецесивних алелів у наведених генотипах.

Рис. 153. Комплементарна взаємодія генів



Гібридна лінія з червоними очима



Обчисліть співвідношення фенотипів за схрещування  $AaBb \times AaBb$ . Чи узгоджується воно з першим чи другим законами Менделія?

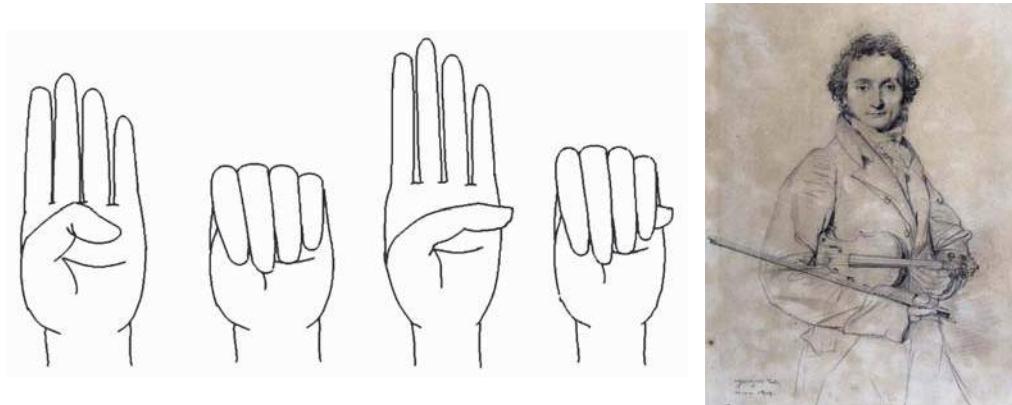
**Множинна дія гена** полягає в одночасному контролі одним геном кількох різних ознак. Зазвичай це властиво для генів, які кодують ферменти, що беруть участь у здійсненні надзвичайно важливих для функціонування організмів реакцій. Неправильний їх перебіг водночас позначається на багатьох процесах і функціях.

Одним з прикладів цього є **синдромом Марфана** (рис. 154). Його причиною є домінантна мутація в гені, що кодує один з білків сполучної тканини. Неправильна структура цього білка спричиняє порушення в структурі тканини. Через це в людей з синдромом Марфана виявляється комплекс різних симптомів: видовжені кінцівки, витягнуті пальці, дефект будови кришталіка ока та кровоносної системи. Також прикладом множинної дії є вже згаданий ген короткохвостості менських кішок: окрім змін у довжині хвоста, вони часто мають дефекти розвитку спинного мозку, кишечника, сечового міхура, проблеми з функціонуванням травної системи тощо.

Багато інших генів також мають комплексний вияв. Насамперед це стосується високорівневих регуляторних генів: їхня дія позначається на функціонуванні багатьох інших генів, а отже може призводити до різноманітних змін у будові та функціонуванні організму. Зрозуміло, що в разі спостереження за виявом таких пов'язаних ознак ми не побачимо їхньої незалежності, як це повинно було б бути відповідно до третього закону Менделя.

**Пенетрантність генів.** Досі ми говорили про ознаки, що виявляються або ні залежно від наявності в генотипі носіїв тих чи інших алелів. Проте, у низці випадків ознака може мати різний ступінь вияву навіть в організмів з однаковим генотипом. Це визначається особливостями експресії конкретних генів. Наприклад, це буває в згаданих вище менських кішок.

Рис. 154. Патологічна довжина пальців за синдрому Марфана



Одним з найвідоміших людей з синдромом Марфана був видатний музикант Нікколо Паганіні – надзвичайна довжина його пальців давала більші можливості для гри на скрипці.



Поміркуйте: чи завжди генетична хвороба має виключно негативні вияви?

Так, виділяють кілька різновидів:

- хвіст повністю відсутній, на його місці часто є лише пучок довгого волосся (рис. 155);
- на місці хвоста є лише невеликий хрящ;
- розвивається невеликий хвіст (до 3 см), в основі якогоrudиментарний кістковий утвір;
- розвивається короткий хвіст (до 1/2 нормальної довжини), основою якого є нормальні хребці (рис. 155);
- розвивається порівняно довгий хвіст (від 1/2 до повної довжини нормального хвоста).

Варто підкреслити, що всі вони є гетерозиготними за геном, який визначає довжину хвоста. Порахувавши відсоток особин, що виявляють безхвостість різного ступеня, поміж усіх носіїв домінантного алеля гену Т, ми отримаємо показник, який називають *пенетрантністю*. У гена, що зумовлює дефект розвитку хвоста, він дуже високий (більший за 90%). Зрозуміло, що побачити закономірності успадкування, визначені законами Менделя, можна лише за умови високої пенетрантності аналізованих генів. У разі, коли ознака виявляється не в усіх носіїв відповідних генотипів, її називають неповною. Неповна пенетрантність притаманна багатьом ознакам організмів. Розглянуті вище явища рецесивності, домінантності та неповного домінування є певними ступенями пенетрантності. Якщо так успадковуються хвороби людини, ми говоримо про успадкування схильності до хвороби на відміну від успадкування хвороби як такої. Цікаво, що пенетрантність може мінятися з віком. Наприклад, це стосується деяких алелів, асоційованих з розвитком у людини хвороб похилого віку. Також пенетрантність генів може залежати від умов середовища, про що ви дізнаєтесь в наступних параграфах.

*Рис. 155. Різні ступені безхвостості в менських кішок*



Знайдіть інші приклади взаємодії неалельних генів, використовуючи наукову літературу та інтернет-джерела



1. Назвіть випадки відхилень від менделівського успадкування в разі взаємодії алельних генів.
2. Порівняйте неповне домінування та кодомінування.
3. У чому полягає летальна дія гена?
4. Як виявляється множинна дія генів?
5. Опишіть випадки взаємодії неалельних генів.
6. Поясніть явище пенетрантності генів.

## § 35. Зчеплене успадкування ознак



Що таке кросинговер?

Що таке первинні та вторинні статеві ознаки в людині?

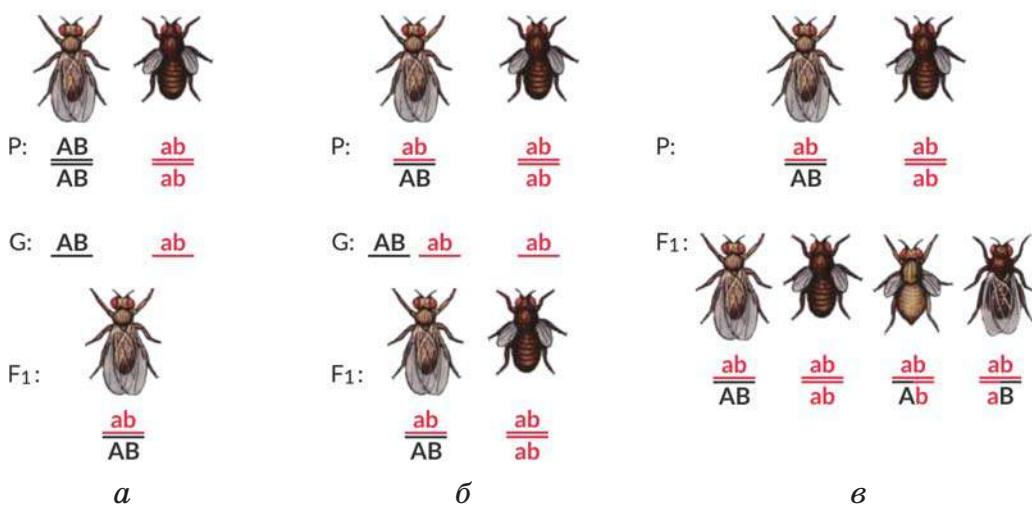
Досі ми розглядали успадкування генів, локуси яких розташовані в різних хромосомах. Під час формування статевих клітин у процесі мейозу хромосоми передаються як одна цілісна одиниця. Це значить, що всі алелі, які містяться в одній хромосомі, передаються від батьківського до наступного покоління єдиною групою (а не по одному гену). Таку особливість називають **зчепленім успадкуванням**. Ознаки, зумовлені зчепленими генами, успадковуватимуться не незалежно, як це відбувається згідно з третім законом Менделя.



**Зчеплене успадкування.** Феномен зчепленого успадкування та його закономірності встановив американський біолог Томас Морган. Об'єктом його досліджень була муха дрозофіла. Вона має всього 4 пари хромосом, у яких містяться близько 14 000 генів. Це означає, що велика кількість ознак має успадковуватися зчеплено. Морган вибрал дві: колір тулуба (сірий – домінантний, чорний – рецесивний) і довжину крил (нормальна – домінантна, недорозвинуті – рецесивна). Локуси генів, що відповідають за наведені ознаки, містяться в одній хромосомі й позначаються AB (рис. 156, а). Схрестивши сіру муху з нормальними крилами та чорну з недорозвиненими, він отримав гібриди, які мали обидві домінантні ознаки (див. рис. 156, а). Наступне схрещування було проведено з організмом, гомозиготно рецесивним за обома генами (ви пам'ятаєте, що таке схрещування називається аналізуючим).

Утворений у результаті попереднього схрещування гібрид має дві хромо-

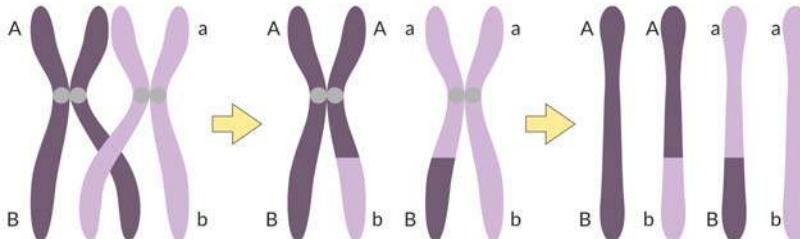
Рис. 156. Схеми схрещувань, які проводив Т. Морган



соми: в одній містяться два домінантні алелі, в іншій – два рецесивні (рис. 156, б). Гомозиготний організм продукує лише один тип гамет. Отже, можна було очікувати в поколінні від наступного схрещування появи мух із двома фенотипами – сірих з довгими крилами й чорних з короткими крилами у співвідношенні 1:1 (рис. 156, б). Але реальність виявилася дещо іншою: крім описаних двох фенотипів, з'явилися мухи із сірим тілом і короткими крилами, а також із чорним тілом і нормальними крилами (рис. 156, в). У таких мух мають бути хромосоми з комбінаціями алелів (Ab) і (aB), яких немає в батьківських організмів (рис. 156, в). Ці хромосоми формуються під час кросинговеру (рис. 157). Кросинговер відбувається випадково в довільному місці хромосоми, тому в кожному конкретному випадку це не обов'язково буде на ділянці між генами A і B – частина утворених гамет залишиться незміненою. В описаному експерименті (рис. 1, в) сумарна кількість несхожих на батьківські організми мух становить 17 %. Імовірність того, що кросинговер відбудеться між двома конкретними генами, залежить від відстані між їхніми локусами: що вона більша, то вища ймовірність кросинговеру. Тому в генетиці прийнято вимірювати відстань між генами у відсотках кросинговеру. Цю одиницю виміру називають *сантиморган*. На основі таких відстаней будують *карти хромосом*, на які наносять послідовності локусів різних генів і відстані між ними (рис. 158).

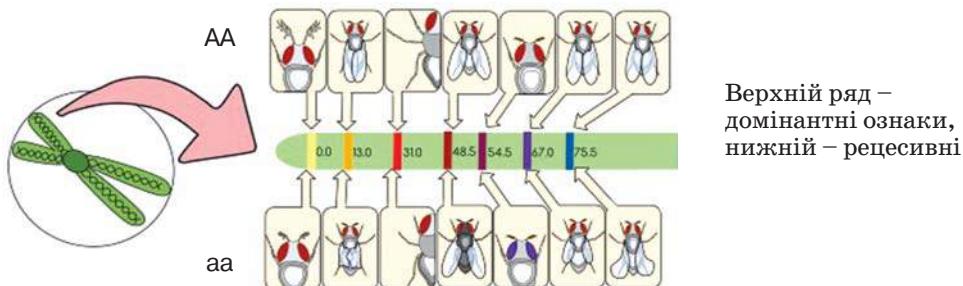
**Успадкування, зчеплене зі статтю.** Закономірності зчепленого успадкування, що їх ми розглянули вище, стосуються генів, розташованих в аутосомах. На відміну від них, статеві хромосоми різняться за набором генів. Y-хромосома має найменший розмір (у ній близько 50 генів). Її гени кодують білки, які регулюють розвиток ембріона за чоловічим

Рис. 157. Схема утворення гамет унаслідок мейозу



Утворюються такі хромосоми: однокольорові – ідентичні материнським, різнокольорові – утворені в результаті рекомбінації

Рис. 158. Генетична карта фрагмента однієї з хромосом дрозофілі



типов, а також низку білків, необхідних для утворення сперматозоїдів. Гени в складі Х-хромосоми (~800) мають більш різноманітні функції. Наприклад, у ній є гени, які кодують два з трьох світлоочутливих білків фоторецепторів ока; деякі білки, необхідні для згортання крові, та інші ферменти. Оскільки наявність тих чи інших хромосом зумовлює не лише вияв ознак, які забезпечуються наявними в них генами, а й стать організму, успадкування таких ознак є більш складним. Воно називається *зчепленням зі статтю*. Для розуміння його особливостей передусім проаналізуємо механізми визначення статі під час запліднення та ембріонального розвитку в людини.

**Хромосомне визначення статі в людини.** Ви знаєте, що в разі статевого розмноження багато видів мають морфологічно та фізіологічно відмінні статі. Це ж стосується й людини. Формування організмів різної статі відбувається по-різному ще в періоді ембріонального розвитку. Вирішальне значення при цьому має пара особливих хромосом, які називають статевими. У людини вони об'єднуються в 23-тю пару (рис. 159). Як говорилося вище, виокремлюють Х- та Y-хромосоми. Жінки мають дві Х хромосоми, а чоловіки по одній Х і Y-хромосомі (рис. 160). У людини жіноча стать називається *гомогаметною*, оскільки під час мейозу в організмі формуються яйцеклітини, які містять тільки Х-хромосому. Чоловіча ж стать є *гетерогаметною*: одна половина сперматозоїдів містить Х, а інша – Y-хромосому. Теоретична ймовірність народження хлопчика або дівчинки становить 50% і 50% відповідно, а стать нового організму визначається під час запліднення тим, яку статеву хромосому має сперматозоїд, що бере в ньому участь. Цікаво, що на практиці ця ймовірність є дещо іншою: на 106 хлопчиків народжується 100 дівчаток. Причини цього явища остаточно не з'ясовані. Подібний (XY) механізм визначення статі притаманний і іншим ссавцям. Інші ж види можуть

Рис. 159. Схематичне зображення каріотипу людини та мікрофотографія статевих хромосом

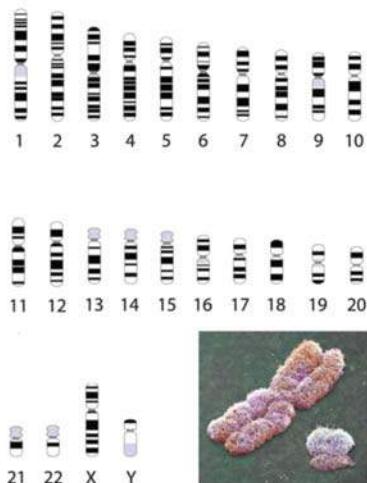
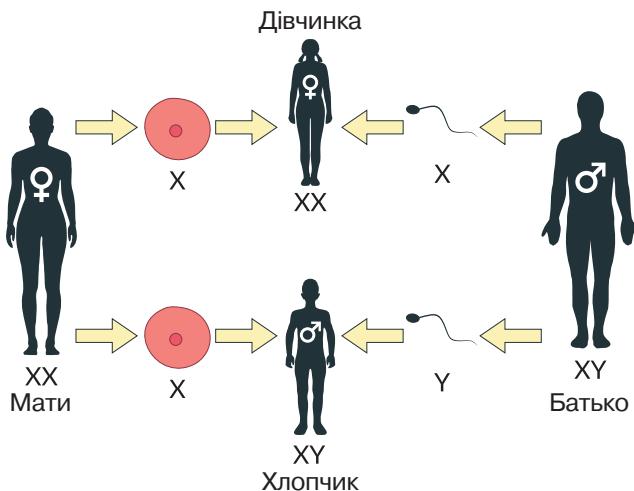


Рис. 160. Хромосомний механізм визначення статі в людини



Чим різняться статеві хромосоми?



Опишіть за рисунком механізм визначення статі в людини.

мати відмінні механізми визначення статі. Так, існують види, у яких гетерогаметною статтю є жіноча (деякі птахи, рептилії та інші). В інших видів статеві хромосоми є однаковими за будовою, а статева визначається їхньою кількістю (у гетерогаметної статі наявна лише одна статева хросома). У деяких організмів статева визначається факторами середовища та навіть може змінюватися в процесі індивідуального розвитку (деякі риби, рептилії тощо).

**Молекулярний механізм визначення статі в людини.** На рівні каріотипу статева людини визначається наявністю чи відсутністю Y-хромосоми. У ній же ключова роль належить гену, який позначається SRY (*Sex determining Region Y*). Його локус розташований на короткому плечі цієї хромосоми (рис. 161). SRY кодує білок, який працює як транскрипційний фактор, регулюючи роботу інших генів. Цей білок впливає на диференціацію ембріональних клітин, що формують зачатки статевих залоз, ініціюючи їхній розвиток за чоловічим типом. Диференційовані клітини починають виробляти чоловічі статеві гормони (андрогени), які, своєю чергою, впливають на розвиток інших частин зародку. Таким чином, визначення статі зародку, що розвивається, є складним, багаторівневим процесом. Інколи ген SRY внаслідок мутацій може бути неробочим. У такому разі організм буде мати жіночий фенотип, незважаючи на те, що його каріотип має XY хромосомний набір. Тестування на наявність цього гена тривалий час було одним з етапів перевірки спортсменів на Олімпійських іграх.

**Закономірності зчепленого зі статтю успадкування.** Мутації в генах, локуси яких розташовані в X-хромосомі людини, можуть призводити до розвитку дальтонізму, гемофілії тощо (рис. 162). За таких умов жінки мають два алелі таких генів, а чоловіки – лише один. Тому в чоловіків ознака, за яку відповідає той чи інший алель, виявлятиметься відразу, незалежно

Рис. 161. Розташування локусу гена SRY

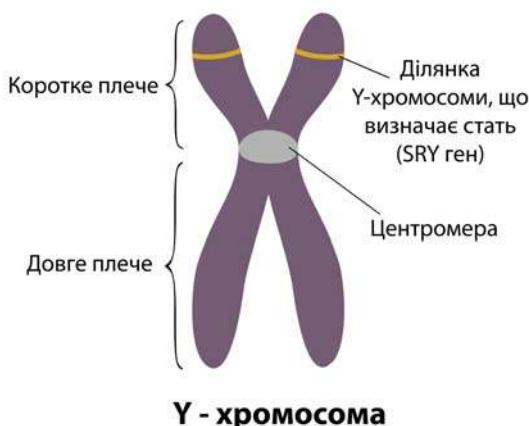
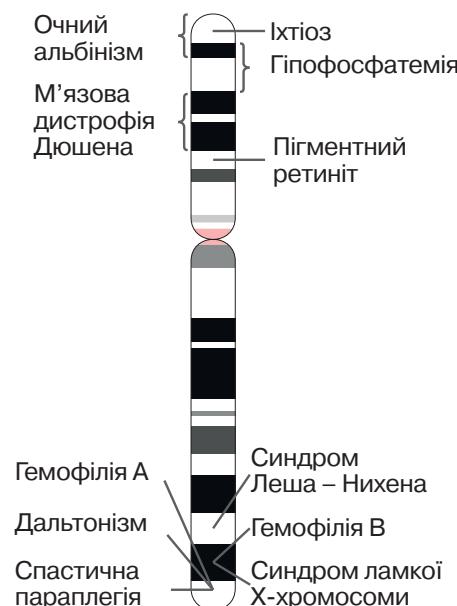


Рис. 162. Локуси деяких генів, розташованих в X-хромосомі

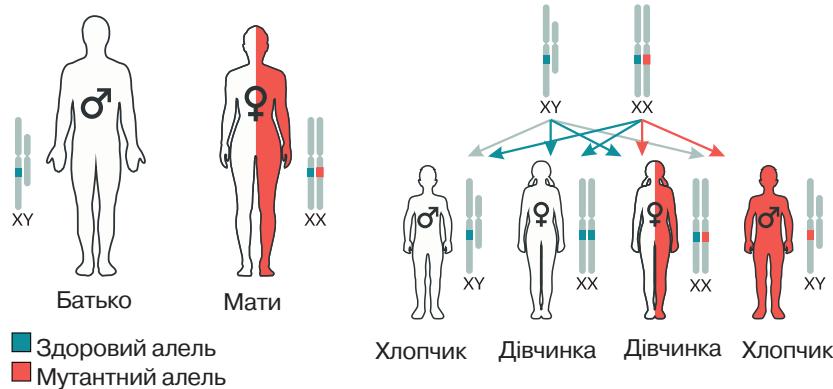


від того, який він – домінантний чи рецесивний. Як приклад розглянемо успадкування дальтонізму. Х-хромосома містить гени червоно- та зеленочутливих рецепторів ока. Рецесивна мутація в одному з них призводить до втрати відповідної чутливості, і людина погано розрізняє кольори в червоно-зеленій ділянці спектра. Наявність мутантного алеля в чоловіка призводить до розвитку в нього дальтонізму.

Для того щоб хвороба виявилася в жінки, у неї мають бути два такі алелі, імовірність чого є набагато меншою. У гетерозиготному стані, коли жінка має одночасно нормальній і мутантний алелі, вона здорована, 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 Х-хромосому з нормальним алелем, тому вони всі будуть здоровими. Другу хромосому вони отримають від матері, і в 50 % дівчат вона матиме нормальній алель, а в 50 % – мутантний. Тому половина дочек у цьому шлюбі будуть носіями хвороби (але здоровими). Інша ситуація з хлопчиками: від батька вони отримають Y-хромосому, у якій немає такого гена. Х-хромосому вони отримають від матері, і у половині випадків вона містить мутантний алель. Отже, половина синів, народжених у цьому шлюбі, успадкують дальтонізм. Таким чином, у здорового подружжя в якому мати є носієм хвороби, у 25 % випадків може народитися хвора дитина з дальтонізмом, і вона буде виключно чоловічої статі (рис. 163). Отже, головною особливістю зчепленого зі статтю успадкування є неоднакова ймовірність передавання ознаки дітям різної статі.

Неоднакова кількість генів у представників різних статей має важливе значення. Генотип працює як цілісна система, і зміна кількості генів може мати серйозні наслідки. У жінок кількість більшості генів, що містяться в Х-хромосомі,

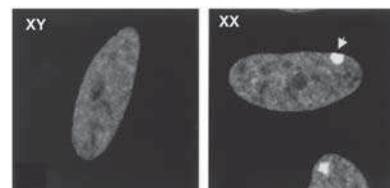
Рис. 163. Успадкування рецесивної ознаки, зчепленої зі статтю



 Побудуйте аналогічну схему успадкування домінантної ознаки, зчепленої з Х-хромосомою.

Рис. 164. Інактивована Х-хромосома в ядрі

На відміну від ядерця, що розташоване в середині, інактивована Х-хромосома розташована поблизу ядерної оболонки. Її наявність дозволяє визначити каріотип людини за допомогою мікроскопа.



є вдвічі більшою, ніж у чоловіків. Для компенсації цієї різниці існує механізм інактивації однієї з Х-хромосом: вона залишається в щільному, конденсованому стані, а зчитування з неї генетичної інформації нездійснюється (рис. 164).

Цей процес відбувається на ранніх етапах ембріогенезу, але, яка саме хромосома буде інактивована, обирається випадково. У низці випадків це може призвести до цікавих результатів. Наприклад, у кішок в Х-хромосомі міститься локус одного з генів, який задіяний у регуляції забарвлення хутра. Його домінантний алель кодує білок, який синтезує пігмент феомеланін, що надає шерсті рудого коліору. Рецесивний алель кодує фермент, який синтезує еумеланін – чорний пігмент. У гетерозиготних тварин унаслідок Х-інактивації деякі клітини матимуть активну Х-хромосому з домінантним алелем, а деякі – з рецесивним. У такий спосіб утворюється фенотип, що його називають «черепаховою» кішкою (рис. 165).

**Інші форми успадкування, пов'язані зі статтю.** Крім описаного вище, виділяють **ознаки, обмежені статтю**. У цьому випадку локуси відповідних генів містяться в аутосомах, але ознака виявляється лише в представників певної статі. Наприклад, у ссавців до таких ознак належить молочність (рис. 166). Гени, які контролюють розвиток молочних залоз і секрецію молока, є в генотипі представників обох статей, але виявляється вони можуть лише в самиць. Іншою формою впливу є **ознаки, залежні від статі**. Відповідні гени також містяться в аутосомах, вони зумовлюють розвиток ознак, що можуть виявлятися в представників обох статей. Проте характер цього вияву може різнятися. Наприклад, алель одного з генів, що відповідає за раннє облісіння, у чоловіків поводить себе як домінантний, а в жінок для облісіння потрібна одночасна наявність двох таких алелів, тобто ознака виявляє себе як рецесивна. Іншими словами, гетерозиготні організми можуть мати різні фенотипи, залежно від їхньої статі. Причиною цього є гормональний контроль вияву ознаки та різні рівні гормонів у чоловіків і жінок.

Рис. 165. Кішка з «черепаховим» забарвленням



Рис. 166. Молочність у корів – ознака, обмежена статтю



Чому такі кішки є лише самицями?



Знайдіть інші приклади ознак, зчеплених зі статтю, обмежених статтю та залежних від статі, використовуючи наукову літературу та інтернет-джерела.



1. Дайте означення поняття зчеплене успадкування.
2. Опишіть експерименти Т. Моргана.
3. Яким є механізм визначення статі в людині?
4. Поясніть закономірності зчепленого зі статтю успадкування.
5. На прикладі поясніть вияви успадкування, зчепленого зі статтю, у людини.

## § 36. Цитоплазматична спадковість



Чому мітохондрії та хлоропласти називають напівавтономними органелами?

Які функції притаманні мітохондріям і пластидам?

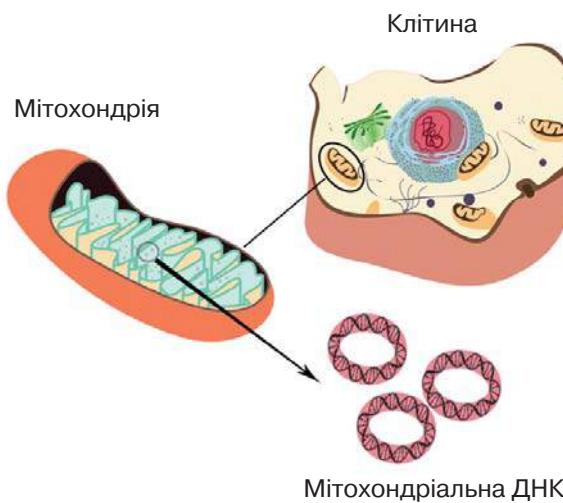
Яку будову мають статеві клітини людини?

У попередніх параграфах ми з'ясували, як гени, що містяться в хромосомах ядра, можуть визначати різні ознаки, як ці гени передаються з покоління в покоління та до яких закономірностей успадкування ознак це призводить. Проте ви пам'ятаєте, що не весь геном еукаріотичних клітин міститься в ядрі – частина ДНК зберігається в мітохондріях і пластидах. Така ДНК також містить гени, які можуть зумовлювати певні ознаки.

**!** Успадкування ознак, за які відповідають гени, що містяться в ДНК мітохондрій або пластид, називають цитоплазматичним, або позаядерним.

**Особливості цитоплазматичного успадкування.** Геном мітохондрії складається з кількох кільцевих молекул ДНК (мтДНК). Розмноження цих органел відбувається шляхом простого поділу, а метаболічно активні клітини можуть мати сотні таких органел. Тому в разі виникнення в мтДНК мутації, у клітині швидко може накопичитися значна кількість копій ушкодженого гена, що негативно вплине на роботу мітохондрій, а отже – на енергетичний обмін у клітині. Це може супроводжуватися розвитком патології. Їхнє успадкування відрізняється від того, що ми розглядали раніше. Ви пам'ятаєте, що в багатьох організмів, включаючи людину, статеві клітини мають суттєво різну будову. Сперматозоїди є невеликими клітинами, що містять мало цитоплазми та мітохондрій (у людини це одна спіральна органе-

Рис. 167. Розташування в клітині позаядерної ДНК



Порівняйте ядерну та мітохондріальну ДНК

ла). Натомість яйцеклітини мають порівняно великий об'єм цитоплазми зі значною кількістю мітохондрій (сотні або тисячі).

Під час запліднення всередину яйцеклітини проникає лише ядро, а відтак мітохондріальні гени батьківського організму не передаються до зиготи. Навіть якщо мітохондрія зі сперматозоїда й проникне в цитоплазму яйцеклітини, вона буде зруйнована. Таким чином, дитина отримує мітохондріальні гени лише від своєї матері (рис. 168). Відповідні ознаки будуть виявлятися незалежно від статі. Іншими словами, якщо мати має мітохондріальне захворювання, його матимуть усі її діти. Від батька ж такі гени дітям не передаються.

У рослин, окрім мітохондрій, є пластиди, які також мають власну ДНК. Успадкування ознак, зумовлених наявними в ній генами, має подібні закономірності.

**Цитоплазматична спадковість у людини.** У людини позаядерна ДНК міститься лише в мітохондріях. Вони мають 37 генів, які кодують деякі потрібні для функціонування цих органел білки, а також необхідні для біосинтезу білків тРНК та рРНК. Розлад роботи мітохондрій може привести до порушення синтезу ними АТФ, а відтак – впливати на енергетичний обмін клітин і функціонування всього організму. Із цього випливає, що люди з ураженнями мітохондріальних функцій матимуть такий набір симптомів: уповільнений ріст, м'язова слабкість, підвищена втомлюваність, серцева недостатність і низка проблем з функціонуванням нервової системи, нирок і дихання – ураженими будуть усі органи, які потребують значної кількості енергії для своєї роботи. Прикладом є синдром MERRF (*Myoclonic Epilepsy with Raged Red Fibers*). Він пов'язаний з мутацією в гені, що кодує одну з тРНК (переносить лізин). Це призводить до порушення синтезу білків, до складу яких входить відповідна амінокислота (рис. 169).

Рис. 168. Особливості мітохондріального успадкування в людини

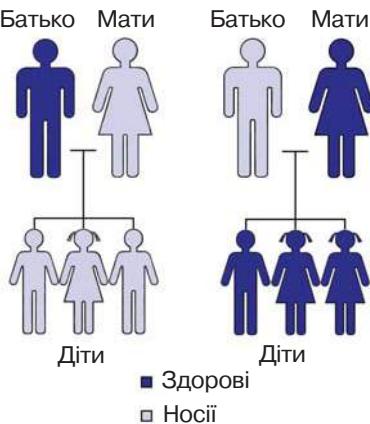
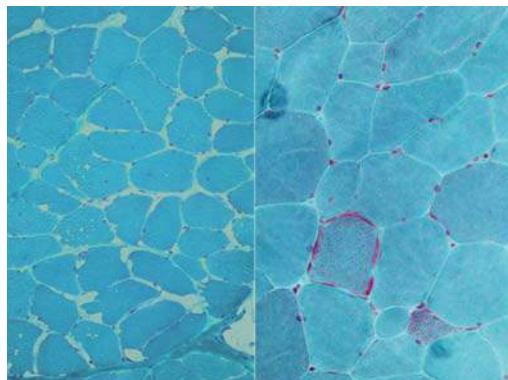


Рис. 169. Перерізи нормального (зліва) та ураженого (справа) м'язів за синдрому MERRF



Червоним кольором пофарбовано мітохондрії. Під час хвороби під мембраною м'язового волокна накопичується велика кількість уражених мітохондрій.

1. Дайте означення поняття цитоплазматичне успадкування.
2. Чим відрізняється успадкування ядерних і позаядерних генів?
3. Наведіть приклади цитоплазматичної спадковості в людини.
4. У чому полягає біологічна роль цитоплазматичної спадковості?
5. Обґрунтуйте значення цитоплазматичної спадковості для організму людини.



## § 37. Поняття про мінливість. Спадкова мінливість



Як гени визначають ознаки?

Що таке надлишковість генетичного коду?

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



**! Мінливість** – властивість живих організмів набувати нових ознак у межах виду.

Мінливість відіграє важливу роль у забезпеченні еволюційного процесу. Зумовлена мінливістю різноманітність форм організмів має вирішальне значення для стійкості екосистем. За особливостями передавання з покоління в покоління розрізняють **спадкову** та **неспадкову** форми мінливості (рис. 1). Спадкова (генетична) мінливість зумовлена зміною генетичного матеріалу: нуклеотидної послідовності генів, структури певних хромосом, набору хромосом у ядрі тощо. Розрізняють комбінативну та мутаційну форми спадкової мінливості (рис. 170).

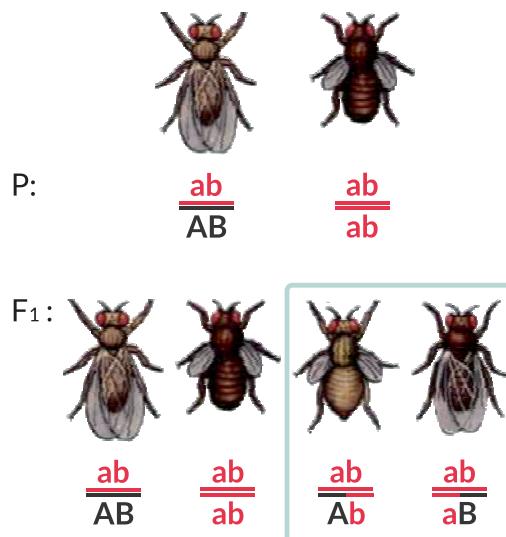
**Комбінативна мінливість** зумовлена утворенням різних наборів, комбінацій наявних алелів (без зміни структури генів, тобто без появи нових алелів). Її причинами можуть бути кросинговер, незалежне розходження хромосом до дочірніх клітин під час мейозу й випадкове об'єднання гамет під час запліднення (рис. 171).

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

Рис. 170. Класифікація форм мінливості



Рис. 171. Формування нових комбінацій алелів унаслідок кросинговеру



Процес виникнення мутацій називають **мутагенезом**. Мутації можуть виникати **спонтанно** (мимовільно) 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 ставиться до власного здоров'я. Так, дим, який вдихає людина під час куріння цигарок, містить речовини, що посилюють мутагенез, а це може привести до розвитку онкологічних захворювань. Нездороюю звичкою є надто тривале перебування «на сонці» влітку. Удень сонячне випромінювання містить велику кількість ультрафіолетових променів, які поглинаються шкірою й можуть спричинити негативні зміни у функціонуванні її клітин (рис. 172). Швидкість спонтанного виникнення точкових мутацій є порівняно стабільною. Сучасні дані свідчать, що в людей за покоління виникає зазвичай 5–10 мутацій, які відрізняють їх від батьків.

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

**Генні**, або **точкові**, мутації стосуються структури лише одного гена. Часто це заміна одного нуклеотиду (рис. 173). Якщо мутація припадає на інтронні ділянки генів, які не кодують структуру білків, вона, можливо, зовсім не матиме наслідків. Заміна нуклеотиду в кодувальній частині гена може мати різні наслідки. Однією з властивостей генетичного коду є надлишковість: деякі амінокислоти кодуються більше ніж одним триплетом. Зміну кодону ДНК, унаслідок якої кодована амінокислота не змінюється, називають **синонімічною**. Тобто надлишковість генетичного коду є одним з механізмів захисту від шкідливого впливу мутацій.

Рис. 172. Вплив ультрафіолетового випромінювання



Рис. 173. Механізм виникнення точкової мутації



Вироблення шкірою меланіну під час засмагання є захисною реакцією від негативної дії ультрафіолету. Яку форму мінливості ілюструє цей приклад?



Опишіть генні мутації, використовуючи схему.

Проте більшість замін змінює зміст мутованого кодону порівняно з оригінальним. За таких умов у синтезованому білку з'явиться інша амінокислота, що може спричинити погіршення або повну втрату його функціональності. Такий тип мутації називають ***міссенс*** (або несинонімічною). Наприклад, мутація в гені однієї із субодиниць гемоглобіну: тимідиловий нуклеотид триплету ЦТЦ замінюється на адениловий і утворюється триплет ЦАЦ. Це призводить до заміни в білку глутамінової кислоти на валін (*переконайтесь в цьому за допомогою таблиці генетичного коду*, § 32). Унаслідок цього синтезований гемоглобін набуває відмінної від нормальної структури, погано транспортує кисень, а в людини розвивається серпоподібноклітинна анемія (рис. 174). Гіршою є ситуація, коли через мутацію триплет, що кодує амінокислоту, перетворюється на стоп-кодон (***нонсенс-мутація***). 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 наявних генів.

**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. У такому разі частини хромосом можуть переміщатися до інших, негомологічних (рис. 175). У випадку 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.

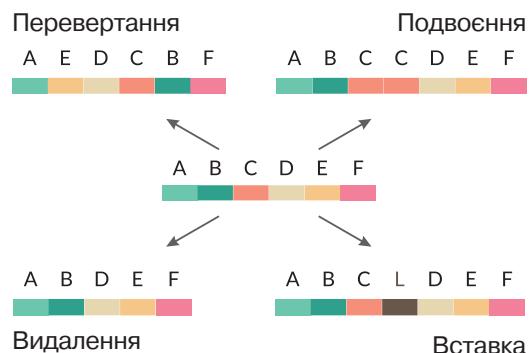
**Геномні мутації** пов'язані зі зміною числа хромосом. Вони можуть виникати як наслідок помилок у розходженні хромосом під час анафази.

У цьому випадку формуватимуться організми з порушену чисельністю

Rис. 174. Нормальний (праворуч) і серпоподібний (ліворуч) еритроцити



Rис. 175. Типи хромосомних перебудов



Поясніть, чому зміна гена гемоглобіну впливає на транспортування кисню.



Знайдіть зміни в структурі хромосом, які відбулися внаслідок мутацій різного типу.

як в одній парі хромосом, так і в усіх, тобто відбуватиметься кратне збільшення або зменшення. Розрізняють *анеуплойдію* – зміну кількості окремих хромосом, і *поліплойдію* – кратне збільшення всього хромосомного набору. Прикладом геномної мутації в людини є трисомія по 21-й парі хромосом – замість нормальної пари в каріотипі існують три такі хромосоми (рис. 176). Це призводить до збільшення кількості генів, що містяться в цих хромосомах, і супроводжується розбалансуванням роботи генетичного апарату. У фенотипі це виявляється як *синдром Дауна*. Люди із цим синдромом мають специфічну зовнішність, порушення функцій внутрішніх органів, сповільнений розумовий розвиток тощо. Кратне збільшення кількості всіх хромосом може спричинити появу триплойдних ( $x3$ ), тетраплоїдних ( $x4$ ) та інших організмів.

Геномні мутації не завжди є негативним явищем. Сучасні дослідження свідчать, що таке відбувалося в процесі еволюції деяких видів, зокрема часто в рослин. Наприклад, тетраплоїдними є деякі види пшеници. Поліплойдизація може виникати і за умов об'єднання геномів представників різних видів, що може застосовуватися людиною під час створення нових сортів. Наприклад, рослина тритикале (рис. 177) виведена як міжвидовий гіbrid пшениці та жита, її каріотип містить диплоїдні набори хромосом обох видів.

**Наслідки мутацій для організмів.** За цим критерієм виокремлюють такі типи мутацій: негативні (спричиняють захворювання, погіршення функціонування або загибелі), нейтральні та корисні (надають більші переваги, ніж вихідні форми). Через те що мутації відбуваються не напрямлено, а випадково, більшість їх є негативними або нейтральними. Корисні мутації виникають порівняно рідко, але вони мають важливе значення для еволюції. Якщо мутація виникла в генеративних клітинах (попередниках статевих), вона може передатися наступним поколінням. Мутації в соматичних

Рис. 176. Хромосомний набір людини, хворій на синдром Дауна

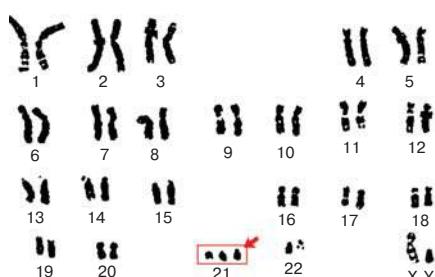


Рис. 177. Зерна пшениці, жита та тритикале



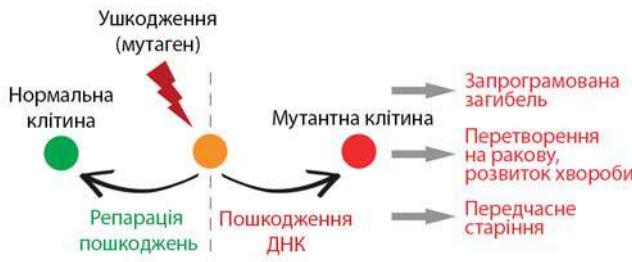
Зерна тритикале є більшими, ніж пшеничні; гіbrid має продуктивність подібну до пшениці, а витривалість до несприятливих умов, як у жита.

клітинах не успадковуються. Якщо вони стосуються критично важливих для існування генів, клітини можуть загинути.

Але можливі й інші варіанти. Так, для нормального функціонування багатоклітинних організмів необхідна правильна взаємодія між різними клітинами. Цей процес може порушуватися в результаті мутацій (рис. 178). Тоді мутантні клітини можуть переставати сприймати керуючі сигнали і починають відносно самостійне існування: вони швидко й неконтрольовано діляться, формуючи агломерати (пухлини). Унаслідок росту такі пухлини можуть перетискати кровоносні судини, нерви тощо, через що істотно погіршується здоров'я, і за відсутності лікування людина може померти. Такі захворювання називаються раковими, а процес виникнення ракових пухлин – **канцерогенезом**. Його можуть запускати різні чинники, що називаються **канцерогенами**. До них належать різноманітні хімічні сполуки (зокрема ті, що містяться в димі від паління цигарок), іонізувальне випромінювання, деякі віруси, тощо. Іншим наслідком мутацій може бути пришвидшений розвиток процесу старіння клітин і тканин (рис. 179).

**Захист від мутацій.** Захист ДНК від пошкоджень є важливим процесом. Йому сприяє низка факторів. Ядерна оболонка запобігає потраплянню всередину шкідливих сполук, контролюючи транспортування через ядерні пори. Гістонові білки також захищають молекули ДНК від пошкоджень, насамперед від дії іонізувального випромінювання. Якщо ж порушення структури ДНК все ж відбулося, існує ряд механізмів, скерованих на подолання їхніх наслідків. Процес відновлення цілісності структури молекули ДНК після ушкоджень називається **репарацією**, він здійснюється за участі спеціалізованих ферментів. Якщо пошкодженим є один ланцюг, відновлення його структури відбувається за матрицею другого, цілого. Завдячуючи принципу комплементарності,

Rис. 178. Наслідки дії мутагенів на клітину



Rис. 179. Приклад пришвидшеного старіння внаслідок дії шкідливих чинників



Людина на фото працювала водієм, і ліва частина її обличчя хронічно отримувала більше ультрафіолету.



Поясніть біологічну причину такої різниці.

ми завжди можемо встановити послідовність одного ланцюга, якщо відома послідовність іншого. Більш небезпечними є дволанцюгові розриви: механізми їхньої корекції є більш складними.

Якщо ж такий розрив не скориговано, можуть виникати хромосомні мутації. Спонтанні мутації здебільшого пов'язані зі змінами структури ДНК внаслідок помилок у дії ферментів репарації, реплікації або рекомбінації, а також помилок під час клітинного поділу. З віком здатність клітин до репарації знижується, а відтак імовірність виникнення мутацій зростає. Наприклад, імовірність народження дитини із синдромом Дауна істотно залежить від віку матері: становить 1:1000 у жінок до 30 років і 1:19 у жінок старших за 45 років, тобто зростає більше ніж у 50 разів.

Існують також клітинні механізми захисту від мутацій. У разі виникнення через дії мутагенів критичного пошкодження у клітинах можуть запускатися механізми запрограмованої загибелі. У більш високоорганізованих тварин існують і системні механізми захисту. Є спеціалізовані клітини, що контролюють стан інших клітин та в разі виявлення порушення знищують їх. Це є частиною імунітету. Коли ж описані механізми не спрацьовують, мутантні клітини можуть залишитися живими та почати формувати ракові пухлини. Ефективність роботи захисних механізмів також може знижуватися з віком.

Важливим елементом захисту від мутацій у людини є її поведінка, скерована на уникнення зустрічі з мутагенними чинниками або зниження інтенсивності їхнього впливу. Треба уникати таких шкідливих звичок, як тютюнопаління чи надмірне перебування під спекотним сонцем без захисту (рис. 180). У разі небезпеки контакту зі шкідливими чинниками (радіація, хімічні сполуки), наприклад, на виробництві, потрібно обов'язково використовувати засоби захисту та дотримуватися правил безпеки.

*Рис. 180. Статистичні дані щодо обсягів куріння цигарок (чорна лінія) і смертності від раку легень поміж чоловіків (синя лінія) і жінок (червона лінія) у США.*



Проаналізуйте графік. Чи є узгодженість між зображеними параметрами?



Створіть просвітницький проект для учнів молодших класів про мутації та захист від них, використовуючи інформацію параграфа та інтернет-джерел.



1. Дайте означення понять комбінаторна мінливість, мутаційна мінливість, мутації.
2. Порівняйте типи мутацій.
3. Що таке мутагени?
4. Які впливи навколошнього середовища вважають мутагенами?
5. Поясніть наслідки мутацій для організму.
6. Які фактори захисту від мутацій?
7. Як ви вважаєте: чому шкідливі мутації виникають частіше за корисні?

## § 38. Модифікаційна мінливість



Що таке мінливість, які її форми розрізняють?

Як рослини та тварини пристосовуються до річних, сезонних, добових змін навколошнього 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. Графічне зображення залежності частот зустрічальності різних варіантів ознаки називається **варіаційною кривою**.

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 унесеними добривами та нормальним поливом (рис. 181). Модифікації можуть стосуватися й частин 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. 182).

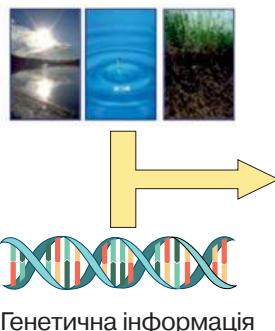
Рис. 181. Вплив рівня поливу на врожайність рослин



Визначте, які рослини вирощувалися за умов нестачі вологи.

Рис. 182. Ознака як результат взаємодії середовища та генетичної програми

Середовище існування



Генетична інформація

Рис. 183. У кішок сіамської породи колір хутра 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 і розміри листків тощо). Інші ознаки практично не залежать від них (наприклад група крові в людини). Прикладом може бути характерний для сіамських кішок колір шерсті (рис. 183). Забарвлення волосся залежить від темного пігменту еумеланіну. Фермент, який синтезує цю сполуку в сіамських кішок, інактивується за звичайної для тіла температури та є активним за температури нижчої 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 і характер вияву 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 дорослом віці, зазвичай легко змінити масу тіла (наприклад, набрати зайву масу за незбалансованого харчування). Проте майже неможливо суттєво змінити зріст чи довжину кінцівок. Модифікаційні зміни є оборотними: у разі повернення умов існування до вихідних ознака змінюється відповідно. Так, переведення сіамської кішки в прохолодніше приміщення приведе до по-темніння шерсті, а корекція раціону людини з надлишковою вагою супроводжуватиметься схудненням.

## Лабораторна робота

### Вивчення закономірностей модифікаційної мінливості

**Мета:** встановити закономірності модифікаційної мінливості.

**Обладнання та матеріали:** рослинні об'єкти (листки, бульби картоплі, насіння, суцвіття злакових рослин тощо), лінійка, олівець, ручна лупа.

#### Перебіг роботи:

1. Визначте ознаку, яку будете досліджувати в запропонованому об'єкті.
2. Полічіть загальну кількість запропонованих для дослідження об'єктів ( $n$ ) і запишіть у таблицю.
3. Визначте довжину кожного листка (або кількість вічок бульби картоплі, квіток суцвіття тощо) – варіанту ( $V$ ) ознаки.
4. Полічіть частоту зустрічальностіожної варіанти ( $P$ ).
5. Побудуйте графік частоти зустрічальностіожної варіанти досліджуваної ознаки.
6. Проаналізуйте графік. Сформулюйте закономірності модифікаційної мінливості.



1. Що таке неспадкова мінливість?
2. Поясніть біологічне значення неспадкової мінливості.
3. Наведіть приклади модифікаційної мінливості в людини.
4. Які закономірності модифікаційної мінливості були виявлені вами під час дослідження?

## § 39. Регуляція активності генів



Як генетична інформація реалізується в ознаках?

У попередніх параграфах ви дізналися, як зберігається генетична інформація, як вона реалізується в ознаках організмів і передається з покоління в покоління. Важливе значення має регуляція активності генів. Ви пам'ятаєте, що багатоклітинні організми сформовані клітинами різних типів, які утворюються шляхом диференціації з початкової клітини – зиготи. Для того щоб правильно сформувалися диференційовані клітини, необхідно в правильній послідовності активувати певні гени (і запобігти активації непотрібних генів). Крім того, залежно від умов середовища певні гени повинні працювати більш чи менш активно. Задля цього існує низка механізмів, які працюють на всіх стадіях реалізації генетичної інформації (рис. 184).

**Транскрипційні фактори.** Регуляція транскрипції дещо різничається в прокаріотів та еукаріотів. Ми зупинимося детально на останніх. Для початку транскрипції РНК-полімераза повинна бути зв'язаною зі спеціальними білками, які називають *транскрипційними факторами*. Головні транскрипційні фактори уможливлюють або блокують транскрипцію гена в цілому. Крім них, існують додаткові транскрипційні фактори, які зв'язуються з регуляторними послідовностями ДНК, що можуть розташовуватися як поблизу регульованого гена, так і на значній відстані від нього (рис. 185). За ефектом, що чиниться на процес зчитування інформації, розрізняють *енхансери* (від англ. *enhance*; підсилюють транскрипцію) та *айлеленсери* (від англ. *silence*; послаблюють). Цікаво, що регуляторні ділянки можуть розташовуватися в некодувальній частині ДНК або навіть в інтронах інших генів.

Рис. 184. Розташування точок регуляції експресії генів

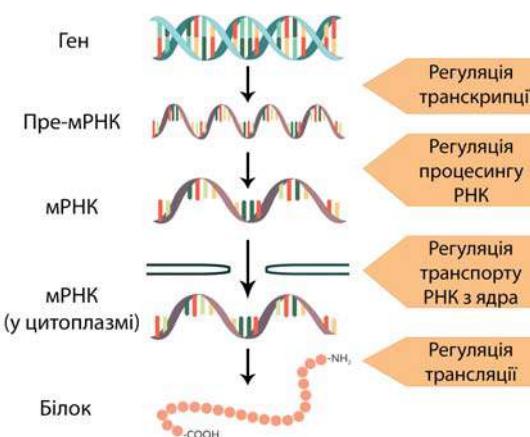
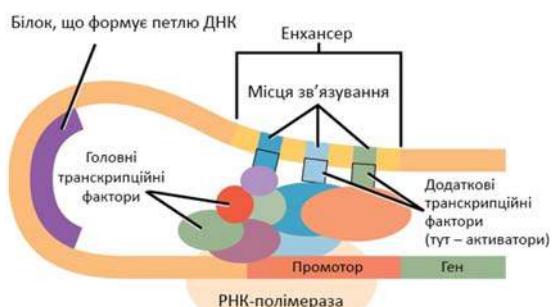


Рис. 185. Принцип роботи віддаленої регуляторної ділянки на прикладі енхансера



Спеціальні білки формують згин молекули ДНК, у результаті чого регуляторна ділянка наближається до регульованого гена. Додаткові транскрипційні фактори взаємодіють з головними, унаслідок чого посилюється транскрипція.



Схарактеризуйте функцію транскрипційних факторів.

Мутації в цих ділянках ДНК не супроводжуються змінами амінокислотою по послідовності білків, але можуть супроводжуватися зміною активності генів. Це є підтвердженням того, що геном є цілісною системою, а не механічним об'єднанням генів. Транскрипційні фактори кодуються близько 6% генів еукаріотів. На функціонування одного гена одночасно впливають кілька регуляторних білків. Деякі транскрипційні фактори синтезуються лише в разі потреби внаслідок експресії відповідних генів. Інші ж можуть бути присутніми в клітині тривалий час, але в неактивному стані. Їхня активація може здійснюватися спеціалізованими внутрішньоклітинними чинниками в результаті дії на клітину регуляторних сполук (наприклад гормонів) або інших стимулів (рис. 186). Транскрипційні фактори можуть впливати на активність багатьох генів, деякі з яких також можуть бути регуляторними. Це вказує на складність регуляції функціонування генотипу.

Описані механізми відіграють важливі значення, зокрема в регуляції ембріонального розвитку. Важливими транскрипційними факторами є білкові продукти *hox*-генів, які визначають загальний план будови тіла у тварин. Інші транскрипційні фактори регулюють розвиток нервової системи, наприклад, ген *FOXP2* активно експресується в ділянках головного мозку, пов'язаних з мовленням, його мутації призводять до порушення цієї функції. Мутації *FOXP2* відігравали важливу роль в еволюції людини. Ген *CREB* і відповідний білок регулюють формування синапсів, беручи участь у процесах навчання та пам'яті.

**Зміна ступеня конденсації хроматину** досягається модифікаціями ДНК або білків хроматину – гістонів. Однією з можливих змін є **ацетиловання** (приєднання залишки ацетату  $\text{CH}_3\text{COO}$ ) гістонових білків. Це знижує їхню спорідненість до ДНК, полегшує її від'єднання, а відтак – позитивно сприяє

Рис. 186. Регуляція роботи генів на прикладі дії факторів росту

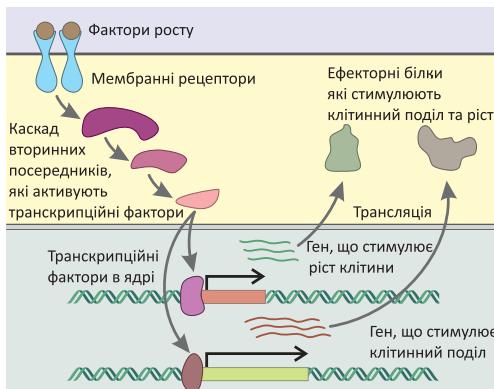
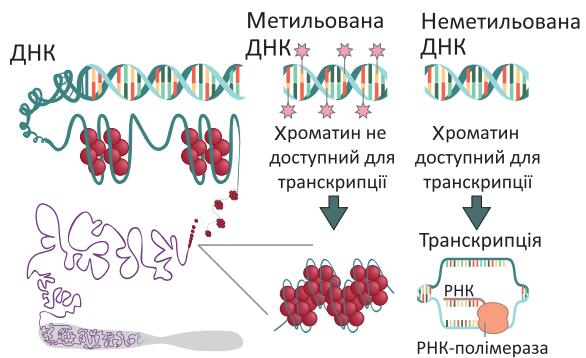


Рис. 187. Принцип впливу метилиювання ДНК на рівень транскрипції



У такий спосіб можуть діяти й інші чинники.



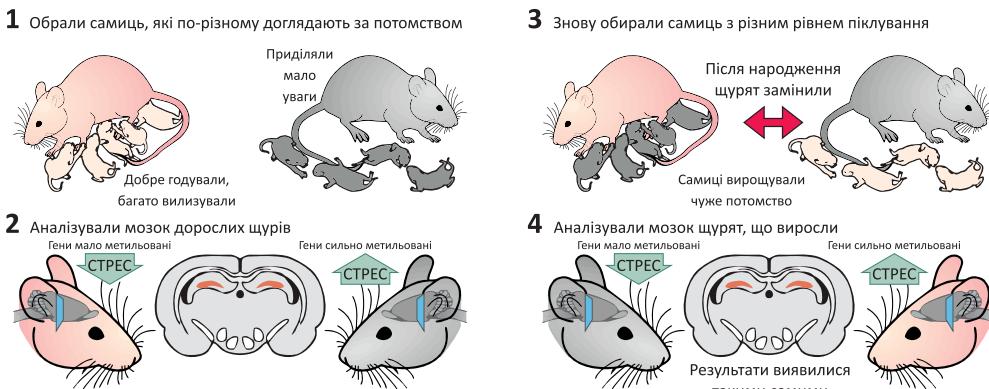
Використовуючи схему, опишіть механізм дії факторів росту на клітину.

транскрипції. Протилежним механізмом є **метилювання** (приєднання метильної групи –  $\text{CH}_3$ ) цитидилових основ ДНК (рис. 187).

Це ускладнює зв'язування та роботу РНК-полімерази, тобто негативно впливає на транскрипцію. Ділянки ДНК з високим рівнем метилювання є неактивними. У такий спосіб, наприклад, під час диференціації клітин відбувається функціональна інактивація ділянок хроматину, у яких записані гени, що не потрібні клітині для обраної спеціалізації. Наприклад, у клітинах м'язів чи сполучної тканини не потрібні білки, які специфічно притаманні нервовим клітинам. Іншим прикладом такої інактивації є виключення однієї з Х-хромосом, описане в §39.

Ацетилювання гістонів і метилювання ДНК є прикладами *епігенетичної* («над генами») регуляції, – коли зміна експресії генів проходить без зміни їхньої структури. Це може відбуватися під впливом умов середовища. Наприклад, в одному з досліджень учені аналізували здоров'я жителів та жительок Нідерландів, які народилися наприкінці Другої світової війни. Період вагітності їхніх матерів припав на дуже сильний голод. Виявилося, що в обстежених людей був значно менший рівень метилювання певних ділянок ДНК в порівнянні з тими, хто народився через 1–2 роки після завершення періоду голоду. Такі зміни супроводжувалися негативним впливом на здоров'я через десятиліття після народження. В експериментах на щурах було показано, що потомство самиць, які погано доглядали за своїми нащадками, розвивалося з порушенням поведінки, виявляючи ознаки підвищеної тривожності (рис. 188). Це було пов'язано з епігенетичним впливом на експресію в головному мозку генів рецепторів до глюкокортикоїдних гормонів, через що порушувалася нормальнна реакція на стрес. Таким чином, епігенетичні впливи на ранніх етапах розвитку можуть істотно впливати на функціонування дорослих організмів.

*Rис. 188. Схема експерименту, що показує вплив материнського піклування на розвиток мозку у щурів*



Рівень метилювання генів, пов'язаних з регуляцією стресу, був вищим у щурят, за якими погано доглядали. Через це вони були менш стійкими до нього.



Поясніть результати проведеного експерименту. Для чого дослідники міняли щурят у другій частині експерименту?

**Регуляція процесингу та транспортування з ядра мРНК.** Як ви пам'ятаєте, одним з етапів процесингу синтезованої молекули РНК є сплайсинг.

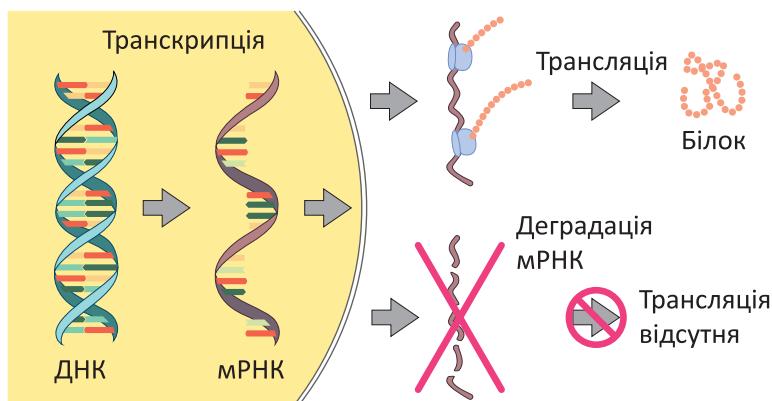
РНК, синтезовані з більшості генів, можуть піддаватися альтернативному сплайсингу, у результаті чого з одного і того ж гена можуть утворюватися різні мРНК, а відтак синтезуватися різні білки. Ще одним механізмом регуляції експресії генів є редактування РНК – зміна її нуклеотидної послідовності. Наприклад, у клітинах кишечника людини відбувається заміна нуклеотида Ц на У в мРНК одного з білків. У результаті кодон ЦАА міняється на УАА, котрий є стоп-кодоном (*переконайтесь в цьому за допомогою генетичного коду*). Унаслідок цього в таких клітинах утворюється вкорочена версія білка, яка має дещо відмінні функції від повнорозмірної.

Під час транскрипції можуть відбуватися помилки. У ядрі синтезовані РНК упродовж процесингу проходять ряд етапів «контролю якості», за результатами якого дефектні молекули руйнуються до виходу через ядерні пори, а відтак – за їхньою інформацією не зможуть синтезуватися білки неправильної структури.

**Регуляція на рівні трансляції.** Ще один етап контролю експресії генів здійснюється в цитоплазмі (рис. 189). Для початку біосинтезу білка мРНК повинна з'язатися з рибосомою. Цей процес може блокуватися спеціалізованими білками. Молекули мРНК мають обмежений час існування, після чого зазнають руйнування. Деякі білки можуть як зберігати мРНК від деградації, так і, навпаки, прискорювати її.

Ми навели не виключний перелік механізмів регуляції активності генів. Деякі з відомих сучасним ученим процесів є надто складними для нашого підручника, деякі ж не до кінця вивчені. Проте зрозуміло, що регуляція експресії відіграє не менш важливe значення для функціонування організмів, ніж проаналізовані вище процеси реалізації генетичної інформації.

Рис. 189. Регуляція експресії на рівні трансляції



 Поясніть, чому через деякий час після виходу в цитоплазму молекула мРНК повинна бути зруйнованою?

1. Дайте означення понять експресія генів, транскрипційні фактори.
2. На яких етапах реалізації спадкової інформації можлива регуляція активності генів?
3. Чи завжди транскрипція певного гена призводить до вияву відповідної ознаки?
4. Схарактеризуйте головні шляхи регуляції експресії генів.
5. Поясніть значення регуляції експресії генів у функціонуванні організмів.

## § 40. Популяційна генетика



Що таке біологічний вид і популяція?

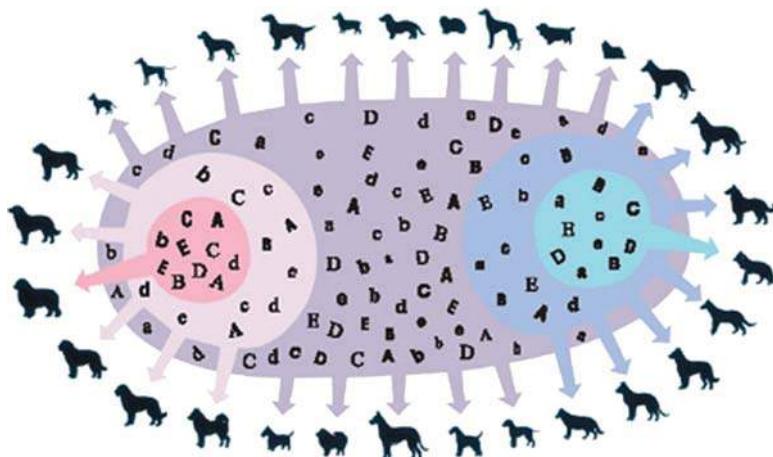
Які вирізняють критерії виду?

У попередніх параграфах ми з'ясували закономірності формування ознак у результаті взаємодії генотипу та умов середовища існування, а також закономірності передавання генетичної інформації з покоління до покоління на рівні окремих організмів. Ви пам'ятаєте, що **біологічний вид** – це сукупність генетично споріднених організмів, які схрещуються та дають плодоче потомство. Одиноцею структурою виду є **популяція** – сукупність особин виду, яка займає частину його ареалу та ізольована від інших подібних сукупностей цього виду. Кожен організм у популяції має притаманний виду набір генів, але вони можуть бути представлені різними алелями. Це створює генетичну різноманітність популяції (рис. 190), яка має важливе значення для стійкості виду та еволюційних процесів, що з ним відбуваються.

**!** Сукупність алелів усіх генів, наявних у популяції (чи всіх особин виду) становить **генофонд** популяції (або виду).

Деякі гени можуть бути представлені лише одним алельним варіантом – зазвичай це гени, що зумовлюють дуже важливі для функціонування організму ознаки, тому мутації в них є летальними. Наприклад, до таких належать гени білків дихального ланцюга мітохондрій або *hox*-гени, що визначають план будови тіла тварин. Менш важливі для існування гени можуть бути представлені кількома алелями, формуючи генетичну мінливість. У процесі статевого розмноження організми обмінюються алелями різних генів, формуючи нові їх комбінації в потомства. Таке постійне «перемішування» генів усередині популяції має низку закономірностей, які досліджує **популяційна генетика**.

Рис. 190. Генотип конкретної особини є підмножиною генофонду виду



Різні комбінації алелів формують різні фенотипи.



Знайдіть, якими алелями відрізняються особини, обведені на схемі колами.

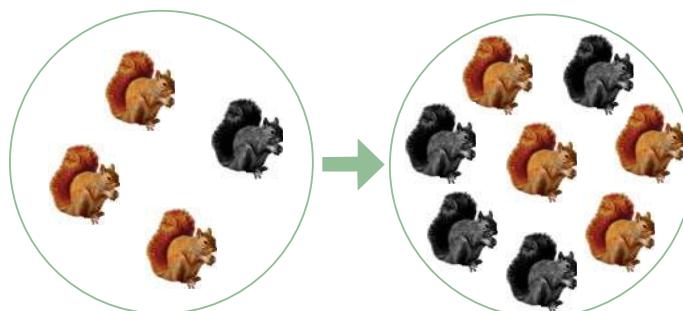
Поширенім питанням є доля носіїв рецесивних алелів. Як ви пам'ятаєте, за схрещування домінантних і рецесивних гомозигот усе покоління буде гетерозиготним, а отже виявлятиме лише домінантну ознаку. За умов подальшого схрещування гетерозигот лише 25% покоління буде мати рецесивну ознаку. Повністю рецесивне покоління може бути лише тоді, коли обидва батьківські організми є рецесивними гомозиготами. Здавалося б – із часом доля носіїв рецесивних ознак повинна зменшуватися. Проте це не відповідає дійсності. Носії рецесивних ознак можуть з'являтися за схрещування гетерозигот між собою (25%), гетерозигот з рецесивними гомозиготами (50%) та рецесивних гомозигот між собою (100%). Це врівноважує «маскування» рецесивної ознаки в поколіннях від схрещування з домінантними гетерозиготами. Унаслідок цього в популяціях кількість носіїв різних алелів та особин, які виявляють різні варіанти ознак, за умови дотримання певних умов є сталою. Ця закономірність відома як **закон Харді-Вайнберга**. Таке явище називають **генетичною рівновагою**. Для його дотримання необхідно, щоб

- популяція мала достатньо велику чисельність;
- усередині не відбувалося вибіркового схрещування (кожна пара особин різної статі має однакову ймовірність залишити потомство);
- на неї не діяли фактори добору за певними ознаками/генами.

Зрозуміло, що аж ніяк не всі популяції задовольняють таким критеріям. У разі наявності тиску добору відбувається усунення носіїв небажаних алелів (рис. 191).

Різке скорочення чисельності популяції може випадковим чином змінити співвідношення між носіями різних алелів (дрейф генів) тощо. Такі зміни рівноваги є важливими факторами еволюційного процесу.

*Рис. 191. Зміна частот алелів унаслідок добору призводить до змін частот відповідних фенотипів*



#### Закон Харді-Вайнберга в математиці

Позначимо літерами  $p$  та  $q$  частки домінантного (A) та рецесивного (a) алелів у генофонді певної популяції. Якщо в цього гена лише два алелі (найпростіший випадок), то сума  $p + q = 1$  (100%). Кількості носіїв різних генотипів у цьому разі можна порахувати за формулами:  $p^2$  (AA),  $2pq$  (Aa) та  $q^2$  (aa). За умов генетичної рівноваги ці числа будуть постійними.



Пригадайте з курсу математики, чому дорівнює  $(p + q)^2$ . Поясніть, чому частота зустрічальності носія певного генотипу визначається добутком двох частот алелів.



1. Дайте означення поняття генофонд.
2. Що вивчає популяційна генетика?
3. Чому в популяціях не зникають носії рецесивних ознак?
4. Як існування добору впливає на генетичну рівновагу?

## § 41. Генетична варіабельність людини



Що таке геном?

Яку структуру має геном людини?

Описані в попередньому параграфі закономірності стосуються їй людських спільнот.

Ви знаєте, що сучасне людство належить до одного біологічного виду *Homo sapiens*. Наш вид не є однорідним, у ньому виділяють групи людей, які за певними ознаками близічні всередині групи, ніж з іншими групами. Єдиного підходу до виділення таких груп за чітко окресленими критеріями немає: учені в галузі соціології, культурології, антропології та біології поділяють людство на раси, національності, етнічні та інші групи. Неоднорідність людства очевидно помітна навіть у зовнішніх ознаках будови: ми різнимося кольором шкіри, волосся, зростом, формою та розміром очей і багатьма іншими параметрами (рис. 192). З матеріалу попередніх параграфів зрозуміло, що такі відмінності повинні мати в тому числі і генетичне підґрунтя. Звісно, немає якихось специфічних генів, які б зумовлювали належність до тієї чи іншої групи: як представники одного виду, всі люди мають подібні генотипи. Ідеться лише про переважання тих чи інших алельних версій спільніх для всіх генів. Сучасні дослідження свідчать, що 99,9% геному є спільними у всіх людей. І лише 0,1% ДНК надають нам неповторної унікальності. На ці 0,1% припадають описані раніше успадковані алельні версії генів і мутації, що виникають як нові. Ця різниця геномів зумовлює відмінності в зовнішній і внутрішній будові, у фізіологічних особливостях, у стійкості до хвороб і характері реагування на ліки тощо. Крім цього, звісно, частина відмінностей зумовлена модифікаційною мінливістю внаслідок впливу середовища.

*Rис. 192. Генетично різнопорідні люди різняться фенотипічно. Натомість генетично ідентичні люди (монозиготні близнюки) дуже схожі*



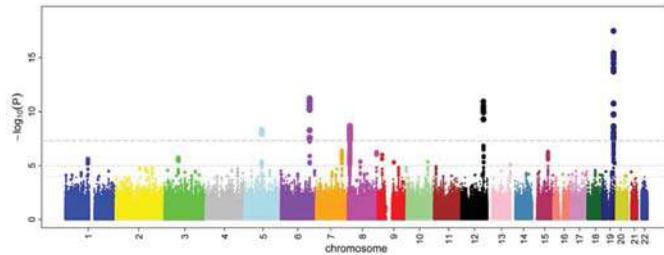
Чому монозиготні близнюта є генетично ідентичними?

Особливий інтерес для сучасної біомедицини становлять однонуклеотидні поліморфізми (SNP). Це відмінності в ДНК, які стосуються лише однієї парі основ. Ми раніше розглядали такі приклади зазначених замін як точкові мутації (§ 37). Але не всі подібні заміни призводять до істотних змін у структурі кодованих білків, які ми називали раніше алелями. Адже деякі SNP можуть бути синонімічними мутаціями, (§ 37), деякі – припадати на некодувальні ділянки ДНК, яких у людини близько 97%. І навіть якщо заміна нуклеотиду є несинонімічною, змінена амінокислота може мати хімічні характеристики, подібні до вихідної, а тому структура білка може змінитися не критично до його головної функції. Тим не менше, вона може змінитися частково. Наприклад, якщо ген кодує певний фермент, деякі заміни амінокислот можуть залишати його функціональним, але змінювати ефективність на кілька відсотків. Це не приведе до таких катастрофічних наслідків, які ми описували раніше (§37), але за умови використання наукових статистичних методів вони можуть стати помітними.

Для аналізу подібних ефектів учени в галузі генетики використовують алгоритми повногеномного пошуку асоціацій (рис. 193). Досліджуваних людей розділяють на групи за критерієм, який цікавить дослідників. Далі рахують частоти зустрічальності різних варіантів поліморфізмів, асоційовані з тим чи іншим фенотипом. У такий спосіб учени знаходять гени та їх ділянки, пов'язані з різними варіантами ознаки. Цікаво, що 85% відомих нині SNP є спільними для всього людства, а інші 15% є специфічно різними в представників різних людських популяцій.

Якщо досліджувані відмінності стосуються стійкості до хвороб або сприйнятливості до ліків, такі дослідження мають чимале практичне значення.

Рис. 193. Приклад повногеномного пошуку асоціацій



Зображеній результат аналізу має назву Манхеттенський графік. Кольори та цифри по осі абсцис позначають різні хромосоми, вісь ординат відображає ступінь асоційованості з досліджуваним параметром. Пунктирна лінія відповідає рівню статистичної значущості. Можна бачити, що в цьому дослідженні знайдено 5 потенційних місць у ДНК, які пов'язані з досліджуваною ознакою (рівень кровопостачання дрібних судин).



Проаналізуйте, у яких хромосомах містяться зазначені п'ять потенційно цікавих локусів.



Підготуйте повідомлення про поліморфізми, асоційовані з іншими ознаками людини, використовуючи наукову літературу та інтернет-джерела.



1. Назвіть фактори, які зумовлюють генетичну різноманітність людства.
2. Чи діють на сучасне людство еволюційні фактори? Якщо так, як вони впливають на його генетичну структуру.
3. Аргументовано доведіть, що всі люди є представниками одного біологічного виду.

## § 42. Еволюція геному людини

Що таке геном?

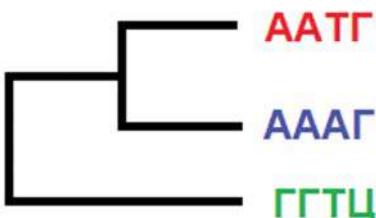
Які основні етапи антропогенезу?

Які фактори зумовили виникнення виду *Homo sapiens*?

Минулого року ви ознайомилися із сучасними науковими уявленнями про виникнення виду Людина розумна. На ранніх етапах розвитку еволюційної антропології основним джерелом інформації про антропогенез були викопні рештки кістяків давніх гомінід. Наразі сучасні молекулярно-біологічні методи дають можливість детальніше реконструювати процес еволюції нашого виду.

**Біоінформатика.** В арсеналі сучасних антропологів є низка описаних раніше молекулярно-біологічних методів, що дають важливі наукові дані. Секвенування ДНК дає інформацію про склад геному людини та сучасних людиноподібних мавп. Молекула ДНК є порівняно стійкою до хімічних змін і відносно непогано зберігається у викопних рештках. Це дає змогу дослідникам та дослідницям секвенувати ДНК, виділену зі знайдених у розкопках кісток. Звісно, молекули ДНК зберігаються не повністю, а тому зчитати можна лише фрагменти. Проте за умови наявності великої кількості секвенованих довгих фрагментів можна реконструювати весь геном (або більшу його частину). Таке завдання можна порівняти з відновленням тексту книги із залишків різних сторінок. Стосовно ДНК його успішно виконують за допомогою математичних методів, які є частиною **біоінформатики**. Порівнюючи послідовності ДНК різних організмів (рис. 194), біологи можуть кількісно оцінити ступінь їхньої спорідненості (рис. 195).

Рис. 194. Приклад аналізу ДНК за допомогою методів біоінформатики



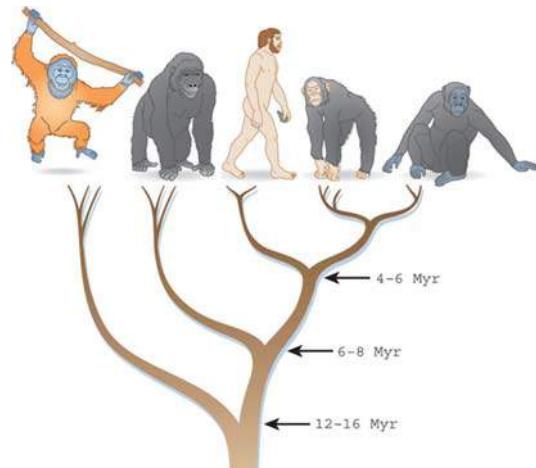
Червона та зелена послідовності різняться трьома нуклеотидами, червона та синя – однією. Отже, верхні дві послідовності більш споріднені, вони розділилися пізніше, ніж від спільнога предка від'єдналася «зелена» лінія.



Обчисліть, скільки нуклеотидів відрізняє синю та зелену послідовності.

Подібний аналіз десятків і сотень тисяч нуклеотидних послідовностей вимагає потужних обчислень.

Рис. 195. Реконструкція еволюції гомінід на основі молекулярно-генетичних даних



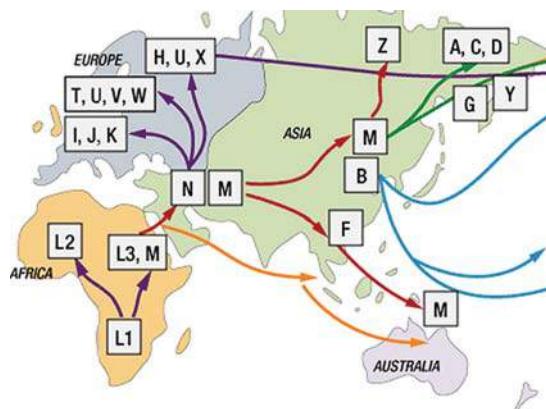
Людина найбільше споріднена з шимпанзе та бонобо (праворуч), ніж з горилами чи орангутанами (ліворуч).

## Порівняння геномів людини і шимпанзе.

Як було зазначено вище, генетично найбільш спорідненими до людини є шимпанзе та бонобо. Як ви знаєте, каріотип людини складається з 23 пар хромосом. Натомість у шимпанзе та інших людиноподібних мавп їх 24. Установлено, що людська хромосома 2 виникла як результат злиття двох хромосом предкового організму. Сучасні оцінки свідчать, що близько 98% послідовності ДНК людини і шимпанзе є спільними. Більшість відмінностей зумовлені однонуклеотидними замінами, яких налічують близько 35 млн. Решта (близько 3% відмінностей) зумовлена хромосомними перебудовами – вставками, видаленнями тощо. Частина активних генів шимпанзе в людини втрачена або не функціональна – таких налічують близько 80. Істотна частина з них (36) припадає на гени нюхових рецепторів. Інші втрачені гени кодують одну з форм кератину – головного білка волосся, один з варіантів міозину – скоротливого білка м'язів тощо. Це зумовлює низку відмінностей сучасної людини від шимпанзе. Низка генів містить найбільшу кількість міжвидових відмінностей: вони інтенсивно змінювалися в процесі атропогенезу. До них, наприклад, належить згадуваний раніше FOXP2, порушення діяльності котрого в людини пов'язане з проблемами мовлення. Вивчення таких генів дозволяє глибше зрозуміти біологічну природу людини.

**Генетика та міграції людства.** Важливу інформацію дають дослідження ДНК мітохондрій та Y-хромосоми. Їхньою особливістю є передача з покоління в покоління лише по жіночій (мітохондріальна) та чоловічій (Y) лініях. На відміну від ДНК аутосом, ці молекули не підлягають рекомбінації в процесі кросинговеру. Тому за допомогою методів біоінформатики можна реконструювати зміни їхньої структури в процесі еволюції та міграцій людства (рис. 196).

Рис. 196. Карта поширення людини розумної, побудована за археологічними даними (ліворуч) та реконструкція змін мітохондріальної ДНК, ґрунтovanа на аналізі сучасних людей (праворуч)



1. Дайте означення понять геном, біоінформатика.
2. Поясніть значення біоінформатики в розкритті питання еволюції геному людини.
3. Чи діють на сучасне людство еволюційні фактори? Якщо так, як вони впливають на його геном?
4. Чи можна говорити про специфічні «людські» гени, які роблять наш вид унікальним?

## § 43. Медична генетика



Що таке генні, хромосомні та геномні мутації?

Одним з глобальних напрямів розвитку біології є з'ясування людиною своєї природи, особливостей будови та функціонування власного тіла, причин виникнення хвороб і способів їх лікування. З вивченого матеріалу попередніх параграфів ви зрозуміли, що чимало кількість ознак людини, у тому числі й захворювань, має генетичне підґрунтя. Їх вивчає медична генетика, основними завданнями якої є визначення механізмів формування патологій, пов'язаних з порушеннями генетичного матеріалу, розроблення та впровадження методів діагностики генетичних хвороб, їх профілактика й лікування (рис. 197).

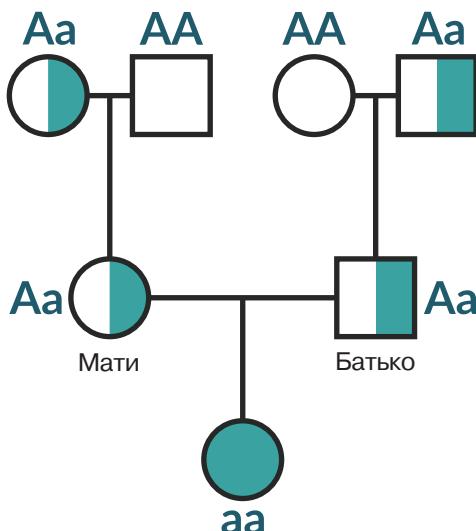
**Класифікація спадкових захворювань людини.** Спадкові захворювання людини поділяють на *генні* та *хромосомні*. Генні хвороби пов'язані з наявністю патологічного алеля певного гена. Вони можуть успадковуватися за домінантним або рецесивним типом відповідно до законів Менделя. До них належить, наприклад, розглянута раніше серпоподібноклітинна анемія. Велику групу спадкових захворювань становлять *ферментопатії* – хвороби, за яких мутації відбуваються в генах, що кодують молекули ферментів. Поширеністю ферментопатією є феніл-кетонурія (один випадок на 10–25 тис. народжень), спричинена мутацією в гені одного з ферментів, необхідних для нормального перетворення амінокислоти фенілаланіну на тирозин (рис. 198).

Зазвичай такі патології успадковуються за рецесивним типом: у гетерозиготному організмі функціонування однієї копії нормального алеля забезпечує клітини достатньою кількістю «працездатного» ферменту, і мутантний алель

Рис. 197. Завдання медичної генетики



Рис. 198. Принцип успадкування фенілкетонурії



Якою є ймовірність народження хворої дитини в родині, де батько і мати здорові, але батько має рецесивний алель гену, що зумовлює фенілкетонурію?

себе не виявляє. Без цього ферменту в людини з фенілкетонурією (яка є рецесивною гомозиготою) накопичується в надмірних кількостях фенілаланін, що утворюється під час перетравлювання білків, і токсичні продукти його обміну. Це викликає розлади функціонування нервової системи та як наслідок – порушення розумового розвитку. Цю хворобу успішно лікують шляхом правильно підібраної дієти з низьким умістом фенілаланіну.

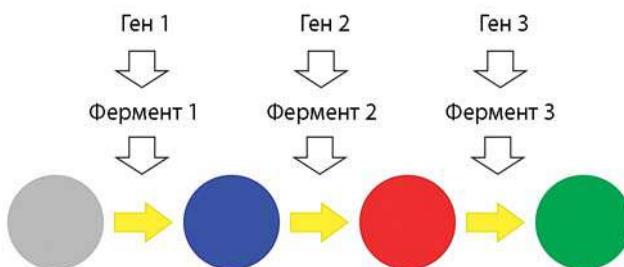
Ви пам'ятаєте, що ферментативні реакції часто формують каскадні ланцюжки: продукт однієї реакції стає субстратом наступної. Відтак у разі дефекту будь-якого з ферментів, які беруть участь у таких реакціях, синтез фінального продукту буде порушенено. Тому причиною хвороби, яка зумовлена нестачею фінального продукту, можуть бути мутації в кількох різних генах (які кодують різні ферменти даного ланцюга). У такому випадку йдеться про генетичну гетерогенність захворювання (рис.199). Наприклад, хвороба Шарко-Марі-Тута, за якої порушуються периферійні нерви, розвивається атрофія м'язів кінцівок і деформація стоп і кистей, пов'язана з мутаціями в більше ніж 20 генах.

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 (далтонізм), а також гемофілія (пов'язана з нестачею одного з білкових факторів, потрібних для згортання крові). Закономірності успадкування гемофілії такі ж самі, що й далтонізму.

Частина хвороб людини пов'язана з мітохондріальною спадковістю, яку ми проаналізували в § 36.

**Хромосомні** хвороби людини пов'язані зі змінами в структурі хромосом або зі змінами хромосомного набору. **Синдром котячого крику** виникає внаслідок

Рис. 199. Приклад формування гетерогенного захворювання



Кольорові круги позначають різні хімічні сполуки, жовті стрілки – каталізовані трьома ферментами реакції. Мутація хоча б в одному з трьох генів призведе до того, що «зелена» сполука не буде синтезуватися.



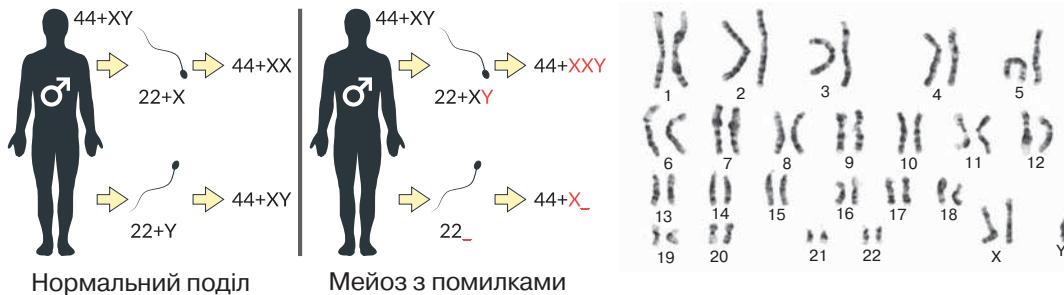
Як називається такий тип взаємодії генів?

хромосомної мутації, пов'язаної з втратою частини 5-ї хромосоми з відповідними генами. У дитячому віці цей синдром має вияв у характерному плачі, 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 бракує. Прикладом таких хвороб є описаний раніше **синдром Дауна** (трисомія за 21-ю парою хромосом). Відомі й інші трисомії: за 13-ю (**синдром Патау**) і 18-ю (**синдром Едвардса**). Описано порушення, пов'язані з наборами статевих хромосом: **синдром Клейнфельтера** (XXY замість XY), **синдром Тернера** (X замість XX) та ін. (рис. 200).

Лікування хромосомних хвороб нині є неможливим. Медицина може лише пом'якшити вияв негативних симптомів.

**Хвороби із спадковою схильністю.** У попередніх параграфах ви прочитали, що ознаки формуються як результат активності одного гена лише в найпростіших випадках. Значна ж частина ознак формується в результаті взаємодії генотипу та умов середовища існування організму. Оцінити внески генотипу та середовища у формування ознак у тварин чи рослин учні можуть, отримавши генетично одноманітне покоління, виростили його в однакових умовах і проаналізувавши його фенотип. Зрозуміло, що це неможливо під час вивчення ознак людини. У цьому випадку застосовують **близнюковий метод**. Близнята різняться за ступенем генетичної спорідненості. Якщо в матері одночасно дозріли дві яйцеклітини, які були запліднені двома сперматозоїдами, народжені діти будуть мати генотипи, спільні настільки ж, як у братів чи сестер, народжених у різний час (дизиготні близнята).

Рис. 200. Помилки в розходженні хромосом під час мейозу в чоловіка можуть бути причиною синдромів Клейнфельтера і Тернера



Визначте, якому синдрому відповідає зображеній каріотип.

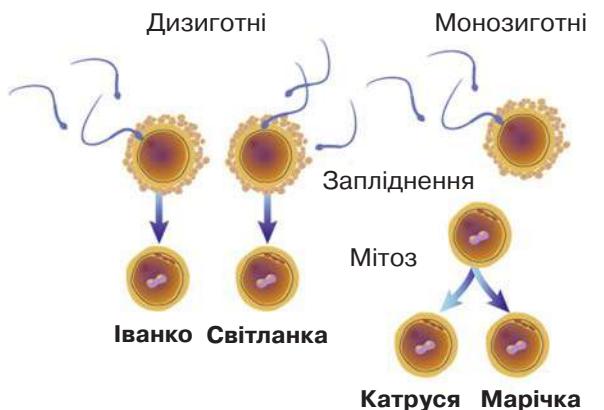
Буває, що після початку поділу зиготи дочірні клітини розходяться і починають розвиватися незалежно (рис. 201). У такому випадку народжуються діти, які мають ідентичні генотипи (монозиготні близнят). Проаналізувавши ступінь схожості ознак у моно- та дизиготних близнят, можна порахувати **показник спадковості**: якщо він становить 100%, ознака повністю визначена генотипом, якщо 0% – повністю визначена дією факторів довкілля. Високу залежність від генотипу мають такі ознаки, як група крові в системі АВО (100%) і колір очей (99%). У розвитку деяких хвороб, наприклад, шизофренії (37%) або маніакально-депресивного психозу (53%), умови життя створюють істотний ефект, тому ми говоримо, що успадковується не хвороба, а **схильність** захворіти.

Генетично зумовлена схильність може впливати і на розвиток інфекційних хвороб (які, здавалося б, мають цілком незалежну від генотипу зовнішню причину). У цьому випадку на ймовірність захворіти та перебіг хвороби можуть впливати гени, задіяні у формуванні імунітету. Наприклад, ген CCR5, локалізований у 3-ї хромосомі, кодує один з мембраних білків лейкоцитів, який використовується вірусом імунодефіциту людини для проникнення всередину клітини. Описана мутація цього гена, у результаті якої змінений блок забезпечує стійкість до даного вірусу. Така мутація присутня приблизно в 1% людей. Це відкриття дало вченим нові шляхи пошуку лікування ВІЛ-інфекції.

**Перспективи лікування спадкових захворювань.** Методи генної терапії, спрямовані на внесення змін до геному пацієнтів і пацієントк зі спадковими хворобами, розробляють з 1980-х років. Існує багато методів, за допомогою яких можна внести потрібну молекулу ДНК в ядра клітин, проте проблема полягає в точності. Наразі такі маніпуляції було проведено з понад 2000 людей.

Усі ці спроби є лише етапами тестування методик, а не готовим методом лікування. В останні роки велику надію покладають на нещодавно відкриту

Rис. 201. Розвиток моно- та дизиготних близнят



Поясніть, чому монозиготні близнят завжди однієї статі, а дизиготні можуть бути різної.

#### Показник спадковості

(Н від Heredity) обчислюють за формулою:

$$H = \frac{Km - Kd}{100 - Kd}$$

де Km та Kd – коефіцієнти збігу ознак у моно- (m) та дизиготних (d) близнят у відсотках.



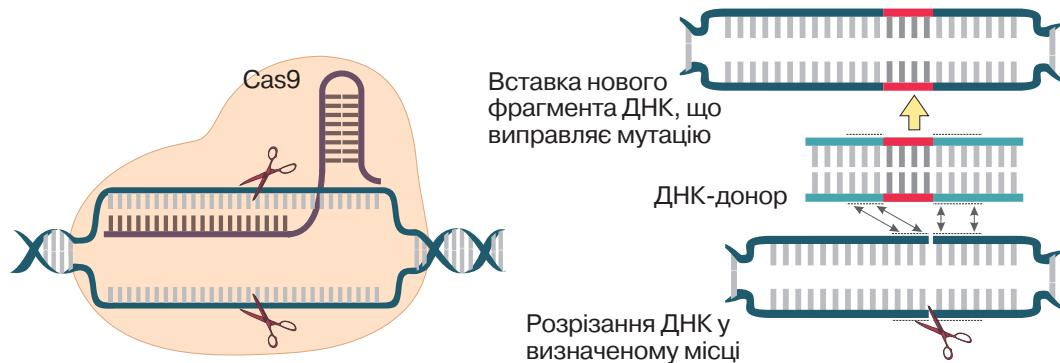
89% пар монозиготних близнят мають одинаковий колір волосся, натомість поміж дизиготних він збігається в 22% пар. Обчисліть коефіцієнт спадковості цієї ознаки.

ферментативну систему прокаріотів, названу CRISPR-Cas9 (рис. 202). Особливістю технології, створеної на її основі, є можливість украй точно вирізати заданий фрагмент молекули ДНК й замінити його на новий. Таким чином ми можемо встановити місцем розрізання початок потрібного гена (адже ми знаємо його нуклеотидну послідовність), після чого замінити його на наперед синтезовану виправлену послідовність. Дослідження щодо генетичної модифікації людських клітин, попри їх потенційну важливість для створення лікувальних технологій, мають суттєві законодавчі обмеження. Однак сучасна біологія дає надію на прогрес у цій галузі.

**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. В ідеальній ситуації за такою консультацією повинні звертатися всі майбутні батьки. Проте серйозними приводами для звернення є випадки хвороб у їхніх родинах, близькоспоріднений шлюб, вплив шкідливих факторів (наприклад, на виробництві) на організм майбутньої матері. У процесі медико-генетичного консультування на основі інформації про стан здоров'я подружжя та їхніх родичів фахівці будують родовід, визначають генотипи майбутніх батьків і надають прогноз щодо ймовірності народження дитини з певними спадковими захворюваннями. Якщо ймовірність є досить високою, подружжя може відмовитися від народження дитини.

Додаткову інформацію надають сучасні методи молекулярної генетики. Звісно, читання й аналіз повного геному батьків є надто складним і витратним,

*Rис. 202. Принцип роботи CRISPR-Cas9 – перспективного інструменту для конструювання методів генної терапії*



Користуючись додатковими джерелами, опишіть механізм роботи CRISPR-Cas9 системи.

тому зважають лише на певні ключові гени, пов'язані з найбільш імовірними захворюваннями. Нині під час вагітності лікарі мають змогу отримати значну кількість інформації про стан здоров'я плода. Так, ультразвукове дослідження допомагає виявляти анатомічні порушення його будови; аналіз складу амніотичної рідини, що оточує плід, – виявляти біохімічні маркери певних захворювань; цитогенетичний або хромосомний аналіз клітин плода, які потрапляють в амніотичну рідину, – виявляти хромосомні порушення, а аналіз виділеної з них ДНК (секвенування) – мутації в ключових для деяких захворювань генів. У разі пренатальної (допологової) діагностики генетичного захворювання медики можуть запропонувати батькам програму заходів щодо поліпшення стану народженої дитини (рис. 203).

### **Генетичні маркери.** Аналіз генів має сенс не лише впродовж вагітності.

Наразі є відомості (і обсяг цієї інформації зростає дуже швидко) щодо зв'язків певних алелів і поліморфізмів з імовірністю розвитку деяких захворювань. Асоційовані із захворюваннями варіанти генів або інших ділянок ДНК називають **генетичними маркерами**. Наприклад, деякі мутації генів BRCA1 та BRCA2 суттєво збільшують ризик розвитку в жінки раку молочної залози та яєчників. У разі виявлення мутантного алеля (іх відомо понад 500) пропонують програму профілактичних заходів. Також відомі гени, мутації яких збільшують ризик розвитку цукрового діабету. Люди з такими алелями повинні дотримуватися відповідної діети. Варіанти інших генів пов'язані з ризиком розвитку хвороб Альцгеймера, Паркінсона та інших. Дослідження та використання генетичних маркерів суттєво розширює арсенал сучасних лікарів. Прогрес у молекулярній біології робить такий аналіз більш дешевим і доступним.

Отже, сучасна біомедицина дає людству можливості для істотного покращення якості життя та подовження його тривалості.

*Rис. 203. Медико-генетичне консультування дає змогу уникати ризиків, пов'язаних зі спадковими хворобами*



Уявіть, що ви працюєте в закладі медико-генетичної консультації. До вас звернулося подружжя. У їхніх родинах траплялися випадки таласемії – аутосомно-рецесивної хвороби, що пов'язана з порушенням синтезу гемоглобіну. Чоловік і жінка здорові, але генетичний аналіз виявив у чоловіка рецесивний алель гена  $\alpha$ -субодиниці гемоглобіну. Батьки хвилюються, що в них може народитися дитина з таласемією. Оцініть імовірність такого випадку.



1. Дайте означення поняття **медична генетика**.
2. Що таке спадкові захворювання людини?
3. Назвіть причини спадкових хвороб людини.
4. Яке значення має медико-генетичне консультування.
5. Якими є перспективи лікування спадкових захворювань людини?
6. Поясніть застосування генетичних маркерів. Користуючись додатковими джерелами, знайдіть інші приклади генетичних маркерів.

## Практична робота.

### **Розв'язування генетичних задач**

**Мета:** навчитися розв'язувати генетичні задачі; закріпити здобуті знання



1. У гороху фіолетовий колір пелюсток домінує над білим. До слідники провели схрещування рослини з фіолетовими квітками та рослини з білими квітками. Отримане покоління мало рівну кількість рослин із квітками обох кольорів. Визначте генотипи батьківських рослин. Як називається такий тип схрещування?



2. Користуючись решіткою Паннета (§ 33), визначте генотипи та фенотипи покоління від схрещування організмів AaBb x Aabb.



3. Схрестили дві рослини нічної красуні, що мали білі та червоні квітки. Усі рослини отриманого покоління мали пелюстки рожевого кольору. Відомо, що за вияв цієї ознаки відповідає один ген. Як називається такий тип успадкування? Яким буде фенотип покоління від схрещування рослин з рожевими та білими квітками?

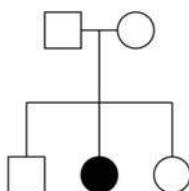


4. У подружжі чоловік має четверту групу крові, а жінка – другу. Відомо, що батько жінки має першу групу крові. Визначте генотипи чоловіка та жінки. Яку групу крові можуть мати їхні діти?

5. Уявіть, що ви працюєте в закладі медико-генетичної консультації. До вас звернулося подружжя, у якому чоловік має глюкозо-6-фосфат-дегідрогеназний дефіцит – патологію обміну вуглеводів, що передається як Х-зчеплена рецесивна ознака. Його дружина не має цього захворювання, у її родині також це захворювання не зустрічалось. Якою є ймовірність народження в них дитини із цим захворюванням? Чи є різниця в імовірності народження хворих хлопчика чи дівчинки?



6. Sonic hedgehog (shh, «їжачок Сонік») – це назва білка (і відповідного гена), що регулює розвиток кінцівок. Він перебуває під впливом гена LMBR1, локус якого міститься в 7-й хромосомі. Мутація хоча б в одній копії LMBR1 призводить до порушення нормальної експресії гена shh, унаслідок чого на кінцівці розвиваються додаткові пальці (полідактилія). Визначте характер успадкування такої форми полідактилії. Чи можливе народження дитини із захворюванням у здорового подружжя?

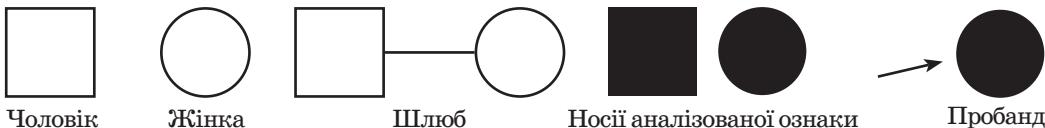


7. Пробанд має захворювання – галактоземію (порушення вуглеводного обміну), яке передається аутосомно-рецесивним шляхом. Його батьки не мають цього захворювання. Відомо, що по лінії матері це захворювання мав прадід, а інші родичі не мали. Дружина пробанда не має цього захворювання, у її родині також це захворювання не траплялося. Побудуйте родовід (з правилами можна ознайомитися на наступній сторінці). Установіть генотипи пробанда і його батьків. Якою є ймовірність народження в пробанда дитини з цим захворюванням?

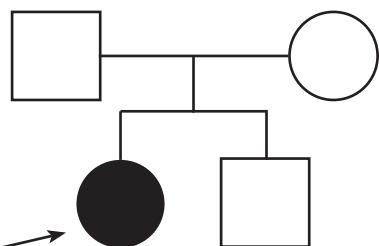
## Правила складання родоводів

**Генеалогічний метод** є одним з основним способів з'ясування типу успадкування ознак людини та визначення генотипів родичів людини.

Людина, відносно якої складають родовід, має назву **пробанд**. Родовід зображають графічно у формі генеалогічного дерева. Основні символи, які використовують під час його побудови:



Старші покоління зображають угорі. Приклад родоводу та його опису:



«Пробанд – жінка, яка має певне захворювання. Її батьки та брат не мають цього захворювання».

Аналіз цього родоводу: оскільки хвороба з'явилася в здорових батьків, вона, найімовірніше, є рецесивною. Отже, пробанд є рецесивно гомозиготним, а батьки є гетерозиготними.



Наведіть аргументи щодо правильності твердження або спростуйте його.

## Проект

### Етапи реалізації проектів

1. На основі вивчененої інформації та з допомогою додаткових джерел складіть інформаційне повідомлення на одну із запропонованих тем.

**Генетичний моніторинг у людських спільнотах**  
Що таке генетичний моніторинг?  
Якими методами його здійснюють?  
Які завдання генетичного моніторингу?  
Наведіть приклади конкретних результатів.

**Скринінг – програми для новонароджених**  
Що таке скринінг?  
Якими методами його здійснюють?  
У чому важливість і корисність скринінгу новонароджених?

**Генотерапія та її перспективи**  
Що таке генотерапія?  
Які існують сучасні методи генотерапії?  
Які хвороби можна лікувати за їх допомогою?  
Які новітні методи генотерапії зараз тестиують учені?



Можливі форми представлення проекту:

- виготовлення постера, плаката або буклета;
- підготовка мультимедійної або скрайб презентації;
- створення короткого відеокліпа.

2. Ознайомте з підготовленим проектом своїх однокласників та однокласниць, батьків, учнів та учениць молодших класів.

## Індивідуальні завдання

### Хвороба Дауна

Ознайомтеся з інформацією:

«Синдром Дауна є найпоширенішою хромосомною аномалією в людини. У середньому частота народження дітей із цією хворобою становить 1:1000, проте існує залежність від віку матері, яка представлена на графіку. Безпосередньою причиною патології є наявність додаткової, третьої хромосоми в 21-й парі. Зазначена мутація виникає спонтанно. Практично завжди батьки дитини, що має це захворювання, є здоровими. Наразі

не виявлено жодного фактора поведінки людини або ж довкілля, який би значущо впливав на ймовірність виникнення цієї мутації. Люди із синдромом Дауна мають ряд проблем із здоров'ям, у тому числі і затримку розумового розвитку. За умови врахування індивідуальних особливостей людей із синдромом Дауна, вони можуть досягати успіхів у навчанні, успішно соціалізуватися та виконувати певну роботу. Сто років тому середня тривалість життя таких людей становила 12 років. Зараз у розвинутих країнах цей показник становить більше 50 років (за умови належного медичного супроводу).»

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеної інформації?

А нині не існує ефективних ліків проти хвороби Дауна

Б такі чинники як тютюнопаління, надмірна вага тіла або вживання наркотиків удвічі збільшують ризик народження дитини із синдромом Дауна

В імовірність народження дитини із синдромом Дауна у 45-річної жінки приблизно в 10 разів вища, ніж у жінки в 35 років

Г порушення здоров'я при синдромі Дауна є настільки серйозним, що дорослі люди із цим діагнозом повинні жити лише у спеціалізованих медичних закладах

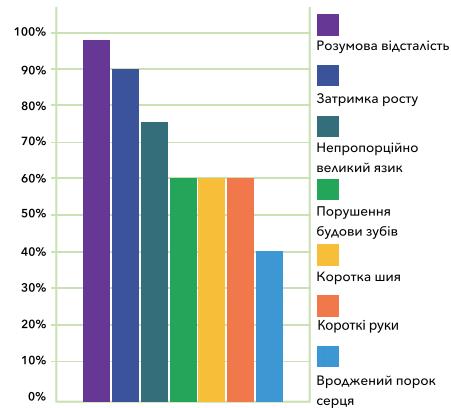
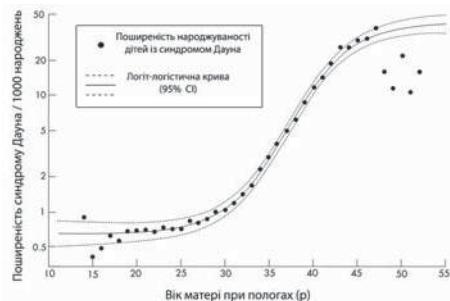
**Завдання 2.** Для аналізу діаграми, на якій представлено ймовірність вияву в людей із синдромом Дауна тих чи інших симптомів, клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що найбільш часто зустрічаються вади серцево-судинної системи. Інша група зауважила, що 90 % пацієнтів притаманна затримка росту. Хто має рацію?

А лише перша група

Б лише друга група

В обидві групи мають рацію

Г обидві групи помилляються

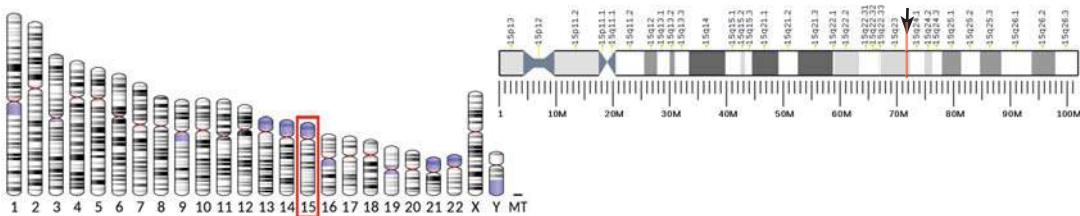
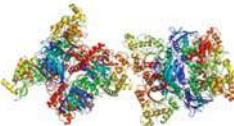


**Завдання 3.** Діти із синдромом Дауна мають ті ж алелі, що й батьки. У чому ж тоді причина настільки суттєвих відмінностей у будові та функціонуванні їх організму?

## Індивідуальні завдання Аутофагія

**Ознайомтеся з інформацією:**

«У 2016 році Нобелівську премію в галузі фізіології або медицини отримав японський учений Йосінорі Осумі (на фото) за відкриття механізмів аутофагії – явища руйнування лізосомами старих клітинних компонентів. За його порушення розвиваються так звані лізосомні хвороби накопичення, коли речовини, які повинні бути зруйнованими, не деградують і залишаються в клітині. Однією з таких патологій є спадкова хвороба Тей-Сакса. Її причиною є мутація в гені НЕХА, який кодує лізосомний фермент гексозоамінідаза А (на рисунку), який руйнує старі структурні елементи нейронів (гангліозиди). Розташування його локуса позначено на зображенні нижче:



За неправильної роботи лізосом стари гангліозиди не руйнуються, а накопичуються, що призводить до порушення у функціонуванні нейронів та подальшої їх загибелі, унаслідок чого розвивається порушення роботи центральної нерової системи, сліпота, а також можуть спостерігатися судоми. У разі одночасної наявності нормального і мутантного алелів НЕХА аутофагія відбувається нормальню, а людина не хворіє.»

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеної інформації?

- А** лізосоми не є обов'язковими компонентами еукаріотичних клітин

**Б** термін «аутофагія» походить від грецьких *phagos* – поїдати та *auto* – себе

**В** локус гена, пов'язаного з розвитком хвороби Тея-Сакса, міститься в статевих хромосомах

**Г** руйнування старих клітинних компонентів є нормальним, важливим для функціонування клітин процесом

**Завдання 2.** Учениця та учень обговорювали особливості успадкування хвороби Тея-Сакса. Учениця зазначила, що хвороба є аутосомно-рецесивною. Учень висловив судження, що в здорових батьків не може народитися дитина із цим захворюванням. Хто має рацію?

- А** лише учень  
**Б** лише учениця  
**В** обоє мають рацію  
**Г** обоє помилляються

**Завдання 3.** Ви знаєте, що Нобелівська премія з фізіології або медицини при-  
суджується за високі досягнення в цій галузі. Сформулюйте власну думку щодо  
важливості дослідження функцій лізосом для людства.

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень.

### Спадковість і мінливість

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

1. Ділянка молекули ДНК, на якій закодована інформація про певну ознаку організму, – це
  - A** генотип
  - B** геном
  - C** інtron
  - D** ген
2. Процес синтезу молекули РНК з використанням молекули ДНК як матриці називають
  - A** транскрипцією
  - B** трансляцією
  - C** реплікацією
  - D** репарацією
3. Укажіть імовірність народження дитини з рецесивною ознакою, якщо батько є гомозиготним, а мати – гетерозиготною за відповідним геном.
  - A** 0 %
  - B** 25 %
  - C** 50 %
  - D** 100 %
4. Спосіб успадкування певної ознаки, коли за її формування відповідають кілька неалельних генів, а ступінь вияву її залежить від кількості алелів цих генів, називають
  - A** епістазом
  - B** полімерією
  - C** домінуванням
  - D** плейотропією
5. Послідовність розташування ділянок хромосоми позначимо літерами ABCDEF. Унаслідок якої мутації хромосома буде мати таку послідовність ділянок: ACBDEF?
  - A** геномної
  - B** хромосомної
  - C** поліпloidії
  - D** анеупloidії
6. У сіамських кішок інтенсивність темного забарвлення змінюється відповідно до температури навколошнього середовища. Який тип мінливості ілюструє цей приклад?
  - A** мутаційної
  - B** комбінативної
  - C** геномної
  - D** модифікаційної



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

7. Проаналізуйте твердження щодо геному прокаріотичної та еукаріотичної клітини.

- I.** Геном прокаріотичної клітини зазвичай містить меншу кількість генів, ніж еукаріотичної.

- ІІ.** У геномі людини лише 3 % ДНК містить інформацію про будову білків або РНК.

Чи є поміж них правильні?

- А правильне лише І

- ## Б правильне лише ІІ

- В обидва правильні

- ## Г обидва неправильні

8. Ген, рецесивний алель якого спричинює гемофілію, локалізований в X-хромосомі. У родині мати не має цього захворювання і гомозиготна за цим геном, а батько хворіє на гемофілію. Укажіть відсоток імовірності народження дитини, яка буде хворіти на гемофілію.

- A** 0 %      **B** 75 %

- B 75 %

- Б 25 %**                                   **Г 100 %**

- Мутація може спричинювати

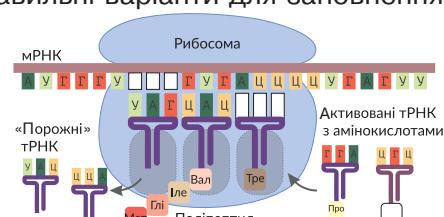
- Мутації може спричинювати  
збільшення об'єму хутра в білки взимку

- Б збільшення кількості хромосом у каріотипі
  - В зменшення кількості молока в копитних у посушливий період
  - Г збільшення кількості гемоглобіну в еритроцитах людей під час сходження в гори.

### Тестові завдання з коротким описом (1,5 бала)

- 10.** Розгляніть схему трансляції. Укажіть правильні варіанти для заповнення пропусків.

<i>Триплет</i>	<i>Антикодон</i>	<i>Скорочена назва амінокислоти</i>
<i>mРНК</i>	<i>mРНК</i>	
<b>1 АУЦ</b>	<b>1 АЦЦ</b>	<b>1 Ала</b>
<b>2 АТЦ</b>	<b>2 УГГ</b>	<b>2 Арг</b>
<b>3 УАГ</b>	<b>3 ТГГ</b>	<b>3 Вал</b>



- 11.** У томатів куляста форма плоду (А) домінує над грушеподібною (а). Від схрещування батьківських форм у першому поколінні гібридів виявилося кулястих і грушеподібних плодів порівну. Надалі в результаті схрещування отриманих рослин з кулястими плодами було вирощено друге покоління томатів: 118 із них дали грушеподібні плоди, а 363 — кулясті.

<b>Можливий варіант генотипів батьківських рослин</b>	<b>Поміж нащадків другого покоління гетерозигот вияви- лося близько</b>	<b>Відсоток рослин із грушеподібними плодами в потомстві від схрець- вання гетерозиготних особин буде складати</b>
<b>1 Aa x aa</b>	<b>1 363</b>	<b>1 25 %</b>
<b>2 AA x aa</b>	<b>2 242</b>	<b>2 50%</b>
<b>3 Aa x Aa</b>	<b>3 59</b>	<b>3 75%</b>

### **Виконайте завдання в письмовій формі (3 бали)**

Поясніть значення відкриття генетичного коду для подальшого розвитку біології.

Обґрунтуйте значення законів генетики для оцінювання спадкових ознак у родині.



*Тема 4*  
**РЕПРОДУКЦІЯ ТА РОЗВИТОК**

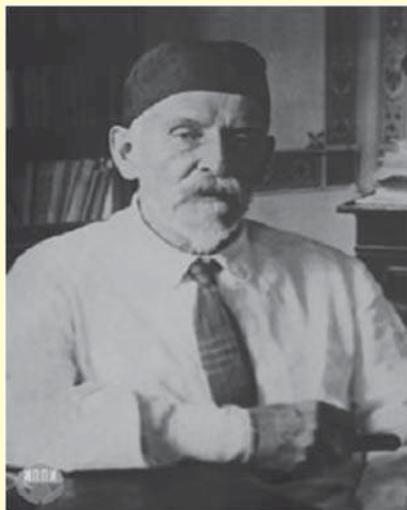


## З історії відкриттів

Проблеми репродукції та онкологічних захворювань людини, становлення та розвиток транспланталогії неможливо було розв'язати без успіхів молекулярної біології та біології розвитку.

Розвиток молекулярної біології пов'язаний з винаходом методу визначення нуклеотидної послідовності ДНК, за який американський учений *Вільям Гілберт* та англієць *Фредерік Сенгер* у 1980 р. отримали Нобелівську премію з хімії. Це призвело до нових відкриттів у галузі досліджень будови й функціонування генів. На початок ХХІ ст. було отримано дані про первинну структуру всієї ДНК людини й низки інших організмів, найбільш важливих для медицини, сільського господарства та наукових досліджень. У 2003 році було повідомлено про майже повне розшифрування структури ДНК людини. Нерозшифрованою залишалася лише перша хромосома, найбільша з-поміж усіх. 1 травня 2006 року дослідники Інституту Сенгера – геномного дослідницького центру в Англії – разом з американськими колегами оголосили про закінчення 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 людини.

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



Сергій Гавrilович Навашин  
(1857–1930)



Рита Леві-Монтальчіні  
(1909–2012)

## § 44. Репродукція як механізм забезпечення безперервності існування видів



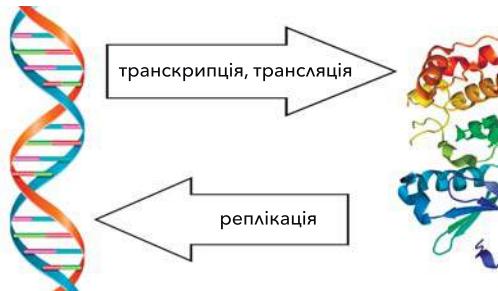
Що таке еволюція?

Як генетична інформація передається до наступних поколінь організмів?

Здатність до самовідтворення або репродукції є однією з ключових властивостей життя. Вона властива не лише живим системам, проте ці системи мають унікальні, притаманні виключно живому механізми самовідтворення.

**Репродукція як ознака живого.** Здатність до репродукції виявляється на всіх рівнях організації живого. На молекулярному рівні вона забезпечена механізмами реплікації нуклеїнових кислот і пов'язаним із цим синтезом білків. Ключову роль у цьому відіграє принцип комплементарності. На основі інформації, записаної в ДНК, синтезуються молекули РНК та білки. Деякі ферменти забезпечують процес подвоєння молекул ДНК – **реплікацію**. Інші білки беруть участь у клітинному поділі, забезпечуючи передавання молекул ДНК дочірнім клітинам, у результаті чого цикл молекулярної репродукції замикається (рис. 204). На клітинному рівні основою самовідтворення є процес поділу. Ви пам'ятаєте, що утворення нових клітин відбувається лише шляхом поділу наявних. Клітинний поділ безпосередньо пов'язаний з описаними вище молекулярними процесами, адже йому завжди передує подвоєння генетичного матеріалу. На організмовому рівні репродукція пов'язана з утворенням нових організмів у процесі розмноження. У багатьох видів розмноження відбувається статевим шляхом, тобто пов'язано з обміном між різними організмами генетичною інформацією за допомогою спеціалізованих статевих клітин (рис. 205). Важливим наслідком цього є

Rис. 204. Самовідтворення на молекулярному рівні

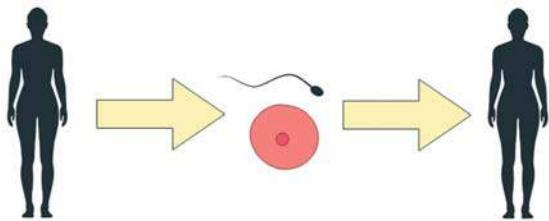


Інформація ДНК кодує структуру білків. Білки забезпечують подвоєння ДНК та передавання її наступним поколінням.



Поясніть зв'язок функцій нуклеїнових кислот та білків у репродукції на молекулярному рівні.

Rис. 205. Репродукція людини, пов'язана з утворенням спеціалізованих статевих клітин



Статеві клітини розвиваються з клітин-предників. Після запліднення формується спеціалізована клітина – зигота, з якої розвивається новий організм. Він утворює статеві клітини, і цикл репродукції повторюється.



Поясніть, як неперервність існування клітин пов'язана із репродукцією організмів.

формування описаної раніше комбінативної мінливості. Альтернативою є нестатеве розмноження, зокрема вегетативне (за допомогою частин організму). У цьому випадку організми наступного покоління будуть мати генотип, ідентичний батьківському. Значення репродукції організмів полягає в підтримці чисельності популяцій, що є важливим для підтримки їхньої стійкості та існування видів загалом. Стійкість популяцій забезпечує стійкість екосистем, до складу яких вони входять. Відтак репродукція організмів є неодмінною складовою та запорукою тривалого існування життя.

**Репродукція та еволюція.** Репродукція забезпечує відтворення та підтримку живих систем. Проте не треба розуміти цей процес лише як копіювання наявних форм. За змін умов існування живі форми також змінюються, адаптуючись під них. Механізмом цього є природний добір, ма-теріалом для якого є спадкова мінливість, зокрема мутаційна. Шляхом накопичення з покоління в покоління змін організми можуть стати настільки відмінними від вихідної форми, що ми починаємо розглядати їх як різні види. Такі зміни відбуваються дуже поступово, їх можна побачити лише на великих часових проміжках (рис. 206). Варто наголосити, що не існує дискретних моментів, коли один вид перестає бути ним і стає іншим. Учені детально дослідили становлення багатьох груп організмів, зокрема і нашого біологічного виду – Людина розумна, що ви вивчали у минулому році. Зібравши разом наявні відомості про еволюційні зміни, науковці здатні реконструювати процес поступових змін живих форм – від сучасних форм до спільніх предків різних груп, ніби «прокручуючи назад» еволюційний процес, спостерігаючи процес переходу одних видів у інші в оберненому напрямку. У результаті такого аналізу сформовано уявлення про останнього універсального спільногого предка сучасних організмів, який існував 3,5–3,8 млрд років тому (рис. 207).

Рис. 206. Поступове перетворення форм предків сучасних коней. Цифри – час існування, млрд років тому

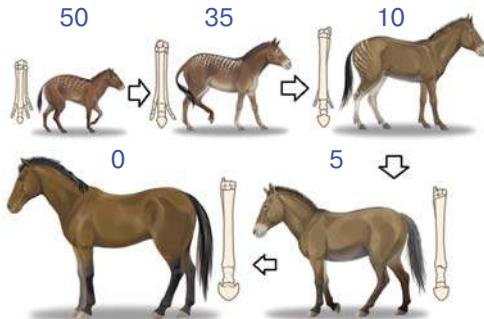
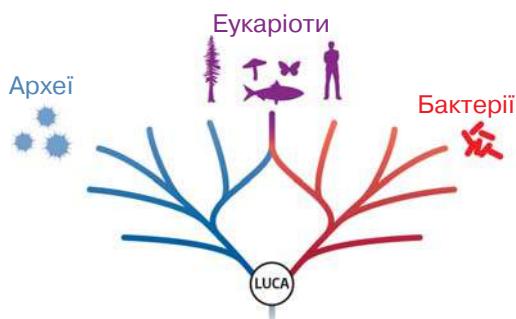


Рис. 207. Зв'язок гіпотетичного останнього універсального предка (LUCA) із сучасними живими формами



1. Дайте означення поняття *репродукція*.
2. Поясніть механізми, які уможливлюють репродукцію на різних рівнях живого.
3. Поясніть взаємозв'язок репродукції з еволюційними процесами.
4. Запропонуйте аргументи на підтвердження думки щодо репродукції як механізму забезпечення безперервності існування виду.

## § 45. Клітинний цикл. Ріст і розвиток клітин



Що таке конденсація хроматину, хромосома, хроматида, центромера?

Як відбувається нестатеве розмноження?

За рахунок чого відбувається ріст?



**Клітинний цикл.** Ви вже знаєте, що розмноження та ріст організмів зумовлені поділом клітин.

⚠ **Клітинний цикл** – період існування клітини від початку одного поділу до наступного або від початку останнього поділу клітини до її смерті.

Клітинний цикл охоплює власне поділ та **інтерфазу** – період від утворення клітини до початку наступного поділу (рис. 208). В інтерфазі виокремлюють три періоди – **пресинтетичний**, **синтетичний** та **постсинтетичний**. Найтриваліший період – пресинтетичний, під час якого клітини ростуть, утворюють потрібні для життедіяльності речовини, запасають енергію. У цей період збільшується кількість органел клітин. Важливим є синтетичний період, під час якого утворюються копії молекул ДНК клітини, тобто відбувається реплікація (рис. 209). У постсинтетичний період тривають накопичення енергії, синтез РНК й білків. Періоди, з яких складається інтерфаза, тривають до 90 % часу всього клітинного циклу.

**Типи поділу клітин.** Існують два головні типи клітинного поділу – мітоз та мейоз.

⚠ **Мітоз** – це спосіб поділу еукаріотичних клітин, за якого з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні, що є її генетичними копіями. Він має чотири фази. Існує кілька варіацій цього процесу. Ми розглянемо найтипівішу для тварин (рис. 210).

Рис. 208. Клітинний цикл

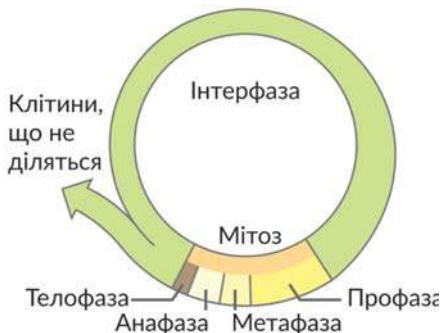
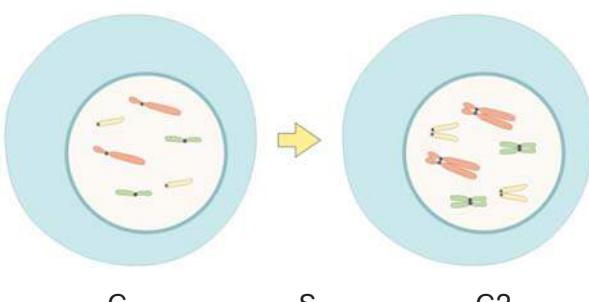


Рис. 209. Подвоєння ДНК



Який період інтерфази триває найдовше?



Поясніть відмінність будови хромосом у різniх періодах інтерфази.

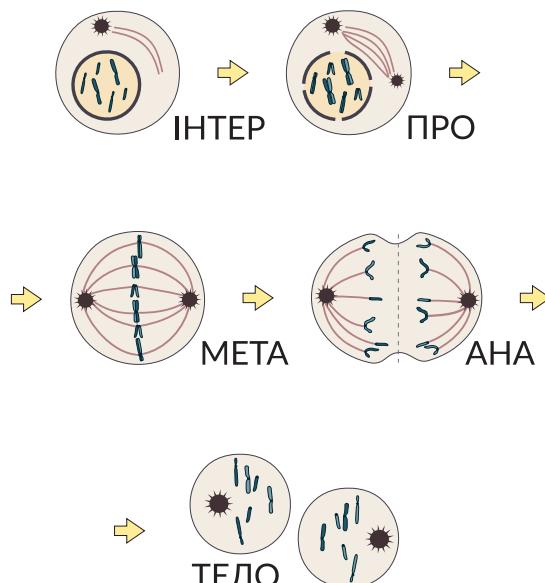
**Профаза.** Починає конденсуватися хроматин, формуються X-подібні хромосоми. Центролі клітинного центру починають розходитися до протилежних полюсів клітини; формується веретено поділу. Ядерна оболонка розпадається на дрібні мембрани пухирці, зникають ядерця. **Метафаза.** Унаслідок формування веретена 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. Оскільки хроматиди утворені однаковими молекулами ДНК, до кожного полюса клітини пряме по одній копії кожної молекули ДНК материнської клітини. **Телофаза.** У заключній фазі dochірні хромосоми, що складаються з однієї хроматиди, досягають обох полюсів клітини. Навколо них формується ядерна оболонка. Далі відбувається поділ цитоплазми та формування двох нових клітин (рис. 210).

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

⚠ **Мейоз** – тип клітинного поділу, за якого вдвічі зменшується число хромосом (кількість молекул ДНК). Унаслідок мейозу з диплоїдної клітини утворюються гаплоїдні клітини (рис. 211). На відміну від мітозу, мейоз передбачає не один, а два послідовні поділи клітини. В інтерфазі, що передує початку мейозу, як і у випадку мітозу, відбувається реплікація, тобто клітина вступає в мейоз із удвічі збільшеним набором ДНК. Кожен поділ мейозу має чотири фази, які є подібними до мітотичних, але мають низку відмінностей.

**Перший поділ мейозу. Профаза I.** Конденсується хроматин, формуються X-подібні хромосоми, формується веретено поділу, руйнується ядерна оболон-

Рис. 210. Основні події мітотичного поділу



Схарактеризуйте основні етапи мітозу.

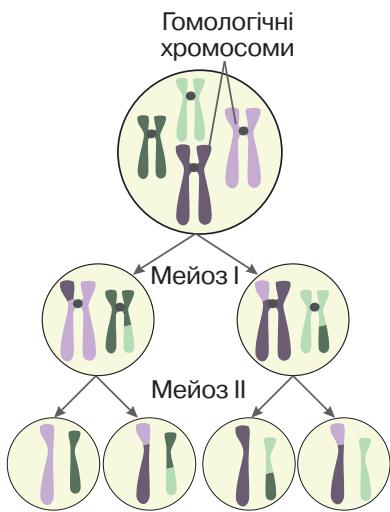
ка. Важливою відмінністю профази I є процес, який називають **кросинговером**.

Гомологічні хромосоми наближаються одна до одної, після чого відбувається обмін подібними ділянками. Після кросинговеру гомологічні хромосоми з'єднані попарно. **Метафаза I.** В екваторіальній площині клітини розташовуються утворені в профазі I пари гомологічних хромосом. **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.

**Другий поділ мейозу.** Після завершення первого 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. У результаті описаних процесів формуються чотири клітини з одинарним гаплойдним набором хромосом (рис. 211). Біологічне значення мейозу полягає в зменшенні числа хромосом клітини, що необхідно для утворення статевих клітин. Рекомбінація ДНК під час кросинговеру урізноманітнює комбінації генів, що є одним з механізмів формування комбінативної мінливості.

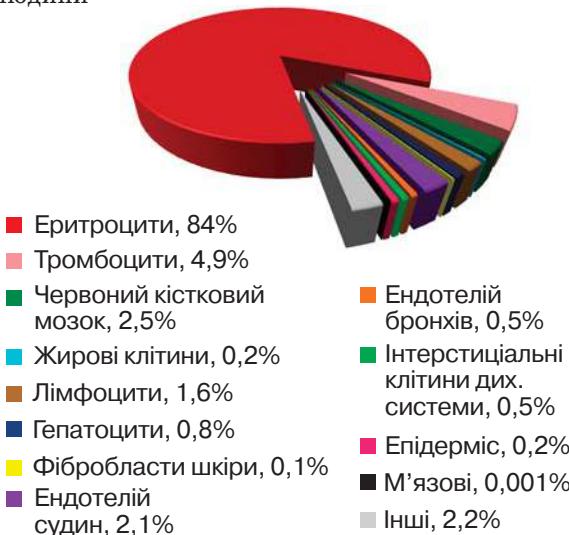
**Ріст та розвиток клітин.** В одноклітинних організмів термін існування окремого організму збігається з клітинним циклом. У багатоклітинних організмів ситуація складніша. Кожен організм починає своє існування зі стадії однієї клітини – зиготи, що утворюється в результаті запліднення. Нащадки цієї клітини утворюють різноманіття клітин різного типу, що можуть входити до складу організмів. Наприклад, організм дорослої людини складається з  $3,0 \text{--} 3,7 \times 10^{13}$  клітин, які залежно від особливостей будови та функціонування поділяються на більш ніж 200 типів. Формування клітин того чи іншого клітинного типу називають **диференціацією** (рис. 212).

Рис. 211. Основні події мейозу



Поясніть, чому внаслідок мейозу кількість ДНК у дочірніх клітинах зменшується.

Рис. 212. Розподіл клітин різного типу в організмі людини



Поясніть значення диференціації клітин у багатоклітинних організмах.

Цей процес має генетичне підґрунтя: він пов'язаний з вибірковою активацією одних генів та інактивацією інших (§ 39). Регуляція диференціації відбувається за допомогою різноманітних регуляторних сполук – факторів росту, гормонів тощо. Вони ж впливають на інтенсивність росту та поділу клітин.

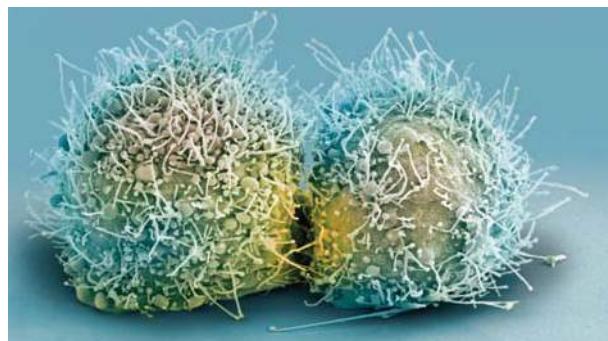
У багатоклітинному організмі не всі клітини здатні до поділу, частина з них зупиняється на стадії G1 і в цьому стані виконує свої функції. Оскільки клітини під час функціонування можуть накопичувати помилки та пошкодження, їхнє функціонування обмежено в часі. Деякі клітини оновлюються часто, наприклад, термін існування клітини епітелію кишечника людини становить 2–3 дні. Деякі ж існують до смерті організму, наприклад, більшість нейронів.

**Загибель клітин.** Іноді для розвитку організмів необхідна загибель певних клітин, зокрема, у такий спосіб у людини під час ембріонального розвитку формуються проміжки між пальцями кінцівок, а в пуголовків руйнується хвіст (рис. 213). Таку програмовану смерть клітин називають *апоптозом* (від гр. *апόπτωσις* – опадання, листопад). Деякі старі клітини також руйнуються шляхом апоптозу. Імунні клітини можуть запускати апоптоз інших клітин у разі, якщо ідентифікують наявність у них мутацій. В середньому в організмі дорослої людини щодня від 50 до 70 млрд. клітин гине шляхом апоптозу. У разі порушення цього процесу клітини, які мали загинути, можуть давати початок раковим пухлинам, про що детальніше ви дізнаєтесь в наступному параграфі. Цікаво, що онкогенна трансформація клітин може супроводжуватися втратою їхньої здатності до старіння та загибелі. Наприклад, лінія клітин HeLa, що їх часто використовують у лабораторних дослідженнях, отримана з ракової пухлини 1951 року. Усі клітини цієї лінії, використовувані в лабораторіях усього світу, є потомками вихідної клітинної колонії (рис. 214).

*Rис. 213.* Загибель деяких клітин є важливим елементом процесу розвитку організму



*Rис. 214.* Клітинна лінія HeLa дала можливість вивчити важливі процеси, пов'язані з онкогенезом і лікуванням раку



Поясніть значення зображеніх на рисунку процесів.



У якій фазі клітинного поділу перебувають ці клітини?

Підготуйте повідомлення про історію лінії HeLa.



1. Дайте означення поняття *клітинний цикл, мітоз, мейоз*.
2. Порівняйте способи поділу клітин.
3. Поясніть біологічне значення мітозу та мейозу.
4. У яких випадках загибель клітин є нормальнюю, а в яких ні?

## § 46. Статеві клітини й запліднення



Як генетична інформація передається до наступних поколінь організмів?  
Які типи мутацій вирізняють за наслідками для існування організмів?

Ви знаєте, що найпоширенішим способом розмноження є статеве, яке пов'язане з обміном між різними особинами генетичною інформацією та здійснюється за участі спеціалізованих гаплоїдних статевих клітин або гамет.



**Будова статевих клітин.** У більшості організмів виділяють різні за будовою чоловічі та жіночі статеві клітини. Невеликі чоловічі статеві клітини називають **сперматозоїдами** (якщо вони рухливі) або **сперміями** (якщо вони нерухливі). У ссавців сперматозоїди складаються з голівки, основну частину внутрішнього вмісту якої займає ядро, шийки та хвоста. Основою хвоста є джгутик, що забезпечує переміщення в просторі (рис. 215). У голівці сперматозоїдів ссавців є важлива мембрана органела – акросома. Вона заповнена ферментами, потрібними для розчинення захисних оболонок яйцеклітини. Жіночі статеві клітини називають **яйце-клітинами**. Вони містять багато цитоплазми, потрібної для забезпечення організму речовинами та енергією на ранніх стадіях ембріонального розвитку, а в деяких видів – упродовж усього цього періоду (рис. 215).

**Формування статевих клітин у людини.** Процес утворення статевих клітин називається **гаметогенезом**. Його основою є раніше проаналізований мейоз. Формування чоловічих статевих клітин називають **сперматогенезом**. Виділяють три його стадії. На першій клітини попередники сім'янних каналіців сім'янників розмножуються мітоозом, після чого деякі з них вступають у мейоз. По закінченні обох його поділів формуються гаплоїдні клітини, що поки не є зрілими сперматозоїдами. Дозрівання є третьою стадією: утворюються

Рис. 215. Будова статевих клітин людини

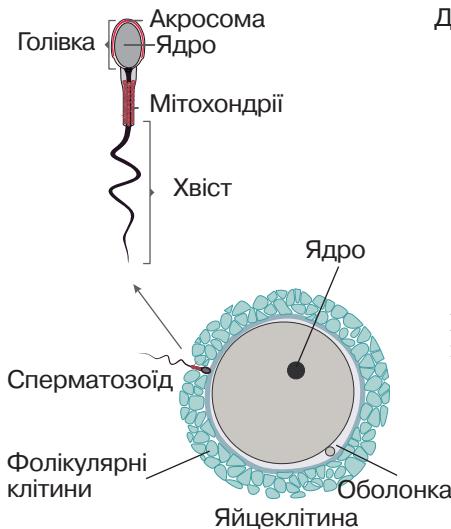
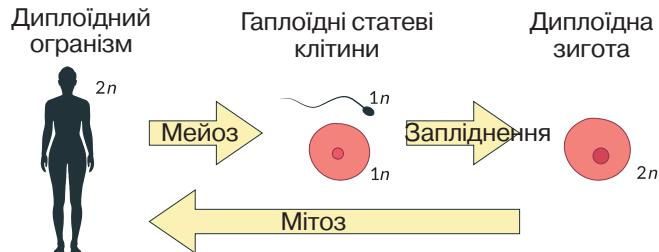


Рис. 216. Зв'язок процесів гаметогенезу та запліднення



Кількість хромосом у гаплоїдному наборі у людини  $n=23$ .



Пригадайте особливості будови гамет інших організмів.

акросома та хвіст, конденсується хроматин. Зрілі сперматозоїди вивільняються в просвіт канальця. Утворення яйцеклітин називають **овогенезом**. Він відбувається у фолікулах яєчників. Клітини-попередники також спочатку діляться мітотично, після чого вступають у мейоз. На відміну від сперматогенезу, мейотичний поділ розпочинається ще до народження дівчинки, але зупиняється на стадії профази I. Завершення поділу та дозрівання яйцеклітин відбувається після настання статевої зрілості регулярно кожні 25–30 діб (цей період називають менструальним циклом). Зазвичай за один цикл дозріває одна яйцеклітина. Зріла яйцеклітина виходить з фолікула та потрапляє до маткових труб – цей процес називають овуляцією. Сперматогенез та овогенез контролюються статевими гормонами.

**Запліднення.** Формування нового організму відбувається в результаті злиття статевих клітин, яке називають **заплідненням**. У людини сперматозоїди під час статевого акту потрапляють до статевих шляхів жінки. За допомогою джгутика хвоста сперматозоїди рухаються до маткових труб. Якщо вони досягають яйцеклітини, то можуть запліднити її. За допомогою вмісту акросоми розчинаються захисні оболонки, і сперматозоїд уводить у неї своє ядро. Після цього в мембрани яйцеклітини відбуваються зміни, що унеможливлюють злиття з нею іншого сперматозоїда. Гаплоїдні ядра яйцеклітини та сперматозоїда зливаються. З цього моменту клітина називається зиготою. Вона просувається за допомогою війкових клітин епітелію труб матки до її порожнини, де починається ембріональний розвиток нового організму (§ 49).

**Біологічне значення запліднення.** Обмін хромосомами між різними організмами є одним з механізмів формування комбінативної мінливості. У процесі запліднення відновлюється диплойдний набір хромосом, що важливо для підтримання сталості хромосомного набору певного виду.

## Лабораторна робота

### Будова статевих клітин

**Мета:** ознайомитися з будовою статевих клітин; порівняти особливості будови яйцеклітини та сперматозоїда; пояснити біологічне значення відмінностей.

**Обладнання та матеріали:** мікроскоп, мікропрепарати «Яйцеклітина ссавця», «Сперматозоїди ссавця», рисунки статевих клітин, підручник.

#### Перебіг роботи:

1. Розгляньте за допомогою мікроскопа мікропрепарати «Яйцеклітина ссавця», «Сперматозоїди ссавця». Замалюйте статеві клітини та підпишіть структури будови.



1. Дайте означення понять **статеві клітини, запліднення**.
2. Порівняйте особливості будови яйцеклітини та сперматозоїда.
3. Чим зумовлені відмінності в будові статевих клітин?
4. Поясніть процес гаметогенезу в людини.
5. Прокоментуйте біологічне значення запліднення.

## § 47. Особливості репродукції людини



**Як генетична інформація передається до наступних поколінь організмів?**  
**Які типи мутацій вирізняють за наслідками для існування організмів?**

Репродукція є важливим аспектом життя людини. Відтворення чисельності населення та підтримання його вікової структури є запорукою стабільного розвитку суспільства (рис. 217).

**Особливості репродукції людини.** Соціальна природа людини вносить істотні корективи у вроджені біологічні програми розмноження. Ви вже знаєте з багатьма їх аспектами: гаметогенез, функціонування статевих органів, запліднення, ембріональний розвиток і народження. Репродуктивну поведінку контролюють статеві гормони, які активують вроджену поведінку. Проте в людини ці механізми не мають безумовної пускової функції, вона здатна стримувати сексуальний потяг залежно від умов оточення. Іншим важливим аспектом є здатність людини контролювати народжуваність. Сексуальні стосунки є важливим аспектом людського життя, але не завжди скеровані на зачаття дитини, чому можуть бути найрізноманітніші причини. Існує багато способів запобігти небажаній вагітності, що називають *контрацепцією*, з яких найбільш поширеним є використання презерватива. Також людина здатна коригувати проблеми з вагітністю чи пологами за допомогою медицини, завдяки успіхам котрої за останні 25 років смертність під час пологів знизилася на 44%, а лікарі та вчені продовжують працювати над подальшим зменшенням цього прикруто показника.

**Порушення процесів репродукції.** Буває так, що в людей виникають проблеми із зачаттям та народженням дитини. Цьому може бути низка причин.

У жінок ними можуть бути непрохідність маткових труб, гормональні

Рис. 217. Зображення статуетки Венери Віллендорфської (24–22 тис років до н.е.)



Репродуктивна функція мала велике значення для виживання людства в давні часи. У фігурки відсутні риси обличчя, проте акцентована увага на статевій належності. Припускають, що ця статуетка слугувала символом родючості.

розлади, які призводять до порушення овуляції або ж імунологічна несумісність, коли імунна система виробляє антитіла проти сперматозоїдів, унеможливлюючи їхнє функціонування. У чоловіків безпліддя може бути зумовлене порушеннями сперматогенезу, дефектами формування джгутика, через що сперматозоїди втрачають здатність рухатися, а також розладами процесів ерекції та/або еякуляції. Такі проблеми часто можна розв'язати за допомогою досягнень сучасної медицини (§ 43).

**Репродуктивне здоров'я.** Здоров'я репродуктивної системи має важливе значення не лише для розмноження. Значну кількість фізіологічних процесів регулюють статеві гормони, а тому воно є запорукою тривалого нормального функціонування організму загалом (рис. 218). Зовнішні статеві органи мають чутливі слизові оболонки, тому за їх гігієною необхідно слідкувати більш ретельно, ніж за іншими ділянками шкіри. Значну проблему становлять хвороби, які передаються під час статевого контакту, збудниками яких можуть бути віруси (ВІЛ у випадку СНІДу, герпесвірус – генітального герпесу тощо), бактерії (гонокок у випадку гонореї, бліда спірохета – сифілісу, хламідії – хламідіозу), гриби (*Candida albicans* у випадку кандидозу) або найпростіші (трихомонади). Наслідками цих хвороб можуть бути втрата сексуальної функції (імпотенція), безпліддя та системні захворювання, які можуть закінчитися смертю. Для профілактики потрібно слідкувати за своїм сексуальним життям: уникати випадкових статевих контактів, завжди користуватися презервативом, який у багато разів зменшує ризик передавання збудника. Варто зауважити, що багато захворювань, які передаються статевим шляхом, мають тривалі приховані періоди, під час яких видимих симптомів ще немає, але ймовірність передання збудника (зараження) є високою. Тому використання презерватива повинно бути обов'язковим елементом статевого життя.

Rис. 218. Підтримка репродуктивного здоров'я – запорука здорової вагітності



1. Сформулюйте означення поняття *репродуктивне здоров'я*.
2. Поясніть особливості репродукції людини.
3. Які причини порушення репродуктивної функції?
4. Які чинники впливають на репродуктивне здоров'я людини?

## § 48. Сучасні можливості та перспективи репродуктивної медицини



Яку будову мають сперматозойд, яйцеклітина?  
Що таке запліднення?

Репродуктивна медицина в останні роки здобула велику популярність, оскільки щораз більше пар не може самостійно зачати дитину та вдається до допомоги медиків.

**!** Репродуктивна медицина – це комплекс медико-біологічних знань і досвіду, спрямований на розв'язання проблеми дітонародження та планування сім'ї. Наразі репродуктивна медицина зробила крок уперед, завдяки чому з'явилися новітні методики, спрямовані на реалізацію репродуктивної функції пар, які не можуть зачати дитину природним шляхом. Доречно розглянути декілька сучасних методів репродуктивної медицини.

**Метод екстракорпорального запліднення** (ЕКЗ) полягає в тому, що в жінки за допомогою спеціальної гормональної терапії провокують вироблення яйцеклітин, які витягають і запліднюють у сприятливих умовах за допомогою сперми її чоловіка або донора. Надалі отриманий ембріон уводять у порожнину матки, що уможливлює вагітність (рис. 219).

**Заморожування ембріонів** необхідно для повторного ЕКЗ. Наприклад, досить часто трапляються випадки, коли перше ЕКЗ не закінчується вагітністю. Щоб жінка не піддавалася зайвий раз гормональній терапії, під час першого ЕКЗ у неї беруть кілька яйцеклітин, які запліднюють. Тільки два ембріони впроваджують у порожнину матки за екстракорпорального запліднення, решта проходять кріозаморозку для можливого повторного ЕКЗ.

Рис. 219. Сучасні методи репродуктивної медицини



Екстракорпоральне запліднення



Обґрунтуйте необхідність відповідального ставлення до планування сім'ї. Висловте власне ставлення щодо біологічних і соціальних аспектів регулювання розмноження людини.

**Сурогатне материнство** застосовують тоді, коли жінка не може виносити дитину. Наприклад, коли в жінки трапляються часті викидні, і завжди існує ризик чергового переривання вагітності. Суть методу полягає в тому, що сурогатній матері вводять у порожнину матки ембріон, який вона виношує. Дохідне, або комерційне сурогатне материнство передбачає винагороду за те, що жінка виношує та народжує біологічно чужу їй дитину. Альтруїстична, або некомерційна форма сурогатного материнства має на меті безоплатну допомогу жінкам, які з тих чи інших причин не можуть самостійно виносити дитину (рис. 220).

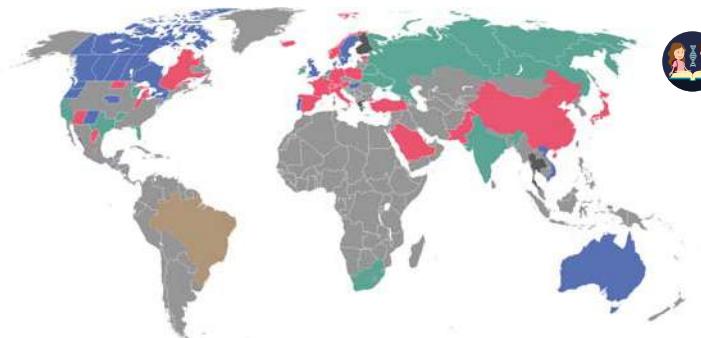
Зважаючи на надзвичайну важливість завдання, сурогатні матері проходять суворий відбір. Вони обов'язково повинні бути здоровими не тільки фізично, а й психічно, крім того, у них повинні бути свої діти. Прийняття рішення про подібне лікування вимагає згоди обох із подружжя.

**Донорство яйцеклітини** необхідне в тих випадках, коли організм жінки з якоїсь причини не може продукувати власні яйцеклітини або ж вони не досягають. Яйцеклітина від здоровової жінки-донора дає можливість жінці вносити її народити дитину.

**Банк донорської сперми** існує практично в кожній клініці репродуктивної медицини. У ньому виникає необхідність, якщо чоловік абсолютно безплідний.

Наразі тривають дискусії навколо соціальних аспектів, переважно так званого права плода на життя. Це зумовлено тим, що багато сучасних технологій пов'язані з використанням тканин ембріона й плода. Прикладом втручання в процес внутрішньоутробного розвитку є методики, використовувані під час ЕКЗ. Критиці піддають її інший метод, що його також використовують в ЕКЗ. Це метод редукції ембріона за багатоплідної вагітності, під час якого видаляються «зайві» ембріони.

Рис. 220. Правове регулювання сурогатного материнства у світі



- Обидві форми: дохідна та альтруїстична є законними
- Немає правового регулювання
- Тільки альтруїстична форма є законною
- Дозволена між родичами до другого ступеня споріднення
- Заборонена
- Немає регуляції / невизначена ситуація



Проаналізуйте карту. Сформулюйте висновок про стан правового регулювання сурогатного материнства у світі, біологічних і соціальних аспектів регуляції розмноження людини.



1. Дайте означення поняття **репродуктивна медицина**.
2. Схарактеризуйте сучасні методи репродуктивної медицини.
3. Висловте власне ставлення щодо біологічних і соціальних аспектів регулювання розмноження.

## § 49. Ембріогенез людини. Явище ембріональної індукції



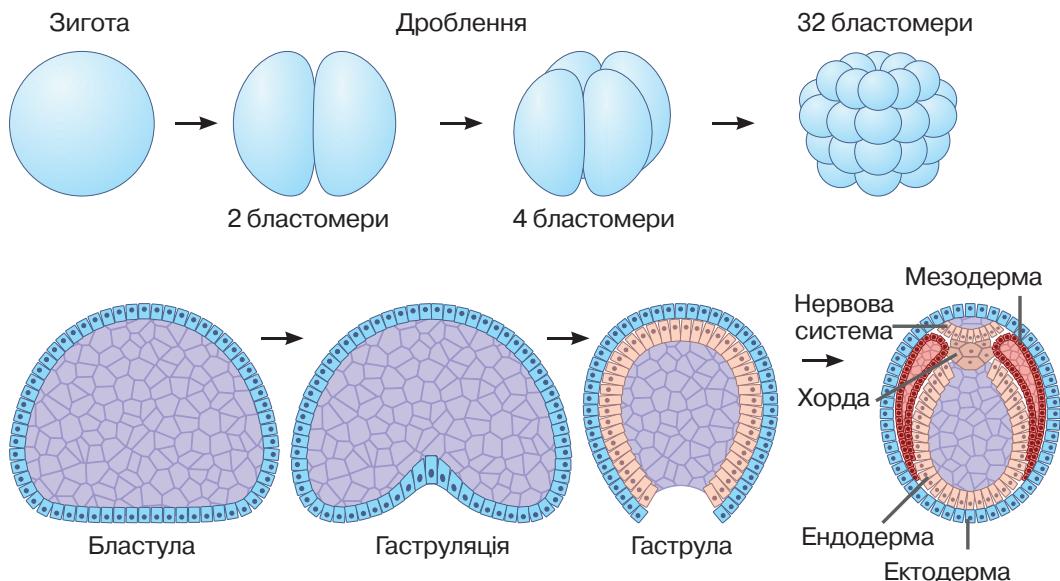
Дайте означення понять онтогенез, ембріогенез.

Вам уже відомо, що перший етап онтогенезу багатоклітинних тварин – **ембріогенез** (ембріональний розвиток) – можна поділити на кілька періодів: дроблення, бластуляція, гаструляція, гістогенез (формування тканин) і органогенез (формування органів) зародка.



**Особливості ембріогенезу хордових тварин.** Перший етап ембріонального розвитку називають **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 (рис. 221). 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 зрештою розташовуються по периметру сфери. У цей час зародок складається з одного шару клітин, усередині якого є порожнина. Цю стадію називають бластулою, а процес її утворення – **blastуляцією**. На наступній стадії зародок стає двошаровим – частина бластомерів формує внутрішній шар. Це може відбуватися в різні способи, один з яких – впинання частини зародка всередину. Цю стадію називають гаструлою, а процес – **гаструляцією** (рис. 221). Утворені шари клітин називають зародковими листками, зовнішній листок – ектодермою, внутрішній – ендодермою. Далі формується третій зародковий листок – мезодерма.

Рис. 221. Етапи ембріогенезу хордових тварин



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

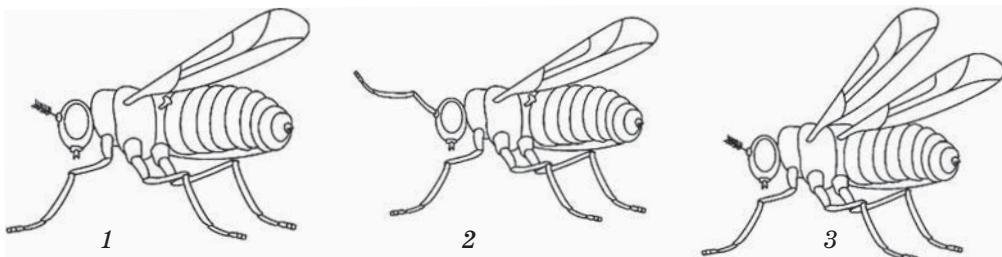
**Генетична регуляція ембріонального розвитку.** Розвиток багатоклітинних організмів пов’язаний зі спеціалізацією їхніх клітин: вони мають різні будову та функції в складі різних тканин та органів. Регуляція цього процесу пов’язана з тим, що в різних клітинах функціонують різні гени.

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. Своєю чергою, спадкову інформацію про будову регуляторних білків містять регуляторні гени. Одні з таких генів, що їх називають *hox*-генами, контролюють загальний план розвитку організмів. Активування одних з таких генів призводить до формування головного кінця тіла, інших – розвитку кінцівок, хвостового відділу тулуба тощо. Цікаво, що нуклеотидна послідовність описаних генів є подібною навіть в еволюційно віддалених груп організмів (рис. 222). Якщо методами генної інженерії замінити *hox*-ген мушки дрозофіли на еквівалентний ген курки, то розвиток муhi відбудеться нормально. Мутації *hox*-генів призводять до серйозних порушень розвитку. Наприклад, зміна в будові одного з генів дрозофіли спричиняє розвиток на голові пари кінцівок замість нормальних вусиків (рис. 222). Такі гени є і в рослин.

Рис. 222. Генетична регуляція загального плану розвитку тіла мухи (а) та ембріона миші (б)



Кольорами позначені 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.



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

**Основні події ембріогенезу людини.** В ембріогенезі людини виокремлюють три послідовні періоди: початковий, зародковий і плодовий.

**Початковий період** триває перший тиждень ембріонального розвитку. Перший мітотичний поділ зиготи закінчується приблизно через 30 годин після запліднення. Надалі відбувається формування бластомерів, бластили та гаструли. Частина клітин формує ембріобласт – частину зародка, з якої буде розвиватися безпосередньо плід. Інші клітини формують трофобласт – те, з чого розвиватимуться зародкові оболонки (рис. 223).

**Зародковий період** триває від початку другого і до закінчення восьмого тижня вагітності. На початку другого тижня розпочинається гаструляція, на третьому – розвиток хорди, нервової трубки, серця та мозку. Загалом до закінчення восьмого тижня завершуються основні події гістогенезу й органогенезу. Одна з ембріональних оболонок (амніон) формує заповнений рідиною пухир, в якому знаходитьться зародок. Інша (хоріон) утворює важливий орган – плаценту.

**Плодовий період** починається з дев'ятого тижня вагітності та завершується народженням. Зародок на цій стадії називають плодом. У цей час плід посилено росте й живиться за допомогою плаценти (рис. 224). Крім того, плацента захищає плід від проникнення токсичних речовин і більшості хвороботворних мікроорганізмів. Однак через плаценту можуть проникати деякі віруси (наприклад ВІЛ), бактерії (збудники сифілісу тощо), одноклітинні (токсоплазма тощо) та багатоклітинні (різні види гельмінтів) паразитичні тварини – отже, захист плода материнським організмом не є абсолютноним.

Наприкінці другого місяця довжина плода зростає до 20–25 мм, – майже половина тіла припадає на голову; формуються риси обличчя, повіки, ніс, губи, очні западини, кінцівки, розпрямляється脊на. В цей час, якщо клітини ембріона містять Y-хромосому, активується SRY ген, і розпочинається

Rис. 223. Початковий період ембріогенезу людини



Електронна мікрофотографія чотирьох бластомерів

Rис. 224. Плодовий період ембріогенезу людини



Плід, що росте й живиться за рахунок плаценти



Обґрунтуйте необхідність відповідального ставлення майбутньої матері до свого здоров'я під час вагітності.

формування плода за чоловічим типом. Наприкінці третього місяця розвиваються пальці.

Упродовж шостого та сьомого місяців тривають ріст і збільшення маси. На п'ятому місяці плід починає рухатися. З початку останнього, дев'ятого місяця вагітності остаточно встановлюються пропорції плода. Перед пологами (38–40-й тиждень зародкового розвитку) доношений плід має довжину близько 45–60 см і масу 2,5–4 кг.

Під час розвитку існує небезпека передчасного переривання вагітності внаслідок дії несприятливих факторів. Зародок людини найбільш чутливий до негативних впливів на 7–8-му днях ембріогенезу, коли він занурюється в слизову стінки матки (перший критичний період). Другий критичний період – це час розвитку плаценти (3–10-й тиждень зародкового розвитку, який збігається з періодом формування зачатків органів). В останні два місяці зростає ризик передчасних пологів.

**Явище ембріональної індукції.** У процесі ембріонального розвитку одні тканини або органи зародка впливають на розвиток інших, розміщених поряд. **Ембріональна індукція** – це взаємодія між частинами ембріона, у процесі якої одна його частина – індуктор, контактуючи з іншою частиною – реагуючою системою, визначає напрямок розвитку останньої. Якщо, наприклад, перенести зачаток ока амфібії, взятого в одного зародка, під ектодерму іншого зародка, з останньої утвориться кришталік додаткового ока. Механізмом такої дії є вплив хімічних речовин, які називаються морфогенами. Ефект дії багатьох з них визначається концентрацією (рис. 225). Ми розбирали приклади дії таких сполук раніше – фактори росту, транскрипційні фактори тощо (§ 39), білкові продукти пригаданих вище хон-генів теж є морфогенами.

Рис. 225. Регуляція розвитку кінцівки



Регуляторна сполука (блок shh – продукт уже знайомого вам гена) утворюється лише в одній частині зародку кисті. Градієнт її концентрації визначає формування пальців різної форми.



Подумайте, якими можуть бути наслідки мутації в цьому гені.



1. Дайте означення поняття ембріогенез.
2. Схарактеризуйте етапи ембріогенезу хордових тварин.
3. Як відбувається регуляція ембріонального розвитку?
4. Опишіть особливості ембріогенезу людини.
5. У чому полягає явище ембріональної індукції?

## Лабораторна робота

### Вивчення етапів ембріогенезу

**Мета:** ознайомитися з етапами ембріогенезу хордових; пояснити кількісні та якісні зміни під час ембріогенезу.

**Обладнання та матеріали:** мікроскоп, мікропрепарати «Поділ яйцеклітини», «Зародкові листки».

#### Перебіг роботи:

1. Дроблення. Розгляньте за допомогою мікроскопа мікропрепарат «Поділ яйцеклітини». Порівняйте побачене з рисунком етапів ембріогенезу. Замалюйте запліднені яйцеклітини, що перебувають на різних стадіях дроблення.
2. Утворення зародкових листків. Розгляньте мікропрепарат «Зародкові листки». Замалюйте зародкові листки.
3. Поясніть кількісні та якісні зміни під час ембріогенезу.

## § 50. Особливості процесів регенерації організму людини. Трансплантація тканин та органів



Пригадайте приклади регенерації у тварин.

Варто зауважити, що здатність відновлювати цілісність організму є фундаментальною властивістю живих істот.

**Регенерація** – процес відновлення організмом утрачених або ушкоджених складових. Регенерація трапляється від найпростіших до людини й протягом всього онтогенезу – від ембріона на стадії дроблення до найстаріших представників у популяції (рис. 226).

**Особливості процесів регенерації організму людини. Фізіологічна регенерація** відбувається протягом усього життя організму. Вона характеризується оновленням клітин слизових оболонок, внутрішніх органів, різних тканин. Подібна регенерація постійно відбувається, наприклад, у покривному епітелії, у якому періодично спостерігається злущення ороговілих клітин із заміною їх клітинами внутрішніх шарів, що розмножуються. Аналогічним чином відбувається також розмноження та дозрівання в кістковому мозку еритроцитів, лейкоцитів тощо. У високодиференційованих клітинах, де регенерація за рахунок клітинного поділу неможлива, цей процес характеризується періодичним оновленням внутрішньоклітинних органел (клітини головного мозку, серця тощо).

**Відновна регенерація** здійснюється у двох формах. У першому випадку некроз, що є наслідком патологічного процесу, поступово заміщується тка-

Рис. 226. Приклади регенерації у тварин



Дощовий черв'як



Ящірка



Поясніть значення регенерації в зображеніх тварин.

ниною, ідентичною тій, що загинула, і місце пошкодження зникає безслідно. Такий вид регенерації називають повним. Подібна форма характерна для тих органів і тканин, у яких регенерація відбувається лише в клітинній формі (кістковий мозок, епідерміс, епітелій слизових оболонок тощо). Але в окремих випадках її можна спостерігати й там, де відновна регенерація відбувається як шляхом поділу клітин, так і за рахунок утворення внутрішньоклітинних складових. Ці зміни зникають у випадку одужання хворого, причому структура окремих клітин та тканин не відрізняється від норми. В інших випадках нормалізація функцій забезпечується за рахунок утворення клітин і внутрішньоклітинних складових не в місці пошкодження, а в тканинах, що розташовані поряд. Сама ж ділянка некрозу поступово заповнюється сполучною тканиною, що надалі перетворюється на рубець. Таку форму називають неповною регенерацією. Так, наприклад, у міокарді ділянки некрозу завжди утворюються з формуванням рубцевої тканини, а відновлення скоротливої функції серцевого м'яза забезпечується збільшенням кількості ядерних і цитоплазматичних складових у життєздатних клітинах.

**Патологічну регенерацію** можна спостерігати у випадку порушення харчування (білкова, вітамінна недостатність), порушення нервової регуляції, гормональних розладів, пригніченні імунних реакцій; її характеризують сповільнення або спотворення процесу. У цих випадках загоєння рани, перелому кістки затримується і набуває млявого перебігу, виникають виразки, що не загоюються, келоїдні рубці, несправжні суглоби тощо (рис.227). Патологічну регенерацію спостерігають зазвичай за відсутності загальних і місцевих умов. Основними загальними умовами є вік і стан людини. У молодому віці відновлювальні процеси перебігають інтенсивніше, ніж у похилому і старечому. В осла-

Рис. 227. Патологічна регенерація



Келоїдний рубець



Несправжній суглоб



Обговоріть у групах і поясніть значення регенерації для організму людини.

бленої хворобою людини процеси відновлення є млявими й нерідко набувають форми патологічної регенерації. І навпаки, у фізично здорових людей відбувається інтенсивний перебіг процесів відновлення тканин.

**Трансплантація тканин та органів у людини.** Існують сучасні методи відновлення тканин та органів людини.

!**Трансплантація** – метод, що полягає в пересадці реципієнту органа або тканини (трансплантата), узятих у донора, а також клонованих тканин, штучних імплантатів (електронних, металічних тощо).

Вважається, що початком трансплантації є опанування технікою переливання крові. А вже у 1902 році віденський хірург Е. Ульман здійснив пересадку нирки козі від собаки. Першу трансплантацію серця собаці виконав французький учений А. Каррель у 1905 році. Першу у світі трансплантацію цілого органа людині (нирки від померлої людини) здійснив український учений Ю. Ю. Вороний у 1933 році. Тоді нирка включилася в кровообіг і почала самостійно функціонувати.

Існує декілька способів трансплантації (рис. 229):

- **аутотрансплантація** (аутологічна трансплантація) – реципієнт трансплантата є донором для самого себе. Наприклад, аутотрансплантацію шкіри з неушкоджених ділянок на обпалені широко застосовують при важких опіках. Аутотрансплантацію кісткового мозку або стовбурових клітин після хіміотерапії широко застосовують при лейкозах, лімфомах тощо;

- **ізотрансплантація** (гомологічна трансплантація) – донором трансплантата є генетично й імунологічно ідентичний реципієнту однояйцевий близнюк;

- **аллотрансплантація** (гетерологічна трансплантація) – донором трансплантата є організм того самого виду, що генетично й імунологічно відрізняється від реципієнта;

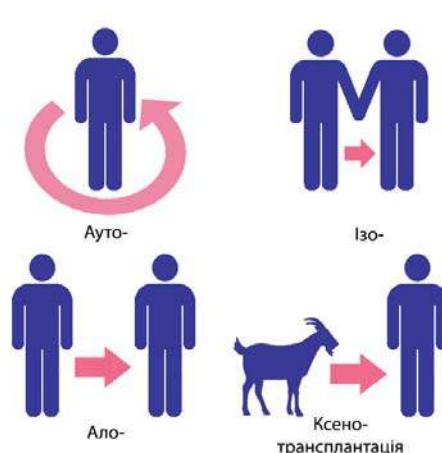
Рис. 228. Трансплантація органа



Юрій Вороний під час операції

Обґрунтуйте власне ставлення до трансплантації тканин та органів у людини.

Рис. 229. Способи трансплантації



Обговоріть у групах різні способи трансплантації тканин й органів у людини та обґрунтуйте власне ставлення до кожного з них.

- **ксенотрансплантація** (міжвидова трансплантація) – трансплантація матеріалу від іншого біологічного виду (наприклад, людині від тварини).

У перспективі клонування тканин і вирощування цілих органів людини із заданими імунологічними характеристиками можуть привести до того, що всі трансплантації органів будуть гомологічними.

Об'єктами трансплантації можуть бути клітини, тканини, органи та їх частини. Людині найчастіше трансплантують кістковий мозок, шкіру, нирки, печінку й серце. Пізніше до цього списку додалися тонкий кишечник, долі й сегменти печінки, легені, кістки, підшлункова залоза, клітини панкреатичних острівців (рис. 230). Для трансплантації використовують як трупні, так і отримані від живих донорів органи й тканини.

**Правила біологічної етики.** Існують дві основні юридичні моделі регулювання процедури отримання згоди на вилучення органів від померлих людей. Презумпція згоди («невиклопотана згода») виходить з того, що забір і використання органів здійснюють, якщо померлий за життя не висловлював заперечень проти цього або якщо заперечення не висловлюють його родичі. Така модель прийнята в законодавствах з охорони здоров'я Австрії, Бельгії, Польщі, Угорщини, Латвії, Литви, Португалії.

Друга модель – презумпція незгоди («виклопотана згода»), яка означає, що до своєї смерті померлий заявляв про свою згоду на вилучення органа або член сім'ї чітко висловлює згоду на вилучення в тому випадку, коли померлий не залишив подібної заяви. За таких умов передбачено певне документальне підтвердження «згоди». Така модель прийнята у США, Німеччині, Канаді, Італії.

Трансплантація органів від живих донорів не менш проблематична в етичному плані. Гуманна мета порятунку життя реципієнта не є гуманною, коли засобом її досягнення стає нанесення шкоди життю та здоров'ю донора.

Рис. 230. Об'єкти трансплантації



Органи, що їх найчастіше трасплантують, і бокси для їх перевезення



Підготуйте повідомлення про проблеми трансплантації тканин та органів в Україні та світі, використовуючи додаткові літературні джерела та інтернет-ресурси.



1. Дайте означення понять *регенерація*, *трансплантація*.
2. Опишіть особливості процесів регенерації організму людини.
3. Що таке трансплантація тканин та органів? Які її перспективи?
4. Схарактеризуйте правила біологічної етики в трансплантології та обґрунтуйте власне ставлення щодо цих правил.

## § 51. Онкогенні фактори та онкологічні захворювання



Що таке здоров'я?

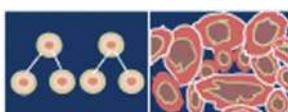
Які причини захворювань вам відомі?

Онкологічні захворювання є однією з актуальних проблем людства. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) на них припадає близько 13% усіх випадків смерті людей. Розуміння причин виникнення та пошук шляхів лікування цих захворювань є одним із провідних напрямів сучасної біомедицини.

**Механізм формування онкологічних захворювань.** Як було зазначено раніше, багатоклітинні організми складаються з великої кількості клітин різних типів, які повинні узгоджено функціонувати. Нормальна діяльність зумовлюється програмою реалізації генетичної інформації, яку ми аналізували раніше. Проте ця інформація може зазнавати змін у результаті мутацій, що може спричинити різноманітні розлади в роботі клітин (рис. 231). Порушення їхньої взаємодії може призводити до неконтрольованого росту та формування з нащадків таких клітин пухлин. Пухлини можуть перетискати кровоносні судини, нерви та інші життєво важливі частини організму, зашкоджуючи нормальному функціонуванню та призводячи до його смерті. Від пухлини можуть відриватися поодинокі клітини, поширюватися з током крові та давати початок новим пухлинам – метастазам.

За нормальних умов генетична сталість організму контролюється імунною системою, яка знищує змінені клітини в разі їх виникнення. Імовірність розвитку онкологічних хвороб залежить від низки чинників.

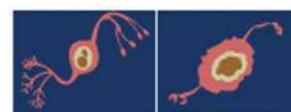
Рис. 231. Особливості будови, що відрізняють ракові (справа) клітини від нормальних (зліва)



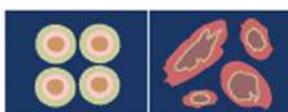
Значна кількість клітин, що діляться



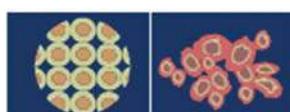
Велике ядро, порівняно мало цитоплазми



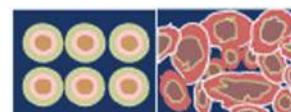
Втрата специфічних ознак будови (наприклад відростків)



Клітини мають різноманітні форму та розмір



Відсутність чіткої межі між пухлиною та наявкошніми тканинами



Хаотичне, невпорядковане розташування клітин

**Онкогенні фактори.** Фактори зовнішнього й внутрішнього середовища, що можуть бути причинами виникнення злойкісних пухлин і сприяти їх розвитку, називають **онкогенними** (канцерогенними) (рис. 232). Як і мутагени, їх можна умовно розділити на хімічні, фізичні та біологічні.

До **хімічних факторів** належать речовини різної структури та походження: : наприклад, мінеральні добрива, азбест, різноманітні органічні сполуки (деякі гербіциди, інсектициди, сировина хімічної промисловості тощо). Джерелом більшості таких речовин у навколошньому середовищі є викиди промислового виробництва. Через забруднені ґрунт, воду або повітря ці речовини можуть потрапити на шкіру, у легені, а з харчовими продуктами – у внутрішнє середовище організму. Деякі шкідливі сполуки можуть потрапляти всередину організму внаслідок поганих звичок, наприклад, у складі диму під час тютюнопаління. Механізмом дії цих речовин на клітинному рівні можуть бути хімічна модифікація молекул ДНК, порушення клітинного поділу, які призводять до виникнення мутацій.

**Фізичними онкогенами** є іонізувальне та ультрафіолетове випромінювання. Вони переносять порівняно велику енергію, яка може поглинатися молекулами клітин, унаслідок чого відбувається їхня модифікація – розрив хімічних зв'язків та утворення шкідливих проміжних сполук, які, своєю чергою, можуть взаємодіяти з білками та нуклеїновими кислотами, порушуючи їхнє функціонування. Джерелами іонізувального випромінювання можуть бути радіоактивні ізотопи різних елементів, що вивільняються в зовнішнє середовище внаслідок ядерних випробувань, аварій на атомних електростанціях тощо. Ультрафіолет є складовою сонячного випромінювання, тому людина ризикує отримати надмірну його дозу, якщо перебуває під прямими променями тривалий час без захисту. Зауважимо, що помірні дози ультрафіолету є необхідними для нормального

Рис. 232. Джерела онкогенних чинників



Користуючись цими зображеннями, схарактеризуйте джерела різних негативних факторів. Поміркуйте, вплив яких з них може бути зменшений шляхом здорового способу життя, раціонального природокористування, дотримання техніки безпеки тощо.

функціонування організму, оскільки він стимулює утворення вітаміну D.

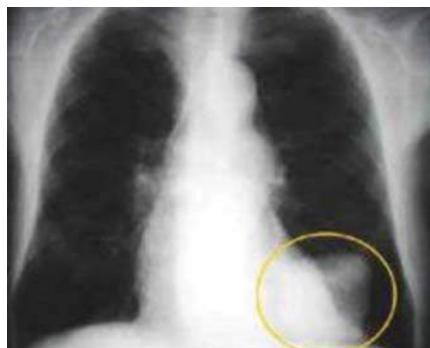
**Біологічними онкогенами** є деякі віруси. Наприклад, у 90% жінок із онкологічним захворюванням шийки матки діагностується папіломавірус людини. Натомість більшість людей, які мають цей вірус, не хворіють на таку форму. Це свідчить про те, що вірус є фактором ризику, але не однозначною причиною захворювання. Іншими поширеними вірусами є віруси гепатиту В та С, інфікування якими підвищує ризик захворіти на рак печінки.

Деякі форми онкологічних захворювань мають генетичне підґрунтя. Раніше ми наводили приклад мутацій у генах BRCA1 та BRCA2, які асоційовані з підвищеним ризиком спонтанного виникнення раку молочної залози. Низка алелів (наприклад, гену MC1R), що визначає руде забарвлення шкіри та волосся, також зумовлюють знижену стійкість клітин шкіри до негативної дії ультрафіолетового випромінювання. У таких людей частіше виникають мутації, а тому вони повинні обережніше ставитися до перебування під сонцем.

Низка факторів впливає на ризик виникнення онкологічних захворювань, але не є їхньою безпосередньою причиною. Наприклад, до таких факторів належить вік організму. З віком імунна система починає працювати гірше, а тому шанси на вчасне виявлення та знищення потенційних ракових клітин зменшуються. З іншого боку, кількість помилок, які можуть виникати під час клітинного поділу або впливу несприятливих зовнішніх факторів, із часом лише збільшується. Способ життя та загальний стан здоров'я також є важливими факторами. Ризик захворіти підвищується внаслідок низької фізичної активності, незбалансованого харчування, ожиріння.

**Онкологічні захворювання.** Зважаючи на те, що частина онкогенних факторів пов'язана із зовнішніми впливами на організм, а також порушеннями під час реплікації ДНК, найбільш уразливими до таких захворювань є клітини,

Рис. 233. Злойкісні пухлини в організмі людини



Пухлина легені (позначена колом)



Пухлина печінки



Оцініть важливість профілактики онкологічних захворювань.

що контактиують із зовнішнім середовищем, і частіше діляться. З усіх органів найбільш часто пухлини розвиваються в кишечнику та легенях (рис. 233).

Останнє можна пояснити поширенням куріння, особливо в економічно низько розвинених країнах. Розвиток раку легень пов'язаний з курінням у 80% чоловіків та понад 50% жінок. окрім легень, уживання тютюну може призводити до утворення злоякісних пухлин ротової порожнини та стравоходу. Частина онкологічних захворювань має гендерну специфіку. Так, у жінок поширеною формою є злоякісні пухлини молочної залози (7% від усіх випадків), а в чоловіків – передміхурової залози (8%).

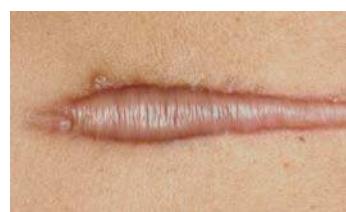
**Профілактика онкологічних захворювань.** Треба розуміти, що стовідсотково ефективних засобів захисту від онкологічних захворювань немає. Проте дотримання низки профілактичних заходів може істотно зменшити ризик їх виникнення. До них можна віднести: уважне ставлення до власного здоров'я, правильне збалансоване харчування, уникання шкідливих звичок (насамперед відмова від куріння тютюну), користування на виробництві засобами захисту, уникання контакту з потенційно небезпечними речовинами.

У разі виникнення онкологічного захворювання істотне значення має стадія розвитку хвороби, на якій її було діагностовано та розпочато лікування. Що раніше це відбулося, то кращий прогноз одужання. Тому важливе значення мають профілактичні медичні огляди, у тому числі й із застосуванням сучасних молекулярно-біологічних методів, зокрема генетичних маркерів. Деякі частини організму (шкіра) доступні для самостійного контролю (рис. 234). У разі, якщо людина виявила якісь підозрілі зміни або новоутворення, треба негайно звернутися до лікаря. Вакцинація від вірусів гепатиту В або папіломавірусу може істотно знизити ризик виникнення онкологічних хвороб, пов'язаних з відповідними вірусами.

Rис. 234. Родимка та рубець на шкірі людини



Фотографія родимки



Фотографія рубця



Обґрунтуйте необхідність консультації лікаря щодо новоутворень на шкірі.



1. Дайте означення поняття **онкологічні захворювання**.
2. Поясніть механізми виникнення онкологічних захворювань.
3. Схарактеризуйте онкогенні фактори.
4. У чому полягає профілактика онкологічних захворювань?

## § 52. Чинники, що впливають на ріст і розвиток людини



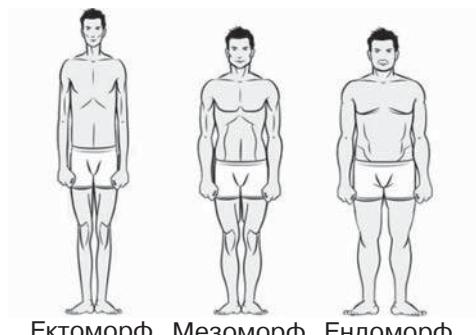
*Що називають онтогенезом, ембріогенезом, постембріональним розвитком?*

Вам уже відомо, що під час ембріогенезу, а також у результаті постембріонального розвитку відбуваються зміни в організмі. Є чинники, що впливають на ріст і розвиток людини. Деякі з них мають спадковий характер. Інші є чинниками зовнішнього середовища та впливають лише в період своєї дії.

**Роль спадкових факторів.** Для людини справедливі закони спадковості. Багато ознак (тип статури, колір очей, волосся, група крові тощо) визначається ще до народження (рис. 235). Ці ознаки називають жорстко детермінованими. На їх формування в процесі розвитку організму зовнішнє середовище майже не впливає. Однак більшість ознак не детермінована, і на їх формування умови середовища впливають суттєво. Мають спадкову схильність, але визначаються значною мірою впливом зовнішнього середовища такі ознаки людини, як інтелект, зріст і маса тіла, сила і спритність м'язів, схильність до деяких захворювань тощо.

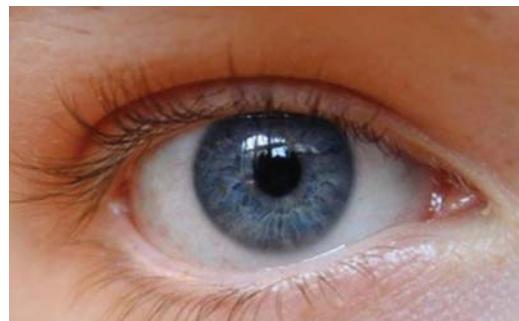
**Вплив негативних чинників на розвиток плода.** Хоча формування органів і функціональних систем дитини в процесі ембріонального розвитку визначається генотипом, а плід відносно добре захищений від багатьох зовнішніх впливів і отримує через плаценту все необхідне для існування, багато факторів, що впливають на материнський організм, можуть впливати і на організм дитини, що розвивається. Деякі приклади цього ми наводили у параграфі 39.

Rис. 235. Ознаки людини, що жорстко детерміновані



Ектоморф Мезоморф Ендоморф

Статура людини



Колір очей



Створіть просвітницький проект для учнів та учениць основної школи «Негативний вплив алко-голю та нікотину на розвиток плода».

## Вплив харчування на процеси росту та розвитку людини.

На темпи росту та розвитку людини впливає характер харчування. Збалансоване за калорійністю й білковим складом харчування не тільки сприяє оптимальному темпу росту в дитячому та підлітковому віці, але й сповільнює процеси старіння. Натомість обмеження в харчуванні, особливо білкове голодування, призводить до затримки росту, а надлишкове харчування прискорює старіння та сприяє розвитку захворювань (§ 24).

**Роль психологічних чинників, виховання та навчання.** Затримка росту дитини може бути зумовлена психологічними чинниками. Хронічний емоційний стрес призводить до порушення секреції гормону росту, унаслідок чого знижуються показники росту дитини. Підтвердження цьому – менші розміри тіла дітей, які виросли в умовах асоціальних сімей і жорстокого виховання.

У постембріональному розвитку дитини вплив чинників зовнішнього середовища зростає. Особливості характеру, властивості пам'яті, довільної уваги, мислення визначаються не лише природними задатками, але й умовами виховання й навчання. Під час формування багатьох функцій існують критичні періоди, коли навчання є найбільш ефективним. Це стосується, наприклад, опанування в ранньому віці мов – по завершенні оптимального періоду навчання відбувається складніше і за участі дещо інших мозкових структур. Підтвердженням цьому є випадки дітей, що виросли у незвичайних умовах (рис. 236). Робота мозку підлітків оптимізована для швидкого засвоєння нової інформації. В результаті цього формуються нейронні зв'язки, які є підґрунтам для ефективної роботи дорослого мозку.

Таким чином, існують спадково детерміновані можливості фізичного та психічного розвитку людини, натомість рівень їх реалізації залежить від факторів зовнішнього середовища.

Рис. 236. Вплив чинників зовнішнього середовища на постембріональний розвиток дитини



Подивіться анімаційний фільм «Мауглі» або прочитайте збірку оповідань Р. Кіплінга «Книга джунглів». Знайдіть помилки щодо особливостей дитини, яка від народження виховувалася у вовчій зграй.



1. У чому полягає вплив спадкових чинників на ріст і розвиток організму?
2. Яким чином алкоголь і нікотин впливають на розвиток плода?
3. Який вплив харчування на процеси росту та розвитку людини?
4. Опишіть роль психологічних чинників, виховання та навчання в розвитку дитини.

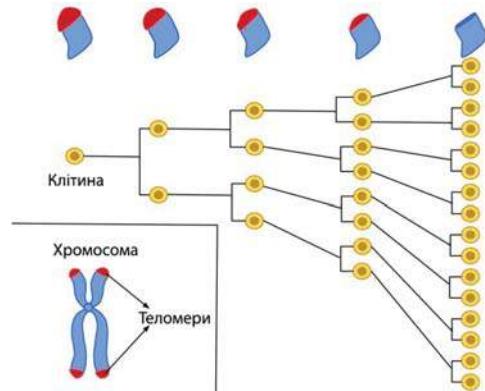
## Індивідуальні завдання

### Теломери

Ознайомтеся з інформацією:

«Теломери є ділянками ДНК, розташованими на кінцях молекул ДНК. Вони складаються з повторюваних багато (сотні і тисячі) разів коротких послідовностей нуклеотидів. Наприклад, у людини повторюваний фрагмент одного з ланцюгів має послідовність ТТАГГГ.

Особливістю процесу реплікації молекул ДНК є те, що залучені до нього ферменти не здатні копіювати кінцеві ділянки молекули, а тому після кожної реплікації дочірні молекули ДНК стають коротшими на кілька десятків пар нуклеотидів (на рисунку теломери позначені червоним). Якщо на момент народження теломери мають довжину близько 11 тис. пар нуклеотидів, то в людини похилого віку вона становить приблизно 4 тис. пар нуклеотидів.



Отже, теломерні послідовності ніби захищають гени, що містяться у хромосомах, від втрати частини інформації внаслідок вкорочення загальної довжини хромосоми. За це відкриття Елізабет Блекберн, Керол Грейдер та Джеку Шостаку у 2009 році було присуджено Нобелівську премію в галузі фізіології або медицини.»

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеної інформації?

- А теломери в особин чоловічої статі є коротшими в порівнянні з теломерами в особин жіночої статі
- Б унаслідок зменшення загальної довжини теломерних послідовностей удвічі клітина гине через втрату певних генів
- В негативні чинники – стрес або дія шкідливих хімічних сполук – прискорюють укорочення теломер
- Г із віком довжина теломер зменшується

**Завдання 2.** На уроці біології для обговорення наведеної інформації про теломери клас поділили на дві групи. Перша група зазначила, що на противагу процесу вкорочення теломер повинен існувати механізм їхнього подовження, інакше довжина хромосом буде зменшуватися з покоління в покоління. Інша група зуважила, що якщо такий процес існує, то він здійснюється без участі ферментів, лише на основі принципу комплементарності. Хто має рацію?

- А лише перша група
- Б лише друга група
- В обидві групи мають рацію
- Г обидві групи помилляються

**Завдання 3.** Згідно з однією з теорій, вкорочення теломер є одним з механізмів старіння клітин та цілого організму. Поясніть, які аргументи на захист цієї теорії висувають її прихильники.

## Індивідуальні завдання

### Фактори росту

Ознайомтеся з інформацією.

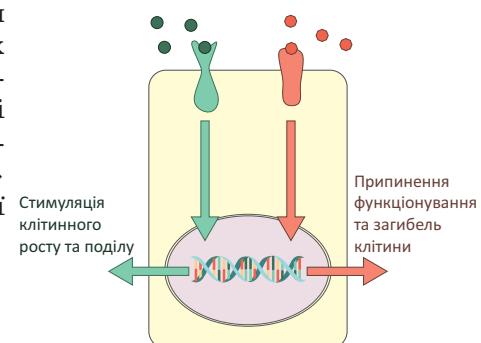
«Лауреат Нобелівської премії 1986 року Ріта Леві-Монтальчині вивчала закономірності ембріонального розвитку нервової системи, використовуючи курячі ембріони, як модельний об'єкт. Під час експерименту в ембріон пересаджували ракові клітини миші та спостерігали за розвитком їх та навколошніх тканин. Було виявлено, що в пухлину проростали ембріональні нервові волокна, причому їхня щільність була вищою за нормальну. Нервові вузли, які іннервували пухлину, виявилися в шість разів більшого об'єму в порівнянні з контролем. Щобільше, ці нервові волокна активно проростали навіть у прилеглі тканини чи органи, які в нормі не іннервуються зовсім. Надалі біохіміку Стенлі Коену вдалося виділити з пухлин хімічні сполуки, що стимулювали ріст нервових клітин навіть поза межами організму («у пробірці»). Пізніше дослідники ідентифікували речовину, яка зараз відома як фактор росту нервів (*Nerve growth factor – NGF*). Це відкриття започаткувало новий напрям у біології, а NGF виявився першим з великої групи сполук, які називають факторами росту. Наразі відомо, що вони відіграють важливу роль у нормальному розвитку організмів, а порушення їх функцій пов'язано із різноманітними захворюваннями.» («Rita Levi-Montalcini – Nobel Lecture: The Nerve Growth Factor: Thirty-Five Years Later». Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014)

**Завдання 1.** Яке з тверджень можна сформулювати на основі аналізу наведеного тексту?

- А у хордових тварин ембріогенез регулюється, зокрема, за участю гуморальних механізмів
- Б поміж лауреатів Нобелівської премії з фізіології або медицини кількість чоловіків і жінок приблизно однакова
- В усі фактори росту є білками, синтез яких контролюється відповідними генами
- Г фактори росту є патологічними сполуками, що утворюються раковими клітинами та негативно впливають на ріст клітин певного типу

**Завдання 2.** Дві групи учнів обговорювали наведену схему дії двох різних регуляторних сполук, позначених зеленим і червоним колірором. Перша група зазначила, що обидві сполуки діють шляхом зміни активності генів. Друга група припустила, що «зелений» шлях може характеризувати механізм дії фактору росту нервів. Хто має рацію?

- А лише перша група
- Б лише друга група
- В обидві групи мають рацію
- Г обидві групи помилляються

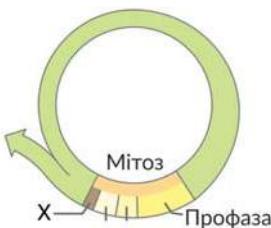


**Завдання 3.** Пошук в одній з найбільших електронних наукових бібліотек PubMed.gov дає більш ніж 14 тис. посилань на публікації про NGF, з яких 2.5 тис. – за останні 5 років. Як ви думаете, чому вивчення цього та інших факторів росту є настільки актуальним?

## Самоконтроль рівня навчальних досягнень. Репродукція та розвиток

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

- Укажіть рівень організації живого, на якому відтворення забезпечує реплікація.
  - А молекулярний
  - Б клітинний
  - В організмовий
  - Г екосистемний
- Процес індивідуального розвитку організму називають
  - А еволюцією
  - Б онтогенезом
  - В трансгенезом
  - Г ембріогенезом
- Ембріогенез – це процес, який починається заплідненням і закінчується
  - А утворенням зиготи
  - Б смертю організму
  - В статевим дозріванням
  - Г виходом організму із зародкових оболонок або народженням
- На рисунку зображено клітинний цикл.  
Що позначено літерою X?
  - А інтерфазу
  - Б метафазу
  - В анафазу
  - Г телофазу
- Укажіть фізичний онкогенний фактор.
  - А віруси
  - Б бензопірен
  - В гербіциди
  - Г іонізувальне випромінювання
- Як називають спосіб трансплантації, за якого реципієнт трансплантата є донором для самого себе?
  - А аутологічна
  - Б гомологічна
  - В гетерологічна
  - Г міжвидова



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

- Проаналізуйте твердження щодо зображеній клітини.
  - Містить гаплоїдний набір хромосом.
  - Літерою X позначено ядро.

Чи є поміж них правильні?

  - А правильне лише I
  - Б правильне лише II
  - В обидва правильні
  - Г правильних немає



8. Укажіть правильну послідовність процесів, які відбуваються під час мітозу.

- A 1 – 2 – 3 – 4  
 Б 2 – 3 – 1 – 4  
 В 2 – 4 – 1 – 3  
 Г 3 – 1 – 4 – 2

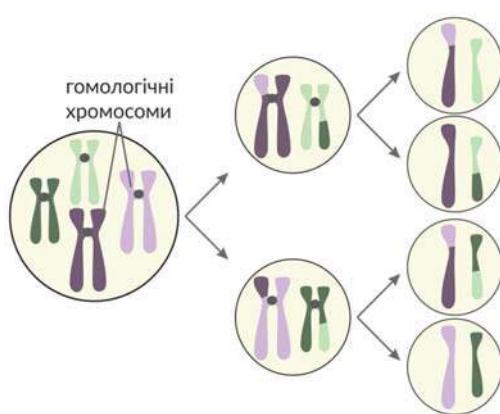
1 розходження парних хроматид до різних полюсів	2 формування веретена поділу
3 хромосоми розташовуються в «екваторіальній» площині клітини	4 дочірні хромосоми досягають двох полюсів клітини

9. Для обговорення впливу різних чинників на ріст і розвиток організму людини клас об'єднався у дві групи. Перша група зауважила, що поміж ознак організму людини є ті, що успадковуються і не змінюються в онтогенезі, зокрема група крові. Друга група зазначила, що до деяких захворювань людина може мати склонність, але під впливом умов середовища вони не розвиваються. Яка група висловила правильне судження?

- A лише перша  
 Б лише друга  
 В обидві групи  
 Г жодна з груп

#### Тестові завдання з коротким описом (1,5 бала)

10. На рисунку схематично зображеного поділ клітини. Схарактеризуйте цей поділ за наведеними ознаками.



<i>Під час поділу відбувається</i>	<i>Клітини, які утворюються внаслідок поділу</i>
1 кросинговер	1 диплоїдні
2 реплікація	2 гаплойдні
3 транскрипція	3 диплоїдні та гаплойдні

*Цей процес забезпечує*  
 1 сталість каріотипу під час статевого розмноження  
 2 вегетативне розмноження  
 3 розмноження соматичних клітин

11. Укажіть органи або системи органів людини, які розвиваються з певного зародкового листка під час ембріогенезу.

- |                     |                  |                   |
|---------------------|------------------|-------------------|
| <i>Ектодерма</i>    | <i>Ендодерма</i> | <i>Мезодерма</i>  |
| 1 нервова система   | 1 шкіра          | 1 скелет          |
| 2 кровоносні судини | 2 легені         | 2 нервова система |
| 3 легені            | 3 м'язи          | 3 кишечник        |

#### Виконайте завдання в письмовій формі (3 бали)

Оцініть вплив позитивних і негативних чинників на ріст і розвиток людини. Сформулюйте власне ставлення до трансплантації тканин та органів у людини, її перспектив.

- Авітаміноз 89  
Автотрофи 35, 67  
Аденін 83  
Аденозинтрифосфат (АТФ) 86  
Аероби 35  
Алель 128  
Анаероби 35  
Анеуплоїдія 152  
Антикодон 127  
Археї (Архебактерії) 21, 38  
Асиміляція (пластичний обмін) 66  
Ацетилування 158  
Бактерії (Еубактерії) 21, 37  
Бактеріофаг 29  
Вілки 75  
Віоінформатика 165  
Віологічна номенклатура 20  
Віологічна система 6  
Віологічна систематика 19  
Біологічний вид (вид) 22, 161  
Біологія 6  
Вакуолі 94  
Везикули 93  
Відоутворення 25  
Віроїди 32  
Віруси 27, 29  
Вітаміни 87  
Воски 74  
Вуглеводи 71  
Гаплоїдна клітина 119  
Ген 118  
Генетика 115  
Генетична рівновага 162  
Генетичний код 125  
Генетичні маркери 116, 172  
Генні (точкові) мутації 150  
Генні хвороби 167  
Геном 117  
Геномні мутації 151  
Генотип 128  
Геотаксис 45  
Гетерогамета 143  
Гетерозигота 129  
Гетеротрофи 35, 68  
Гібрид 129  
Гіпервітаміноз 89  
Гіповітаміноз 89  
Гістони 117  
Глікопротеїни 77  
Гомеостаз 10  
Гомогамета 143  
Гомозигота 129  
Гормони 88  
Гриби 21  
Гуанін 83  
Гуморальна регуляція 107  
Дезоксирибоза 83  
Дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК) 84  
Денатурація 77  
Деструкція 77  
Детритофаги 70  
Дивергенція 25  
Дигібридне скрещування 130  
Диплоїдна клітина 120  
Дисиміляція (енергетичний обмін) 66  
Дихання 96  
Дрейф генів 24  
Екзонон 124  
Екзоцитоз 92  
Екологія 8  
Екосистема 7  
Експресія гена 123  
Ембріогенез (ембріональний розвиток) 193  
Ембріональна індукція 196  
Ендоплазматична сітка (ЕПС) 93  
Ендоцитоз 92  
Енергетичний баланс 98  
Енхансери 157  
Епістаз 137  
Еукаріоти 21, 41  
Живе 9  
Жири 74  
Запліднення 188  
Зчеплене успадкування 141  
Ізоляція 25  
Інтрони 124  
Інфекційне захворювання 28  
Капсид 29  
Капсула 34  
Каріотип 119  
Клітинний цикл 183  
Кодомінування 136  
Комплекс Гольджі 93  
Комплементарність 84, 138  
Конвергенція 26  
Кросинговер 122  
Лейкопласти 94  
Летальна дія гена 136  
Лізосоми 94  
Ліпіди 73  
Медична біологія 15  
Мейоз 122, 184  
Метаболізм (обмін речовин) 10, 65  
Метилування 158

- Мікроеволюція 25  
 Міксотрофи 68  
 Мінливість 115, 149  
 Мітоз 183  
 Мітохондрії 94  
 Множинна дія гена 139  
 Моногібридне схрещування 130  
 Моносахариди 71  
 Мутагенез 150  
 Мутації 149  
 Неповне домінування 135  
 Нервова регуляція 107  
 Неспадкова мінливість 155  
 Нуклеїнові кислоти 83  
 Нуклеоїд 34  
 Ознаки, залежні від статі 146  
 Ознаки, обмежені статтю 146  
 Олігосахариди 71  
 Онкогенні (канцерогенні) фактори 201  
 Паразити 35  
 Паразитизм 70  
 Паралелізм 26  
 Пенетрантність генів 139  
 Пентоза 83  
 Пептиди 77  
 Пероксисоми 94  
 Плазматична мембрана 34, 91  
 Плазміди 35  
 Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР) 116  
 Полімерія 138  
 Поліплоїдія 152  
 Полісахариди 71  
 Популяційна генетика 116  
 Популяційні хвилі 24  
 Популяція 24, 161  
 Природний добір 23  
 Пріони 31  
 Прокаріоти 21, 33  
 Промотор 119  
 Процесинг 124  
 Раціональне харчування 97  
 Регенерація 197  
 Ренатурація 77  
 Реотаксис 44  
 Репарація 153  
 Реплікація 121  
 Репродуктивна медицина 191  
 Рибоза 83  
 Рибонуклеїнова кислота (РНК) 85, 124  
 Рибосома 35, 93  
 Рослини 21  
 Самовідтворення 12
- Самооновлення 10  
 Саморегуляція 10  
 Сантиморган 142  
 Сапротрофи 35, 38  
 Сапрофагія 70  
 Секвенування 116  
 Симбіонти 35  
 Симбіотрофи 69  
 Синдром Марфана 139  
 Систематика 19  
 Спадковість 115  
 Сплайсинг 124  
 Спори 36  
 Стадій (збалансований) розвиток 13  
 Статеве розмноження 122  
 Стероїди 74  
 Таксис 35, 44  
 Таксономія 20  
 Тварини 21  
 Термінатор 119  
 Термотаксис 44  
 Тимін 83  
 Токсичні речовини 105  
 Транскрипційні фактори 157  
 Транскрипція 123  
 Трансляція 127  
 Трансплантація 199  
 Урацил 83  
 Фенотип 128  
 Ферменти 78  
 Фермент-субстратний комплекс 80  
 Фітофагія 69  
 Фотосинтез 67  
 Фототаксис 44  
 Фототрофи (фотосинтетики) 35, 38, 67  
 Хемосинтез 67  
 Хемотрофи (хемосинтетики) 35, 38, 67  
 Хижактво 69  
 Хлоропласти 94  
 Хроматин 117  
 Хромопласти 94  
 Хромосомні мутації 151  
 Хромосомні хвороби 167, 168  
 Цитозин 83  
 Цитоплазматичне успадкування 147  
 Цитоскелет 35  
 Чиста лінія 129  
 Ядерні пори 117  
 Ядро 117

## СПИСОК ДОДАТКОВИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ, ВИКОРИСТАНИХ ПРИ СТВОРЕННІ ПІДРУЧНИКА

1. Генетика : підручник / А.В. Сиволоб, С.Р. Рушковський, С.С. Кир'яченко та ін. ; за ред. А.В.Сиволоба. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. – 32
2. Албертс Б., Брей Д., Льюис Дж и др. Молекулярная биология клетки : в 3 т.– М. : Мир, 1994.
3. Біологія : довід. для учнів 10, 11 кл. та вступників до ВНЗ / В. О. Мотузний. – К. : НАУ, 2004. – 156 с.
4. Грин Н., Старт У., Тейлор Д. Биология : в 3 т. – М. : Мир, 1990.
5. Дарвін Ч. Походження видів. – Х. : Державне видавництво сільськогосподарської літератури УРСР, 1949. – 443 с.
6. Сингер М., Берг П. Гены и геномы : в 2 т. – М. : Мир, 1998.
7. Campbell Biology. 11th Edition / Lisa A. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, Jane B. Reece - Pearson, 2017 - ISBN 978-0134093413
8. <http://biology.org.ua>
9. <http://my.science.ua>
10. <http://nobelprize.org>
11. <http://wikipedia.org> (Нескінченнє джерело інформації про все.)
12. Science Museum / SSPL <https://blog.sciencemuseum.org.uk>
13. The American Phytopathological Society <https://www.apsnet.org/>
14. Visual Science <https://visual-science.com/>
15. U.S. Food and Drug Administration <https://www.fda.gov>
16. Microbiology Online <http://microbiologyonline.org>
17. Schulz HN, Brinkhoff T, Ferdelman TG, et al Dense populations of a giant sulfur bacterium in Namibian shelf sediments // DOI: 10.1126/science.284.5413.493
18. Georget E., Kapoor S., Winter R., et al In situ investigation of Geobacillus stearothermophilus spore germination and inactivation mechanisms under moderate high pressure // DOI: 10.1016/j.fm.2014.01.007
19. Göker, M. et al. Complete genome sequence of Pyrolobus fumarii type strain (1AT) DOI: 10.4056/sigs.2014648
20. Archaeageddon: how gas-belching microbes could have caused mass extinction // Nature DOI:10.1038/nature.2014.14958
21. Kelley, D. University of Washington, Seattle, USA <https://www.ethz.ch/>
22. Servé W. M. Kengen ‘Pyrococcus furiosus, 30 years on’ DOI:10.1111/1751-7915.12695
23. Марков Александр | Рождение сложности: Эволюционная биология сегодня
24. <http://moz.gov.ua/article/news/moz-ukraini-predstavilo-rekomendacii-zi-zdorovo-go-harchuvannja>
25. Bo Hong, Peter Reeves, Barbara Panning, et al Identification of an autoimmune serum containing antibodies against the Barr body // DOI:10.1073/pnas.151259598
26. https://commons.wikimedia.org/
27. Gordon JR, Brieva JC Images in clinical medicine. Unilateral dermatoheliosis // N Engl J Med DOI: 10.1056/NEJMcm1104059
28. Dan Hurley. Grandma's Experiences Leave a Mark on Your Genes May, 2013 <http://discovermagazine.com/>
29. Ikram MK et al. Four Novel Loci (19q13, 6q24, 12q24, and 5q14) Influence the Microcirculation In Vivo. DOI:10.1371/journal.pgen.1001184

## Зміст

<i>Шановні десятикласники та десятикласниці!</i> .....	3
<b>Вступ.</b>	
§ 1 Біологія та екологія як науки.....	5
§ 2 Фундаментальні властивості живого.....	9
§ 3 Стратегія сталого розвитку природи і суспільства.....	13
<b>Тема 1. БІОРІЗНОМАНІТТЯ</b> .....	17
<i>З історії відкриттів</i> .....	18
§ 4 Систематика – наука про різноманітність організмів .....	19
§ 5 Біорізноманіття нашої планети як наслідок еволюції .....	23
§ 6 Віруси та їхня біологічна роль .....	27
§ 7 Пріони та віроїди.....	31
§ 8 Прокаріоти – найдавніші організми на планеті .....	33
§ 9 Різноманітність прокаріотичних організмів .....	37
§ 10 Сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів .....	41
§ 11 Одноклітинні еукаріоти .....	43
§ 12 Біорізноманіття рослин .....	47
§ 13 Біорізноманіття тварин .....	51
§ 14 Біорізноманіття грибів .....	55
<b>Лабораторна робота. Визначення таксономічного положення виду в системі органічного світу</b> .....	57
<b>Проект. Складання характеристики виду за видовими критеріями</b> .....	58
<b>Індивідуальні завдання. «Відкриття нових видів в Індокитаї», «Ліси України»</b> .....	59, 60
<b>Самоконтроль рівня навчальних досягнень. «Вступ. Біорізноманіття»</b> .....	61
<b>Тема 2. ОБМІН РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ</b> .....	63
<i>З історії відкриттів</i> .....	64
§ 15 Обмін речовин та енергії – основа функціонування біологічних систем..	65
§ 16 Особливості обміну речовин та перетворення енергії в автотрофних та гетеротрофних організмів .....	67
§ 17 Вуглеводи та ліпіди.....	71
§ 18 Білки, їхня біологічна роль .....	75
§ 19 Ферменти та їхня біологічна роль.....	79
§ 20 Нуклеїнові кислоти та їхня біологічна роль. АТФ.....	83
§ 21 Вітаміни, їхня роль в обміні речовин .....	87
§ 22 Структури клітини та метаболізм.....	91
§ 23 Енергетичне забезпечення процесів метаболізму .....	95
§ 24 Раціональне харчування – основа нормального обміну речовин .....	97
<b>Практична робота. Складання схем обміну вуглеводів, ліпідів і білків в організмі людини</b> .....	100
§ 25 Надходження в організм хімічних елементів і якість питної води: вплив на здоров'я людини.....	101
§ 26 Негативний вплив на метаболізм токсичних речовин. Знешкодження токсичних сполук в організмі людини.....	105
§ 27 Нейрогуморальна регуляція процесів метаболізму організму людини ..	107
<b>Індивідуальні завдання. «Еритроцити та АТФ-аза», «Кисень і висота»</b> .....	109, 110

**Самоконтроль рівня навчальних досягнень.**

«Обмін речовин та перетворення енергії» .....	111
<b>Тема 3. СПАДКОВІСТЬ І МІНЛІВІСТЬ</b> .....	113
З історії відкриттів .....	114
§ 28 Генетика як наука .....	115
§ 29 Зберігання генетичної інформації в клітинах .....	117
§ 30 Передавання генетичної інформації з покоління в покоління .....	121
§ 31 Реалізація спадкової інформації: транскрипція та процесинг РНК ....	123
§ 32 Реалізація спадкової інформації: синтез білків і формування ознак .....	125
§ 33 Гібридологічний метод. Закономірності, відкриті Менделем .....	129
§ 34 Неменделівське успадкування ознак .....	135
§ 35 Зчеплене успадкування ознак .....	141
§ 36 Цитоплазматична спадковість .....	147
§ 37 Поняття про мінливість. Спадкова мінливість .....	149
§ 38 Модифікаційна мінливість .....	155
<b>Лабораторна робота. Вивчення закономірностей модифікаційної мінливості</b> .....	156
§ 39 Регуляція активності генів .....	157
§ 40 Популяційна генетика .....	161
§ 41 Генетична варіабельність людини .....	163
§ 42 Еволюція геному людини .....	165
§ 43 Медична генетика .....	167
<b>Практична робота. Розв'язування генетичних задач</b> .....	173
<b>Проект</b> .....	174
<b>Індивідуальні завдання. «Хвороба Дауна», «Аутофагія»</b> .....	175,176
<b>Самоконтроль рівня навчальних досягнень.</b>	
«Спадковість та мінливість» .....	177
<b>Тема 4. РЕПРОДУКЦІЯ ТА РОЗВИТОК</b> .....	179
З історії відкриттів .....	180
§ 44 Репродукція як механізм забезпечення безперервності існування видів ..	181
§ 45 Клітинний цикл. Ріст і розвиток клітин .....	183
§ 46 Статеві клітини й запліднення .....	187
<b>Лабораторна робота. Будова статевих клітин</b> .....	188
§ 47 Особливості репродукції людини .....	189
§ 48 Сучасні можливості та перспективи репродуктивної медицини .....	191
§ 49 Ембріогенез людини. Явище ембріональної індукції .....	193
<b>Лабораторна робота. Вивчення етапів ембріогенезу</b> .....	196
§ 50 Особливості процесів регенерації організму людини. Трансплантація тканин та органів .....	197
§ 51 Онкогенні фактори та онкологічні захворювання .....	201
§ 52 Чинники, що впливають на ріст і розвиток людини .....	205
<b>Індивідуальні завдання. «Теломери», «Фактори росту»</b> .....	207,208
<b>Самоконтроль рівня навчальних досягнень. «Репродукція та розвиток»</b> ..	209
<b>Предметний покажчик</b> .....	211
<b>Список додаткових джерел інформації, використаних при створенні підручника</b> .....	213

Навчальне видання  
АНДЕРСОН Оксана Анатоліївна  
ВИХРЕНКО Марина Анатоліївна  
ЧЕРНІНСЬКИЙ Андрій Олександрович

**БІОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЯ**  
*Rівень стандарту*

Підручник для 10 класу  
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**ПРОДАЖ ПРИМІРНИКІВ КНИГИ БЕЗ ГОЛОГРАМИ НА ОБКЛАДИНЦІ ЗАБОРОНЕНО**

Відповідальний за випуск *Юрій Корбуш*  
Підготовка оригінал-макету *Олена Корбуш*

Коректор *Нестор Кривопуст*

Малюнки підготували *Ксенія Гулак, Арсеній Андерсон, Марія Корбуш*

Художник обкладинки *Ірина Медведовська*

Комп'ютерна верстка *Анастасія Ткач*

Колаж на с. 4 *Марія Корбуш*

Підписано до друку 15.08.2018.

Формат 70×100/16. Папір офсет.

Гарнітура Шкільна. Друк офсет. Умов. друк. арк. 17,55.

Тираж 5000 пр. Зам №

Виготовлено згідно із СОУ 22.2-02477019-07:2007

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

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